

运动生物力学

论文选



人民体育出版社

运动生物力学论文选

中国运动生物力学学会编

人民体育出版社

运 动 生 物 力 学 论 文 选

中国运动生物力学学会编

人民体育出版社出版

大兴张各庄印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 32开本 $11\frac{4}{32}$ 印张 170千字 插页2

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数: 1—1,500册

*

ISBN 7-5009-0086-4/G·78 定价: 7.30元

目 录

第一篇	百米技术——缓冲与后蹬·····	(1)
第二篇	吴数德创128公斤抓举世界纪录的技 术分析·····	(13)
第三篇	朱建华跳高技术分析·····	(23)
第四篇	人体有限块刚体模型的动力学计算·····	(36)
第五篇	举重技术的生物力学特征·····	(49)
第六篇	撑竿跳高技术的生物力学分析·····	(61)
第七篇	YDT—6461型六分量压电晶体生物 力学测力平台的研制与应用·····	(71)
第八篇	一个非线性的拟合方法及其在运动生 物力学影片数据平滑中的应用·····	(95)
第九篇	不同数据平滑方法的研究·····	(101)
第十篇	试论游泳的阻力成分·····	(107)
第十一篇	不同年龄男子短跑运动员百米跑速 度的规律与特点·····	(124)
第十二篇	短跑单步内力矩计算·····	(132)
第十三篇	试论蹬地力量与跑速和跳跃高度的 关系·····	(141)
第十四篇	应用生物力学原理研究射击运动立 姿技术·····	(151)
第十五篇	撑竿跳高的能量计算与分析·····	(161)

第十六篇	人体原地垂直起跳的力学模型探讨·····	(174)
第十七篇	国外五种人体惯性参数的实测研究·····	(185)
第十八篇	扫描摄影测量在体育科研中的应用·····	(203)
第十九篇	朱建华破世界跳高纪录的技术特点 初析·····	(213)
第二十篇	短跑诸因素间关系的初步分析·····	(225)
第二十一篇	抓举运动的模型和生物力学分析·····	(237)
第二十二篇	速度记录仪的原理及其描记方法·····	(250)
第二十三篇	跳深练习的运动学分析·····	(257)
第二十四篇	对纵跳运动规律的初步探讨·····	(267)
第二十五篇	徐永久、阎红、关平、李素杰五 公里场地竞走技术分析·····	(290)
第二十六篇	廖继光上挺动作的成败对比及半 蹲式接铃技术要领的研究·····	(302)
第二十七篇	吊环大回环摆动问题的研究·····	(311)
第二十八篇	中国男女短跑优秀运动员百米跑 成绩进展与速度、步频、步幅 追踪分析·····	(322)
第二十九篇	体操落地技术及其训练问题初探·····	(333)
第三十篇	短跑下地动作的生物力学分析·····	(344)

第一篇 百米技术——缓冲与后蹬

一、序 言

短跑是各项体育运动的基础。近年来，世界体育运动水平不断提高，1983年美国的史密斯以9"93的成绩刷新男子百米世界纪录，同年美国的阿什福德以10"79刷新女子百米世界纪录。

我国男女百米成绩，六十年代曾出现较高水平，但由于十年动乱，使我国的百米水平与世界水平差距加大（以1982年为例，表1—1）。

表1—1 1982年中国与世界百米成绩比较表

		第1名	第10名	前10名平均
男 子	世 界	10"00	10"14	10"097
	中 国	10"52	10"87	10"71
	差	0.52"	0.73"	0.62"
女 子	世 界	10"	11"14	11"03
	中 国	12"00	12"26	12"155
	差	1"12	1"12	1"125

