

新型抗荷裤返回状态下神经 - 肌肉活动影响研究

王林杰¹, 戴小倩¹, 李志利¹, 李文炯¹, 王惠娟¹, 刘书娟¹, 张剑锋¹, 王颜晴¹, 刘洪静², 贾蕊溪², 席林斌²

¹中国航天员科研训练中心航天医学基础与应用国家重点实验室, 北京

²中国航天员科研训练中心人因工程全国重点实验室, 北京

收稿日期: 2023年2月1日; 录用日期: 2023年2月23日; 发布日期: 2023年3月6日

摘要

针对返回座椅工况, 研究了新型抗荷裤在返回坐位下对神经 - 肌肉活动的影响。急性实验中5名受试者在平卧位、返回坐位、着抗荷裤平卧位、着抗荷裤返回坐位下检测了腓总神经(CPN)节段性运动神经传导; 慢性实验中2名受试者分别在返回坐位下着抗荷裤4小时, 定时检测了节段性运动神经传导。研究发现: 着抗荷裤后, 返回坐位相比于平卧位CPN踝复合肌肉动作电位(CMAP)波幅降低 $13.4 \pm 3.1\%$ 且潜伏期缩短; 相比于不着服, 返回坐位着服后腓骨头CMAP波幅升高 $7.8 \pm 1.3\%$ 。返回坐位下着抗荷裤2小时, CPN远端和近端CMAP波幅分别降低28.0%和45.4%, 4小时后降低增加至78.2%和75.2%, 但小腿和足部主动运动可缓解不适。返回坐位下长时着抗荷裤CPN远端和近端CMAP波幅降低, 主动运动有利于耐受。

关键词

返回坐位, 抗荷裤, 腓总神经, 节段性运动神经传导, 肌肉复合动作电位

The Neuromuscular Effects of New Anti-G Suit under Reentry Posture

Linjie Wang¹, Xiaoqian Dai¹, Zhili Li¹, Wenjiong Li¹, Huijuan Wang¹, Shujuan Liu¹, Jianfeng Zhang¹, Yanqing Wang¹, Hongjing Liu², Ruixi Jia², Linbin Xi²

¹State Key Laboratory of Space Medicine Fundamentals and Application, China Astronaut Research and Training Center, Beijing

²National Key Laboratory of Human Factors Engineering, China Astronaut Research and Training Center, Beijing

Received: Feb. 1st, 2023; accepted: Feb. 23rd, 2023; published: Mar. 6th, 2023

Abstract

To simulate reentry scenario, the neuromuscular control was studied under reentry posture with

文章引用: 王林杰, 戴小倩, 李志利, 李文炯, 王惠娟, 刘书娟, 张剑锋, 王颜晴, 刘洪静, 贾蕊溪, 席林斌. 新型抗荷裤返回状态下神经-肌肉活动影响研究[J]. 国际航空航天科学, 2023, 11(1): 1-9. DOI: 10.12677/jast.2023.111001

and without new anti-g suit. In the short-term experiment, five subjects adapted to the supine or reentry posture and with or without anti-g suit. Then segment motor nerve conduction of common peroneal nerve (CPN) was tested. In the long-term experiment, two subjects sat in the reentry chair wearing anti-g suit for 4 hours. And the CPN motor nerve conduction was monitored periodically. Wearing anti-g suit, the amplitudes of ankle compound muscle action potential (CMAP) under reentry posture were $13.4 \pm 3.1\%$ lower than that under supine and had shorter latencies. Under reentry posture, wearing anti-g suit increased the amplitudes of head of fibula CMAP by $7.8 \pm 1.3\%$. After sitting in the reentry chair with anti-g suit for 2 hours, the amplitudes of the distal and proximal CMAP decreased by 28.0% and 45.4%. And the drop increased to 78.2% and 75.2% after 4 hours. The discomfort can be relieved by active calf and foot movements. Long lasting sitting in the reentry chair with anti-g suit induced the decrease of distal and proximal CMAP amplitudes. Periodic active movements benefitted for the tolerance.

Keywords

Reentry Posture, Anti-G Suit, Common Peroneal Nerve, Segment Motor Nerve Conduction, Compound Muscle Action Potential

