



辅助技术

RESNA 官方期刊

RESNA



ISSN: (印刷版) (在线版)期刊主页: [www.tandfonline.com/journals/uaty20](http://www.tandfonline.com/journals/uaty20)

## 智能脚踝手环-激光装置用于改善帕金森病患者的步态并检测步态冻结:一系列病例

Chompoonuch Ratanasutiranont、Kwan Srisilpa、Pichet Termsarasab 和  
佩拉雅·鲁蒂拉蓬

引用本文: Chompoonuch Ratanasutiranont、Kwan Srisilpa、Pichet Termsarasab 和 Peeraya Ruthiraphong (2023) 智能脚踝手环激光装置可改善帕金森病患者的步态并检测步态冻结:病例系列,辅助技术,35:5,417-424,DOI: 10.1080/10400435.2022.2113179

本文链接: <https://doi.org/10.1080/10400435.2022.2113179>



© 2022 作者。由 Taylor & Francis Group, LLC  
授权出版。



查看补充材料



在线出版日期:2022 年 9 月 22 日。



向该期刊提交您的文章



文章浏览量:1338



查看相关文章



查看 Crossmark 数据





## 智能脚踝手环-激光装置可改善步态并检测步态冻结 帕金森病患者:病例系列

Chompoonuch Ratanasutiranont,医学博士<sup>a</sup>, Kwan Srisilpa,医学博士<sup>a</sup>, Pichet Termsarasab,医学博士<sup>b</sup>,  
和 Peeraya Ruthiraphong 医学博士<sup>a</sup>

泰国曼谷玛希隆大学医学院拉玛提波迪医院康复医学系;  
泰国曼谷玛希隆大学医学院拉玛提波迪医院神经病学部

<sup>b</sup> 医学系,

### 摘要

步态冻结 (FOG) 是帕金森病最严重的症状之一。此外,药物治疗对步态冻结反应不佳。视觉提示已被证明可以缓解帕金森病中的步态冻结;然而,它们的功效并不一致。目前,大多数移动提示设备都用作开环提示系统,需要手动控制才能实现持续的视觉提示。因此,这种设备可能不适合某些人,尤其是那些注意力不集中的人。此外,在现实生活中客观测量步态冻结仍然具有挑战性。因此,我们开发了一种智能踝关节激光器作为闭环提示系统,可以检测患者的步行模式并自动投射一条跟随每个步行步骤的激光线,从而减少注意力。设备内还记录了实时运动以进行步态冻结测量。我们研究了该设备对三名患有步态冻结的帕金森病患者 (一名男性和两名女性,年龄 58-76 岁) 使用后立即使用的功效,以及两名患者在 1 周随访中的功效。使用激光后,步行速度、计时起立行走测试表现、步幅和 % FOG 得到改善,且没有副作用。

### 文章历史

2022 年 8 月 2 日接受

**关键词提示:** 步态

障碍;激光;

帕金森病;自助设备

### 介绍

步态冻结 (FOG) 是帕金森病最常见的衰弱症状之一,可导致多次跌倒和相关伤害。FOG 的最佳治疗方法仍然具有挑战性,有些病例对药物有抵抗力 (Nutt 等人, 2011)。外部提示技术 (例如使用视觉和听觉提示的技术) 已被用作非药物方法来减少 FOG 并改善行走能力 (McCandless 等人, 2016; Rocha 等人, 2014)。对于时空参数,视觉提示可能比听觉提示提供更多益处 (Suteerawattananon 等人, 2004)。然而,将视觉提示转化为日常使用的高效实用的提示是困难的。固定的视觉提示 (例如在地上用胶带贴一条脱衣舞线以供跨过) 在医院或实验室环境外行走时应用有限。目前,移动视觉提示设备通常用作开环系统 (Mancini 等人, 2018 年),这需要外部来源 (例如手控) 在脚前投射恒定的感官刺激或视觉提示,例如助行器或手杖激光。因此,这些设备可能并不适合所有人。有些人可能会分心而无法正确操作设备。此外,对于某些人来说,不断控制脚前的激光提示投影可能很困难,尤其是那些上肢功能障碍的人。这些问题可能导致这些设备的功效不一致 (Spaulding 等人, 2013 年);此外,一些研究报告称结果没有改善

