

模拟不同重力环境下步态运动的足底受力分析

谈 诚^{1a}, 夏永明², 曹 毅^{1a}, 赵 琦^{1a}, 王慧娟^{1a}, 李志利^{1a}, 张剑锋^{1a},
王林杰^{1a}, 陈晓萍^{1a}, 万玉民^{1a}, 王 政^{1b}, 严 曲^{1b}, 王春慧^{1b}

(1. 中国航天员科研训练中心 a. 航天医学基础与应用国家重点实验室, b. 人因工程重点实验室, 北京 100094;

2. 北京理工大学 机械与车辆工程学院, 北京 100081)

摘要: **目的** 探索不同重力环境下人体行走和跑步时的足底受力特性。**方法** 7名健康成年男性受试者在垂直体位的减重跑台上分别在正常重力(1G), 模拟火星重力(1/3 G)和模拟月球重力(1/6 G)环境下进行3、7和10 km/h的行走和跑步活动。使用F-scan鞋垫式足底压力测量系统对运动过程中的步态时相参数、力学参数及步态平衡性等指标进行分析。**结果** 相同速度下, 步态周期中的支撑相时间随重力下降有明显减少($P < 0.01$), 摆动相时间则有显著增加($P < 0.01$)。随着速度增加, 支撑相时间明显缩短($P < 0.01$), 而摆动相基本不受影响($P > 0.05$)。最大足底受力、平均足底受力和受力积分随着重力下降有明显减少。正常重力环境下, 步行速度增加可引起最大足底受力、平均受力明显增加以及受力积分显著减少($P < 0.05$); 但在低重力环境下, 足底受力变化并不显著($P > 0.05$)。左右垂直冲量比在不同重力环境之间差异显著($P < 0.05$), 但时相对称性则并无明显差异。**结论** 低重力环境下, 足底受力和支撑相时间等维持骨骼和肌肉结构功能的指标均显著低于正常重力环境, 提示在将来设计太空飞行中防护措施和锻炼处方时需要充分考虑这一因素, 以维持航天员正常的骨骼和肌肉功能。

关键词: 模拟重力; 足底受力; 垂直冲量比; 时相对称性; 步态

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Gait analysis on plantar force under different simulated gravities

TAN Cheng^{1a}, XIA Yong-ming², CAO Yi^{1a}, ZHAO Qi^{1a}, WANG Hui-juan^{1a}, LI Zhi-li^{1a},
ZHANG Jian-feng^{1a}, WANG Lin-jie^{1a}, CHEN Xiao-ping^{1a}, WAN Yu-min^{1a}, WANG Zheng^{1b},
YAN Qu^{1b}, WANG Chun-hui^{1b} (1a. State Key Lab of Space Medicine Fundamental and Application;
b. National Key Laboratory of Human Factors Engineering, China Astronaut Research and Training Center,
Beijing 100094, China; 2. School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Bei-
jing 100081, China)

Abstract: Objective To investigate the plantar force characteristics during human walking and running under different gravity environment. **Methods** Seven healthy male volunteers walked and ran in vertical position on a weight-loss suspension treadmill under simulated Mars gravity (1/3 G) and lunar gravity (1/6 G), and traditional earth gravity (1 G) respectively at three different velocities (3, 7 and 10 km/h). During the exercise, parameters such as stance phase, plantar force, and gait balance in gait cycle were analyzed by using the F-scan insole pressure distribution measurement system. **Results** At the same velocity during a gait cycle, the contact phase was significantly shorter with the decrease of gravity, but the swing phase was significantly longer ($P < 0.01$). With the increase of velocity, the contact phase was obviously reduced ($P < 0.01$), while the swing phase was unaffected ($P > 0.05$). The peak and average plantar force, force integrity were significantly reduced with the decrease of gravity. Under normal gravity, the increase of velocity could lead to an obvious increase in peak and av-

收稿日期: 2013-04-13; 修回日期: 2013-06-27

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB711000), 国家自然科学基金资助项目(30970778), 航天医学基础与应用国家重点实验室研究基金资助项目(SMFA11B02, SMFA09A03), 中国航天医学工程预先研究项目(2011SY5405002)。

通信作者: 谈诚, 助理研究员, E-mail: tanbit@126.com。

erage plantar force and an obvious decrease in force integrity. While under simulated lunar and Mars gravity, no significant changes were found in plantar force ($P > 0.05$). Under the three gravities, the ratio of vertical impact was quite different in between ($P < 0.05$), but no significant difference was found in the phase symmetry index.

