

# 运动生物力学

——运动成绩的提高与运动损伤的预防

[美] 弗拉基米尔 M. 扎齐奥尔斯基 主编



运动医学百科全书 第九卷

国际奥委会医学委员会

国际运动医学联合会联合出版

陆爱云 译审



人民体育出版社

# 运动生物力学

运动成绩的提高与运动损伤的预防

---

国际奥委会医学委员会



国际运动医学联合会联合出版



运动医学百科全书 第九卷

[美] 弗拉基米尔 M. 扎齐奥尔斯基 主编

陆爱云 译审

人民体育出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

运动生物力学：运动成绩的提高与运动损伤的预防/  
〔美〕扎齐奥尔斯基主编：陆爱云译审．—北京：人民  
体育出版社，2003

(运动医学百科全书)

ISBN 7-5009-2428-3

I. 运… II. ①扎… ②陆… III. 运动生物力学-研究  
IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 026549 号

\*

人民体育出版社出版发行  
北京中科印刷有限公司印刷  
新华书店经销

\*

787×1092 16 开本 42.5 印张 816 千字  
2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷  
印数：1-2,100 册

\*

ISBN 7-5009-2428-3 / G·2327

定价：65.00 元

---

社址：北京市崇文区体育馆路 8 号（天坛公园东门）  
电话：67151482（发行部） 邮编：100061  
传真：67151483 邮购：67143708  
（购买本社图书，如遇有缺损页可与发行部联系）

# 作者名录 (英文)

---

A.S. ARUIN PhD, *Motion Analysis Laboratory, Rehabilitation Foundation Inc., 26W171 Roosevelt Road, Wheaton, IL 60189, USA*

R.M. BARTLETT PhD, *Sport Science Research Institute, Sheffield Hallam University, Collegiate Hall, Sheffield S10 2BP, UK*

K. BARTONIETZ PhD, *Olympic Training Center Rhineland-Palatinate/Saarland, Am Sportzentrum 6, 67105 Schifferstadt, Germany*

G.-P. BRÜGGEMANN PhD, *Deutsche Sporthochschule Köln, Carl-Diem-Weg 6, 50933 Köln, Germany*

J.H. CHALLIS PhD, *Biomechanics Laboratory, Department of Kinesiology, 39 Rec. Hall, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802-3408, USA*

A.J. DALLMEIJER PhD, *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences, Faculty of Human Movement Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands*

J. DAPENA PhD, *Biomechanics Laboratory, Department of Kinesiology, Indiana University, Bloomington, IN 47405, USA*

B. ELLIOTT PhD, *The Department of Human Movement and Exercise Science, The University of Western Australia, Nedlands, Western Australia 6907, Australia*

R.M. ENOKA PhD, *Department of Kinesiology and Applied Physiology, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0354, USA*

M.D. GRABINER PhD, *Department of Biomedical Engineering, The Cleveland Clinic Foundation, 9500 Euclid Avenue, Cleveland, Ohio 44195, USA*

W. HERZOG PhD, *Faculty of Kinesiology, The University of Calgary, 2500 University Drive NW, Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada*

M. HUBBARD PhD, *Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of California, Davis, CA 95616, USA*

G.J. VAN INGEN SCHENAU PhD, *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences, Faculty of Human Movement Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands (Professor G.J. van Ingen Schenau unfortunately passed away during the production of this volume.)*

D.L. KING PhD, *Department of Health and Human Development, Montana State University, Bozeman, MT 59717, USA*

P.V. KOMI PhD, *Neuromuscular Research Centre, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, 40351 Jyväskylä, Finland*

J.J. DE KONING PhD, *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences, Faculty of Human Movement Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands*

