

## 基于腕管综合征的手指精确力量控制能力研究

张兆

(广东东软学院 广东省 佛山市 528225)

---

**摘要:** 目的: 研究正中神经受损的腕管综合征 (CTS) 患者的手指精确力量的控制能力。方法: 使用两个相同的微型六维力/力矩传感器采集正中神经受卡压的 CTS 患者, 在可视与不可视两种情况下, 左、右手的拇指和食指指尖的力和转矩数据, 计算左、右手的垂直捏力、负载力以及左、右手拇指与食指的指尖 COP (压力中心) 变化面积。另外采集不患有 CTS 的健康人的数据作为对照。结果: 稳定负载力精确抓握下, 对右手而言, CTS 患者较健康正常人需要更大的负载力及垂直捏力, 而对左手而言, 健康正常人较 CTS 患者需要较大的负载力和垂直捏力。此外, 在可视情况下, CTS 患者左、右手拇指和食指的指尖 COP 变化面积高于健康正常人, 且对应的指尖 COP 变化面积的标准差也大于健康正常人。结论: 正中神经受损导致 CTS 患者的手指精确力控制能力受到一定程度的影响。

**关键词:** 腕管综合征 (CTS) ; 正中神经; 精确抓握; 指尖压力中心 (COP)

**DOI:** 10.64549/jtii.v1i2.59

## Research on the Finger Precision Force Control Ability in Carpal Tunnel Syndrome

Zhang Zhao

(Neusoft Institute Guangdong, Guangdong, Foshan, 528225)

**Abstract:** Objective: To investigate the precision force control ability of fingers in patients with carpal tunnel syndrome (CTS) due to median nerve impairment. Methods: Two identical miniature six-axis force/torque sensors were used to collect force and torque data from the fingertips of the thumb and index finger of both the left and right hands of CTS patients with median nerve compression, under both visible and invisible conditions. The vertical pinch force, load force, and the change area of the fingertip center of pressure (COP) of the thumb and index finger of both the left and right hands were calculated. Additionally, data from healthy individuals without CTS were collected as a control group. Results: Under stable load force precision grasping, CTS patients required greater load force and vertical pinch force compared to healthy individuals for the right hand, while healthy individuals required greater load force and vertical pinch force compared to CTS patients for the left hand. Furthermore, under visible conditions, the change area of the fingertip COP of the thumb and index finger of both the left and right hands was higher in CTS patients than in healthy individuals, and the standard deviation of the corresponding fingertip COP change area was also greater in CTS patients. Conclusion: Median nerve impairment results in a certain degree of impact on the precision force control ability of fingers in CTS patients.

**Keywords:** Carpal Tunnel Syndrome (CTS); Median Nerve; Precise Grip; Center of Pressure (COP) at Fingertip

## 引言

腕管综合征（carpal tunnel syndrome, CTS）是腕管内正中神经受卡压，继而导致手部出现感知和运动功能障碍的一组症候群[1]。正中神经位于手腕表浅区域，容易受到损伤和压迫，从而影响人的手部感知、灵敏度以及准确抓握微小物体的能力，给人们的日常生活造成了极大的不方便[2]。正中神经受卡压会导致其所支配的手部区域包括：拇指，食指，中指和环指桡侧半指出现麻木感、针刺感、灵敏度降低等不适症状[3]，且 CTS 发展到晚期可能会出现大鱼际肌肉萎缩和肌无力症状[4]。随着 CTS 的发病率逐年升高，其引发的肢体功能障碍已成为影响居民健康的重要问题；同时，伴随公众健康意识的觉醒与对健康质量的追求不断提升，人们对 CTS 的早期识别、科学诊疗及远期康复的重视程度日益增加。因此，正中神经受卡压的 CTS 的预防、治疗及术后康复是当务之急，不容忽视[5]。