Conclusions As compared to normal gravity environment, parameters benefiting for skeleton and muscle function such as plantar force and contact phase were found to be much smaller under low gravity environment, indicating the necessity of considering these factors when designing countermeasures or exercise prescriptions for space flight so as to sustain the astronaut's normal function of skeleton and muscle.

Key words: Simulated gravity; Plantar force; Ratio of vertical impact; Phase symmetry index; Gait

研究表明,尽管在航天飞行中航天员每天进行锻炼的时间平均超过 2 h,其骨肌系统的结构与功能仍然呈现持续的下降^[1]。其中,骨量的丢失每月平均为 1% ~ 2%,而骨骼肌(尤其是抗重力肌)的下降则达 2.2% ~ 5.3%^[2-3]。骨肌系统功能的降低,意味着航天员在进行较大负荷作业(如进行出舱活动)时,可能无法完成原本在正常环境中可以实现的操作,进而导致任务的失败。目前,导致现有锻炼方案难以完全实现防护效果的原因尚不明了,一般认为可能与失重环境因素及其引起的骨肌系统结构、中枢神经调控机制及血流动力学特性变化有关^[1-3]。近年来的一些研究显示,在太空环境下进行跑步锻炼时足底最大作用力仅为正常地面环境的 54%^[4],说明重力环境因素改变引起的人体运动力学特性变化会对防护锻炼效果产生直接的影响。

此前,本实验室利用模拟零重力跑台装置,开展了模拟零重力环境下人体行走和跑步时足底受力分析研究。结果表明,在零重力环境下,足底支撑相时间、最大受力、垂直冲量等指标均显著低于正常重力环境^[5]。该结果预示,基于地球正常重力环境设计的锻炼方案,可能需要进行相应的调整和再设计,充分考虑重力变化因素对其产生的影响,才能有效实现锻炼防护的目的。随着国内外载人航天事业的发展,建立月球基地、登陆火星探险在不远的将来都会成为现实。在这些不同重力环境下,是否同样存在运动特性的变化,其变化程度又是如何,都尚未明确。本研究即以地面模拟月球和火星重力环境实验,探索不同重力环境下人体步态运动时足底受力特性的变化,为后期制定合理的体育锻炼防护方案、保障航天员健康和生命安全提供支持。

1 对象与方法

1.1 测试对象

招募 7 名健康成年男性受试者(科研工作者)自愿加入本实验。年龄(23.75 ± 3.25)岁,身高(169.00 ± 2.45)cm,体重(62.78 ± 4.36)kg。试验前 3 个月进行常规体检和 X 线检查以排除可能影响实验结果的骨骼肌肉系统疾病,如骨、关节及滑囊腱鞘疾病,或有关节损伤、骨折愈合后遗症,影响正常关节活动者。受试者实验开始前 3 天不进行剧烈的体育活动,以避免下肢肌肉拉伤等疾患可能影响到实验结果。实验前所有受试者均被告知实验的目的、收益及可能存在的风险,并签署知情同意书。

1.2 跑台的组成

实验在中国航天员科研训练中心航天医学基础与应用生物力学实验室内完成,室温 22 ~ 25 °C,湿度 60% ~ 80%。

减重跑台按照文献[6]中的方案进行设计。受试者以垂直地面的姿势固定于吊篮系统中,吊篮系统的力学加载装置通过对受试者肩、腰和大腿等处的约束实现步态运动中持续向上的恒力,以部分消除重力作用。力加载范围为 0 ~ 70 kg,可根据受试者的体重进行调节。跑台使用美国爱康 NETL82406 型跑步机,受试者可在跑台上实现 0.5 ~ 20 km/h 等不同速度的行走和跑步活动。

