骆驼运动步法研究*

徐佩君　庄继德　裘熙定　王志浩　洪　涛
（吉林工业大学，长春 130025）

关键词　骆驼、步法、负荷系数

生活在沙漠地带的骆驼，经过不断进化，其生理特性和体型结构对沙地有良好的适应性，运动方式也较其他动物特殊。加拿大学者 Dagg 教授曾在撒哈拉沙漠对单峰驼运动学进行过研究[1]，主要分析了骆驼行进中各腿支承驼体的状况及时间比例，对运动步法未作详细分析。此外，由于双峰驼与单峰驼在体型结构上略有差异，运动方式有所不同。因此，深入研究双峰驼的运动步法，不仅可以丰富骆驼学的内容，而且对于采用仿生学原理，设计步行机械的运动步法具有指导意义。本文通过对大量骆驼的运动观察，并借助高速摄影机摄制了双峰驼的运动图象，利用微细动作分析仪，研究了骆驼在平坦沙地上直线运动的运动步法。

一、试验和研究方法

试验在内蒙古科尔沁沙地进行。试验骆驼为体态正常、身体状况良好的 7 龄公驼，体重 750kg，体长 1.72m，体高 1.82m。

试验时，一体重为 55kg 的骑士骑着，让骆驼在平坦沙地上，分别进行自由行走、中快速和疾驰三种方式的直线运动。沿骆驼行进路线每隔 2m 设置一标杆。用 SK1100-H 高速摄影机和计时器将运动图象和时间输给 NV-8950 多功能录像机。图象处理时，带有 VPA-1000 坐标分析仪的微细动作分析系统可将实际运动放慢 100 倍，并可随时停住图象，每幅图象时间间隔为 0.01s。通过图象分析，可以得到骆驼运动过程的运动速度 V、运动周期 T、跨距 S（骆驼在一个完整运动周期内，驼体移动的距离）、腿的负荷系数 β_i（i 为腿在完成一步动作周期内，支承驼体的时间与动作周期之比。文中 β_H、β_F 分别表示后腿和前腿的负荷系数）、足印位置分布以及各腿的足着地离地的时间、顺序。

二、结果与讨论

骆驼行进中，随速度提高，运动周期缩短，跨距增加，各腿负荷系数减小。骆驼的运动步法和支承腿状况也与运动速度有关。

骆驼自由行走时采用慢步，属对称步法，即任何一侧的前、后腿运动与另一侧的前、后腿运动在时序上恰好相差运动周期的一半。慢步行走时，三腿支承驼体的时间最多，同侧腿支承的时间次之，无悬空和单腿支承状态。速度低时，有较短时间由四腿支承。运动过程中，重心变动稳定，易保持驼体稳定，四肢也不易疲劳。慢步是骆驼运动的主要步法。

本文 1991 年 1 月 26 日收到．1991 年 4 月 4 日收到修改稿．
* 国家自然科学基金和国家教委博士点基金资助项目．

骆驼中速和快速行驶时采用侧对步，也是对称步法。行进中，一后腿抬起后，紧接着同侧前腿也迅速抬起，驼体绝大多数时间由同侧腿支承。在一个运动周期内，每条后腿支承驼体时间略比每条前腿的长些，如 $V=3.21\text{m/s}$ 时约为 2.8%，$V=3.81\text{m/s}$ 时约为 2%。随速度