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

长期飞行返回时航天员的耐受力一直是航天医学工程实施过程中关注的重要医学问题。针对航天飞行返回过程中的超重影响,美苏均采用穿着抗荷裤进行对抗。其中美国的抗荷裤(Reentry Anti-G suit, REAGS)由航空飞行的服装改良而来,取消了腹部气囊,采用了小于航空应用的压力值,但其防护效果与航空飞行应用的 CSU 13B/P 抗荷裤效果相当,后期在短期航天飞机飞行中 REAGS 是强制穿着的[1] [2]。但各种防护措施始终存在限制其在航天环境下应用的问题[3],抗荷裤也不例外。REAGS 需要与气源连接,限制了其移动性能,且在高压力下会产生不适[4]。俄罗斯的 Kentavr 抗荷裤是非充气式的,采用弹性织物材料制成,为间断式结构,服装分段,膝、踝、腹股沟等部位并未覆盖,提供的压力为 30 ± 5 mmHg,该服装有利于静脉回流,主要的问题是长时间穿着,未覆盖的膝、踝和足等部位会出现肿胀,同时绳索拉紧的调节方式无法精细地了解是否调节到了合适预期的压力值[4] [5]。

为了改善抗荷裤的使用, NASA 开展过相关改进设计和验证[6],针对非充气式抗荷裤, Stenger MB 等设计了三片、高到腹部的压力服,覆盖了可能会发生肿胀的部位,且不需要气源,并验证了其可增加飞行后站立时的外周阻力,预防站立时的心动过速[4]。他们的实验是在飞行后着陆当天进行的,主要验证的是服装的立位耐力防护效果,并未针对返回时的工况和载荷情况进行考虑和验证。本项目采用的新型抗荷裤,为非充气式抗荷裤,立体编织、压力可调、穿着方便,不需要气源,覆盖膝、踝关节易肿胀部位,瞄准返回工况下短时间和长时间着服的神经-肌肉影响开展研究,从主观感受和客观检测两方面评价其影响和作用,以期后续应用和改进提供指导。

2. 实验方法

2.1. 受试者

5 名健康受试者(2 男 3 女)参与了本次实验,受试者平均年龄 41.2 ± 2.9 岁,身高 166.6 ± 2.2 cm,体

重 64.6 ± 4.6 kg。实验前对受试者进行了抗荷裤穿着培训，均熟悉抗荷裤穿脱方法。受试者相关具体参数请见表 1。

Table 1. Subjects' demographic data
表 1. 受试者的身体特征尺寸

Subject	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	Mean \pm SE
Gender	M	F	M	F	F	-
Age (yrs)	41	43	37	51	34	41.2 \pm 2.9
Height (cm)	170	160	173	165	165	166.6 \pm 2.2
Weight (kg)	72	53	70	74	54	64.6 \pm 4.6
Waist size (cm)	82.0	73.0	85.0	90.0	80.0	82.0 \pm 2.8
Hip size (cm)	94.0	93.0	98.0	105.0	87.0	95.4 \pm 3.0
Thigh circumference (cm)	51.0	52.0	55.0	59.0	47.0	52.8 \pm 2.0
Calf circumference (cm)	38.0	35.0	37.3	41.0	35.0	37.3 \pm 1.1
Thigh length (cm)	37.0	37.0	38.8	37.0	39.0	37.8 \pm 0.5

2.2. 参试设备

返回座椅为神舟系列飞船返回座椅，乘员座椅靠背平面法线相对于地平线夹角 70° ，赋形坐垫满足所有受试者使用。

抗荷裤采用连体结构和特定编织工艺研制，使裤身产生由下向上逐渐减小的梯度压力，压力裤侧边的压力调节组件设置，使压力裤的压力可调节，膝盖、脚踝部位不加压(振德医疗用品有限公司，专利 ZL201820020699.1)，详见前期发表文章[7]。使用时取坐位在大腿前侧距髌骨上方 20 cm 处、大腿后侧正中、小腿外侧腓肠肌中部、腹部肚脐上 5 cm 处安装压力检测气囊，通过手持式推拉测压装置检测压力，调节腹部压力约为 7 mmHg~10 mmHg，大腿压力约为 20 mmHg，小腿处压力约 30 mmHg，压力调节到位后，站立完成 5~10 次深蹲动作，调节服装避免明显的应力集中皱褶，后取出测压气囊，完成穿着。

2.3. 实验测试流程

采用受试者自身对照设计开展实验，具体实验测试流程如图 1。

其中急性实验分别在① 平卧位；② 返回坐位；③ 着抗荷裤平卧位；④ 着抗荷裤返回坐位 10 min 后，检测腓总神经节段性运动神经传导肌肉动作电位。慢性实验在着抗荷裤返回坐位下进行，出现体征后开始检测，然后定时(60 min)进行节段性运动神经传导检测，同时对受试者主观症状和客观体征进行记录。如受试者可耐受，则最多进行 4 小时实验，如受试者无法耐受，或受试者状态无法保证客观记录，则中止实验。