1.3 足底力学特性分析

受试者在运动过程中,使用 F-scan 鞋垫式足底压力测量系统(Tekscan 公司,瑞典)对不同速度下运动时的足底受力情况进行采集,传感器#3000 的采样频率设定为 250 Hz,采用 F-Scan Research 6.32 软件对步态周期、接触时间等时相参数及最大受力、受力积分等力学参数进行分析。

1.4 测试流程

所有受试者均进行正常重力(1G)、模拟火星

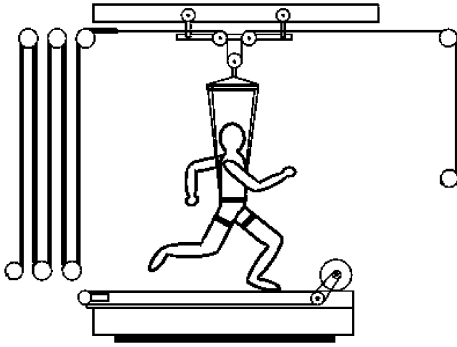
图1 减重跑台示意图^[6]

Fig.1 Schematic diagram of the weight-loss suspension treadmill

重力(1/3 G)和模拟月球重力(1/6 G)3种重力环境下的行走和跑步测试。每种模拟环境下跑台速度均设3个等级:3、7和10 km/h。其中3 km/h要求受试者以步行的方式完成,7和10 km/h以跑步的方式完成。所有受试者在正式测试前均经过5 min的热身以熟悉设备状态。当受试者在每个运动等级达到匀速,并持续1 min后进行相应信号的采集。

1.5 运动时相及平衡性参数的计算

时相对称性指数IDps^[7]通过步态周期的时相参数判断左、右侧腿步态的对称性,反映了人体行走和跑步过程中的运动平衡性。计算方法如下:

$$IDps = \sqrt{\frac{T_0}{T}} \left(0.62 \frac{S_1}{S_2} + 0.38 \frac{W_1}{W_2} \right) \quad (1)$$

式中: T_0 为常数,是健康人在自然状态下的步态周期; T 为被测对象的步态周期; S_1 、 S_2 分别为左、右两腿支撑相中的较小和较大值; W_1 、 W_2 分别为左、右两腿摆动期中的较小和较大值。

表1 不同重力环境下的步态时相参数变化

Tab.1 Stance phase changes of gait under different simulated gravities

速度/ (km·h ⁻¹)	步态周期时间/s			支撑相/s			摆动相/s		
	1 G	$G/3$	$G/6$	1 G	$G/3$	$G/6$	1 G	$G/3$	$G/6$
3	1.130±0.024	1.152±0.042	1.244±0.085	0.759±0.016	0.634±0.029 ^{&}	0.441±0.048 ^{&}	0.372±0.012	0.518±0.040	0.803±0.106 ^{&§}
7	0.752±0.020*	0.921±0.043 ^{&}	1.159±0.138 ^{&}	0.416±0.019*	0.354±0.015 ^{&§}	0.318±0.022 ^{&§}	0.336±0.009	0.567±0.045 ^{&}	0.840±0.144 ^{&§}
10	0.688±0.015**	0.840±0.046 ^{&§}	1.020±0.100 ^{&}	0.303±0.005**	0.286±0.014**	0.252±0.006 ^{&§}	0.386±0.017#	0.554±0.051 ^{&}	0.767±0.099 ^{&§}

注:*与3 km/h速度比较有显著差异, $P < 0.05$;#与7 km/h比较有显著差异, $P < 0.05$;&与正常重力(1 G)比较有显著差异, $P < 0.05$;§与模拟火星重力($G/3$)比较有显著差异, $P < 0.05$

支撑相结果显示,不同重力环境对支撑相时间影响显著($F = 48.437, P < 0.01$)。尤其以低速下(3 km/h)最为明显,火星和月球重力环境下分别较