表 1　驼体支承状况时间比例及运动参数值

时间比例（%）、参数值 / 支承状况、参数	步法、速度	慢步		侧对步		袭步	
		$V=1.30\text{m/s}$	$V=1.41\text{m/s}$	$V=3.21\text{m/s}$	$V=3.81\text{m/s}$	$V=5.61\text{m/s}$	$V=6.18\text{m/s}$
驼体支承状况	单前腿	0	0	0	0	27	28
	双前腿	0	0	0	0	7	2
	单后腿	0	0	0	0	20	21
	双后腿	0	0	0	0	7	2
	同侧腿	22	24	84	90	0	0
	对角腿	0	2	0	6	12	11
	三腿	76	74	15	4	23	27
	四腿	2	0	1	0	0	0
	悬空	0	0	0	0	4	9
运动参数	β_F	0.70	0.685	0.535	0.51	0.42	0.40
	β_H	0.70	0.685	0.55	0.52	0.42	0.40
	跨距 S(m)	1.73	1.80	2.28	2.55	3.31	3.48
	运动周期 T(s)	1.33	1.28	0.71	0.67	0.59	0.56
所分析的运动周期数		82	58	45	62	32	49

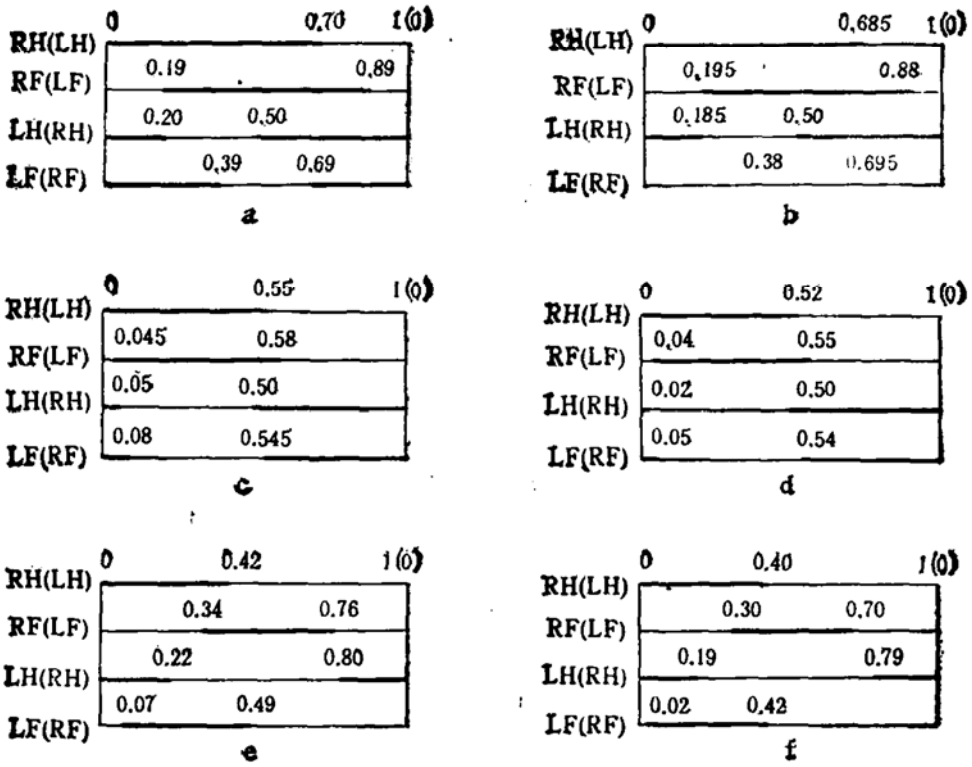

图 1　骆驼运动步法图表

a. $V=1.30\text{m/s}$; b. $V=1.41\text{m/s}$; c. $V=3.21\text{m/s}$;
d. $V=3.81\text{m/s}$; e. $V=5.61\text{m/s}$; f. $V=6.18\text{m/s}$