(Donovan 等人, 2011) 或更慢的步行速度 (Cubo 等人, 2003)。此外,使用开环提示系统在长期维持效果方面存在局限性。此外,该系统可能会增加某些 FOG 患者的提示依赖性 (Ginis 等人, 2018)。由于患有 FOG 的帕金森病患者通常会出现认知障碍,因此持续的视觉提示或外部刺激可能会影响依赖性并阻碍运动学习过程 (Vandenbossche 等人, 2013)。因此,使用该设备所需的双重任务所涉及的额外认知负荷可能会限制运动再学习能力。最近,已经开发出新型闭环提示设备,其采用可穿戴传感器技术来检测个人的步态模式并根据用户的运动表现提供感官反馈 (提示)。根据个人的表现,刺激 (视觉提示) 会间歇性地投射,这可以减少对提示的依赖,并且比常规和连续投射的提示更有利于运动再学习。我们应用这些技术开发了一种新的视觉提示设备,即脚踝手环激光器,具有以下三个用途。首先,该设备设计为闭环提示设备,以提供在每次迈步后自动投射的激光提示。一旦脚触到地板,激光线就会投射到另一只脚的前面。使用这个过程,视觉提示可以通过自动投射激光提示来减轻在行走时执行手动控制激光提示的双重任务的负担

每一步之后的激光提示。其次,选择踝关节放置激光是因为踝关节适合可穿戴设备;患者无需过度弯曲背部即可将设备放置在踝关节上。该设备可以在户外与所有类型的鞋类一起使用。它也可以赤脚使用,这适合亚洲文化,因为亚洲文化中大多数人在室内不穿鞋。最后,将 FOG 监测系统整合到设备中。常用的 FOG 评估问卷缺乏客观性,在医院评估 FOG 可能无法反映患者在现实生活中的 FOG;一些 FOG 患者在医院或步态实验室环境中往往正常行走,通常称为白大褂效应 (Shah 等人, 2020 年)。因此,我们添加了 FOG 检测系统以获取客观数据来跟踪 FOG 的进展并调整治疗。本研究的目的是证明我们的新型智能视觉提示设备在改善步行能力和监测 FOG 模式方面的有效性。

方法

四名符合纳入标准的患有 FOG 的帕金森病患者被招募到研究中。纳入标准如下:1)由神经内科医生诊断为帕金森病;2)无论是否借助步行辅助器都能行走至少 10 米;3)过去 3 个月内未调整药物;4)根据统一帕金森病评定量表 (UPDRS)第 14 项 (行走时冻结)的 2 分 (行走时偶尔冻结)或 3 分 (行走时经常冻结,因冻结而偶尔跌倒)确定有 FOG 病史。排除标准如下:1)看不到激光线;2)其他神经系统疾病;3)无法交流或理解如何使用该设备。一名参与者被排除在研究之外,因为他们在测试过程中因白大褂效应而未经 FOG。

干涉

移动式脚蹩手环激光提示被设计为一个闭环提示装置,以便能够自动投射激光提示并根据每个人的步行模式进行调整。

该装置尺寸为 9.5 × 5.5 × 1.5 厘米,重 250 克,附着于胫骨两侧区域,如图1所示。

该装置由单个惯性测量单元 (IMU) 模块组成,该模块结合了三轴陀螺仪和三轴加速度计来检测小腿加速度/速度,并与微控制器集成以控制激光线的投射。在校准过程中确定了启用激光提示的阈值,要求受试者在佩戴装置时行走以测量他们的小腿速度,该速度用于计算个人在行走过程中的平均小腿速度。阈值最初设置为获取的小腿速度的 50%,可以根据患者的喜好进行调整。当检测到小腿速度低于 50% 时,表明发生了 FOG,激光线投射在患者对侧脚的前方以跨过并在步态周期中脚接触地板时提供进入摆动阶段的视觉提示。每只脚前方的激光线投影距离可以根据个人喜好手动调整。激光线的这种循环反复、连续地交替,并根据每个患者的步行模式自动调整。此外,小腿速度记录在基于云的系统,以检测客观的 FOG 数据。在开始上述实验研究之前,我们将从 IMU 设备收集的小腿速度数据与与黄金标准光电运动捕捉 (基于标记)系统 (Optitrack PRIME 17 W)同步的录制视频进行了比较。集群标记附在设备旁边,以记录行走过程中的小腿速度 (图2)。使用 MATLAB2021a (The MathWorks,美国)计算并可视化这两个数据集 (即 IMU 和标记数据)之间的互相关值。