左、右两侧腿运动时脚底受到的垂直冲量比 R ^[8]为通过左、右两脚所受垂直作用力的时间积分比值,是判断左、右侧作用力平衡性指标。计算方法如下:

$$R = I_{\min}/I_{\max} \quad (2)$$

$$I_{\min} = \min\left(\int F_L dt, \int F_R dt\right) \quad (3)$$

$$I_{\max} = \max\left(\int F_L dt, \int F_R dt\right) \quad (4)$$

式中: F_L 、 F_R 为左、右脚受到的垂直力。

1.6 数据处理与统计

所有数据均以均数±标准差的方法表示。使用SPSS 13.0软件中的重复测量方差分析方法对不同重力环境和不同速度下各指标之间是否存在差异进行验证,使用配对 t 检验确定两两差异, $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同重力环境下步态时相参数的变化

步态周期的重复测量结果显示,不同重力环境下的步态周期时间接近统计学差异($F = 3.225, P = 0.08$)。低速下(3 km/h),火星和月球重力与正常重力之间并无显著差别;7 km/h速度时,火星和月球重力环境下的步态周期时间分别比正常重力环境增加22.5%和54.1%($P < 0.01$);10 km/h速度时,增加量则分别为22.1%和48.3%($P < 0.01$)。随着速度的增加,不同重力环境下步态周期时间有显著下降($P < 0.01$),以正常重力环境中的变化最为明显($P < 0.01$),其次是火星重力环境($P < 0.01$),而月球重力环境中的不同速度之间没有明显差别($P > 0.05$,见表1)。

正常重力减少16.5%和41.9%($P < 0.05$);7 km/h时,火星和月球重力环境分别减少14.9%和23.6%;10 km/h时,火星和月球重力环境下的下降

幅度则为 5.6% 和 17.8%, 不同速度之间差别明显 ($P < 0.05$)。

摆动相结果显示, 不同重力环境下有显著差别, 火星和月球重力环境下较正常重力有明显的增加 ($F = 26.214, P < 0.01$)。不同速度对摆动相影响并不明显 ($P > 0.05$)。

支撑相百分比结果显示, 不同重力环境下差别显著 ($F = 8.718, P < 0.01$), 尤其在 10 km/h 速度时, 月球重力环境下的支撑相百分比显著低于正常重力和火星重力 ($P < 0.01$)。随着速度增加, 支撑相百分比在不同重力环境中均有明显的下降 ($P < 0.05$, 见图 2)。

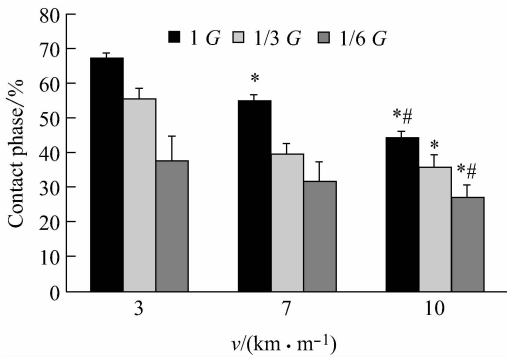


图 2 不同重力环境下的支撑相百分比变化 (* 与同一环境 3 km/h 速度, # 与同一环境 7 km/h 速度比较有显著差异, $P < 0.05$)