我国百米水平落后因素是多方面的，本文仅对百米的缓冲与后蹬技术做生物力学分析，为改进我国百米跑技术提供

参考数据。

二、研究方法

1. 影片拍摄：用带有时间标记的16毫米高速摄影机Lo-came 和 gv-16分别用150格/秒、100格/秒两种速度，在比赛或专门组织的实验中，拍摄百米途中一个复步技术影片，摄影机置于距百米起点50米处跑道侧面，摄影机与跑道近侧缘距离16米，摄影机镜头距地面1.2米，固定镜头、固定焦距。摄影机主光轴与跑道交点左右各2.5米至3米为取景范围，取景框内设有清晰标志物，并在受试对象的跑道上，摄下比例尺。

2. 影片分析及数据处理：选择有完整周期的片子，用GP-2000影片分析仪，得到各种角度、位移数据，绘出运动曲线。将各种角度、位移数据输入PDP²/34计算机，采用经李诚志修改的温特数字过滤法平滑各项数据，计算各种速度、角加速度和位移速度、加速度。

三、研究对象和指标

具有世界水平的美国三名男子百米运动员加里森、拉塔尼、维利，我国优秀男子百米运动员三名孙××、蔡××、王××。测得指标：一个单步的距离、速度，支撑与腾空时间，支撑腿在着地、垂直瞬间、最大缓冲、后蹬，各时相的时间、位移速度、角度、角速度的变化。

四、结果与分析

1. 跑速=步长×步频。世界优秀百米运动员百米全程的步数44~46步，步频接近5步/秒，途中最高速度11.6米/秒。

左右。

本文测得美国三名优秀运动员途中步长、步频如表1—2。

表1—2 美国百米运动员途中步长、步频

姓 名	身 高	百米成绩	步 长	步 频	单步时间
加 里 森	183.5	10"00	2.40	4.8	0.208
拉 塔 尼	175.2	10"09	2.42	4.8	0.208
维 利	173.3	10"10	2.41	4.8	0.208

跑的完整周期是一个复步，它包括两个单步，由两腿交替完成支撑与摆动动作。如图1—1。

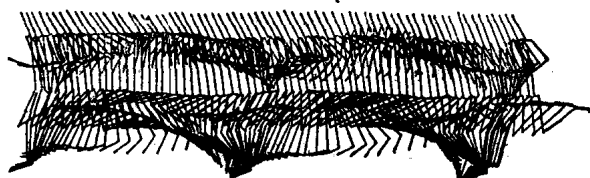


图1—1 美国运动员加里森跑的运动轨迹图

一个单步包括支撑、腾空两个阶段，支撑阶段从脚着地开始至脚蹬离地面之前。图1—2支撑阶段包括缓冲和蹬地两部分。缓冲是从支撑腿的脚触地开始至膝关节最大弯屈为止。蹬地是膝关节伸的动作开始至蹬离地面前。缓冲又以身体重心的位置，分为脚触地至身体重心线垂直于支撑面中心、为缓冲前段，自身体重心垂直线过支撑面中心后至膝关节最大弯屈为继续缓冲。

影片测得美国三名运动员各阶段的时间见表1—3。

表1—3计算表明：一个单步中，支撑时间与腾空时间比为1:1.2，支撑时间占一个单步时间的45.7%，腾空时间占54.3%。一个单步重心水平移动距离，支撑阶段占45.9%，

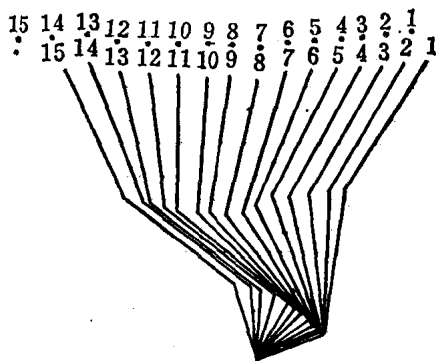


图1—2 美国运动员加里森支撑腿运动轨迹图

腾空阶段占54.1%。支撑时，缓冲与蹬地时间占22.2%，摆动时间占77.8%，两者之比1:33。腿在支撑时固然对跑有重要作用，但从一个复步中腿在摆动占有时间来看，说明摆动技术也是不可忽视。随着百米成绩的提高，无论支撑与腾空