J. LANKA PhD, *Department of Biomechanics, Latvian Academy of Sport Education, Brivibas 333, Riga LV-1006, Latvia*

- P.E. MARTIN** PhD, *Exercise and Sport Research Institute, Arizona State University, Tempe, Arizona 85287, USA*
- J.L. McNITT-GRAY** PhD, *Biomechanics Research Laboratory, Department of Exercise Sciences, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089-0652, USA*
- D.I. MILLER** PhD, *School of Kinesiology, Faculty of Health Sciences, University of Western Ontario, London, Ontario, N6A 3K7, Canada*
- C. NICOL** PhD, *UMR 6559 Mouvement & Perception, CNRS-Université de la Méditerranée, Faculté des Sciences du Sport, 163, avenue de Luminy CP 910, F-13288 Marseille Cedex 9, France*
- B.I. PRILUTSKY** PhD, *Center for Human Movement Studies, Department of Health and Performance Sciences, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, USA*
- V.A. RUMYANTSEV** PhD, *Department of Swimming, Russian State Academy of Physical Culture, 4 Sirenevyy Boulevard, Moscow 105122, Russian Federation*
- D.J. SANDERSON** PhD, *School of Human Kinetics, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, V6T 1Z1, Canada*
- J.G. SEMMLER** PhD, *Department of Kinesiology and Applied Physiology, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0354, USA*
- M.C. SIFF** PhD, *School of Mechanical Engineering, University of the Witwatersrand, South Africa*
- G.A. SMITH** PhD, *Biomechanics Laboratory, Department of Exercise and Sport Science, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA*
- B.R. UMBERGER** MS, *Exercise and Sport Research Institute, Arizona State University, Tempe, Arizona 85287, USA*
- H.E.J. VEEGER** PhD, *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences, Faculty of Human Movement Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands*
- M. VIRMAVIRTA** PhLic, *Neuromuscular Research Centre, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, 40351 Jyväskylä, Finland*
- A.S. VOLOSHIN** PhD, *Department of Mechanical Engineering and Mechanics, Institute for Mathematical Biology and Biomedical Engineering, Lehigh University, Bethlehem, PA 18015, USA*
- A.R. VORONTSOV** PhD, *Department of Swimming, Russian State Academy of Physical Culture, 4 Sirenevyy Boulevard, Moscow 105122, Russian Federation*
- W.C. WHITING** PhD, *Department of Kinesiology, California State University, Northridge, 18111 Nordhoff Street, Northridge, CA 91330-8287 USA*
- K.R. WILLIAMS** PhD, *Department of Exercise Science, University of California, Davis, CA 95616, USA*
- L.H.V. VAN DER WOUDE** PhD, *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences, Faculty of Human Movement Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands*
- M.R. YEADON** PhD, *Department of Sports Science, Loughborough University, Ashby Road, Loughborough, LE11 3TU, UK*
- V.M. ZATSIORSKY** PhD, *Department of Kinesiology, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802, USA*
- R.F. ZERNICKE** PhD, *Faculty of Kinesiology, University of Calgary, 2500 University Drive NW, Calgary, AB, T2N 1N4, Canada*

# 作者名录 (中文)

---

- A.S. 阿鲁因 (博士), 康复基金会有限公司运动分析实验室
- R.M. 巴特利特 (博士), 谢菲尔得·哈勒姆大学运动科学研究所
- K. 巴托尼茨 (博士), 奥林匹克训练中心 (莱茵兰-普法耳次州与赫尔州)
- G.P. 布吕格曼 (博士), 德国科隆体育学院
- J.H. 查利斯 (博士), 宾夕法尼亚州立大学, 运动学系, 生物力学实验室
- A.J. 达尔迈杰 (博士), (阿姆斯特丹) 弗里耶大学人体运动科学系, 基础与临床人体运动科学学院
- J. 达佩纳 (博士), 印第安那大学运动学系, 生物力学实验室
- B. 埃利奥特 (博士), 西澳大利亚州大学人体运动与训练科学系
- R.M. 伊诺卡 (博士), 科罗拉多大学运动学与应用生理学系
- M.D. 格雷比纳 (博士), 克利夫兰临床教学基金会生物医学工程部
- W. 赫尔措格 (博士), 卡加立大学运动学系
- M. 哈伯特 (博士), 加利福尼亚大学机械与航空工程系
- G.J. 范英根·谢诺 (博士), 基础与临床人体运动科学学会, (阿姆斯特丹) 弗里耶大学人体运动科学系
- D.L. 金 (博士), 蒙大拿州立大学保健与人体发展系
- P.V. 科米 (博士), 乔瓦斯凯拉大学人体运动生物学系, 神经肌肉研究中心
- J.J. 德科宁 (博士), (阿姆斯特丹) 弗里耶大学人体运动科学系, 基础与临床人体运动科学学院
- J. 兰克 (博士), 拉脱维亚体育学院生物力学系
- P.E. 马丁 (博士), 亚利桑那州立大学训练与运动研究所
- J.L. 麦克尼特·格雷 (博士), 南加利福尼亚大学运动科学系生物力学研究实验室

