

全国运动生物力学发展趋势研讨会

资 料 汇 编

中国运动生物力学学会

苏州大学体育系编印

一九八六·十

目 录

一、苏联运动生物力学发展趋势·····	(1)
二、日本运动生物力学的进展概况·····	(4)
三、从国际生物力学及运动生物力学会议论文看生物力学的现状和发展趋势 ·····	(8)
四、我国体育学院运动生物力学教学、科研现状和发展趋向·····	(15)
五、高等师范院校体育系运动生物力学教学与科研发展趋势的探讨 ·····	(20)
六、我国运动生物力学的科研现状和期望·····	(28)
七、我国运动生物力学科研的现状和发展趋势·····	(32)
八、调整思维逻辑, 增强开拓能力·····	(37)
九、运动技术的肌电图研究的新进展·····	(44)
十、运动生物力学研究的数学模型和计算机模拟方法的现状及其发展趋势 ·····	(48)
十一、运动生物力学中的力学理论研究·····	(52)
十二、运动生物力学发展趋势研讨会综述·····	(54)
十三、我国运动生物力学在“七五”期间面临的形势和任务 ·····	(59)
十四、人体环节惯性参数测试方法评述·····	(62)

苏联运动生物力学发展趋势

广州体院 袁晋纯

1981年我在“苏联运动生物力学的发展和动向”一文中对运动生物力学的发展,苏联运动生物力学的发展动向作了初步的探讨,基本上反映了1980年以前苏联运动生物力学的发展情况。

七十年代开始,苏联已将运动生物力学引向解决运动训练中的问题,使它不仅研究各项运动技术原理,同时研究发展身体运动素质的生物力学特征,为高级运动员在发展专项身体素质训练时提供科学理论依据和评价身体素质发展水平的指标和方法。这样,便开拓了运动生物力学研究的新领域,使生物力学更接近于体育运动实践,为充实运动训练学的理论作出应有的贡献。

随着科学技术日新月异的发展,苏联学者提出,要使运动生物力学科学现代化,当务之急是:

1、要使研究方法、手段现代化,充分利用现代科学技术的成就来研究人体运动过程的客观规律,如电视录象、高速摄影、三维动力分析及电子计算机模拟等技术。在这方面美国近年来有较快的发展,在应用生物力学方面处于领先的地位。

2、积极出版有关运动生物力学的科学资料,向体育教师、教练员和运动员普及运动生物力学基本知识,使更多的人重视运动生物力学的理论并积极地应用于实践,推广运动生物力学的研究成果。这方面近几年来苏联体育出版机关做了很大的努力。

从1981—1985年苏联运动生物力学发展的形势来看,他们围绕上述两个基本任务做了很多工作,取得显著的成绩。

苏联的运动生物力学发展有较长的历史。长期以来,他们都比较重视生物科学基础理论方面的研究。苏联运动生物力学的奠基人,从十九世纪末的谢琴诺夫、乌赫托姆斯基、列斯加伏特,到二十世纪的科奇科娃、依万尼斯基、伯恩斯坦、顿斯科依、科捷里尼科娃等都是从事人体解剖学和运动生理学方面的科学工作者。特别是苏联现代生物力学创始人之一伯恩斯坦,他从三十年代起领导苏联中央体育科研所的生物力学研究。他认为人体完成的所有动作都受大脑神经中枢的控制,而对动作的控制可通过两个方面的途径来实现:(1)由大脑神经中枢发出指令去指挥完成各种动作任务;(2)通过运动感觉神经的反馈作用来修正完成动作过程中的偏差。伯恩斯坦关于动作和运动行为系统结构的思想原则和运动感觉修正(信息反馈)的存在和意义,成为当代苏联运动生物力学的指导思想和研究方法的基础。伯恩斯坦从五十年代开始在苏联科学院专门从事控制论的研究,他所建立的控制论原则已被广泛的承认,使他成为苏联控制论的创始人之一。可见,应用系统论、控制论、信息论的思想原则来研究运动生物力学,在苏联已有几十年的历史。

运动生物力学发展过程中形成的所谓力学流派、机能解剖学流派和生理学流派在研究发展中是互相补充，互相促进生物力学发展的，从来就不是对立的流派。现在关于人体完成的任何动作及其运动行为的系统结构的思想原则和方法已被人们广泛的承认，生物力学发展中的三个流派便自然地统一起来了。他们从某一角度去研究人体运动，揭示某方面的规律，并不排斥其他方面各种因素的影响。在研究人体运动的计量方法中，虽然用了许多力学指标（速度、力量、功率等），但要达到最佳运动成绩，往往不是力学指标的总和（力学规律）所决定，生物体的运动最终受生物学因素的控制。

由于现代科学技术的发展，对力学规律的研究相对来说比较容易，所以过去对这方面的研究较多。现代电子技术、光学仪器、电子计算机的发展将使这方面的研究不断深化。而对人体运动的动力来源，神经肌肉生理学的研究，如肌肉动力学（能量学）的研究，运动行为的控制和反馈系统的研究，远比力学规律的研究复杂得多。可以肯定，在运动生物力学研究发展中，力学规律和机能解剖学方面的研究成果，必然会促进神经肌肉动力学方面研究的发展和深化。