结果表明,r 的相关性很强  $r^2 = 0.74$  (图3)。

实验设计

在放置脚蹩手环激光装置后,立即对使用和不使用激光束 (激光开启和激光关闭)的患者的视频记录中的步速、计时起立行走 (TUG) 测试、步幅和雾化眼压 (%FOG) 百分比进行评估。

随后,所有参与者都被要求在 1 周后完成相同的评估。患者没有在家中持续使用该设备,因为我们想证明视觉提示对 FOG 的影响并非偶然发生

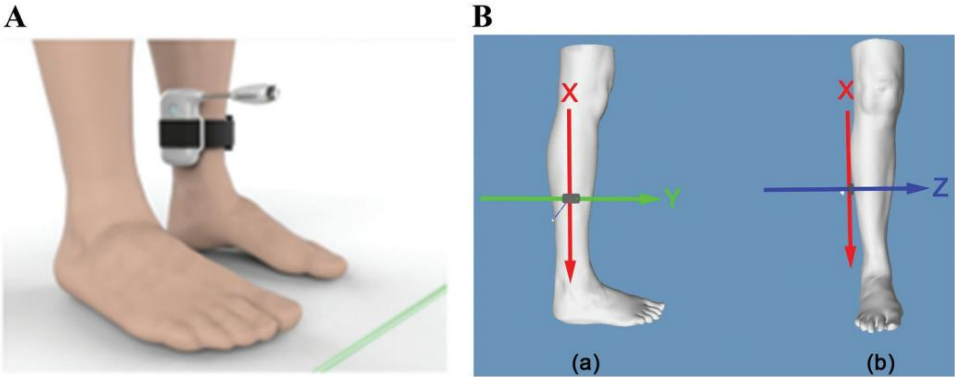


图 1. (a) 建议的设备,佩戴在脚踝周围。(b) 显示 IMU 的轴。Z 轴是从内侧到外侧解剖侧的方向。X 轴是垂直线。Y 轴是从后到前的方向。



图 2.将集群标记放置在惯性测量单元旁边,以便使用光电运动捕捉与黄金标准进行比较;基于标记的系统 (Optitrack PRIME 17 W) 。

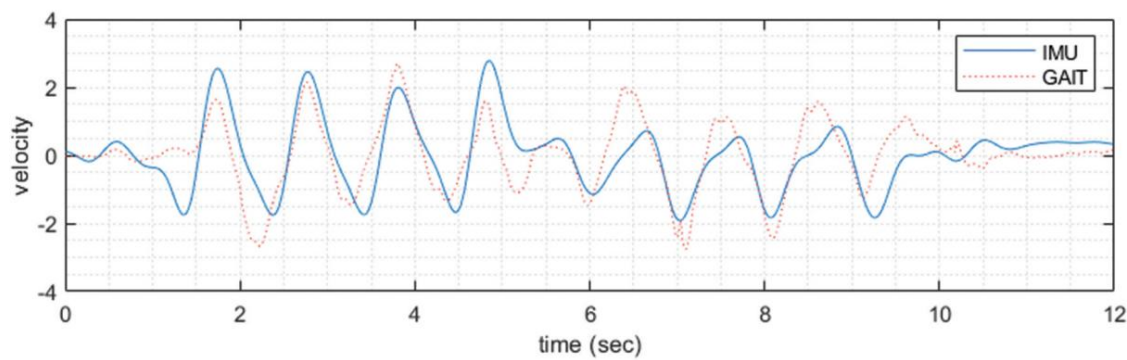


图 3.图表显示了惯性测量单元检测到的胫骨速度与步态实验室系统的聚类标记之间的相关性。

并且该设备可以帮助减少 FOG,且无需学习曲线。在评估期间,患者在家中自行锻炼,无需使用该设备。参与者在参与之前被告知研究的目的和程序,并提供书面知情同意书。

使用密封信封将每位参与者随机分组,以确定是否使用激光束引导。在开始激光束评估之前,每位参与者进行了几分钟的试验,以便将激光线调整到适合脚跨过的距离,并学习如何使用该设备。在开启和关闭激光的情况下行走之间有 10 分钟的冲洗期。在开始评估之前,每位参与者交替用双脚原地踏步 10 次作为热身。然后,每位参与者步行 10 米两次以测量步速和步幅,并休息几分钟,直到患者感觉准备好继续进行两次 TUG 测试。使用总 10 米距离中的 6 米距离来分析步速。两名经验丰富的理疗师分析了行走过程中的视频记录,以评估 6 米距离的步幅。在地板上标记起点以确定 6 米距离开始时的第一步,在 6 米距离结束时标记第二点。步数从脚碰到或越过第一个标记开始计算,碰到或越过第二个标记后停止。步数