- D.I. 米勒 (博士), 西安大略州大学保健科学系, 运动学学院
- C. 尼科尔 (博士), CNRS 大学运动科学系
- B.I. 普里卢茨基 (博士), 乔治亚技术学院保健与运作科学系, 人体运动研究中心
- V.A. 鲁缅采夫 (博士), 俄罗斯国家体育学院游泳系
- D.J. 桑德森 (博士), 英国哥伦比亚大学人体动力学学院
- J.G. 泽姆勒 (博士), 科罗拉多大学运动学与应用生理学系
- M.C. 西弗 (博士), 南非维瓦特斯兰大学机械工程学院
- G.A. 史密斯 (博士), 俄勒冈州立大学训练与运动系生物力学实验室
- B.R. 昂伯根 (硕士), 亚利桑那州立大学训练与运动学院
- H.E.J. 维格尔 (博士), (阿姆斯特丹) 弗里耶大学人体运动科学系, 基础与临床  
人体运动科学学院
- M. 维马维塔 (硕士), 乔瓦斯凯拉大学人体运动生物学系, 神经肌肉研究中心
- A.S. 沃洛申 (博士), 利海伊大学数学生物学与生物医学工程学院, 机械工程与  
力学系
- A.R. 沃龙佐夫 (博士), 俄罗斯国家体育学院游泳系
- W.C. 怀廷 (博士), 加利福尼亚州立大学运动学系
- K.R. 威廉斯 (博士), 加利福尼亚大学运动科学系
- L.H.V. 范德沃德 (博士), (阿姆斯特丹) 弗里耶大学人体运动科学系, 基础与临  
床人体运动科学学院
- M.R. 耶唐 (博士), 拉夫伯勒大学体育运动科学系
- V.M. 扎茨沃尔斯基 (博士), 宾夕法尼亚州立大学运动学系
- R.F. 策尼克 (博士), 卡加立大学运动学系

# 译者名录

---

## 译 审:

陆爱云 上海体育学院运动生物力学教授, 博士生导师

## 译校人员:

庞 军 上海体育学院运动生物力学教研室讲师, 硕士

陆阿明 苏州大学运动生物力学副教授, 运动生物力学专业硕士研究生, 运动人体科学博士

陆耀飞 上海体育学院运动生理学副教授, 运动人体科学博士生

潘慧炬 浙江师范大学体育学院副院长, 运动生物力学教授

文 立 上海体育学院运动人体科学博士

伍 颢 首都体育学院运动生物力学讲师, 上海体育学院人体运动科学博士



## 译审陆爱云简介

陆爱云，上海体育学院运动生物力学教授，博士生导师。1965年毕业于北京体育学院基础理论系运动医学专业，同年考上上海体育学院运动解剖学研究生，从师于著名体育教育学家、运动解剖学家张汇兰教授，后留校任教至今。其间，1989~1990年以高级访问学者身份赴日本筑波大学应用解剖学研究室研修一年。1992年为正教授，1993年为博士生导师。现任上海体育学院图书馆馆长。兼任中国体育科学学会理事，上海市解剖学会副理事长，中国体育科学学会运动生物力学分会副主任委员，上海体育总会委员。多年来一直从事运动解剖学及运动生物力学的教学、科研及研究生的培养工作。主要研究方向：体育运动对器系结构机能及力学性能影响的研究。近期发表的论文：《大鼠骨骼肌模拟急性拉伤的生物力学研究》《骨骼肌伤后训练对其收缩力及松弛特性影响的实验研究》《运动性动情周期抑制的大鼠下丘脑——垂体轴细胞超微结构的变化》等。

# 序

---

我代表国际奥委会欢迎 IOC 医学委员会丛书——运动医学百科全书第九卷的出版。

“更快、更高、更强”是我们的座右铭，这也是所有运动员渴望获得的成果。

奥林匹克运动的作用就是为这些运动员提供实现这个目标所需要的一切。

在研究正确的动作和随之而进行的训练设备与技术的改进中，在坚持采用那些能提高运动成绩并充分重视运动员健康的方法时，运动生物力学就能为这一目的作出贡献。

国际奥委会主席  
胡安·安东尼奥·萨马兰奇

在体育科学领域里，我们在运动技术的完成、器材设计、场馆建设和以生物力学原理在体育运动中的应用为基础的运动损伤预防等方面的知识，在过去的 20 年中有了很大的增长。