表1—3 美国运动员支撑各时相的时间

姓 名	单步 时间	支撑 时间	腾空 时间	着地→垂直	垂直→缓冲	缓冲→后蹬
加里森	0.208	0.098	0.110	0.034	0.013	0.051
拉塔尼	0.208	0.094	0.114	0.034	0.011	0.050
维 利	0.208	0.094	0.114	0.034	0.010	0.050
平 均	0.208	0.095	0.113	0.034	0.011	0.050

时间比、支撑与摆动时间比，都应力求减小腾空时间、减小摆动时间达到最佳比值。摆动腿在着地前，积极伸髋动作是可以减小前蹬制动作用，但不能全部消除前蹬阻力。更不可能成为跑的主要动力。虽然脚着地时的速度比身体重心速度慢，但是脚对地面的速度仍达1.15米/秒，优秀运动员支撑腿着地点距身体重心垂直线33厘米。支撑腿着地之后，后蹬角、小腿前倾角，髋、膝关节角都有明显的变化(表1—4)。

表1—4 美国运动员支撑腿各关节角

	膝 关 节	髋 关 节	小腿前倾	后 蹬 角
着 地	144.4	133.3	85.7	110.4
垂 直	136.2	145.7	66.2	97.2
缓 冲	134.2	155.8	55.5	87.2
后 蹬	151.0	201.9	32.1	56.6

后蹬时小腿前倾角为32.1°，后蹬角为56.7°。小腿前倾角、后蹬角小，使得蹬地反作用力的水平分力增大，利于推动身体向前运动。因此适宜的后蹬角、小腿前倾角可达到最佳步长和步频。

蹬地是步进动作之本，而缓冲是蹬地的前奏，二者不可分割。缓冲实质上就是对于身体向支撑方向的运动的制动。适宜的缓冲角，适时的后蹬时间，是获得最佳步长、步频的重要条件。本文对优秀运动员技术分析表明：跑时身体重心上下移动4.4厘米，重心最低点不是在垂直瞬间。膝关节角度最小也不是在垂直瞬间(136.2°)而是在身体重心过垂直线之后即最大缓冲时(134.2°)，更重要的是当垂直瞬间时，

小腿前倾角 55° (大于 45°)，后蹬角 87.2° ，接近 90° ，若此时开始后蹬，必然出现后蹬角大，向上分力大，结果腾空时间长、步频低、步长小。以上材料分析说明，跑的后蹬地开始不应是垂直瞬间应是过垂直面之后。

后蹬最后瞬间的膝关节角度，过去普遍认为：膝关节伸直角度的大小，是跑技术好坏的重要标志；六十年代我国优秀运动员跑煤渣跑道，后蹬时膝关节角伸到 165° 左右，根据现代跑技术观察，美国优秀运动员技术分析，后蹬最后瞬间，膝关节只伸直到 151° 。国外有些学者认为：后蹬时膝关节充分伸直，能获得较大蹬力，但对摆动腿的小腿折叠提高摆腿速度是不利的。对此我们认为：①塔当跑道本身富有弹性，能增加蹬地效果，跑技术要强调摆动的幅度与速度。缓冲至后蹬0.05秒，膝关节的角速度可达 $336^{\circ}/\text{秒}$ ，要用提高蹬伸速度达到加大蹬力的目的。②后蹬是摆动的前奏，从肌肉工作的力学条件来看，当后蹬时如果膝关节过于伸直，则使屈膝肌肉的拉力角及拉力矩减小，降低折叠小腿的力量，从而影响摆动腿的摆动速度。国内外教练员、运动员对塔当跑道的技术不太强调后蹬伸直，而是强调摆动腿的摆动速度与幅度。由此，我们建议在跑技术训练中，重视大屈大腿、屈小腿肌肉的力量。