长度是通过将步数除以 6 米距离来计算的。FOG 是根据腿部运动 (拖曳、颤抖和完全运动不能) 和突然停止来定义的。FOG 发作可能非常短 (<1 秒)、短 (2-5 秒) 或长 (>5 秒) (Mancini 等人, 2021) 一到三名评估员对视频记录的评估对 FOG 发作进行视觉评分被认为是衡量 FOG 严重程度的黄金标准,并且具有 0.66-0.73 的中等评分者间信度 (Moore 等人, 2013 年; Morris 等人, 2013 年)。在这项研究中,两名专业临床医生使用在 TUG 任务期间录制的视频标准化步态评估来评估 %FOG,其计算方法是将所有 FOG 发作的累计持续时间除以步行任务的总持续时间:

$$\% \text{FOG} = (\text{步态任务期间观察到的 FOG 总持续时间} \times 100) / \text{TUG 任务期间步行模式的总持续时间。}$$

TUG 任务期间步行的总持续时间通过总距离 6 米计算得出 (向前步行 3 米,转身,然后步行 3 米回到椅子位置)。使用两次 TUG 试验计算平均 %FOG。

还使用数字平台从设备记录了 FOG 数据。临床医生通过查看数字平台中显示高频率低振幅的图表,手动根据 IMU 数据检测 FOG。在标记 FOG 的开始和持续时间后,

步行距离的总持续时间,该程序使用与视频记录评估相同的公式计算 %FOG。

1周后,患者被要求参加另一项实验研究。一名患者因新冠肺炎相关原因和家庭问题未能完成随访。

该研究已获得Ramathibodi医院人类伦理委员会的批准 (批准号COA.MURA2021/995)

结果

三例患者的临床特征如表1所示。

结果参数

经过几分钟学习如何使用该设备并调整激光线的适当距离后,步速、步幅、TUG 测试和 %FOG 在打开激光后立即得到改善。1 周后,FOG 发作的结果各不相同。所有参与者均未出现不良影响。结果摘要如表2 所示。

主题A

一名 58 岁的泰国女性因大面积肺栓塞而心脏骤停。康复后,她开始出现行走困难。经临床评估,她被诊断为右半帕金森病,伴有皮质基底节综合征样特征 (轻度运动性失用症和右手书写感觉丧失) ,主要表现为右腿僵硬,继发于双侧基底节缺氧性脑损伤,左侧神经节损伤更严重。FOG 是 5 年来的主要症状,对 600 mg/天左旋多巴和 4 mg/天罗匹尼罗无效。过去 2 年,FOG 明显恶化,导致多次跌倒。

此外,她的注意力也有些障碍。她家地板上的红线被用作减少 FOG 的外部提示。然而,固定的视觉提示只对

在家中行走。移动视觉 (步态辅助激光)提示,如助行器或手杖激光,并不合适,因为她的注意力缺陷导致无法手动控制设备以有效投射激光线。她被转介到我们的康复诊所进行步态管理,包括跌倒减少。试用该设备几分钟后,步行速度和步幅从关闭激光时的平均 0.44 米/秒和 0.68 米增加到打开激光时的平均 0.50 米/秒和 0.73 米。打开激光提示后,TUG 测试时间从 39.60 秒减少到 21.70 秒。FOG 主要发生在转弯时,这需要物理辅助来确保稳定性,如视频 1 所示。关闭激光时行走时的最大 %FOG 为 47%。然而,打开激光后,%FOG 显著降低至不到 5% (视频 2) 。该装置检测到的FOG监测数据如图4所示。没有观察到不良影响。