目前，苏联体育科研所以拉托夫教授为首的生物力学研究室主要从事肌肉动力学方面的研究。他们将力学参数的描记与肌电图的描记同步进行，利用综合研究台同步记录完成各种动作时的运动学（运动的时间、空间特征）、动力学（动力曲线和矢量图）和各主要肌肉群电活动性的变化规律，力图揭示肌肉用力的协调顺序。为了更好地解决运动实践中的实际问题，他们把综合实验台装在专门的汽车上，使其既可以在实验室条件下进行实验，也可以在运动训练的条件下进行实验研究。

力的矢量图能反映不同时刻用力的方向和大小，结合运动的速度和加速度的变化与肌肉生物电现象进行同步分析，能进一步了解生物系统运动活动的特点。往往出现运动学、动力学和肌肉电活性的异时现象，这是生物体复杂运动的特征。运动的结果并不是各肌肉群最大用力的总和，而是各肌肉群相互协调程度的表现。因此，不适宜的多余的肌紧张是运动技术失败的主要原因。运动生物力学应详细研究在完成各种运动任务时，各肌肉群的用力顺序，并进行分类排列，以便有意识地消除不良因素的影响，使运动员能表现出自己在训练中所达到的最大运动潜力。

拉托夫20多年来从事生物力学的综合研究，积累了许多有关肌肉动力学方面的资料，他结合机能解剖学和力学规律，为发展运动员专项肌肉力量的训练，设计了各种能控制外界环境条件的综合训练器械，在训练过程中人工控制肌肉用力的协调机制，对提高运动员的训练效果取得显著的成绩。由于他在人工控制训练的理论和方法上的贡献，1977年苏联国家体委授予他优秀体育科研工作者金质奖章。

综合训练器械不仅可通过人工控制用力条件来发展各部位肌肉力量，协调肌肉用力的时间，而且可以借助电脑的功能，及时检查完成各项动作指标的情况，获得最快的信息反馈来修正完成各项动作的技术。此外，综合训练器械可以人工控制减轻负荷，对运动员伤后恢复阶段的训练及中老年人的健身练习都获得良好的效果。研究各种人工控制的综合训练器械被列为全苏体育科研所近期的运动生物力学研究方向。

莫斯科体育学院自1972年建立运动生物力学教研室以来，在扎齐奥尔斯基教授的领导下，对运动生物力学的研究同样继承了伯恩斯坦的基本思想。但他本人主要是应

用数学的方法对人体运动的各种生物力学参数和变量进行定量分析。他用同位素扫描方法来测量人体的质量分布，建立了分析人体重心的二元回归方程。特别他对身体运动素质的生物力学研究，把生物力学从研究运动技术原理扩展到研究运动训练问题，并对运动战术的生物力学观点进行了初步的探讨。扎齐奥尔斯基对推动运动生物力学的发展作出了杰出的贡献，在国际上享有声誉。1981年以来，他主编出版了一套运动生物力学丛书，到目前为止，据我所知已出版了五本。

第一本是《运动器官的生物力学》（1981年），它收集了许多有关机能解剖学方面的资料，系统地论述了关节和关节韧带的生物力学，人体质量分布的几何学，肌肉的生物力学特征及有关人体测量学的资料。

第二本是《游泳的生物力学》，该书全是介绍国外的有关资料。

第三本是《推铅球的生物力学》（1982年），它主要论述推铅球动作的运动学和动力学的基本问题。为使铅球获得最大的飞行速度，根据运动员各环节的运动及其相互作用的特点，分析了保证达到最佳成绩的动作机制，介绍推铅球的现代技术和评价铅球运动员技术训练水平的方法。

第四本是《耐力的生物力学基础》（1982年），它总结了国内外的现有资料及作者对耐力性项目进行生物力学研究的成果。主要内容包括：人体动力计量学基础（研究人体工作能力指标之间的相互关系）；耐力性项目的运动学特征；人体运动中周围介质的阻力；位移运动中的机械功和能量；能量学的生物力学观点；外呼吸的生物力学特征等。该书的内容比较丰富，对身体运动素质的生物力学研究具有一定的理论价值。

第五本是《运动战术的生物学观点》（1984年），运动战术主要是教育学家（教练员、教师）和心理学家研究的问题，现在把它引入运动生物力学的研究领域。初看起来，会使人感到新鲜和有些不可思议。作者收集了不少周期性运动中有关生物力学观点的资料，力求开拓生物力学研究的新领域，但这仅是一种初步尝试，还不能定为生物力学发展的一个方向。该书的主编扎齐奥尔斯基认为，在论证运动战术方面，对生物力学的作用，既不能过高也不能过低的估计。

此外，仅1983—1985年间，苏联《体育理论与实践》杂志发表了有关体操、田径、游泳、滑雪、滑冰、拳击、摔跤、划船、篮球等生物力学研究的论文约30篇，并准备继续出版生物力学丛书。可见在普及生物力学知识方面，他们做了大量工作。

列宁格勒体育学院运动生物力学的教学和科研工作具有悠久的历史，早在三十年代就开始讲授运动生物力学课程，并于1939年编写了第一本运动生物力学教材。

苏联于1958年在体育学院恢复运动生物力学课程后，列宁格勒体院于1963年底建立了苏联第一个运动生物力学教研室及其下属的教学实验室。当时生物力学教研室讲授的课程有高等数学、理论力学和电子学等方面的基础知识，还有摄影学基础、统计学基础和生物测量学基础等课程。后来全国体院规定的必修课程有运动生物力学、运动测量学和统计学基础理论。