要积累生物力学知识和财富，就要求有一种较大的出版物，以便汇集、总结和讲解这项重要的工作。因而把生物力学添加到 IOC 医学委员会丛书——运动医学百科全书的论题中就成为必然的结果。

本书提供了运动训练中骨骼肌活动的基础知识；部分特定的章节应用于运动、跳跃与空中动作及投掷；并特别注意了运动损伤的预防、康复和残疾人奥林匹克运动会的项目。该书陈述相关知识的方法和范例能便利医生、教练和其他从事运动科学与损伤预防的专业人员的实际应用。

该书无疑会成为今后若干年的参考书与信息宝库。

国际奥委会医学委员会主席  
亚历山大·梅罗德亲王

# 前 言

---

所有运动项目的本质就是运动技术和动作熟练性的竞争。运动生物力学是关于体育运动的科学，它对体育运动的实践是至关重要的。几十年来，体育运动的各种动作一直是凭借教练员和运动员的直觉来完成与完善的。文献资料中确有证据表明，一些从事体育运动的人士在牛顿论述运动定律之前，就已经了解了运动的规律。据说，桑丘·潘沙（堂·吉珂德的侍从）在看到他那位大名鼎鼎的主人袭击风车时，就对他的主人讲了一点与牛顿的第三定律有关的话，也就是他知道风车会同样野蛮地袭击他的主人。尽管仍可能有一些人相信，凭直觉获得的生物力学知识就足以能通向成功，不过，这已经不是普遍的看法了。人们认识到有必要掌握更多的生物力学知识，我希望本书就能很好地证明这一点。

能作为“体育运动中的生物力学：运动成绩的提高与运动损伤的预防”一书的编辑，我感到非常荣幸。该书旨在成为国际奥委会医学委员会支持下编辑的系列丛书——运动医学百科全书中其他卷册的续篇。该书可供教练员、队医、感兴趣的运动员以及关注运动生物力学问题的学生们使用。

编辑本卷书是一项挑战性的任务，第一个挑战就是要确定该书的内容。运动生

物力学方面的问题可以从几个方面提出：

- 运动生物力学的一般问题（例如：肌肉生物力学、离心肌肉活动）。
- 特定的运动动作（跳高）和特定的运动项目（跳水的生物力学）。
- 人体器官（脊椎的生物力学）。
- 自然体育活动（在空中的运动员、落地的生物力学）的障碍（身体结构部分）。

每种编辑方法都有其利弊，也有局限性。例如，在夏季奥运会中，比赛项目超过 200 项。很明显无法用 200 个章节覆盖这 200 个运动项目。经过仔细考虑之后，就选定了该书的这种设计，并得到 IOC 出版顾问委员会的批准（在这里，我要特别感谢委员们的支持与有价值的建议）。

本书共分六部分：

第一部分 运动与训练中的肌肉活动：本章陈述体育运动中生物力学方面的一般问题。

第二部分 运动：在引言中介绍了所有周期性运动有关材料之后，论述了赛跑、自行车运动、游泳、越野滑雪和滑冰。

第三部分 跳跃与空中动作/运动：本章的开篇侧重探讨空中运动的生物力学，而其余几

篇讲述跳高、跳台滑雪、花样滑冰与跳水运动中的跳跃。

第四部分 投掷与击打：本章开头的两篇分别讲解投掷的基本原理和抛物体飞行路线的气动力学。所讲述的运动项目有铅球、标枪与铁饼。

第五部分 运动损伤的预防与康复：本章中的每一篇讲述的问题均与很多运动项目有关。

第六部分 伤残人奥林匹克运动会项目：本章中论述了轮椅运动项目的生物力学与截肢者的运动。

很多学者参与了该项编纂工程。本卷共有 37 位作者，具有各领域超群的专业知识。他们来自 11 个国家，包括奥地利、加拿大、芬兰、德国、荷兰、拉托维亚、俄罗斯、新加坡、南美、英国和美国。当然，在确定作者时，地理位置并没有起着重要的作用，而是他们的学识起到了重要作用。本书中的很多篇章是由著名学者编撰的，这些学者在他们研究或应用领域中已被认为是世界著名的专家。感谢本书的作者们，他们为这一工程贡献了他们的宝贵时间，我衷心感谢他们。