随着运动康复理念的不断普及与大众认可度的提升，临床医生可结合患者的具体病情，针对不同严重程度的 CTS 患者，制定个性化、针对性极强的康复训练方案，兼顾治疗效果与患者的适配性，助力患者逐步恢复肢体功能。通过康复训练减轻患者手部的不适，提高手的灵活度，可以大大缩短患者康复的时间，加速康复的进程[6]。且正中神经受卡压的腕管综合征患者会严重影响人的手部的精确抓握。因此，本文对正中神经受损的 CTS 患者的手指精确力量的控制能力进行研究，从而判断正中神经压迫损伤下手指精确力控制的损伤情况，对下一步的手部康复治疗做好前提准备。

---

## 一、资料与方法

### （一）研究对象

#### 1. 研究对象

选取医院收治的 CTS 患者 30 例和未患有 CTS 的健康正常人 30 例。其中患者组男性 8 例，女性 22 例；年龄 38~60 岁。正常组男性 8 例，女性 22 例；年龄 35~60 岁。正常组和患者组的性别对应、年龄相仿，且都为

右利手，并受试前已修剪过指甲。

## 2. 纳入排除标准

纳入标准：①患者有典型临床症状，如桡侧 3 个半手指麻木、手部无力、大鱼际肌肉萎缩；②右利手；③患者为右手单侧发病；④患者符合 CTS 的诊断金标准—电生理检查（神经传导测试和肌电图）；⑤年龄为 18~65 岁。

排除标准：①有上肢神经、肌肉、骨骼严重损伤或疾病历史；②有颈椎病、结缔组织病、脉管炎、皮肤病、抑郁症、焦虑症、认知困难等疾病；③有手或腕部的外科手术史。

## （二）仪器设备

基于 LabVIEW 搭建的数据采集虚拟实验平台；两个六维力/力矩传感器(Nano Force/Torque System, ATI Industrial Automation, Apex, NC) [7]；一个 32g 的重力小球。

## （三）数据采集方法

所有受试者均取坐位，上肢放松，双手肘部以上置于实验桌上。将 32g 的重力小球粘在传感器底部，保证传感器具有一定重量，然后将传感器放置在实验桌上的某一固定位置。在启动 LabVIEW 数据采集系统后，受试者保持拇指与食指张开，另外三个手指蜷缩在掌心握紧，从同一位置，使用最小的能够保持传感器水平并稳定的力抓握并举起传感器并保持约 30s 的时间，然后闭上眼睛同样保持 30s 的时间。结束后睁开眼睛并将传感器放回原来位置。该动作每只手重复 3 次。记录以下指标：拇指与食指分别各 6 路（力： $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ ；力矩： $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ ）及左、右手共 24 路的实验数据，如图 1 所示：有竖直向上的  $F_x$  方向、垂直抓握表面向里的  $F_z$  方向，以及垂直  $F_x$ 、 $F_z$  平面的  $F_y$  方向，而且有分别与之对应的力矩  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ 。