列宁格勒体院非常重视教学实验室的建设，配有专门的工程师制作实验仪器和直观教具。他们认为，在体育教学科研中，摄影技术已被广泛应用，从微型摄影的底片来测

量运动学参数,是大学生科研工作中必须掌握的操作技能。使用电阻应变测力台描记蹬地动作的力学机制,测量关节角度和脉冲频闪照相,电子计时等也都是大学生进行科研工作的基本技能。教学实验室应具备这些方面的设备。目前运动测量学和科研方法讲座也由生物力学教研室负责讲授,通过这些课程的教学和讲座,使大学生掌握科研工作的基本操作技能,提高他们对进行体育科研工作的必要性的认识。

从上述体育最高学府和科研机构近期运动生物力学的教学和科研工作,可以了解到苏联运动生物力学发展的趋势。

以上情况仅是从一些图书资料中收集到的信息,可能很不全面,仅供同志们讨论我国运动生物力学发展规划时参考。

日本运动生物力学的进展概况

北京体育师范学院 秦正光

1985年6月15日——6月20日在瑞典乌墨奥召开的第十届国际生物力学学术会议,从大会宣读的220篇论文(不包括张贴发表的70篇论文),所归纳的十五个主题中,可以明显地看出:运动生物力学在广义的生物力学领域中仍占有较大的比重。可以认为随着生物力学在近代发展中,不断扩大其研究领域,渗入到各相关学科,但与体育实践密切结合,促进运动竞技和训练水平提高,诸如竞技体育动作的技术诊断和运动生物力学分析,有关人体运动的模型和模拟及对运动技术分析的研究方法论和手段等领域,比较而言进展的就更为突出。

下表中所示,▲代表运动生物力学的主题论文相加共约102篇,占总论文数的46%。

1985年第十届国际生物力学学术会议宣读论文主题和数目

论 文 主 题	数 目	偏重于哪类学科
▲不同项目运动动作的 运动生物力学分析	37	运动生物力学
▲运动技术分析的生物 力学研究方法	23	同 上
动作中人体肌电	18	运动解剖学
▲步 态	17	运动生物力学
肌肉力学	16	生理学及生物物理
▲跑的生物力学	13	运动生物力学

脊柱的生物力学	13	运动医学、航天医学
劳动作业体姿的生物力学	13	劳动生物力学
▲人体模型和模拟	12	运动生物力学
康复生物力学	13	康复医学
肌肉训练和控制	12	训练学
矫型生物力学	12	整形学
器官组织和材料	11	生物材料力学
跑鞋的生物力学	6	器材生物力学
人体发育	6 (共 计 220篇)	体质学

历届国际生物力学学术会议，所发表论文的主题和数目，可以从一个侧面（当然不是绝对的），反映着一个国家在该学科进展的状况和水平。

日本在第十届国际生物力学学术会议上，宣读和张贴发表了四十篇论文，约占总数300篇的13%，其中涉及了十三个主题，这表明其研究领域的广泛性和深度是具有一定实力和水平。

日本运动生物力学总的进展概况，可以大体分为五十至八十四年代。战后五十年代该学科的发展受欧美的影响较深，但也有其独立的特点。

从文献看，日本战后形成较为系统构成一定学科体系的成书“身体运动学”是由专攻宇宙物理学的高木和日本文部省视学官宫畑于1957年共同编著的。其内容为人体运动器官（解剖学）；人体运动的生理学；人体运动的力学；各种体育动作的分析共四个部分。书中较多的引用了美国学者Scott著 Analysis of Human Motion（身体运动力学）的资料。

1957年从事理工科教学的小野胜次，编写了“田径竞技技术的力学”，从力学原理对各项动作进行了纯理论性的探讨和分析。

东京大学专攻生理学的福田邦三教授的学生松井秀治于1958年发表了其研究成果“运动人体的重心”一书，总结前人从尸体计测重心的方法后，提出了用建立活体几何模型的方法，通过四男五女共9个实例，对日本人体重心进行实测，得出了计测活体重心的有关参数，特别是对各种运动姿势人体重心进行了实测，这些有益的数据直到目前仍是日本生物力学界，对动作进行分析模拟计算的基本参数。

六十年代初，日本金泽大学体育科讲师，专攻电工学的星野春雄发表了专著“实验体育物理学序说”，他通过实验并提供手段，对运动中人体所受阻力；下肢伸膝功率；跑跳投等抛物体运动规律，以及通过实验验证希尔肌肉力—速方程，并对不同体姿进行人体转动惯量的实测，发表了有关数据。

1967年由高木、宫畑合著的“身体运动学”再版，加入了京都大学医学博士熊本水赖多年对人体运动时肌电图的研究成果。使学科体系加进了“肌电图在身体运动学

中的应用”一章。使运动生物力学的学科体系发展到用活体机电变化简明肌肉工作的规律。

1969年专攻工程力学的东京大学教授涉川侃二（现任名古屋体育大学教授），发表了专著“运动力学”其内容包括运动学；力学的基础；身体运动的力学三个部分，较系统全面介绍了运动生物力学所包括的基础力学理论部分，书中特别结合其本人多年的研究成果，对希尔方程结合肌肉收缩力学和宏观运动员起跳动作的实测数据，进行了探讨。从实测和理论分析了垂直跳的伸膝功率，跑、跳、投等动作的力学特性和模型、为使对人体运动的生物力学研究渗入到热力学领域作了一定贡献。