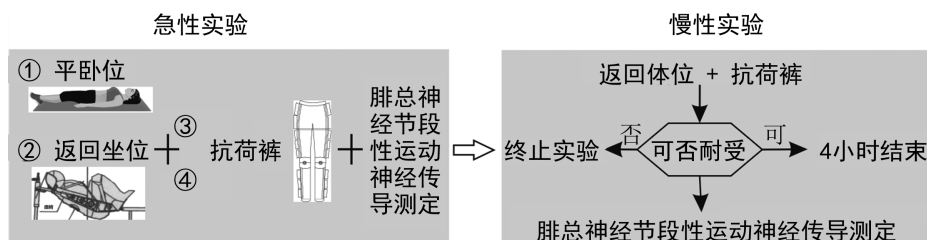


Figure 1. The flow chart of short-term and long-term experiment
图 1. 急性和慢性实验的流程图

2.4. 腓总神经节段性运动神经传导测定

采用诱发肌电图仪(日本 Nihon Kohden, MEB-2306C)进行测定腓总神经节段性运动神经传导。临床上腓总神经运动神经传导速度测定主要采用平卧位,本实验为了贴合实际应用,在平卧位和坐位膝关节屈曲体位下进行了检测。为适应坐位测定,选择远端刺激位置在踝,近端刺激位置在腓骨头下。采用趾短伸肌记录的方式(见图 2),将记录电极放置于趾短伸肌肌腹,参考电极放置于足背第五趾近端 2 cm~3 cm 处。先将刺激电极置于脚踝前部进行刺激,位置为胫前肌与趾长伸肌肌腱中间,足背正中向外侧旁开 1 cm 左右,与记录电极距离约 7 cm~8cm。接地电极位于记录与刺激电极之间。刺激频率为 1 Hz,单次刺激时间为 1 ms,刺激强度从零开始逐渐增加,直至达到超强刺激。再将刺激电极置于腓骨小头上方处进行刺激,位置在腓窝外侧,股二头肌肌腱内侧处,刺激过程同上。测量两次刺激电极阴极的距离,记录下波幅、时限、潜伏期,计算神经传导速度等指标。根据节段远端(踝部)及近端(腓骨小头)测试结果对比,计算波幅下降百分比和时限下降百分比。

其中波幅下降百分比 = (远端波幅 - 近端波幅)/远端波幅;

时限下降百分比 = (远端时限 - 近端时限)/远端时限。

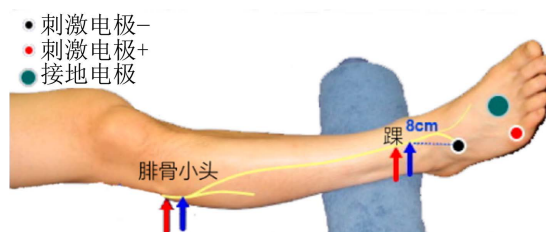


Figure 2. The segmental motor nerve conduction measurement of common peroneal nerve
图 2. 腓总神经节段性运动神经传导测定

2.5. 统计学分析处理

采用重复多因素方差分析方法对不同测试状态下的肌肉复合动作电位波幅、潜伏期和传导速度进行统计分析,不同测试状态之间相关参数存在显著差异时,不同状态下的差异采用配对 t-检验进行进一步分析,显著水平定为 $p < 0.05$ 。

3. 实验结果

3.1. 急性实验结果

实验中在平卧位和返回坐位下着或不抗荷裤,所有受试者均未报告不适。平卧位和返回坐位着或不抗荷裤条件下的阶段性运动神经传导肌复合动作电位可见图 3。可见腓骨头的肌肉复合动作电位在踝部肌肉复合动作电位后出现,潜伏期长于踝部肌肉复合动作电位。

采用重复多因素方差分析对踝部肌肉复合动作电位潜伏期进行了分析,发现不同体位、不同着装状态下,该潜伏期具有显著差异($F(3,9) = 11.072, p = 0.002$),进一步对比分析发现,着抗荷裤平卧位该潜伏期较单纯返回坐位延长($p = 0.014$),返回坐位着抗荷裤相对于单纯返回坐位、着抗荷裤平卧位,潜伏期缩短($p < 0.018$)。具体详见图 4。

返回坐位着抗荷裤下腓总神经运动神经传导速度(49.3 ± 5.2 m/s)相对于平卧位(51.3 ± 2.5 m/s)、返回坐位(51.8 ± 2.7 m/s)、着抗荷裤平卧位(51.9 ± 2.4 m/s)稍有降低,但未达到显著差异水平。

踝部肌肉动作电位波幅在着抗荷裤返回坐位下小于平卧位着抗荷裤状态($p < 0.022$),平均降低 $13.4 \pm$

3.1%，而腓骨小头肌肉复合动作电位波幅在着抗荷裤返回坐位下高于单纯返回坐位 $7.8 \pm 1.3\%$ ($p < 0.009$)。动作电位时程不受体位和着装影响。具体详见图 5。