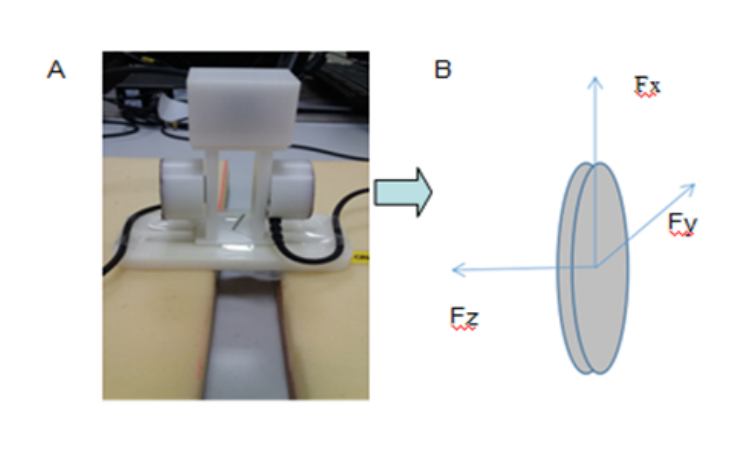


图1 力的方向示意图，其中A图所示的是传感器。B图是A图中右侧传感器的力的正方向图，而左侧传感器的正方向与B图中的Fx方向相同，其他两个方向相反。

#### (四) 观察指标

1.负载力 (LoadForce)。根据拇指和食指在传感器上施加的两个Fx方向上的力，方向同向，求和得出负载力，并取均值进行比较。

2.垂直握力 (Fn)。根据拇指和食指在传感器上施加的两个Fz方向上的力，方向相反，取绝对值求和得出垂直握力，并取均值进行比较。

3.指尖压力中心 (Center Of Pressure, COP) 变化面积。指尖压力中心 (COP) 是指手指抓握一个物体时，指尖总压力的作用线与平面的交点，也就是指尖总压力的作用点，是一个不真实存在的点[8]，是指尖上的中心位置，即指尖的最敏感和最集中的区域，是手指精细操作的重要区域，常用来判断手部精确力控制的稳定性[9]。

#### (五) 数据分析方法

采用 Matlab 2017b 与 SPSS 软件对实验数据进行统计分析：首先计算垂直握力与负载力的均值及方差；其次绘制指尖压力中心 (Center of Pressure, COP) 的运动轨迹图；最后对比分析腕管综合征 (CTS) 患者与健康对照组指尖 COP 变化面积的均值及方差差异，以揭示两组间的运动控制特征差异。

## 二、结果

### (一) CTS 患者与健康正常人负载力 (LoadForce) 比较

在可视与不可视两种情况下,无论是左手还是右手,患者组和健康组在不可视情况下产生的负载力均值比可视情况下偏低。而且,在可视与不可视两种情况下,患者组右手负载力标准差的值比正常组右手负载力的标准差值偏高。在可视情况下,对右手而言,CTS 患者较健康正常人需要更大的负载力;而对左手而言,健康正常人较 CTS 患者需要较大的负载力。详见图 2。

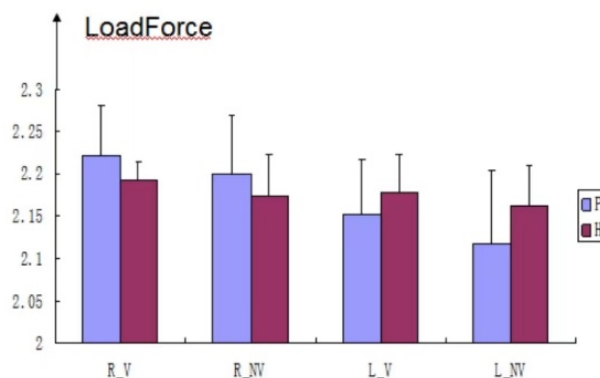


图 2 指力柱状图 (R\_V: 睁眼时右手的指力, R\_NV: 闭眼时右手的指力, L\_V: 睁眼时左手的指力, L\_NV 闭眼时左手的指力)。图中显示的是患者与健康人的左右手在可视与不可视情况下负载力的均值与标准差。

### (二) CTS 患者与健康正常人垂直握力 (Fn) 比较

在可视情况下,对右手而言,CTS 患者较健康正常人需要更大的垂直握力;而对左手而言,健康正常人较 CTS 患者需要较大的垂直握力。而且,较明显的是,在可视情况下,患者组右手垂直握力标准差较正常组右手偏高。详见图 3。