她因新冠肺炎相关原因及家庭问题未能参与随访。

科目 B

一名 68 岁的男性,两年前被诊断患有帕金森病,具有姿势不稳和步态困难的表型。

他每天服用 300 毫克左旋多巴四次,左旋多巴引起的 FOG 症状明显。他可以在家里走动而不会摔倒,尽管如果出现 FOG,他偶尔需要抓住房子里的固定物体,并且他在社区里有监督员陪同。在激光开启和关闭条件下,步速和步幅分别平均增加了 0.15 米/秒和 0.085 米。

打开激光提示后,TUG 测试时间从 21 秒减少到 19 秒。打开激光行走时,%FOG 从平均 40% 减少到 15%。在 1 周的随访中,TUG 测试时间从平均 23 秒减少到 18 秒。FOG 主要发生在起步和转弯时,如视频 3 和图5 所示。打开激光后,%FOG 从 34.5% 减少到 5.5%,如视频 4 和图6所示。在激光开启和关闭条件下,步速和步幅没有显示出太大差异。

科目 C

一名 76 岁的女性患帕金森病已有 10 年,过去 4 年内出现进行性 FOG。她没有跌倒史,因为她在屋内行走时会抓住固定物体。但她害怕在社区里行走。她每天服用两次 100 毫克左旋多巴 (即 200 毫克/天)和 1 毫克/天雷沙吉兰。

在激光开启和关闭条件下,步行速度和步幅分别平均增加 0.11 米/秒和 0.095 米。打开激光提示后,TUG 测试时间平均减少 5.5 秒。%FOG 从平均 46% 显著降低至 18% (视频 5 和 6 以及图 7 和8) 。在 1 周的随访中,在开启激光的情况下行走时,步行速度和步幅均有所降低。在开启和关闭激光的情况下行走时,TUG 测试时间没有改善。%FOG 从 27.7% 降至 22.3%。

表 1.受试者的特征。

	A	乙	C
年龄	58	68	76
性别	女性	男性	女性
诊断	次要 帕金森病	帕金森姿势不稳定和 步态困难	帕金森综合征
螫		(PIGD)表型	
FOG 持续 时间	3 5 年	3 2 年	4 年
助行器	没有任何	没有任何	没有任何
治疗	左旋多巴 600 毫克/天和罗 匹尼 罗 4 毫克/ 天。	左旋多巴 300 mg qd	左旋多巴 100 mg,每日 两次 (200 mg/天) ,雷沙吉兰 1 mg/天



表 2.激光开启和激光关闭时的步行速度、步幅、TUG 测试和 %FOG 结果。

	A		乙		C	
	激光关闭	激光开启	激光关闭	激光开启	激光关闭	激光开启
	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
步速(m/s)第 1 次试验 第 1 周	0.41/0.46	0.47/0.53	0.6/0.6	0.75/0.75	0.23/0.33	0.4/0.38
随访时的步速(m/s)第 1 次试验 步幅(m) 第 1 周随访	-	-	0.86/1	0.86/1	0.46/0.43	0.35/0.38
时的步幅(m)第 1 次试验的	0.68/0.67	0.7/0.76	0.8/0.80	0.92/0.85	0.41/0.57	0.57/0.60
TUG 第 1 周随访时的 TUG % FOG (视频)第 1 次试	-	-	1.00/0.92	1.03/1.1	0.60/0.60	0.50/0.52
验 发作次数	44.7/34.5	22.3/21.1	21/21	19/19	71/55	61/54
	-	-	25/21	18/18	41/41	44/45
	47/35	5/0	23.8/57.1	15.8/15.8	46/47	26.2/9.7
	7/3	1/0	1/3	1/2	4/3	2/2
% FOG (IMU)第一次试验	46.8/32	4.5/0	24.6/55.9	17/13	46/46	26/9.55
发作次数	7/3	1/0	1/3	1/2	4/3	2/2
% FOG (视频)随访 1 周的发作次数	-	-	40/33	11/否	30.4/23.8	25/13.3
			3/3	1/否	4/2	3/2
1 周随访中的 FOG 百分比 (IMU) 发作次数	-	-	38/31	10.96/否	29.4/26	27.75/16.8
			3/3	1/否	4/2	3/2

主观方面

使用该设备时没有观察到任何不良影响,例如看激光线时头晕或视力模糊。

FOG 测量 (视频和 IMU)

