

高原环境下脑卒中偏瘫患者肘关节功能特征的横断面研究

牛金莲¹, 陈芳¹, 贾生恩², 王福荣³, 李蕊², 王德安^{4*}

¹青海省康复医院神经康复科, 青海 西宁

²青海省康复医院康复治疗部, 青海 西宁

³青海省康复医院骨科, 青海 西宁

⁴青海省康复医院影像科, 青海 西宁

收稿日期: 2025年9月3日; 录用日期: 2025年9月30日; 发布日期: 2025年10月11日

摘要

目的: 脑卒中偏瘫患者常存在肘关节屈伸肌力失衡, 表现为患侧峰力矩低于对侧, 且屈肌痉挛模式突出。高原低氧环境可能会加剧脑卒中后神经功能损伤, 但针对偏瘫患者肘关节生物力学特征的研究尚属空白。方法: 本研究纳入30例高原地区(海拔 ≥ 2000 m)的脑卒中偏瘫患者, 于肘关节低速($20^\circ/\text{s}$)等速运动模式下采集其屈曲与伸直运动的峰力矩、峰力矩/体重比及屈伸肌峰力矩比; 并对脑卒中后偏瘫患者的患侧峰力矩与基本信息、对侧峰力矩相关性进行分析。结果: 高原地区脑卒中偏瘫患者的患侧肘关节屈、伸肌峰力矩及相对峰力矩均显著低于对侧($P < 0.05$), 但患侧屈、伸肌峰力矩比值与对侧无显著差异($P > 0.05$); 患侧肘关节屈肌峰力矩与性别、病程、对侧屈肌及伸肌峰力矩呈显著正相关($P < 0.05$), 而伸肌峰力矩与年龄、性别、病程、BMI及对侧屈/伸肌峰力矩均无显著相关性($P > 0.05$)。结论: 高原脑卒中偏瘫患者的肘关节肌力损伤具有肘关节屈伸峰力矩同步减弱的特征, 且病程及对侧肌力与患侧屈肌功能改善显著相关, 需采取屈伸肌群同步强化康复策略。

关键词

高原地区, 脑卒中, 偏瘫, 等速肌力评估, 肘关节

Cross-Sectional Study on Functional Characteristics of Elbow Joints in Stroke Patients with Hemiplegia in Plateau Environments

Jinlian Niu¹, Fang Chen¹, Shengen Jia², Furong Wang³, Rui Li², Dean Wang^{4*}

*通讯作者。

文章引用: 牛金莲, 陈芳, 贾生恩, 王福荣, 李蕊, 王德安. 高原环境下脑卒中偏瘫患者肘关节功能特征的横断面研究[J]. 生物医学, 2025, 15(6): 1062-1066. DOI: 10.12677/hjbm.2025.156114

¹Department of Neurological Rehabilitation, Qinghai Rehabilitation Hospital, Xining Qinghai

²Rehabilitation Treatment Department, Qinghai Rehabilitation Hospital, Xining Qinghai

³Department of Orthopedics, Qinghai Rehabilitation Hospital, Xining Qinghai

⁴Department of Imaging, Qinghai Rehabilitation Hospital, Xining Qinghai

Received: September 3, 2025; accepted: September 30, 2025; published: October 11, 2025

Abstract

Objective: Stroke patients with hemiplegia often exhibit an imbalance in elbow flexion and extension muscle strength, characterized by lower peak torque on the affected side and prominent flexor spasticity. A high-altitude hypoxic environment may exacerbate post-stroke neurological impairment, yet research on the biomechanical characteristics of the elbow joint in hemiplegic patients under such conditions remains scarce. **Methods:** This study enrolled 30 hemiplegic stroke patients from high-altitude regions (≥ 2000 m above sea level). Peak torque (PT), peak torque-to-body weight ratio (PT/BW), and flexor-to-extensor peak torque ratio were measured during low-velocity ($20^\circ/\text{s}$) isokinetic elbow flexion and extension. Correlations between affected-side PT and demographic variables as well as contralateral PT were analyzed. **Results:** The affected side showed significantly lower PT and PT/BW in both flexion and extension compared to the unaffected side ($P < 0.05$). However, the flexor-to-extensor PT ratio did not differ significantly between sides ($P > 0.05$). Affected-side flexor PT correlated positively with gender, disease duration, and contralateral flexor and extensor PT ($P < 0.05$). In contrast, affected-side extensor PT showed no significant correlation with age, gender, disease duration, BMI, or contralateral PT ($P > 0.05$). **Conclusion:** Hemiplegic stroke patients in high-altitude settings demonstrate synchronous reduction in elbow flexor and extensor strength. Rehabilitation strategies should emphasize simultaneous strengthening of both muscle groups, given the significant association between affected-side flexor function and both disease duration and contralateral muscle strength.