2. 中美百米运动员缓冲、后蹬技术比较：

男子百米美国是世界强国，中国目前百米处于落后状态，1983年第五届全运会第一名 $10''53$ ，前八名平均 $10''64$ ，中国与美国相差 $0.6''$ 左右。跑的技术究竟有什么差别，本文着重从缓冲、后蹬技术比较中美运动员技术的差异。

途中跑的步长、步频：

步长、步频均是美国运动员占优势，如表1—5。

表1—5

中、美步长、步频比较表

国 别	单步时间	步 长	步 频	支撑时间	腾空时间
美 国	0.208	2.41	4.8	0.095	0.113
中 国	0.216	2.30	4.63	0.088	0.128
差	0.008	0.11	0.17	0.007	-0.015

美国运动员百米成绩比中国运动员高0.6秒左右，一个单步时间，两国相差0.008秒，每步步长相差11厘米，运动员身高与步长比，美国1:1.36，我国1:1.29。步长的绝对数、相对数美比我大。步频美比我快0.17步/秒。步长、步频的差异对成绩的影响，步长仍是主要的。本文分析的3名中国运动员，属于步长较大。根据过去调查资料，我国10"2~10"9，46名运动员百米全程步数50.6步，11"~11"8，49名百米全程步数52.59步，途中平均步长分别2.15~2.18米、2.05~2.10米，百米全程步数与国外运动员比较相差4~6步，当时我们认为百米落后，主要反映在步长太短。

步长由两个分量组成，即支撑时身体重心的移动距离及腾空时身体重心的移动距离。美国运动员支撑与腾空重心移动距离比1:1.2，我为1:1.5。一个单步时间是支撑时间与腾空时间之和，两国相比，支撑时间美比我长0.007秒，腾空时间我比美长0.015秒，美国运动员支撑时间占单步时间45.7%，腾空时间占54.3%，支撑与腾空时间比1:1.2，苏联运动员支撑与腾空时间的比为1:1.26，美苏运动员的支撑与腾空时间的比值很相近。我国运动员支撑与腾空比为1:1.45，国内外对比说明，我国运动员腾空时间太长，如图1—3，短