通过对视频记录中 %FOG 的分析发现,两者的最大差异为 5 秒和 5%

評估員。

从IMU检测到的胫骨速度图进行的客观评估表明,两位临床医生在标记冻结的开始和持续时间方面具有更高的可靠性,在标记冻结的开始和持续时间方面表现出较小的差异,最大差异为2秒和<1%。

从视频记录和 IMU 数据评估中检测到的 FOG 事件数量没有差异。

讨论

在本研究中,我们检查了三名患有 FOG 的帕金森病患者。脚踝手环激光装置的直接效果是,在试验开始后的几分钟内,步行速度、步幅、TUG 测试和 %FOG 都有显著改善。我们的闭环提示装置会根据个人步行模式自动投射激光线,操作时需要的注意力较少。参与者能够专注于步行。这可能比需要注意力的开环提示装置更有优势,因为开环提示装置需要双重任务,这可能会导致一些不良的患者预后 (Cubo 等人, 2003 年)。然而,在 1 周的随访中,几个参数没有显示出改善,并且同一受试者的不同试验结果也不同。在所有受试者中,FOG 发生在第一次步行速度和 TUG 测试中,因此,通过在开启激光的情况下降低 %FOG,所有步态参数都显示出临床改善。此外,激光提示可以通过让受试者采取

迈出更大的一步才能到达激光线,因此增加了帕金森病患者的步行速度,如先前的研究所述 (Zanardi 等人, 2021 年)。步行速度的改善达到了帕金森病的最小临床重要差异,根据 UPDRS 运动量表反映了中度变化 (0.06 米/秒) (Hass 等人, 2014 年)。在有多次跌倒史的受试者 A 中, TUG 测试改善也达到了帕金森病的最小可检测到的变化 (3.5 秒) (Huang 等人, 2011 年)。受试者 A 报告说该设备易于使用,并且她可以使用该设备走得更快。患者觉得跨过的激光线的距离比她家里提示的固定距离更自然。受试者 B 和 C 在检查日期之前没有使用提示设备的经验。在为期一周的随访中,受试者 B 和 C 在步行速度测试中均未表现出 FOG,这也许可以解释为什么在激光开启和激光关闭条件下步行速度和步幅没有差异。TUG 测试期间的 FOG 发作发生在转身和开始行走时,方式与第一次试验期间的类似。在受试者 B 中,在开启激光的情况下,为期一周的随访中 %FOG 下降到 10% 以下,这可能归因于对该设备更加熟悉。患者报告在没有 FOG 的情况下行走很轻松,疲劳感也较少。对于受试者 C,虽然在为期一周的随访中 %FOG 较低,但步行速度和 TUG 测试时间比关闭激光时更差。对于第一次试验,关闭激光时的最大 FOG 为 46%,打开激光时下降到 26%。26% 的 FOG 发生在 TUG 测试结束时,当时患者从站姿变为坐姿,她的注意力集中在椅子上而不是激光线上。虽然我们要求参与者在随访前保持相同的锻炼和物理治疗计划,但受试者 C 在家中放置了固定的视觉提示,并以类似于戴着设备行走的方式练习行走。与第一次关闭激光的试验相比,这可能促使 1 周随访中的 TUG 测试表现大幅改善。1 周随访中的最大 TUG 测试时间为 41 秒 (激光关闭时) (视频 7),比