Keywords

High-Altitude Region, Stroke, Hemiplegia, Isokinetic Muscle Strength Evaluation, Elbow Joint

Copyright © 2025 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

脑卒中是全球致残率最高的神经系统疾病之一，其所致上肢运动功能障碍严重损害患者日常生活活动能力。脑卒中发病早期约有 80% 的患者遗留上肢运动功能障碍[1]。肘关节运动障碍的恢复是打破共同运动、实现分离协调运动的关键，直接影响上肢整体功能的改善。

等速肌力测试在评估脑卒中偏瘫患者肌力中可信度较高，可作为评估肌力的敏感工具[2]。既往研究表明[3]，脑卒中偏瘫患者肘关节功能障碍主要表现为屈伸肌群协调异常与峰力矩下降。在高原特殊地理环境中，低氧、低气压等因素使得高原地区人群脑血管病发病率高于平原地区[4]。目前尚缺乏高原低氧环境对脑卒中后运动障碍特征的研究。因此，本研究旨在通过横断面研究设计，初步探索高原环境下脑卒中偏瘫患者肘关节功能的特征性改变，为高海拔地区脑卒中后偏瘫患者的康复方案设计提供依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

纳入标准：① 符合脑卒中诊断标准且经过头颅 MRI/CT 的确诊[5]；② 年龄在 40~75 岁；③ 卒中病程在 1~12 个月；④ 改良 Ashworth 量表(modified Ashworth Scale, MAS)分级 $\leq$ II 级；⑤ Brunnstrom 分期 $\geq$ III 期患者；⑥ 能理解试验要求并愿意配合研究者进行试验，且自愿签署知情同意书。

排除标准：① 合并可能致上肢运动障碍、感觉障碍的疾病，如帕金森病、上肢周围神经损伤史、上肢手术外伤史；② 存在意识障碍或严重认知障碍无法配合检查；③ 严重心、肺、肝肾疾病患者。

选取 2024 年 6 月至 2025 年 6 月青海省康复医院康复医学科收治且符合上述标准的脑卒中后偏瘫患者 32 例，其中男 17 例，女 15 例，平均年龄(52.97 ± 6.02)岁，平均病程(4.56 ± 2.12)个月，平均 BMI (23.92 ± 1.75) kg/m²；缺血性脑卒中 20 例，左侧偏瘫 14 例，右侧偏瘫 18 例。

2.2. 等速肌力测试

采用 ISOFORCE 多关节等速测试训练系统(德国制造)，选择等速向心训练。测试顺序为先测对侧，后测患侧。患者取坐位，上身固定，座椅和机头角度均为 0°，腕关节处于中立位并伸直握住操纵杆把手(如握力不足，可用弹力绷带固定)，肘关节轴心对准设备旋转轴(通常为肱骨外上髁)。起始体位为肘伸直 0°，设定肘关节活动范围为 100°，以 20°/s 角速度进行等速测试。正式测试前进行 3 次亚极量屈伸肘关节运动作为准备活动，然后尽全力屈伸肘关节，屈伸肘关节 5 次，每次运动测试间隔 60 s。记录肘关节屈曲和伸直运动时的峰力矩。

2.3. 统计学方法

采用 SPSS 25.0 版统计学软件对所得数据进行统计分析。计量资料采用均数及标准差表示；采用配对 t 检验比较组内患者双侧肘关节屈伸峰力矩的差异，采用 Spearman 秩相关系数分析性别、年龄、病程等与峰力矩的相关性。按检验水准 $P < 0.05$ 表示差异存在统计学意义。

3. 结果

3.1. 等速运动中患侧及对侧肘屈、伸肌峰力矩及其与体重的比较

高原地区脑卒中偏瘫患者的患侧肘关节屈、伸肌峰力矩及相对峰力矩均显著低于对侧($P < 0.05$)，但患侧屈伸肌峰力矩比值与对侧无显著差异($P > 0.05$)，见表 1。

Table 1. Comparison of peak torque, relative peak torque, and peak torque ratio of bilateral elbow flexion and extension muscles in stroke patients with hemiplegia in high-altitude areas

表 1. 高原地区脑卒中偏瘫患者双侧肘关节屈肌、伸肌峰力矩、相对峰力矩及双肘关节屈伸肌峰力矩比值的比较

指标	对侧	患侧	t 值	P 值
屈肌峰力矩(Nm)	28.34 $\pm$ 9.06	14.76 $\pm$ 5.70	9.319	0.001
伸肌峰力矩(Nm)	29.03 $\pm$ 8.95	14.55 $\pm$ 5.33	9.677	0.001
屈肌相对峰力矩(Nm/kg)	0.43 $\pm$ 0.14	0.22 $\pm$ 0.08	9.479	0.001
伸肌相对峰力矩(Nm/kg)	0.44 $\pm$ 0.15	0.23 $\pm$ 0.09	9.265	0.001
屈伸肌峰力矩比	1.07 $\pm$ 0.32	1.03 $\pm$ 0.31	0.464	0.646