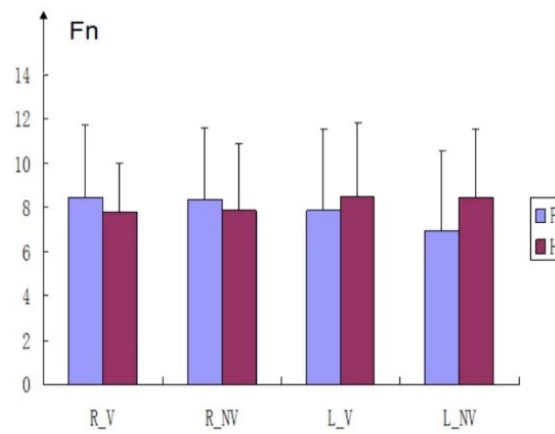
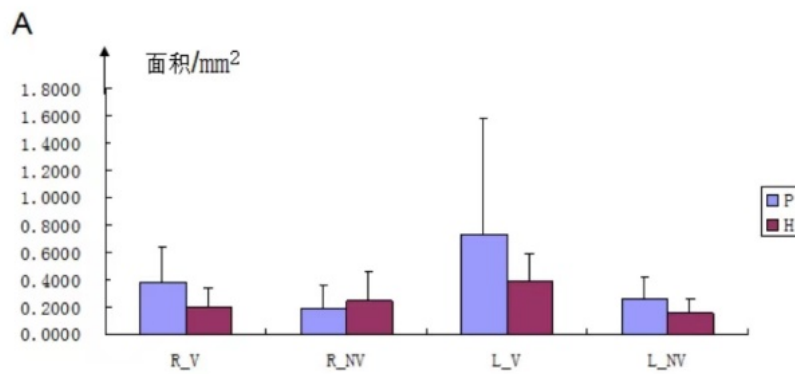


图3 指力柱状图 (R\_V: 睁眼时右手的指力, R\_NV: 闭眼时右手的指力, L\_V: 睁眼时左手的指力, L\_NV: 闭眼时左手的指力)。图中显示的是患者与健康人的左右手在可视与不可视情况下垂直握力的均值与标准差。

### (三) CTS 患者与健康正常人指尖 COP 变化面积比较

在可视情况下, 患者组左、右手拇指和食指的指尖 COP 变化面积均值高于正常组, 且对应的指尖 COP 变化面积标准差也大于正常组。详见图 4。



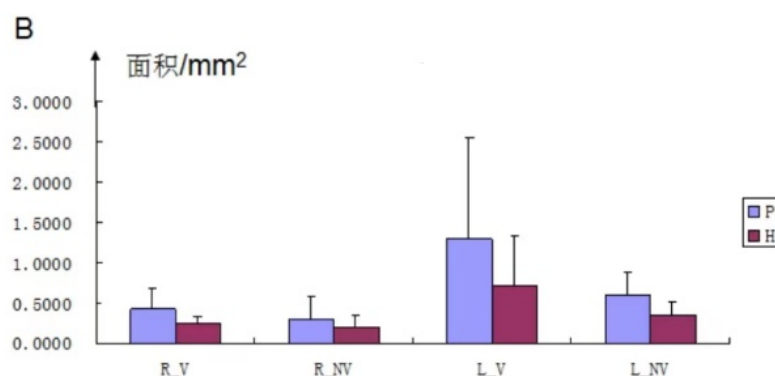


图 4 患者组和正常组在不同情况下的指尖 COP 变化面积的均值和标准差柱形图 (R\_V: 睁眼时右手的指尖 COP 变化面积, R\_NV: 闭眼时右手的指尖 COP 变化面积, L\_V: 睁眼时左手的指尖 COP 变化面积, L\_NV 闭眼时左手的指尖 COP 变化面积)。A 图: 患者和健康人的左右手拇指分别在可视与不可视情况下的指尖 COP 变化面积的均值和标准差柱形图, B 图: 患者和健康人的左右手食指分别在可视与不可视情况下的指尖 COP 变化面积的均值和标准差柱形图。

### 三、讨论

CTS 发病原因主要为腕管内容积减少或压力增大, 使得正中神经受到压迫而导致其桡侧指麻木及手指麻木和疼痛, 并常向肘部、肩背部放射, 临床表现为动作僵硬、不灵活及拇指外展以及对掌的姿势表现乏力等[10]。正中神经受卡压的 CTS 患者会严重影响人的手部的精确抓握。健康正常人可以通过适当调节来保持抓握时物体的稳定, 而患者由于正中神经受损使得在精确抓握一个物体时, 手指力量受到影响。因此, 判断正中神经压迫损伤下手指精确力控制的损伤情况, 对患者日后进行手部康复, 改善患者生活质量具有重要意义。