根据肌电图诊断标准，在时限增宽 $\leq 30\%$ 时，腓骨头下到踝的波幅百分比下降 $\geq 60\%$ 时，可肯定出现传导阻滞[8]。根据这一标准，本次实验 4# 受试者在返回坐位下时限增宽为 10.4%，腓骨头下到踝的波幅百分比下降为 100%，则可认为是出现了传导阻滞；返回坐位着服时该受试者的节段性运动神经传导信号未引出，可能与该受试者在 5 名参试人员中体重较重，体型较宽有关。

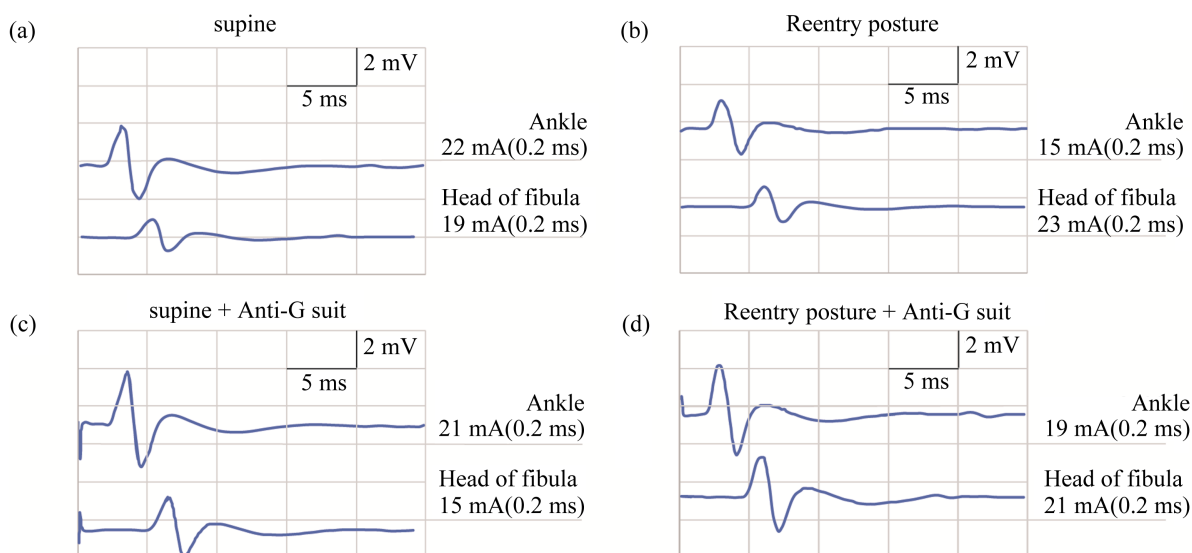
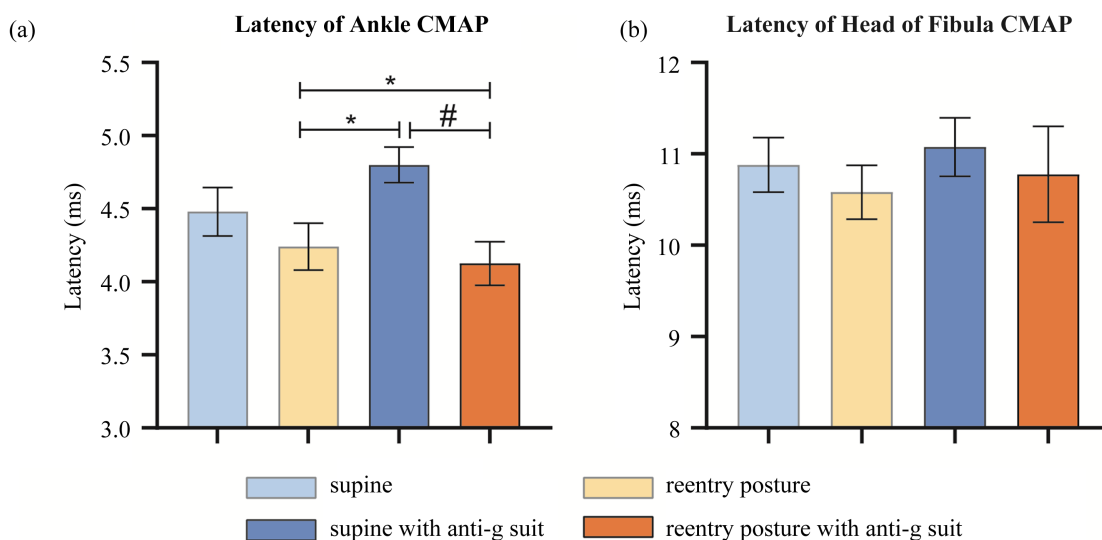


Figure 3. The compound muscle action potentials during segment motor nerve conduction of CPN test sunder (a) supine (b) reentry posture (c) supine with anti-g (d) reentry posture with anti-g suit

图 3. 在(a) 仰卧位(b) 返回坐位(c) 仰卧位着抗荷裤(d) 返回坐位着抗荷裤下测定腓总神经节段性运动神经传导的肌肉复合动作电位



*vs reentry posture, $p < 0.05$; #vs supine with anti-g suit, $p < 0.05$.