1967年国际生物力学学会正式成立，并决定每两年召开一次国际学术会议。日本派代表参加了大会。但在当时日本作为全国性的学术组织的名称是“日本身体运动学研究学会”。进入七十年代，由于国际生物力学学会成立后，频繁地举行国际性和地区性的学术交流，对日本运动生物力学界，学科的发展，研究领域的广泛和深入开展都起了极大的推动作用。这一时期的研究成果反映在以日本身体运动学学会名下，组织出版的全国性学术会议论文集。总名为“身体运动的科学”共有三集，1972年论文集的主题是“人体的功率”，1974年论文集主题是“身体运动的技巧”，1976年论文集主题是“运动的控制”。

1978年3月召开的日本第四届身体运动学学术会议中决定更改组织各称。正式命名为“日本运动生物力学学会”，当时有会员300名。会后正式用日本运动生物力学学会的名下，出版了论文集《运动生物力学》。

从该论文集，所整理发表的32篇论文内容是：

跑、跳、投技术的生物力学分析	5篇
网球、乒乓球、排球、兰球等技术的生物力学分析	7篇
对棒球手王贞治技术的研究分析	5篇
滑雪、（空中飞跃）、滑冰、游泳技术的研究分析	5篇
体操、举重技术的研究分析	5篇
研究方法（摄影测量，速度测量、速度测量仪、数据平滑技术）	5篇

这一时期具有代表性的成书有松井秀治1974年出版的“身体运动学入门”，从体系内容提出了身体运动的热力学部分。1976年松井的学生，浅见俊雄，小林宽道出版的“身体运动学概论”突出地总结了日本生物力学界研究方法学方面的成果。1977年大阪体育大学金子公有教授等人出版了“スポーツとパワー”（运动和功率），发表了有关人体运动时肌肉作功，功率和动作效率的研究成果。直接为运动训练提供理论依据，是属于从热力学角度探索人体运动规律的内容。

进入80年代，由日本生物力学学会主编的第五届学术会议论文集，定名为“运动生物力学的展望”提出了五个研究发展重点。

1、人体的形态与机能是密切相关地，应作为重点的研究方向。

2、应加强运动生物力学与生理学，生物化学等基础理论学科的密切联系，共同探索生物体的基础特征和规律。

3、应加强用古典力学理论,能量论和控制论的观点,对人体的运动进行研究和分析。

4、运动生物力学应加强对成长、发育、发达营养及年龄条件变化过程中,身体运动规律的研究。

5、应加速方法学的研究及仪器设备手段的开发。

八十年代日本生物力学发展的特点,其一是将运动生物力学界所取得的研究成果,迅速向实践体育普及推广和运用。为此1985年金子公宥专门为体育教师、教练员编写了一本“运动生物力学入门”书,作为普及教科书把很多重要的原理用图解的方式表达,通俗易懂。

其二是注意高水平研究人员科研队伍的培养。已建立了培养高级研究人员的层次和体制,如东京都立大学设立了运动生物力学研究室,大阪体育大学运动生物力学研究室和名古屋体育大学运动生物力学研究室,分别发挥优势培养素质结构不同的运动生物力学研究人员,例如东京都立大学运动生物力学研究室付教授永日彥,1980出版的“身体运动工学”,代表了用工程控制论的观点,简明人体运动的规律,使运动生物力学向更高的综合研究方向过渡。

第三是对已取得成果的其他学科推广。

1981年岛村宗夫将运动生物力学的研究分析方法应用于对病患者的治疗上,他应用对正常人体运动分析的特征和材料,对照病患者的特异性出版了“~~身体~~运动的解析——基础和临床应用”一书,为伤残患者治疗取得明显的效果。

纵观日本运动生物力学的发展概况,有些特点,我们可以引为借鉴。

- 1、要广泛吸收不同学科的专业工作者,共同协力,开展研究工作。
- 2、应加强基础研究的同时,注重解决实践体育竞技水平提高研究课题的比重。
- 3、注意我国运动生物力学界老、中、青梯队的培养。
- 4、注意本专业先进科学理论知识的普及工作和实践中的应用推广工作。
- 5、大力开展国内和国际性学术交流,沟通信息。
- 6、应重视运动生物力学仪器设备手段的开发和研究,给予必要的投资。

参 考 文 献

- | | | | |
|------------------|-----------------------|--------|------------|
| 1、身体运动学
(第2版) | 宫畑虎彦
高木公三郎
熊本水赖 | 学芸出版社刊 | 昭和46年7月20日 |
| 2、陆上竞技的力学 | 小野胜次 | 同文书院 | 1957年 |
| 3、运动と身体の重心 | 松井秀治 | 体育の科学社 | 昭和3年11月15日 |
| 4、实验体育物理学 | 星野春雄 | 不昧堂书店 | 昭和36年4月15日 |
| 5、运动力学 | 涉川侃二 | 大修馆书店 | 昭和45年2月11日 |
| 6、“身体运动学入门” | 松井秀治 | 杏林书院 | 1974年 |
| 7、身体运动学概论 | 浅见俊雄
小林宽道 | 体育の科学社 | 1946 |