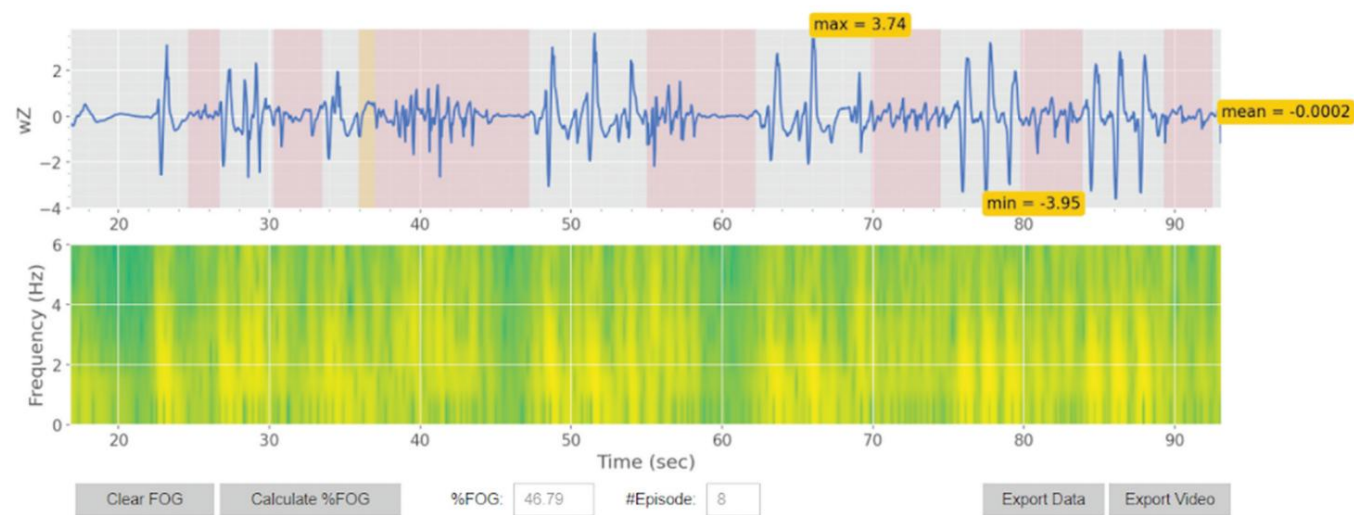


图 4.在基于云的评估平台上分析的步态冻结 (FOG)数据。突出显示的区域表示受试者在激光关闭时发生的 FOG 事件。Wz 表示 Z 轴的角速度 (弧度/秒,rad/s)。因此,围绕 Z 轴的角速度显示了矢状面中的运动强度。