Figure 4. (a) Latencies of ankle CMAP under supine, reentry posture with and without anti-g suit, (b) Latencies of head of fibula CMAP under supine, reentry posture with or without anti-g suit (CMAP—compound muscle action potential)

图 4. (a) 仰卧位、返回坐位下着和不着抗荷裤时踝肌肉复合动作电位的潜伏期，(b) 仰卧位、返回坐位下着和不着抗荷裤时腓骨头下肌肉复合动作电位的潜伏期

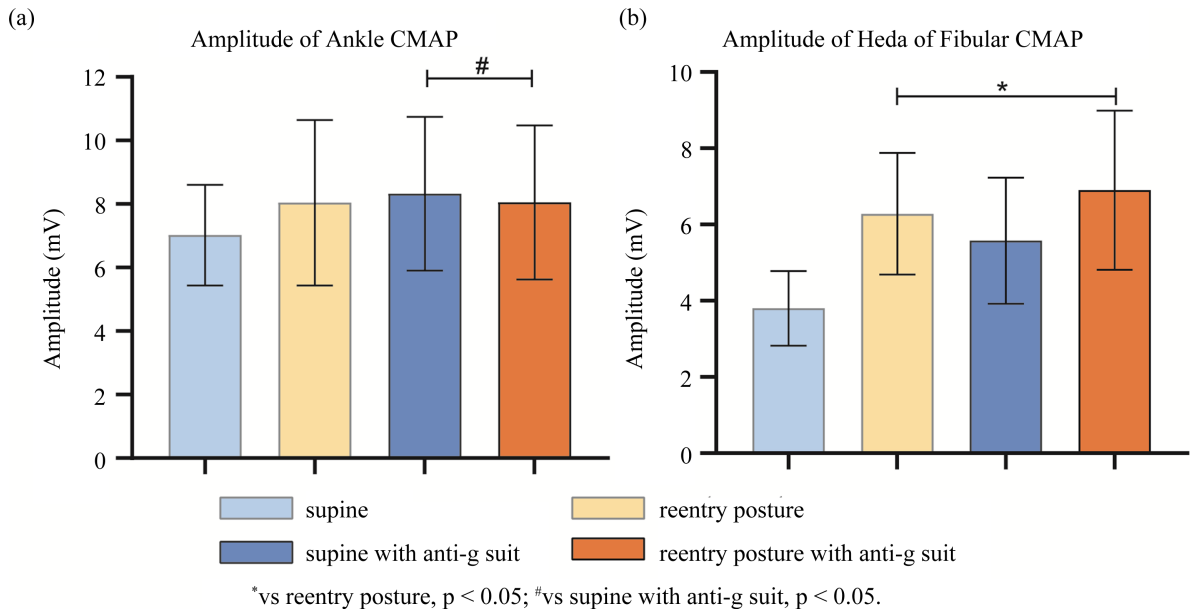


Figure 5. (a) Amplitudes of ankle CMAP under supine, reentry posture with and without anti-g suit, (b) Amplitudes of head of fibular CMAP under supine, reentry posture with and without anti-g suit (CMAP—compound muscle action potential)
图 5. (a) 仰卧位、返回坐位下着和不着抗荷裤时踝肌肉复合动作电位峰值波幅, (b) 仰卧位、返回坐位下着和不着抗荷裤时腓骨头下肌肉复合动作电位峰值波幅

3.2. 慢性实验结果

1[#]和 2[#]志愿者着抗荷裤在返回坐位下开展了慢性实验, 其中 1[#]志愿者 2 小时后, 主试判断其主动运动影响了体位维持效果, 中止了实验; 2[#]志愿者完成了 4 小时耐受实验。

实验中受试者出现不适体征则开始腓总神经节段性运动传导检测, 后每小时检测 1 次(以实验开始时间计算)。男性志愿者在 32 min 出现体征, 从 40 min 开始检测, 至 2 小时中止实验; 女性志愿者 100 min 出现体征, 从 120 min 开始检测。