- 8 •

表 1

内 容	第九届论文分支		第四届论文分支	
	数 量	百分比%	数 量	百分比%
1.运动生物力学	40	17.4	28	33.7
2.步态	34	14.8	4	4.8
3.肌肉力学	24	10.4	7	8.4
4.测量和处理	22	9.6	12	14.5
5.运动防护装备	21	9.1		
6.骨、关节、韧带的生物力学	19	8.3		
7.人类工程学和职业生物力学	18	7.8		
8.神经肌肉控制	14	6.1		
9.肌 电	13	5.7	7	8.4
10.跑的生物力学	9	3.9	4	4.8
11.脊柱生物力学	9	3.9		
12.康复, 矫形	6	2.6	9	10.8
13.合作生物力学	1	0.4	6(其它)	

二、人们的最大注意力是集中在运动生物力学。

各届国际生物力学会议中, 运动生物力学的论文数量最多。从上面表中也可以看到这一点。我在1983年参加第九届生物力学讨论会时, 明显地感觉到了这一点。在会议的第4天和第5天是运动生物力学论文报告。这两天会场上的人骤增, 会上讨论十分活跃。

1984年奥林匹克科学大会上, 生物力学论文共69篇, 其中运动生物力学论文占56%。1984年在美国科罗拉多州斯普林市召开的第二届国际运动生物力学会议上, 只有一篇是研究方法的论文外, 其余26篇都是运动生物力学方面的论文。

国际运动生物力学协会的成立及两次大会的顺利召开, 在客观上正是适应了这种需要。运动生物力学作为生物力学的一个分支, 首先独立成立了国际协会, 並召开了两届国际讨论会。

三、步态的研究发展迅速。

步态作为人类的最基本活动, 它的迅速发展是完全符合逻辑的。特别是在康复、矫形及人类工程学中, 步态的研究成果容易产生显著的经济效益和社会效益, 因而刺激了这一分支的发展十分迅速。这对维持和发展一个非国家资助的生物力学实验室是十分重要的开发领域。

第四届讨论会上, 步态论文共四篇, 占4.8%, 第五届时, 增至8篇, 归属在肌电类分支名下, 第四届归属到人类基本运动分支下, 10年后的第九届讨论会时, 步态已发展成生物力学学科的第二大分支, 论文34篇, 占14.8%。与此同时, 已召开了相应的步态专门会议。

我举一个例子说明一下步态研究的水平。在第九届国际生物力学大会的开幕式后，唯一的大会报告论文是捷克的斯坦尼克博士，论文题目是“电刺激在残疾人康复中的作用”，他用放电影和幻灯的方法讲解了他们实验室多年从事这一研究的情况，有10几名残疾人需用拐杖行走才行，经治疗后可独立行走，有的看不出和正常人之间的差别。他使用的是典型的生物力学方法，为了定量分析电刺激对人体的步态影响，测定了最重要的步态参数，如电测角度，地面反作用力，肌电图等。把这些参数和观察诊断结果进行综合分析，使用计算机进行数据处理，找出肌肉的最佳刺激及时间。通过6通道对残疾人病腿进行计算机控制下的电刺激，以实现矫正病态步态的目的。他的这一闭环控制（带有反馈环节）系统的实验十分成功，给人留下了深刻的印象。这在生物力学理论和实践上都具有重要意义。它代表了步态、康复及计算机应用几个方面的发展水平，因此可看做是当今生物力学发展水平的一个标志。

步态的研究今后还会有很大发展。由于正常人和非正常人步态的研究推动了竞走的生物力学研究，相对而言竞走的研究比其它大部分竞技项目的研究更深入一些，当然这和测试条件容易设置也有关系。

四、跑的运动生物力学已成为运动生物力学的时代标志。

第九届国际生物力学讨论会中以跑为对象的论文21篇，占总数的9.1%，跑已列入独立的分支。著名的女生物力学专家米勒博士在1984年于美国召开的第二届国际运动生物力学大会上，做了中心发言，题目是“运动生物力学的时代标志”，她明确指出，跑的生物力学可以做为运动生物力学研究的晴雨表。在生物力学的历史中，跑的研究历史最长久，研究跑的人很多，其中还包括了很多非生物力学专业的人员也都参予了跑的研究。在这一领域里几乎应用了生物力学各种仪器和方法。所涉及的课题从纯理论到各种应用问题，牵扯的领域广泛。跑的生物力学研究中还成功地吸收了教育学、商业、工业、医学及其它学科中的成果，它是运动生物力学的一个缩影。近年世界各国的长跑热及防癌、防心脏病的研究强烈地刺激了跑的生物力学研究迅速发展。

米勒列出了1977年以来发表的跑的生物力学研究成果的情况，很明显地可以看到，跑的生物力学研究对象已包含了各种情况人的跑，例如：男、女、老、少，非正常人的跑步，慢跑的爱好者，长跑爱好者，优秀运动员及马拉松运动员。研究条件包括了各种可能的环境，如：平地跑、固定跑道上跑、固定速度跑，比赛时测试，练习时测试，疲劳时跑的研究，加速跑、斜坡跑、曲线跑、越野跑，实验室内测试等，无所不有，使用的仪器和方法包括有：三维分析，摄影，录像，肌电，压力传感器，测力台，固定跑道，气体分析仪和计算机模拟。数据处理和分析几乎也包括了生物力学的主要内容，如：跑的各阶段时间特征，每步的特性，关节运动学，功—能—功率，效率，地面三维支撑反作用力，肌肉活动及合力矩等。