Fig. 2 Changes of contact phase under different gravity environment

表 2 不同模拟重力环境下的足底受力特性变化

Tab. 2 Planter force parameter changes under different simulated gravities

速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	最大足底受力/N			平均足底受力/N			积分		
	1 G	G/3	G/6	1 G	G/3	G/6	1 G	G/3	G/6
3	676.54 ± 41.77	270.47 ± 48.84 [§]	131.43 ± 25.47 [§]	474.57 ± 34.82	124.29 ± 23.04 [§]	64.07 ± 16.75 [§]	322.79 ± 26.96	62.11 ± 9.02 [§]	23.47 ± 4.38 [§]
7	1170.71 ± 92.00*	361.64 ± 57.24 [§]	169.18 ± 47.21 [§]	664.23 ± 48.75*	188.81 ± 36.17 [§]	81.45 ± 21.85 [§]	202.66 ± 23.34*	51.15 ± 9.13 [§]	20.57 ± 4.04 [§]
10	1334.39 ± 147.38*	443.40 ± 78.10 [§]	198.20 ± 33.28 [§]	809.94 ± 78.48*	233.25 ± 44.67* [§]	89.68 ± 17.73 [§]	172.68 ± 15.61*	50.13 ± 8.98 [§]	20.25 ± 3.28 [§]

注: * 与 3 km/h 速度比较有显著差异, $P < 0.05$; [§] 与正常重力 (1 G) 比较有显著差异, $P < 0.05$, [§] 与模拟火星重力 (G/3) 比较有显著差异, $P < 0.05$

速度下的垂直冲量比并无差别 ($P > 0.05$, 见表 3)。

3 讨论

大量研究证实, 跑步锻炼可有效维持和提高人体骨骼和肌肉结构和功能。目前, 跑台已成为长期太空飞行防护骨丢失和肌萎缩的常规防护措施。有

2.2 不同重力环境下足底力学参数的变化

最大足底受力和平均足底受力的结果显示, 不同重力环境之间存在显著差异 ($F = 170.952, P < 0.01$), 月球和火星重力环境下的足底受力均明显低于正常重力环境 ($P < 0.01$)。在低速行走 (3 km/h) 时, 月球和火星重力环境之间的最大足底受力存在明显差别 ($P < 0.05$), 而其他速度之间则无显著差别。随着速度的增加, 各重力环境下足底受力均明显增高 ($P < 0.01$), 但这一现象主要存在于地球重力环境, 火星重力和月球重力的增加幅度显著低于正常重力环境, 仅火星重力环境下的平均受力在 3 和 10 km/h 之间达到统计学差异水平 ($P < 0.05$), 其余指标虽然有一定的增加, 但均未达到显著差异水平 ($P > 0.05$)。

由于接触相时间的减少, 足底受力积分随着速度的增加呈减少趋势, 这一现象在正常重力环境下最为显著, 不同速度之间差异明显 ($P < 0.01$)。火星和月球重力的受力积分明显小于正常重力环境, 但不同速度之间没有显著差别 ($P > 0.05$, 见表 2)。

2.3 不同重力环境下平衡性参数的变化

时相对称性指标结果显示, 不同重力环境、不同速度对左、右脚时相对称性并无显著的影响 ($P > 0.05$)。但垂直冲量比的结果则表明, 不同重力环境下左、右脚的垂直冲量比有显著差异, 尤其是模拟月球重力与正常重力之间差别显著 ($P < 0.05$)。不同

研究显示, 下肢肌肉体积的减少程度, 与太空中进行跑台锻炼时间呈显著的负相关^[1]; 而与骨量平衡密切相关的每日活动负荷刺激量 (daily load stimulus, DLS), 在 6 个月的太空飞行中减少约 86%, 而骨量的丢失则达 3% ~ 5%^[4,9]。但是, 现阶段在太空失重环境中进行的包括跑台锻炼在内的综合防护方

表3 不同重力环境下的平衡性参数变化

Tab.3 Balance parameter changes under different simulated gravities

速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	时相对称性			垂直冲量比		
	1 G	G/3	G/6	1 G	G/3	G/6
3	0.942 ± 0.050	0.891 ± 0.149	0.907 ± 0.146	1.117 ± 0.052	1.230 ± 0.071	2.055 ± 0.570 ^{&}
7	0.947 ± 0.041	0.896 ± 0.126	0.945 ± 0.215	1.069 ± 0.032	1.257 ± 0.108	1.466 ± 0.120
10	0.922 ± 0.015	0.858 ± 0.197	0.996 ± 0.171	1.132 ± 0.052	1.437 ± 0.165	2.037 ± 0.670 ^{&}