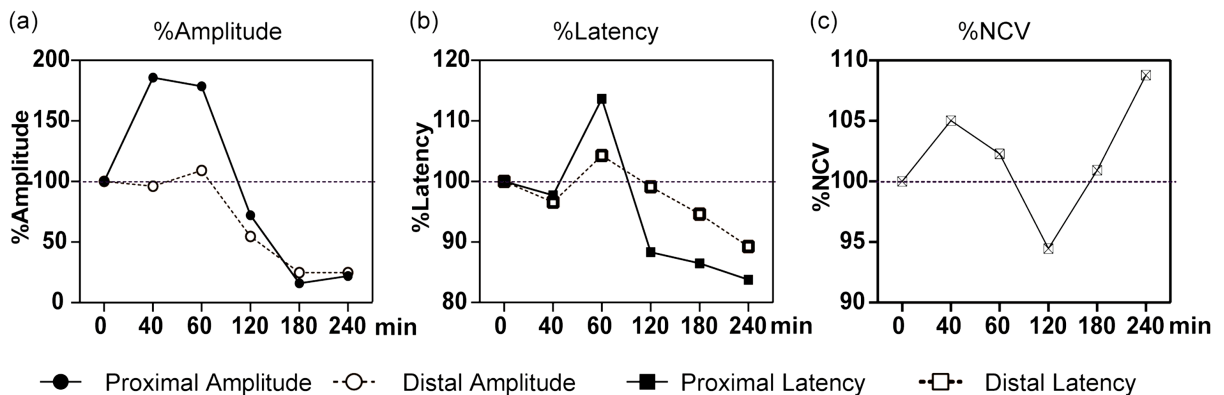


Figure 6. (a) The percent changes of amplitudes of proximal and distal CMAP, (b) the percent changes of latencies of proximal and distal CMAP, (c) the percent changes of NCV during long-term experiment (CMAP—Compound muscle action potential; NCV—nerve conduction velocity)
图 6. 慢性实验中(a) 近端和远端肌肉复合动作电位峰值波幅变化百分比, (b) 近端和远端肌肉复合动作电位潜伏期变化百分比, (c) 神经传导速度变化百分比

从图 6 可见, 腓总神经传导速度变化在-5.5%到+8.8%之间。着抗荷裤返回坐位 2 小时志愿者踝部(近

端)肌肉复合动作电位波幅相对于实验前平均降低 28.0%，腓骨小头(远端)肌肉复合动作电位波幅相对于实验前分别平均降低 45.4%；4 小时后近端和远端峰值波幅降低分别为 78.2%和 75.2%。远端和近端相比的波幅降低和时限增宽均在临床正常范围内。详见图 6。

对志愿者实验过程中的主观症状和体征进行了记录，主要出现脚底、脚面、小腿外侧微麻木，出现在着服返回体位 30 min~40 min 左右，后续出现腓窝处硌的感觉，大约出现在着服返回体位 2 小时左右。定时主动活动脚趾、小腿等长运动可明显缓解相关不适，提高耐受。

4. 讨论

本实验主要针对返回坐位下着新型抗荷裤下的腓总神经运动神经传导进行了研究，发现着抗荷裤和返回坐位对腓总神经运动神经传导速度影响不明显；但着抗荷裤，返回坐位下相比平卧位踝部肌肉复合动作电位波幅平均降低 $13.4 \pm 3.1\%$ ；返回坐位下，着抗荷裤相比于不着抗荷裤腓骨小头肌肉复合动作电位波幅增高 $7.8 \pm 1.3\%$ 。返回坐位下着抗荷裤 2~4 小时对腓总神经运动神经传导速度影响不明显，远端和近端相比的肌肉复合动作电位波幅降低和时限增宽均在临床正常范围内，但相比于实验前，踝部和腓骨小头肌肉复合动作电位波幅出现降低；受试者出现可耐受的腓窝硌、小腿和脚面微麻木等不适，小腿和足的主动运动可明显缓解相关体征。

临床研究发现加压和长时间维持一个不良姿态是腓总神经受压迫的重要原因[9]，有研究表明 19%的临床腓总神经压迫病人是由于长时间处于一个姿势引起[10]。解剖学上腓总神经起自 L4-L5 及 S1-S2 神经，自坐骨神经分出后走行于狭窄而又致密的腓窝外侧沟内[11]，在腓窝外上侧发出后沿股二头肌内缘向外下，穿越股二头肌腱与腓肠肌外侧头之间，沿腓骨头后面并绕行腓骨颈，与骨膜紧贴，后经腓骨长肌纤维弓进入肌腓骨上管，通过狭窄的肌腓骨上管进入小腿。由于解剖结构上的特点，位于肌腓骨上管的腓总神经，容易受到各种复杂外来应力损伤而产生嵌压[12]。节段性运动神经传导检测是临床鉴别运动神经传导阻滞和周围神经影响的重要方法[13]，因此本研究选择了该方法研究神经-肌肉功能影响。