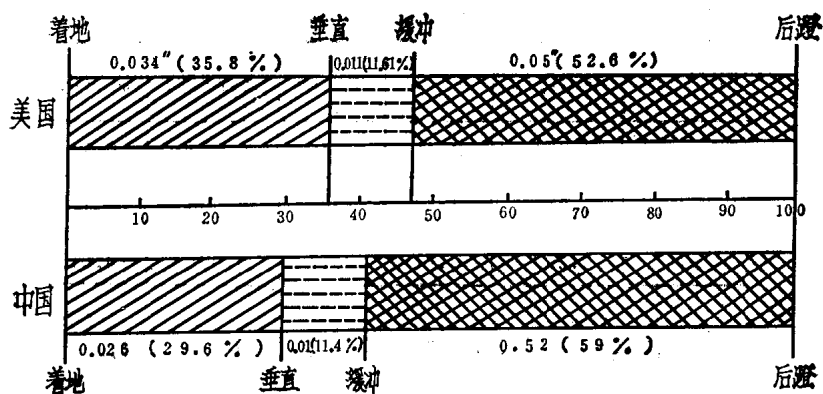


图1—3 支撑腿各时相的时间比较图

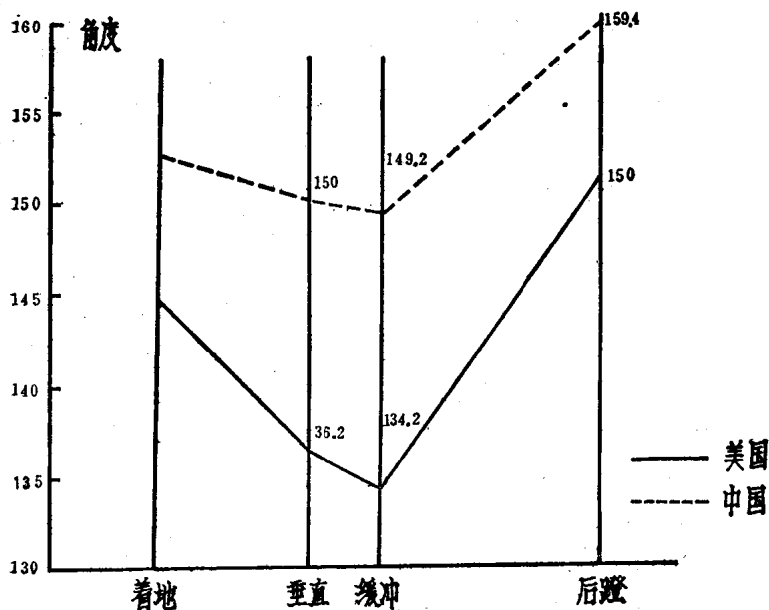


图1—4 支撑各时相膝关节变化比较图

跑技术水平提高，无疑要力求缩短腾空时间，使支撑与腾空时间之比达到最佳程度。影响腾空时间最重要的因素是后蹬角大小。我国运动员后蹬角太大，延长了腾空时间。

我国运动员支撑时间短，主要是着地至缓冲的时间短，动作幅度小（图1—4~1—6）。着地至缓冲占支撑时间美国

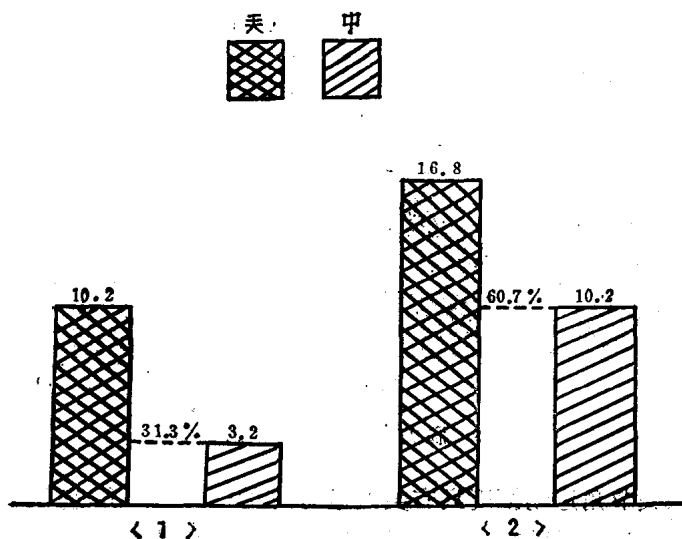


图1—5 膝关节角度变化比较图

运动员为47.4%，我国运动员只占41%。膝关节运动幅度，美10.2°，我为3.2°，我国运动员膝角运动幅度是美国运动员的31.3%，角速度是美国运动员的39.2%。

中美运动员在垂直瞬间，膝关节弯屈角都不是最小，过垂直面之后，膝角达到最大弯屈。美国运动员膝角最大弯屈134.2°，比我小15°，我国运动员缓冲不充分，动作幅度小，速度慢，直接影响蹬地动作。缓冲至后蹬，我国运动