注：1) 数据表示为均值 $\pm$ 标准差；2) 相对峰力矩 = 峰力矩/体重(Nm/kg)；3) 屈伸比 = 屈肌峰力矩/伸肌峰力矩；4) $P < 0.05$ 为显著差异。

3.2. 等速运动中患侧峰力矩与患者基本情况及对侧屈/伸肌峰力矩的相关性

经相关性分析, 高原地区脑卒中偏瘫患者患侧肘关节屈肌峰力矩与性别、病程、对侧屈肌及伸肌峰力矩呈显著正相关($P < 0.05$), 而伸肌峰力矩与年龄、性别、病程、BMI 及对侧屈/伸肌峰力矩均无显著相关性($P > 0.05$) (表 2)。

Table 2. Peak torque of flexor and extensor muscles of the affected elbow joint in stroke patients with hemiplegia in high-altitude areas and their relationship with age, gender, disease duration BMI, Correlation analysis of peak torque on the opposite side

表 2. 高原地区脑卒中偏瘫患者患侧肘关节屈肌、伸肌峰力矩与年龄、性别、病程、BMI、对侧峰力矩的相关性分析

指标	年龄		性别		病程		BMI		对侧屈肌峰力矩 (Nm)		对侧伸肌峰力矩 (Nm)	
	相关系数	P 值	相关系数	P 值	相关系数	P 值	相关系数	P 值	相关系数	P 值	相关系数	P 值
屈肌峰力矩 (Nm)	-0.218	0.23	0.458	0.008	0.425	0.015	0.03	0.871	0.367	0.039	0.396	0.025
伸肌峰力矩 (Nm)	0.01	0.957	0.265	0.143	0.236	0.194	0.172	0.348	0.327	0.068	0.286	0.113

注: $P < 0.05$ 为显著差异。

4. 讨论

本研究主要报道了高原地区脑卒中偏瘫患者肘关节肌力特征, 即患侧肘关节屈/伸肌峰力矩及相对峰力矩均低于对侧且几乎同比例下降, 这为高海拔地区脑卒中后偏瘫患者的康复方案设计提供了支持性证据。

一般认为, 脑卒中患者由于上运动神经元的损伤, 导致高位运动中枢失去对运动系统的调控, 使得原始的、被抑制的皮质下运动被释放出来, 导致肌群间的协同紊乱, 产生了异常的运动模式[6]。我们的研究发现高原地区卒中偏瘫患者肘关节屈肌和伸肌几乎同步下降, 这与既往在平原地区脑卒中偏瘫患者肘关节伸肌下降更明显的模式有所不同[3], 这提示高原环境可能对脑卒中患者有独特的神经肌肉损伤模式。独立于脑卒中的影响, 低氧环境本身就能直接或间接地影响神经肌肉功能。研究表明, 低氧可导致中枢疲劳增加, 减少来自中枢神经系统的驱动信号, 从而引起肌力下降[7]; 健康人暴露在低氧环境下会提高皮质脊髓束兴奋性及皮层内抑制[8], 同时低氧环境会通过血管舒张因子释放影响脑血流代谢[9]。虽然脑卒中导致皮质脊髓束损伤是肌力下降的根本原因, 但低氧环境或许能对这一受损网络施加一种全局性的影响, 可能出现一种叠加的、普遍性的肌力再度减弱, 从而导致了不同于平原地区的神经肌肉功能受损模式。然而, 本研究未进行神经电生理评估, 未来需要借助经颅磁刺激(TMS)等技术直接测量皮质脊髓通路功能, 以验证这一推测。

本研究结果显示, 患侧肘关节屈肌峰力矩与病程呈显著正相关, 而伸肌峰力矩则未表现出统计学显著相关性; 这表明随着病程延长, 屈肌肌力恢复速度相对较快, 伸肌恢复滞后, 这与既往研究类似。齐瑞等[3]通过对脑卒中患者肘关节进行等速测试证实, 患侧肘伸肌峰力矩下降幅度比屈肌, 且伸肌达到峰力矩时间明显延长。既往研究表明, 随着病程的进展, 神经可塑性增强可能优先改善屈肌的神经募集能力, 因此屈肌峰力矩更易随恢复时间延长而逐步提升[10]。

另外, 患侧屈肌峰力矩与对侧肌力呈显著正相关, 而患侧伸肌峰力矩则缺乏显著相关性, 这可能与神经支配不对称性相关。研究早已证明存在约 10%~20%未进行锥体交叉的皮质脊髓通路[11], 同时另一