为了跑鞋设计和预防损伤，在跑的生物力学中，人们对地面—鞋—脚之间的关系做了大量研究。使用了三维测力台，各种特制的跑鞋内压力传感器，正面及侧面同步摄影。现已搞清楚跑时着地点位置和跑速有直接关系，Nett把100—200米短跑时用前脚掌着地的技术叫做“主动放脚”或叫做“动态放脚”，400米跑时着地点从前脚掌向脚跟方向移动，800米跑时为全脚掌着地，1500米以上跑时是在脚跟稍前一点处着地，叫

做“被动放脚”或叫“静止放脚”。至于同一个人以不同速度跑时着地方式是否应变化？Hamill等人通过研究发现某些人在不同跑速时都保持同样地着地方式。人们还深入的研究了着地时脚的复杂运动，包括有背屈、跖屈，旋内，旋外，内收和外展。从着地开始到脚尖离地有一个复杂的变化过程。首先是外旋着地，然后跟骨通过中间位置从旋外向旋内过渡，旋内或旋外是通过跟骨相对于小腿纵轴的角度来测定的。当膝关节达到最大屈曲时，大约在进入着地的30—45%阶段时，足的旋内达到最大值，然后紧接着踝关节达到最大背屈，这相当于在50%的支撑阶段，然后是跟骨再一次通过中间位置从旋内向旋外过渡。

从旋外向旋内可以延长脚着地的时间，因此起着缓冲作用，同时防止着地点的应力集中。跑速愈高也就愈要更大的缓冲作用，以便吸收掉有害的冲击。这里面有一个如何恰当的完成旋内的问题，适当的旋内是必要的，但过量会引起损伤，于是人们提出了“可控旋内比率”问题。鞋跟高度，脚跟外倾程度和鞋底中间部分的硬度都对后脚的控制有影响。通过周密的实验设计和仔细的研究，表明：鞋底中间软，后跟倾斜程度大时旋内最大。鞋底中间部分硬时，后跟倾斜为30°时，旋内最小。

可以推理，跑得愈快由于着地时旋外程度大，可提高足弓高度，因此也可以使随后的旋内肌群的工作距离增加，有助于提高蹬地力量。

上述的情况，不难看到，这些成果对运动技术，跑鞋设计及预防损伤都是必要的基础研究。宾州州立大学的卡瓦纳教授对跑和跑鞋做了大量研究，其成果很引人注目。他正在设法更好地改进研究手段，对运动技术，跑鞋设计，防止损伤的综合性研究。

有理由推测，跑的生物力学在未来的研究中有广阔的发展前景，从全身的宏观运动到脚—鞋—地面的微观研究将会不断出现有价值的成果。

五、游泳推进力的研究有较大进展。

近年来施莱霍夫关于游泳推进力的研究取得较大进展，他把流体实验室内测定的手和前臂的升阻系数数据和水下立体摄影的数据结合起来，提出了诊断划手技术的四项主要指标，并提出了提高臂力量训练效率的方法。四项指标是：

1、划水路线角。手质心切线方向与身体运动方向之间的夹角称为划水路线角。其计算公式为：

$$P_A = \left[\left(\frac{P_{A1} + P_{A2} + P_{A3}}{3} \right)_{右} + \left(\frac{P_{A1} + P_{A2} + P_{A3}}{3} \right)_{左} \right] \div 2$$

P_A 是左手和右手在三次最快推手速率下的划水路线角的平均值。 P_A 值愈大，升力占的比重愈大。在他测定的25名美国优秀游泳运动员时， $P_A = 63.1^\circ \pm 6.8^\circ$ 。

2、平均的力峰值指数（一次划臂）。手在一次划臂中力的大小和方向均在变化。手最大力峰值与平均值之比，然后取两手的平均值就叫平均的力峰值指数。计算公式为：

$$PFI = \left[\left(\frac{P_{max}}{P_{平均}} \right)_{右} + \left(\frac{P_{max}}{P_{平均}} \right)_{左} \right] \div 2$$

他测定结果为 $PFI = 2.37 \pm 0.32$ 。这就是说最大力与平均力之比约为2.4。

3、手推进力分布指数。左右两手三次最大值出现时间的平均时间占总划水时间的百分比。计算公式为：

$$PFD = \left[\left(\frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} + t_r \right)_{右} + \left(\frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} + t_r \right)_{左} \right] \div 2$$

他测定的25名美国优秀运动员的数据为：

$$PFD = 0.78 \pm 0.08。$$

这就是说，最大的推进力发生在总划水的2/3阶段。

4、摇橹指数。左右两手在三次最大值时升阻比的平均值，计算公式为：

$$SI = \left[\left(\frac{(L/D)_1 + (L/D)_2 + (L/D)_3}{3} \right)_{右} + \left(\frac{(L/D)_1 + (L/D)_2 + (L/D)_3}{3} \right)_{左} \right] \div 2$$