工作状态下易出现腓总神经腓骨小头部位的卡压，且常常被忽视。Kodaira M 等报道了一个病例。一名 38 岁下水管道工人在狭窄的下水道管道里以下蹲姿势工作 6 小时后出现了双侧腓总神经麻痹[14]。可见返回类深蹲体位，长时维持该姿态时可能会出现腓总神经受累相关体征，且着服的影响不起主要作用，体位长时维持的作用更明显。Thakker D 等的研究结果发现神经传导速度与体重指数具有显著相关关系，体重指数较高的受试者感觉和运动神经传导速度显著降低，可能与皮下组织较厚有关[15]。本次实验中 4#受试者在返回坐位下出现了腓总神经传导阻滞，可能与该受试者较高的体重指数有关。

地面临床研究发现长期卧床是深静脉血栓的风险因素，临床实践也揭示了手术后血栓疾病发生的增加，充气式压力设备常用于预防这些血栓疾病的发生，也报道有在间断性充气加压治疗后出现双侧腓总神经麻痹的案例[16] [17]。分析原因认为是长期卧床过程中的营养不良，及由于营养不良造成的体重降低，可能是这些神经问题的亚急性原因[18]。头低位卧床是模拟失重的重要模型，因此该研究结果提示模拟失重/失重条件下需重视营养和体重降低以避免神经问题的发生，同时也影响相关防护措施的应用。

临床上针对长期姿态维持引起的腓总神经受累，给出的防护措施就是变化姿势减压以及防止压迫引起的症状；临床也有一些医学设施可以定期提醒病人变化姿态。另外也发现座椅的柔软程度也与压迫症状有关，综合干预措施如加强营养、姿态检测、改善设施工效学性能可以使神经受压情况降低 69% [10]。本研究中慢性实验设计为 4 小时，实际完成为 2 小时和 4 小时，根据我国目前航天飞行返回情况，进入大气层正常返回时间约需 2 小时，快速返回约需 40 min，因此慢性实验时间设计是合理的。同时与临床实践经验相似，本次慢性实验中，也发现通过在一定范围内活动脚趾、自主控制小腿肌肉做等长锻炼等可缓解出现的症状体征。同时在失重/模拟失重中营养状态的监测和饮食供应都保证体重波动在一定范围

[19], 保证了身体神经 - 肌肉状态。针对返回工况的改善, 各航天大国新飞船的设计已经展开, 如俄罗斯针对新飞船改进研发了新型 Cheget 座椅, 采用 3D 打印技术、轻型材料和足高体位都使返回座椅更加舒适[20]; 美国的 Orion 新航天飞行器座椅的关节角度也处于较为舒适的角度[21], 我国面向登月和深空探测任务的航天器也在论证建立中[22], 新型飞船的研制为载人提供了较好的发射和返回条件。可见通过个体主动运动、健康营养保障以及飞行器的进一步改进, 新型抗荷裤的应用条件会越来越越好。

本实验针对返回坐位下着服对神经 - 肌肉活动的影响开展了研究, 针对性强, 应用指导意义大。实验以验证为目的, 参与实验的受试者人数以满足目的为目标, 但实验结果用于统计样本量偏少; 同时腓总神经运动神经传导采用了与临床不同的坐位检测, 因此根据临床标准对检测结果的解读受到了限制。

5. 结论

返回坐位下短时和长时着抗荷裤对腓总神经运动神经传导速度影响不明显; 返回坐位下长时着抗荷裤, 踝部和腓骨小头肌肉复合动作电位波幅降低, 小腿和足部主动运动有利于耐受。

致 谢

本实验在实施和总结过程中, 航天员科研训练中心李莹辉研究员给予了建议和指导, 曲丽娜研究员在实验设计上给与了建议, 马红磊研究员为实验协调保障了返回座椅, 北京协和医院管宇宙主任医师在运动神经传导技术上给与了指导和帮助, 在此表示感谢!