宾夕法尼亚州立大学运动学系教授  
弗拉基米尔 M. 扎齐奥尔斯基

## 献 辞

国际生物力学界一位杰出的同事和尊敬的朋友，G.J. 范英根. 申诺博士，在该卷印刷期间过世了。在他的学术生涯中，申诺教授从事过无数项人体运动方面的研究，发表过很多人体生物力学与运动方面的著作。他的最后一项科学研究：“速度滑冰中决定成绩的因素”就收集在本卷中。他是该文的合著者。

我们将非常怀念有申诺教授参与的那些国际科学活动。本书的作者们与我本人谨以此书献给申诺博士。

宾夕法尼亚州立大学运动学系教授  
弗拉基米尔 M. 扎齐奥尔斯基

# 目 录

---

作者名录 .....	(1)
译者名录 .....	(1)
序 .....	(1)
前言 .....	(1)
献辞 .....	(2)
<b>第一部分 运动与训练中的肌肉活动 .....</b>	<b>(1)</b>
第一章 神经系统在肌肉力量变化中的作用 .....	(3)
J.G. SEMMLER AND R.M. ENOKA	
第二章 骨骼肌的力学特性与运动成绩 .....	(22)
W. HERZOG	
第三章 肌肉-肌腱结构与运动成绩 .....	(34)
J.H. CHALLIS	
第四章 体育运动中肌肉的离心活动 .....	(56)
B.I. PRILUTSKY	
第五章 肌肉的拉长-缩短周期活动 .....	(89)
P.V. KOMI AND C. NICOL	
第六章 力量和爆发力训练的生物力学基础 .....	(106)
M.C. SIFF	
<b>第二部分 运动 .....</b>	<b>(143)</b>
第七章 影响周期性运动动作适宜频率的因素 .....	(145)
P.E. MARTIN, D.J. SANOERSON, B.R. VMBERGER	
第八章 跑的动力学 .....	(165)
K.R. Williams	
第九章 游泳中的阻力 .....	(190)
A.R. Vorontson and V.A. Rumyantsev	

第十章	游泳中的推进力 .....	(210)
	A.R. Vorontsov and V.A. Rumyantsev	
第十一章	决定速滑成绩的因素 .....	(237)
	J.J. DE KONING AND G.J. VAN INGEN SCHENAU	
第十二章	越野滑雪：技术、装置及环境因素对成绩的影响 .....	(252)
	G.A. SMITH	
<b>第三部分</b>	<b>跳跃与空中运动 .....</b>	<b>(277)</b>
第十三章	空中运动 .....	(279)
	M.R. YEADON	
第十四章	跳高 .....	(290)
	J. DAPENA	
第十五章	花样滑冰的跳跃 .....	(316)
	D.L. KING	
第十六章	跳板和跳台跳水 .....	(330)
	D.I. MILLER	
第十七章	成功的跳台滑雪技术的判定 .....	(353)
	P.V. KOMI AND M. VIRMAVIRTA	
<b>第四部分</b>	<b>投掷与击打 .....</b>	<b>(369)</b>
第十八章	投掷的原理 .....	(371)
	R. Bartlett	
第十九章	体育运动中抛射体的飞行 .....	(388)
	M. Hubbard	
第二十章	掷标枪：提高成绩的方法 .....	(408)
	K. Bartonietz	

第二十一章 推铅球 .....	( 441 )
J. Lank	
第二十二章 掷链球：问题和展望 .....	( 464 )
K. Bartonietz	
第二十三章 击打和踢 .....	( 493 )
B.C. Elliott	
<b>第五部分 运动损伤的预防与康复 .....</b>	<b>( 513 )</b>
第二十四章 肌肉骨骼损伤的机制 .....	( 515 )
R.F. Zernicke and W.C. Whiting	
第二十五章 落地过程中肌肉骨骼的载荷 .....	( 531 )
J.L. McNitt-Gray	
第二十六章 运动性脊柱损伤及其预防 .....	( 558 )
G.P. Bruggemann	
第二十七章 冲击传播及其对人体的影响 .....	( 584 )
A.S. Voloshin	
第二十八章 肌肉离心收缩性损伤初期的神经肌肉力学 .....	( 596 )
M.D. Grabiner	
<b>第六部分 特殊奥林匹克运动 .....</b>	<b>( 615 )</b>
第二十九章 人力轮椅的推动 .....	( 617 )
L.H.V. VAN DER WOUDE, H.E.J. VEEGER AND A.J. DALLMEIJER	
第三十章 截肢后的体育运动 .....	( 645 )
A.S. ARUIN	

# 第一部分

---

## 运动与训练中的肌肉活动