他测定的25名优秀运动员数据为：

$$SI = 1.0 \pm 0.19$$

这就是说，从总体上说划水推进力中，升力和阻力所产生的推进力各占一半。

施莱霍夫测定的臂各部分的有效推进力中，手的推进力为4.9公斤，约占总推进力的2/3，前臂的有效推力为2.5公斤，约占总划水推进力的1/3。

他还将在未来的研究中确定出反冲力及臂各环节间的有效相互作用力。也许有希望，不久的将来在游泳生物力学分析中会有所突破。

六、标枪的计算机模拟研究有新的进展。

美国加里福尼亚大学工程力学系M. 哈伯德博士使用了新的数学模型对投标枪的轨迹做了新的计算机模拟。他首先分析了标枪、铁饼和铅球三者受空气动力学因素影响的程度，用“空气动力学特性系数”进行了比较，公式为：

$$\frac{F_{\text{空气动力}}}{F_{\text{重力}}} = \left(\frac{\rho}{2} \right) \left(\frac{V^2}{g} \right) A \left(\frac{1}{m} \right) C_D$$

式中， $F_{\text{空气动力}}$ ——空气动力学方面的力

$F_{\text{重}}$ ——器械重量

ρ ——空气密度

V ——标枪速度

A ——最大投射截面

M ——质量

C_D ——以形状阻力为主的阻力系数。

哈伯德测定的“空气动力学特性系数”标枪4.49，铁饼0.68，铅球0.0072。也就是说，标枪受空气动力学因素的影响比铁饼大五倍，铁饼约为铅球的100倍。相对而言，铅球的飞行轨迹可以建立一个较精确些的纯抛物线模型，而为标枪和铁饼建立任何一种模型时，就一定要包括空气动力学方面的各种力。标枪和铁饼具有对称的形状，空气动力

力学的力与相对风速大小成函数关系，也是器械与相对风速方向夹角的函数。因此应把初始的夹角和飞行中的旋转情况考虑进去。

1975年宋载镇博士曾用计算机模拟的方法计算了标枪飞行中的空气动力学方面的情况、飞行远度，入地角和飞行时间。哈伯德发现宋载镇的研究使用的理论计算出的空气动力学力和力矩与实测相差较大，初始条件也有问题。哈伯德把五个初始条件引入计算机模拟中，它们是：

- 1、 V_0 ——标枪质心出手时速度，
- 2、 Z_0 ——出手时标枪质心的高度。
- 3、 ϕ_0 ——标枪质心速度矢量与水平线之间夹角。
- 4、 α_0 ——迎角也就是标纵枪轴和速度矢量之间的夹角。
- 5、 ω_0 ——最后出手时标枪的角速度（绕通过质心横轴）。

这五个出手条件决定着标枪的轨迹和飞行远度。运动员助跑速度 V_r 和掷标枪用力产生的枪速 V_t 之合速度构成了标枪的出手初速度 V_0 ，如果 V_0 和标枪纵轴之间夹角为零时，标枪就不产生绕自身横轴的摆动。这就是所谓的沿标枪纵轴用力的情况。这五个初始条件中，标枪出手速度 V_0 愈大愈好，出手时标枪质心愈高愈好，但其它三个参数 ϕ_0 、 α_0 和 ω_0 并不是愈大愈好，有最佳值。把这三个参数中的任一个固定，计算另两个参数之间的关系，并绘成远度的等高线图，根据这些等高线图可以方便的确定达到最大远度时的最佳出手条件，如 $\phi_0^* = 31^\circ$ ， $\alpha_0^* = 6.8^\circ$ ， $\omega_0^* = -10.4^\circ$ 时，标枪可达

114.8米的远度。进一步研究发现标枪的初始绕横轴角速度 ω_0 的数值很小，约在 $6^\circ/\text{秒}$ 左右，但它的微小变化对投枪远度产生很大影响，这要求运动员要进行精确地控制才能实现最佳出手条件。这一研究成果已可以为运动实践服务。

七、人体环节质量，环节质心及转动惯量参数的研究也有新的进展。

扎切奥尔斯基的斯尔扬诺夫在200名健康男青年身上，用放射性同位素（ r 射线扫描）测定了活体的质量和转动惯量，然后用实验对象的身高、体重为参数建立了回归方程。在此研究的基础上，他们又提出了“最佳预测回归方程”的方法来确定质量和转动惯量。在每个实验对象身上取出67个人体测量指标，计算89个各种参数，这些参数与相应的质量和转动惯量之间存在很高的复相关关系，因此可以认为是“最佳预测”方法。其回归方程为：

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n$$

其中的回归系数对每个环节来说是不一样的，例如对脚来说 X_1 表示脚长， B_1 是 X_1 项的系数， X_2 为脚宽， X_3 为脚脂肪重。

人体参数模型的精度直接关系到生物力学数据的精度，因此它是生物力学基础研究，今后仍然是一个重要的研究领域。

八、运动生物力学的研究方法向快速综合信息反馈的方向发展。

1983年前后，高速录像研制成功，它给运动生物力学以及提高训练效果提供了良好手段。过去长时间一直没有解决分辨率低和拍摄速度低造成图象模糊的问题。

现在的高速录像系统在三个方面取得了较大进展。

1、具有运动分析功能的商用彩色录象机。可有停格，慢放、倒放，快寻找及数字定位功能。具有数字时间编码功能，可使几架摄象机在远距离进行准确同步拍摄。

2、高速摄象机。采用电子机械快门的摄象机快门速度可达1/500秒到1/10000秒，于是解决了图象模糊的问题。同时因为使用了低照明下的图象接收装置，可在高速拍摄时不必使用强照明设备，这就更适用于运动竞赛现场使用。不加强照明的场合下，高速摄影机往往需要很高的底片感光度。高速录象相当于使用ASA 2000的感光度。经过改革可把NTSC制的每秒钟60个画面提高到306个画面。