注:[&] 与正常重力(1 G)之间有显著差异, $P < 0.05$

案,仍然无法完全防止航天员出现持续的骨丢失和肌萎缩现象。基于太空失重与地面重力环境差异的研究结果^[4,6],可以认为失重环境所导致的锻炼强度下降与之有密切的联系。不过,对于不同重力环境的研究,目前还仅停留在地面模拟阶段。自1990年代起,国外的一些学者利用减重跑台和理论计算等方法,开展了关于不同重力环境下人体动力学的研究;结果表明在低重力环境下,人体行走和跑步的最大作用力和步频明显减小,但摆动相和步态周期时间有明显延长^[10-11],这与本实验的结果基本一致。同时,本研究还进一步发现,在模拟火星和月球重力下,行走和跑步的垂直冲量较地球重力减少70.97%~92.73%,步态周期明显延长,但起重要生理意义的支撑相百分比则有显著减少。这一结果提示,如果在月球和火星重力环境下继续沿用现有的锻炼方案,其对骨骼肌系统的防护效果将难以实现。

此前本课题组的研究表明,在水平体位的模拟零重力环境下,人体的时相对称性和垂直冲量比等平衡性指标均有显著下降^[5]。本研究发现,在垂直体位的模拟低重力环境下,时相对称性并无变化,而垂直冲量比则有明显减少,目前尚不清楚是何原因引起此种改变。根据以往的研究结果,步态的基本模式主要受脊髓系统的中枢模式发生器(central pattern generator, CPG)控制^[12]。而Rosano等^[13]对老年人步态的时-空参数和脑皮质功能区相关性研究则表明,步长的缩短和双足支撑时间的延长与相应运动皮质功能区的减小有关,提示大脑运动中枢同样参与了步态的控制过程。上述研究结果表明,步态控制主要由下位神经元决定,而上位神经元更多是起调控和辅助的作用。本实验是基于正常地球重力建立的模拟低重力环境,以重力坐标系为基础构建的前庭运动平衡参照系仍然发挥作用,而基于

地面足底作用力变化的本体感觉则将会发生较大的改变。这种不同神经通道引起的神经反射是否会导致上述差异的原因,还有待于后续研究的进一步证实。不过,空间飞行环境中前庭、中枢神经以及骨骼肌系统的结构和功能都会发生相应的改变^[14],这对于人体姿态控制和运动能力维持的影响程度尚不清楚,但这些变化无疑会参与人体在长期失重飞行环境中的姿态控制过程,提示在进行防护措施设计和锻炼处方制定时,必须充分考虑这些平衡性指标的变化,才能确保防护方案的有效性。

本研究仅是对人体在模拟低重力环境下行走和跑步时足底压力特性变化的初步探讨,在实际应用前,可能存在如下的限制:(1)实验的低重力环境模拟是通过在躯干和下肢大腿的束缚进行,但对于其他部位(如上肢),仍然受到正常地球重力的作用,这与真实的低重力环境下人体步态运动特性存在明显差异;(2)减重跑台的固定装置同样会在一定程度上约束人体的步态活动,可能对实验结果产生干扰;(3)样本例数相对偏小(仅7例),标准差较大,而且受试者对设备的熟悉程度也存在适应性上的差异,这些都是引起实验误差的因素。因此,本研究在地面模拟了不同低重力环境下的步态结果,与真实环境下的数据是否具有较好的一致性,还有待于进一步的实验证明。

总之,本研究对人体在模拟不同重力环境下步行时的足底压力特性进行了初步探索,结果表明在低重力环境下,最大足底受力、支撑相作用时间和垂直冲量等指标都远低于正常重力环境。这一结论提示,在将来设计太空飞行中锻炼设备时,需要充分考虑重力因素变化对锻炼有效性的直接影响,通过增加负荷或调整锻炼时间等方法,保证航天员足够的锻炼强度,以维持航天员正常的骨骼肌肉功能。

参考文献:

- [1] Trappe S, Costill D, Gallagher P, *et al.* Exercise in space: Human skeletal muscle after 6 months aboard the international space station [J]. *J Appl Physiol*, 2009, 106(4): 1159-1168.
- [2] Carpenter RD, LeBlanc AD, Evans H, *et al.* Long-term changes in the density and structure of the human hip and spine after long-duration spaceflight [J]. *Acta Astronautica*, 2010, 67(1-2): 71-81.
- [3] Gopalakrishnan R, Genc KO, Rice AJ, *et al.* Muscle volume, strength, endurance, and exercise loads during 6-month missions in space [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2010, 81(2): 91-102.
- [4] Cavanagh PR, Genc KO, Gopalakrishnan R. Foot forces during typical days on the international space station [J]. *J Biomech*, 2010, 43(11): 2182-2188.
- [5] 夏永明, 赵自强, 谈诚, 等. 不同重力环境下足底受力的步态差异分析[J]. *中国康复医学杂志*, 2013, 28(3): 215-219.
- [6] Donelan JM, Rodger K. Exploring dynamic similarity in human running using simulated reduced gravity [J]. *J Exp Biol*, 2000, 203: 2405-2415.
- [7] 王人成, 张美芹. 人体步态时相对称性评价指标的对比研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(10): 957-959.
- [8] 李峰, 王常海, 张蓉, 等. 骨性关节炎功能评价步态指标研究[J]. *中国康复理论与实践*, 2007, 13(12): 1165-1168.
- [9] Genc KO, Humphreys BT, Cavanagh PR. Enhanced daily load stimulus to bone in spaceflight and on earth [J]. *Aviat Space Environ Med*, 2009, 80(3): 919-926.
- [10] Newman DJ. Life in extreme environments: How will humans perform on Mars [J]. *Grav Space Biol Bull*, 2000, 13(2): 35-47.
- [11] Hawkey A. Physiological and biomechanical considerations for a human Mars mission [J]. *J Br Interplanet Soc*, 2005, 58(3-4): 117-130.
- [12] Choi JT, Bastian AJ. Adaptation reveals independent control networks for human walking [J]. *Nat Neurosci*, 2007, 10(8): 1055-1062.
- [13] Rosano C, Aizenstein H, Brach J, *et al.* Gait measures indicate underlying focal gray matter atrophy in the brain of older adults [J]. *J Gerontol*, 2008, 63(12): 1380-1388.
- [14] Williams D, Kuipers A, Mukai C, *et al.* Acclimation during space flight: Effects on human physiology [J]. *CMAJ*, 2009, 180(13): 1317-1323.

· 致读者 ·

关于图表的要求

表和图的设计应科学、简洁、合理,有自照性,均分别按其正文出现先后次序连续编号,并冠以图(表)序号和题目。说明性的资料应置于图(表)下方注释中,并在注释中标明图标中使用的全部非公知公用的缩写及表中的统计学处理。均采用三线表,表内数据同一指标有效位数一致,均数及标准差小数点后保留位数一致。图题、表题及图注、表注均应中、英文对照书写。

黑白图片必须清晰度及对比度良好,层次分明,彩色照片要求色彩鲜明,图像清晰。图片或照片大小要基本一致。图不宜过大,最大宽度半栏图不超过 7.5 cm,通栏图不超过 16.5 cm,高与宽比例以 5 : 7 为宜。图注应附于图下或文后,不要粘贴,背面用铅笔注明作者姓名、图序号,并表明上、下方向,照片中需说明的部位请以箭头或字母标注,在图注中说明。图片及照片不得折损。若刊用人像,应征得本人书面同意,或遮盖其能辨认出系何人部分(眼睛)。大体标本照片在图内最好有尺度标记。病理照片要求注明染色方法和放大倍数。

试验数据的曲线图必须根据测试数据绘制,线条必须光滑清明,有横纵坐标的统计图必须有确切的标目名称和规范的计量单位;实验装置等示意图一定要精心绘制,对图内的结构要有必要的注释,使读者一目了然;引用他人的图(表)一定要用文献角码表明出处。