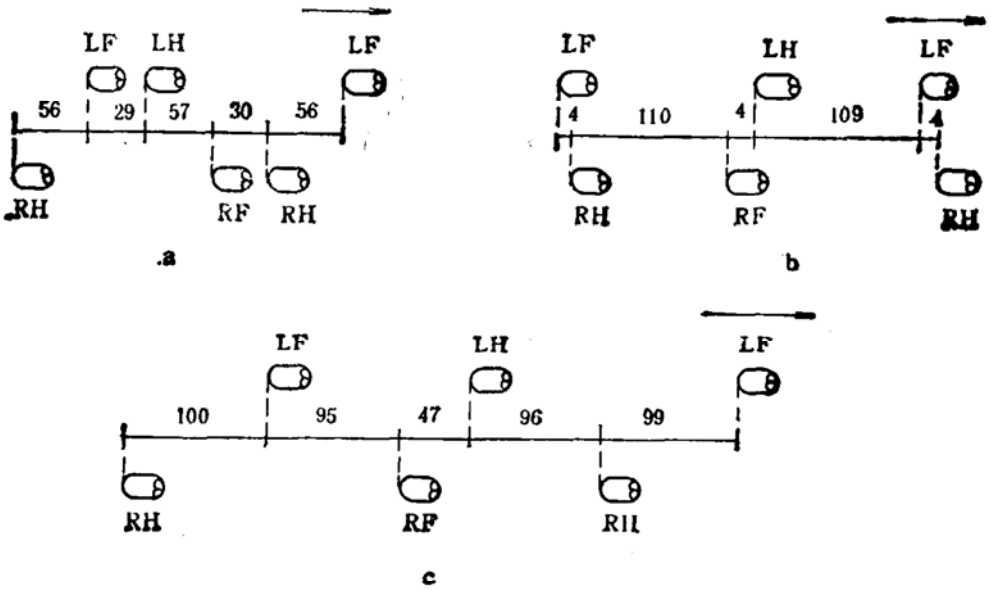

图 2 足印分布(单位: cm)
a. $V=1.30$m/s; b. $V=3.21$m/s; c. $V=6.18$m/s

提高,三腿和四腿支承时间比例减小,并会出现较短时间的单腿支承和悬空状态。驼骆采用侧对步,不仅可以避免因后肢较前肢长而引起的运动干涉,还可加大步幅,提高速度。实际上,这种步法并不稳定,其他动物很少采用,但骆驼可以借助长而灵活的头颈来调节运动平衡,用此步法迅速省力。侧对步是骆驼快行的主要步法。

骆驼疾驰时采用袭步,是非对称步法。行进中,单腿支承驼体的时间较多,有悬空期,无四腿支承状态。随速度提高,单腿支承和悬空的时间增加。骆驼疾驰时,头颈伸长上下波动大,以保持身体平衡,体躯伸长和缩短,以迅速行进。此步法需消耗较大的体力,易疲劳,平时不太常用,只在撒欢、惊群和迅速起步时用得较多。

表 1 列出了骆驼以三种步法分别用两种不同的速度行进时,在所分析的若干运动周期中,各个运动周期的驼体支承状况时间比例和运动参数的平均值。

图 1 为以步法图表[2]描述骆驼以六种速度行进的运动步法。每一水平线被指定一条腿,RH 代表右后腿,RF 右前腿,LH 左后腿,LF 左前腿,粗线表示腿支承驼体状态,粗线的开始与末了分别相应于一条腿的落脚与离地,图 1 以 RH(LH) 落脚时刻为一个运动周期的起点,图 1 右端为一个运动周期的结束和下一个运动周期的开始。运动周期假定为 1.

骆驼行进中,后腿的足印总在上一运动周期内同侧前腿足印的前方。慢行时,两足印位置较近,随速度提高,两足印的距离增大。图 2 给出了骆驼以三种速度行进时的足印分布。

致谢: 本课题得到了 A. I. Dagg 教授和骆驼专家苏学轼教授的指导。试验得到了内蒙古科尔沁左翼后旗巴胡塔苏木人民政府的大力支持和我校人机工程实验中心宋焕金、王同国、吕荣华三位老师的帮助。

参 考 文 献

[1] Dagg, A. I., *J. Zool. Lond.*, 174 (1974), 67—78.
[2] Song Shin min, *Machines That Walk*, MIT Press, 1989.