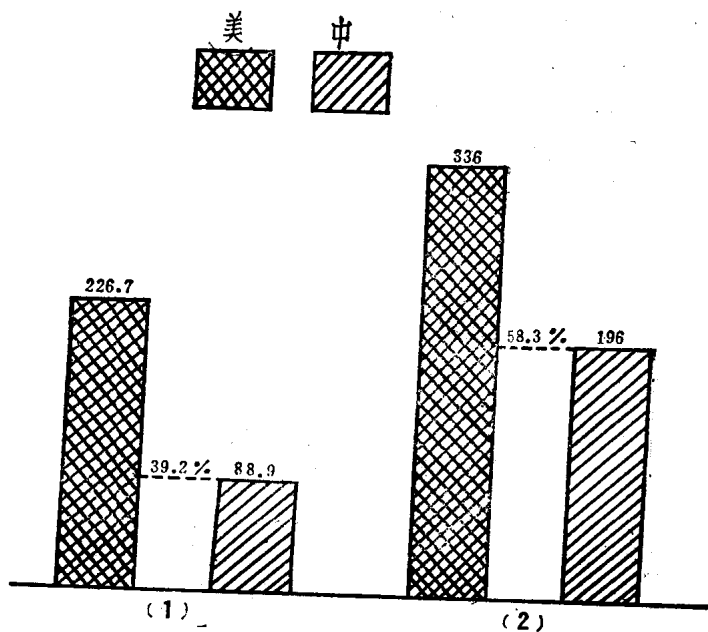


图1—6 膝关节角速度变化比较图

员膝关节角运动幅度只有美国运动员的60.7%，角速度只有美国运动员的58.3%。以上比较进一步说明：①垂直瞬间关节弯屈角度不是最小，身体重心垂直线过支撑面中心之后，膝关节角继续减小，直至最大缓冲，从重心垂直于支撑面中心到最大缓冲时间只有0.01"，角度缩小2°左右。②美国运动员缓冲较充分，从着地至缓冲膝关节角减小10.2°，蹬地的平均角速度达到336度/秒。我国运动员着地角大，着地至缓冲膝角的变化，我为美的31.3%。蹬地时膝关节角速度我为美的58.3%，美国运动员最大缓冲膝关节角134.2°，此角度是跑的伸膝发力最佳角度，根据对我国

69名短跑运动员不同角度伸膝力量的测试，结果是 130° 伸膝发力量最有利。③缓冲充分可以推迟后蹬时间，减小小腿前倾角和后蹬角，见表1—6。美国运动员后蹬时小腿前倾角比我小 9.7° ，后蹬角比我小 6.1° 。由于我国运动员后蹬角大，后蹬时所获得水平分力小，垂直分力大，所以腾空时间长。

表1—8 支撑各时相小腿前倾角、后蹬角比较表

		着 地	垂 直	缓 冲	后 蹬
小腿前倾角	美国	85.7	66.2	55.5	32.1
	中国	81.5	73.2	62.4	41.8
	差	4.2	-7	-6.9	-9.7
后蹬角	美国	110.4	97.2	87.2	56.6
	中国	101.5	94.2	84.5	62.7
	差	8.9	3	2.7	-6.1

跑的动作之间密切联系，互相制约，缓冲是后蹬的准备动作，蹬地是腾空的准备动作，中美百米的缓冲、后蹬技术比较表明，当前我国男子百米技术中存在腾空时间过长，影响跑速。我们认为：主要原因是缓冲不充分、后蹬角大。

小 结

1. 百米技术中膝关节最大缓冲，不是身体重心垂直于支撑面中心，而是在身体重心垂线过支撑面中心之后（约0.01秒）。最大缓冲时膝关节为 $130^{\circ}\sim 135^{\circ}$ ，此角度对跑的伸膝发力有利。

2. 缩短腾空时间，应通过加大缓冲，推迟后蹬时间，缩小后蹬角。

3. 优秀百米运动员, 支撑与腾空时间比为1:1.2, 一条腿支撑与摆动时间比为1:3.3; 缓冲与蹬地时间比为1:1.1, 身高与步长比为1:1.3~1.4。

4. 使用塔当跑道, 百米的后蹬, 膝关节角伸至 150° 左右, 膝角过于伸直, 不利于摆动腿小腿的折叠和摆腿的速度。

注: 本文图表中的缓冲均指最大缓冲瞬间, 后蹬是指蹬离地面瞬间。

(黄宗成 李诚志)