不仅可以几架摄象机准确同步地从不同角度拍摄，而且可以在屏幕上同时在几个区域内显示几个画面，也可以几个不同画面重叠在一起进行显示。

8、高速录象系统和计算机联机进行实时图象分析。

由于和微电脑联机进行实时图象分析，使原来图象分析的概念完全更新了。放在微电脑内的图象数字化板可把屏幕上显示出的录象画面按像素逐个数字化。对每个像素的位置和灰度数字化以后可立即送入计算机内存存储器存储，然后送入外存储器储存（永久）。这种设备可以通过软件手段对身体特殊点进行图象自动识别，从而可在动态情况下进行图象数字化处理。

通过各种传感器测得的力学参数，经模/数转换以后均可送入录象机内永久地记录在录象带中，因此可达到各种力学测试参数和图象信息的准确同步。各种数字量可存在录象带的两个声道上，也可以存在电视信号中的垂直扫描回扫的间隔中。目前图象数字化板的分辨率可做到 1024×1024 个像素。北京体育学院使用的分辨率为 512×512 个像素（简易系统）。未来随着图象数字化板分辨率的提高将会大大地提高图象分析的精度，在运动生物力学图象自动分析这一领域将会有迅速的进展。

高速录象系统是实现多种信息快速综合反馈的理想设备，从1983年开始应用于运动生物力学研究，已引起人们极大兴趣，今后这方面的应用研究将会丰富运动生物力学的内容，並促进理论与实践的结合。

九、生物力学的仪器和方法始终是推动学科发展的主要因素。

生物力学的主要仪器是摄影机、测力台、计算机，高速录象是刚刚兴起的工具，还没有普及。生物力学的分析方法是三维分析、模拟、数据平滑、实时数据采集。生物力学信息处理后的输出方法主要是各种曲线图，计算机绘制线条图及动画，矢量图。

历届国际生物力学会议中，仪器和方法一直是一个重要的分支。每一种有价值的仪器和方法的出现都推动了生物力学本身的发展。例如三维测力台的出现大大推动了生物力学动力学研究。60年代末期计算机的使用及很快实现了的实时数据采集的应用更新了整个生物力学的面貌。低通数字滤波法和三次样条函数在数据处理中的应用，提高了生物力学数据的精度，由于获取的加速度参数可靠性提高，使模拟计算效果得以改进。三维摄影的数据处理方法的改进提高了生物力学数据的精度和价值，特别是直接线性转换（DLT）法的研究成果，简化了立体摄影的数据采集，已很快普及推广，现在已成功地应用到集体对抗性比赛项目的技术战术生物力学分析，使战术的生物力学定量分析成为可能。开辟了生物力学分析的一个新的领域。

近两年出现的带有微电脑的高速摄影机，高速录象机，由于它们可以实现多种信息

的准确同步,可使今后生物力学采集的信息,更全面而准确。特别是高速录象系统具有快速反馈的优点,随着精度的改进和普及使用,将会使生物力学在改进运动技术的实践上发挥出显著作用。

跑的研究也是借助于新仪器和方法的应用而不断深化。例如,宾州州立大学的卡瓦纳教授为主制做的压力传感鞋垫和压力中心测试垫两个手段,使他看到了别人看不到的深度。压力传感器鞋垫是把压电晶体传感器以陈列形式嵌入硅橡胶内制成的。每只鞋垫内含有499个压电晶体传感器,相当于每支脚对压力的分辨率为499,通过模/数转换和微电脑联机,进行实时数据采集,以100千赫的频率进行扫描采样,相当于每秒钟采200个全脚受力的画面,这些数据可立即送入微电脑存储。以后可随时做进一步的数据处理。

着地时压力的分布是专门的测力垫来实现的。用一个 $15\text{cm} \times 35\text{cm}$ 大小的橡胶垫,内含 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的压电晶体压力传感器1000个,它们排成阵列并编成号,以便用微电脑识别各瞬间所有压力传感器的受力大小。测试时把它放在三维测力台上面,以实现和测力台同步测定。使用微电脑(例如苹果Ⅱ型机)控制,以123千赫的采样频率进行数据采集。以后用一个专用的高分辨率图形显示计算机(Megatek 7000),绘出脚底压力分布在各瞬间的立体图。这个立体图还可在电脑的屏幕上旋转,以便从不同角度下进行观察。

这套研究方法正在应用之中,已发表若干论文,显示出它在人们对跑的探索中的重要作用。

总的来看,生物力学已具备了较好的仪器和方法,从各个分支都已取得一定成果。今后应在每个分支深入研究的基础上,继续寻找更有效的途径,把知识综合起来为实践服务。

我国体育学院运动生物力学教学、科研现状和发展趋向

北京体育学院 苏 品

党的十一届三中全会带来了科学的春天。1980年底成立了中国体育科学学会运动生物力学学会,以学会为中心,组织运动生物力学工作者,开展教学和科学研究方面的技术交流。为了提高运动生物力学的教学水平,曾于1983年、1984年在天津体育学院先后召开了运动生物力学实验课大纲讨论会和运动生物力学教学内容、方法讨论会。通过举办短期集训、专题讲座、听来访专家讲学以及脱产进修等办法,提高专业人员的业务技术水平。收到了一定的效果。运动生物力学定为体育专业生的必修课以