负载力和垂直捏力在幅值和时间上的紧密联系在很多试验中被研究如: 抓握和举起、抓握时前臂旋前和旋后等[11], 以此来找出健康人和患者之间手指精确力控制的差异。本研究结果显示: 在可视情况下, 对右手而言, CTS 患者较健康正常人需要更大的负载力和垂直捏力; 而对左手而言, 健康正常人较 CTS 患者需要较大的负载力和垂直捏力。而且, 较明显的是, 在可视情况下, 患者组右手负载力和垂直捏力的标准差均较正常组右手偏高。分析其原因可能在于, CTS 患者的正中神经受卡压使得手指出现麻木、刺痛, 从而导致可视情况下, 患者产生较健康人更大的负载力及垂直捏力且变化幅度明显。

在精确抓握一个物体时, 手指施加在物体上的压力并不是均匀的分布到接触物体的表面, 而是确定到某一具

体点的位置,一些细微的差异都会造成指尖 COP 的改变,因此,可以使用指尖 COP 的变化面积大小来判断手部精确力控制的稳定性[9]。本研究结果显示:在可视情况下,患者组左、右手拇指和食指的指尖 COP 变化面积均值高于正常组,且对应的指尖 COP 变化面积标准差也大于正常组。分析其原因可能在于,CTS 患者手部的不适使得其在抓捏传感器时出现不稳定情况,从而导致其指尖 COP 变化面积普遍比正常人偏大且变化幅度明显。

#### 四、结论

正中神经受卡压引发的腕管综合征(CTS)会显著影响患者手指的精细动作功能,进而干扰其日常生活活动能力。本研究在严格遵循伦理规范、确保受试者安全无损伤的前提下,通过系统评估与分析,不仅可以帮助人们加深对腕管综合征的了解,还能为临床医生提供客观依据,使其能够根据患者手部不适的具体程度与类型,制定更具针对性的个性化治疗与康复方案,最终实现缓解患者症状、改善手部功能、提升生活质量的目标。

#### 参考文献:

- [1]. 沈素红,耿丰勤,付卓,等.腕管综合征正中神经病变多模态超声与神经电生理的对比研究[J].中国超声医学杂志,2023,39(06):688-692.
- [2]. 雷玮,钱晓路,孙晓春,等.腕管综合征患者疾病严重程度及影响因素调查分析[J].护理学杂志,2014,29(18):8-11.
- [3]. 赵国瑞.腕管综合征康复锻炼[J].开卷有益-求医问药,2022,(01):34.
- [4]. 吴鹏,虞聪.轻中度腕管综合征保守治疗进展[J].国际骨科学杂志,2010,31(01):26-28.
- [5]. 董美珍.手外伤术后患者的康复护理及指导[J].临床医药实践,2006,(03):228-229.
- [6]. 席智杰,张晓刚.保守治疗腕管综合征 56 例[J].亚太传统医药,2007,(01):59-60.
- [7]. 贾振元,李映君,张军,等.并联式轴用压电六维力/力矩传感器[J].机械工程学报,2010,46(11):62-68.
- [8]. 孟昭莉,元文学,刘海斌.压电式测力平台系统输出压力中心参数的实验研究[J].医疗卫生装备,2010,31(04):21-23.
- [9]. 林玎玎,刘莉,赵建东,等.双足步行机器人的 ZMPCoP 检测及研究[J].机器人,2004,(04):368-372+379.DOI:10.13973/j.cnki.robot.2004.04.016.
- [10]. 穆桂瑶,杨晓光,刘嘉媛,等.高频超声诊断腕管综合征的研究[J].中国医学装备,2022,19(05):116-119.
- [11]. Shouchen D, A R K, Zong-Ming L. Lower median nerve block impairs precision grip. [J]. Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, 2007, 17(3):348-54.