基金项目

本项目受到载人航天工程预先研究项目(HY-5)及航天医学实验项目(HYZHXM01001)支持。

参考文献

- [1] Nicogossian, A., Pool, S. and Sawin, C. (2001) Status and Efficacy of Countermeasures to Physiological Deconditioning from Space. *Acta Astronautica*, **36**, 393-398. [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(95\)00123-9](https://doi.org/10.1016/0094-5765(95)00123-9)
- [2] Perez, S.A., Charles, J.B., Fortner, G.W., Hurst, V. and Meck, J.V. (2003) Cardiovascular Effects of Anti-G Suit and Cooling Garment during Space Shuttle Re-Entry and Landing. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **74**, 753-757.
- [3] Sides, M.B., Vernikos, J., Convertino, V.A., Stepanek, J., Tripp, L.D., Draeger, J., Hargens, A.R., Kourtifou-Papadeli, C., Pavy-Letraon, A., Russomano, T., Wong, J.Y., Buccello, R.R., Lee, P.H., Nangalia, V. and Saary, M.J. (2005) The Bellagio Report: Cardiovascular Risks of Spaceflight: Implications for the Future of Space Travel. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **76**, 877-895.
- [4] Stenger, M.B., Lee, S.M.C., Westby, C.M., Ribeiro, L.C., Phillips, T.R., Martin, D.S. and Platts, S.H. (2013) Abdomen-High Elastic Gradient Compression Garments during Post-Spaceflight Stand Tests. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **84**, 459-466. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3528.2013>
- [5] Kozlovskaya, I.B. and Grigoriev, A.I. (2004) Russian System of Countermeasures on Board of the International Space Station (ISS): The First Results. *Acta Astronautica*, **55**, 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2004.05.049>
- [6] Krutz, R.W., Ripley, G.L., Marshall, J.A. and Sawin, C.F. (1993) Comparative Performance of a Modified Space Shuttle Reentry Anti-G Suit (REAGS) with and without Pressure Socks. *Seventh Annual Workshop on Space Operations Applications and Research (SOAR 1993)*, Volume 2, NTRS-NASA Technical Report 19940029149.
- [7] 孙浩, 祝郁, 肖艳华, 王健全, 邓金辉, 王惠娟, 王林杰, 贾蕊溪, 马红磊. 模拟月地再入超重环境下新型压力裤防护效果研究[J]. *国际航空航天科学*, 2022, 10(4): 84-91. <https://doi.org/10.12677/JAST.2022.104009>
- [8] American Association of Electrodiagnostic Medicine and Olney, R.K. (1999) Guidelines in Electrodiagnostic Medicine. Consensus Criteria for the Diagnosis of Partial Conduction Block. *Muscle & Nerve. Supplement*, **8**, S225-S229.
- [9] Boatright, S.L. (2010) Compression-Caused Peroneal Neuropathy: Commentary from a Biopsychologist. *Southern Medical Journal*, **103**, 66-71. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e3181c65778>
- [10] Aprile, I., Caliandro, P., La Torre, G., Tonali, P., Foschini, M., Mondelli, M., Bertolini, C., Piazzini, D.B. and Padua, L. (2005) Multicenter Study of Peroneal Mononeuropathy: Clinical Neurophysiologic and Quality of Life Assessment. *Journal of the Peripheral Nervous System*, **10**, 259 -268. <https://doi.org/10.1111/j.1085-9489.2005.10304.x>

-
- [11] 余永华, 向林, 江楠, 罗德艳, 赵磊, 马振超. 腓总神经卡压综合症的解剖学研究[J]. 四川解剖学杂志, 2008, 16(2): 3-4.
- [12] 张宝书, 王选东. 腓总神经嵌压综合征[J]. 青岛医药卫生, 2002, 34(5): 347-348.
- [13] 刘明生, 崔丽英, 汤晓芙, 李本红, 杜华. 运动神经元病 162 例的节段性运动神经传导测定分析[J]. 中华神经科杂志, 2005, 38(11): 694-696.
- [14] Kodaira, M., Sekijima, Y., Ohashi, N., Takahashi, Y., Ueno, K., Miyazaki, D. and Ikeda, S. (2016) Squatting-Induced Bilateral Peroneal Nerve Palsy in a Sewer Pipe Worker. *Occupational Medicine*, **67**, 75-77. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqw133>
- [15] Thakker, D., Shah, N.J. and Trivedi, R.S. (2019) To Study the Effect of BMI on Nerve Conduction Velocity. *International Journal of Basic and Applied Physiology*, **8**, 73-77.
- [16] Fukuda, H. (2006) Bilateral Peroneal Nerve Palsy Caused by Intermittent Pneumatic Compression. *Internal Medicine*, **45**, 93-94. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.45.1459>
- [17] Baima, J. and Krivickas, L. (2008) Evaluation and Treatment of Peroneal Neuropathy. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, **1**, 147-153. <https://doi.org/10.1007/s12178-008-9023-6>
- [18] Sotaniemi, K.A. (1984) Slimmer's Paralysis—Peroneal Neuropathy during Weight Reduction. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, **47**, 564-566. <https://doi.org/10.1136/jnnp.47.5.564>
- [19] Inniss, A.M., Rice, B.L. and Smith, S.M. (2009) Dietary Support of Long-Duration Head-Down Bed Rest. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **80**, A9-A14. <https://doi.org/10.3357/ASEM.BR04.2009>
- [20] Zak, A. (2020) Cheget Cosmonaut Chair. <http://www.russianspaceweb.com/cheget.html>
- [21] Garcia, M. (2013) Astronauts Practice Launching in NASA's New Orion Spacecraft. <https://www.nasa.gov/content/astronauts-practice-launching-in-nasa-s-new-orion-spacecraft>
- [22] 杨雷, 张柏楠, 郭斌, 石泳, 黄震. 新一代多用途载人飞船概念研究[J]. 航空学报, 2015, 36(3): 703-713.