研究表明, 上肢屈肌接受双侧皮质脊髓束投射, 卒中后对侧半球可通过残存通路调控患侧屈肌活动, 而伸肌主要受皮质脊髓束单侧支配[12]。因此, 当卒中后通路中断时, 对侧半球难以有效代偿, 导致伸肌肌力与对侧缺乏关联, 而对侧肢体肌力能通过增加同侧通路的使用, 促进患侧屈肌的恢复。

基于高原地区脑卒中偏瘫患者肘屈伸肌力同步下降以及屈肌力量与病程及对侧肌力相关性的发现, 或许针对高原脑卒中偏瘫患者的康复策略需遵循屈伸并重、伸肌为主的原则。但本研究有一定局限性。首先, 本研究的样本量较小, 降低了结果的普遍性; 然后, 并未进一步对脑卒中部位进行分层分析; 最后, 本研究未能结合电神经生理评估皮质-肌肉传导功能, 以及探索相关机制。未来仍需进一步研究高原环境对脑卒中患者运动障碍的影响机制。

5. 结论

本研究揭示高原环境下脑卒中偏瘫患者肘关节屈伸峰力矩同步减弱的特征, 病程与对侧肌力与屈肌功能改善显著相关, 为高海拔地区脑卒中偏瘫患者康复方案设计提供了实证依据。

基金项目

青海省省级重点临床专科建设项目。

参考文献

- [1] Dawson, J., Liu, C.Y., Francisco, G.E., Cramer, S.C., Wolf, S.L., Dixit, A., *et al.* (2021) Vagus Nerve Stimulation Paired with Rehabilitation for Upper Limb Motor Function after Ischaemic Stroke (VNS-REHAB): A Randomised, Blinded, Pivotal, Device Trial. *The Lancet*, **397**, 1545-1553. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)00475-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00475-x)
- [2] 戴沈皓, 顾伯林, 周湘明. 等速肌力训练与测试在偏瘫患者康复中的研究进展[J]. 中国康复, 2015, 30(4): 298-300.
- [3] 齐瑞, 严隽陶, 房敏, 等. 脑卒中偏瘫患者肘关节屈伸肌等速肌力测试研究[C]//中华医学会物理医学与康复学分会. 中华医学会第九次全国物理医学与康复学学术会议论文集. 泰州: 泰州职业技术学院, 2007: 494.
- [4] 樊青俐, 吴世政, 侯倩. 高原脑血管病的危险因素[J]. 中国卒中杂志, 2016, 11(5): 392-396.
- [5] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715.
- [6] Eschmann, H., Héroux, M.E., Cheetham, J.H., Potts, S. and Diong, J. (2019) Thumb and Finger Movement Is Reduced after Stroke: An Observational Study. *PLOS ONE*, **14**, e0217969. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217969>
- [7] Goodall, S., González-Alonso, J., Ali, L., Ross, E.Z. and Romer, L.M. (2012) Supraspinal Fatigue after Normoxic and Hypoxic Exercise in Humans. *The Journal of Physiology*, **590**, 2767-2782. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.228890>
- [8] Rupp, T., Jubeau, M., Wuyam, B., Perrey, S., Levy, P., Millet, G.Y., *et al.* (2012) Time-Dependent Effect of Acute Hypoxia on Corticospinal Excitability in Healthy Humans. *Journal of Neurophysiology*, **108**, 1270-1277. <https://doi.org/10.1152/jn.01162.2011>
- [9] Claassen, J.A.H.R., Thijssen, D.H.J., Panerai, R.B. and Faraci, F.M. (2021) Regulation of Cerebral Blood Flow in Humans: Physiology and Clinical Implications of Autoregulation. *Physiological Reviews*, **101**, 1487-1559. <https://doi.org/10.1152/physrev.00022.2020>
- [10] 梁明, 窦祖林, 温红梅, 等. 脑卒中患者肘屈伸肌表面肌电变化与运动功能的相关性[J]. 中华医学杂志, 2014, 94(17): 1304-1308.
- [11] Jankowska, E. and Edgley, S.A. (2006) How Can Corticospinal Tract Neurons Contribute to Ipsilateral Movements? A Question with Implications for Recovery of Motor Functions. *The Neuroscientist*, **12**, 67-79. <https://doi.org/10.1177/1073858405283392>
- [12] Zaaimi, B., Edgley, S.A., Soteropoulos, D.S. and Baker, S.N. (2012) Changes in Descending Motor Pathway Connectivity after Corticospinal Tract Lesion in Macaque Monkey. *Brain*, **135**, 2277-2289. <https://doi.org/10.1093/brain/aws115>