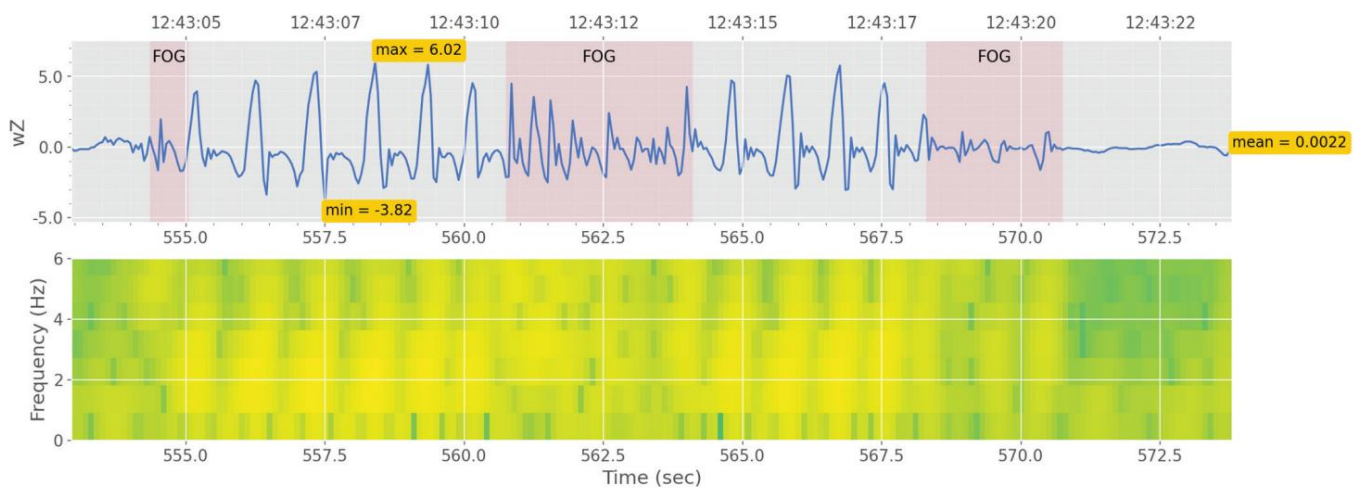


图 5.在激光关闭的情况下,受试者 B 的惯性测量单元的步态检测冻结。

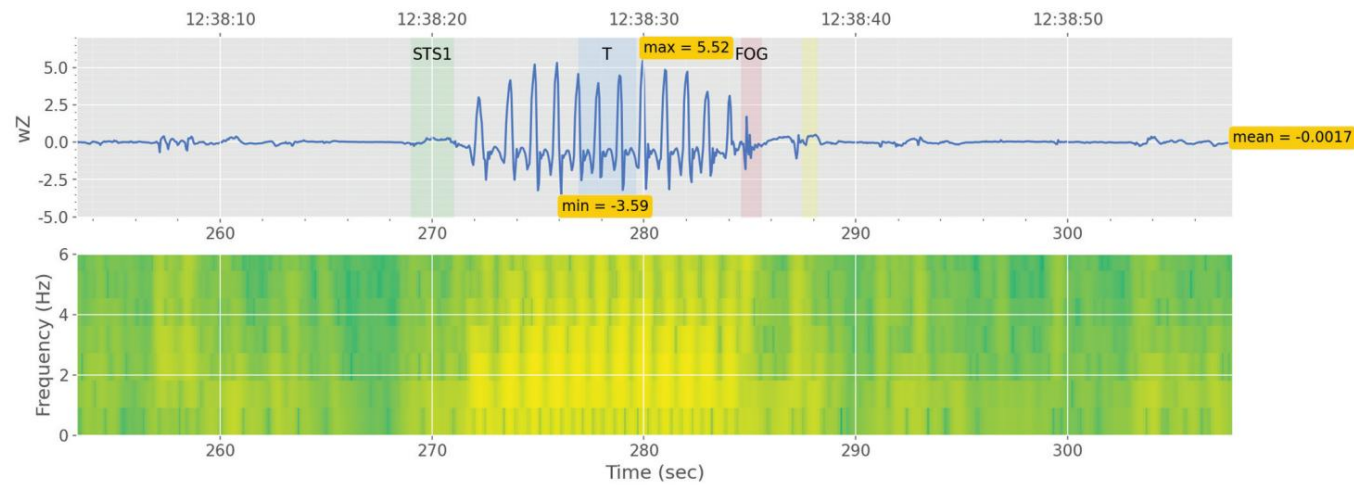


图 6.开启激光后受试者 B 的步态冻结.STS1,从坐到站;T,转身;STS2,从站到坐。

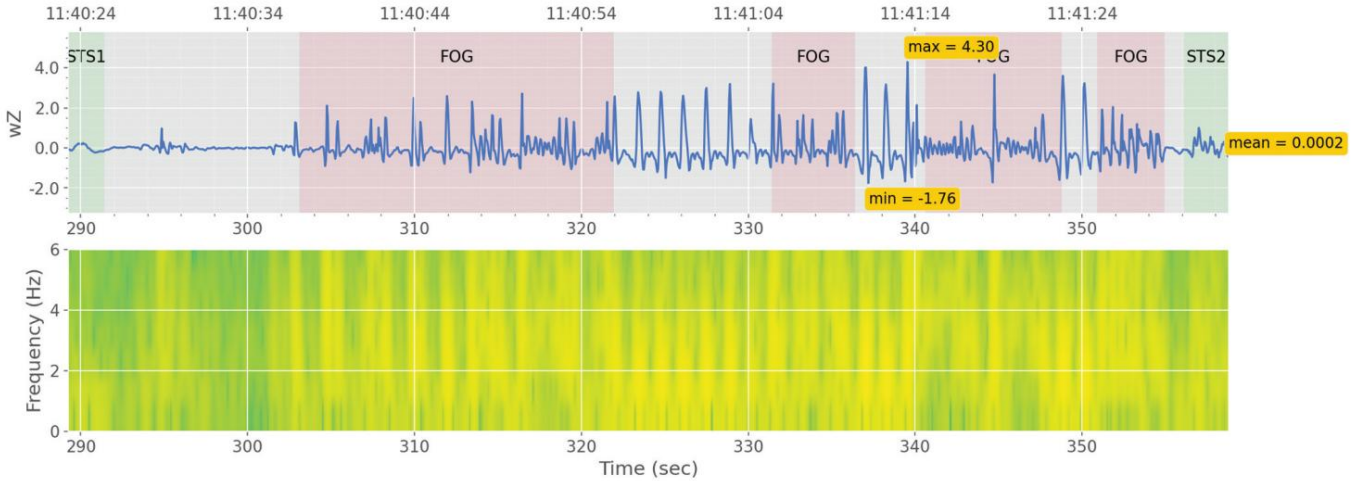


图 7.第一次试验中,受试者 C 在关闭激光的情况下步态冻结。

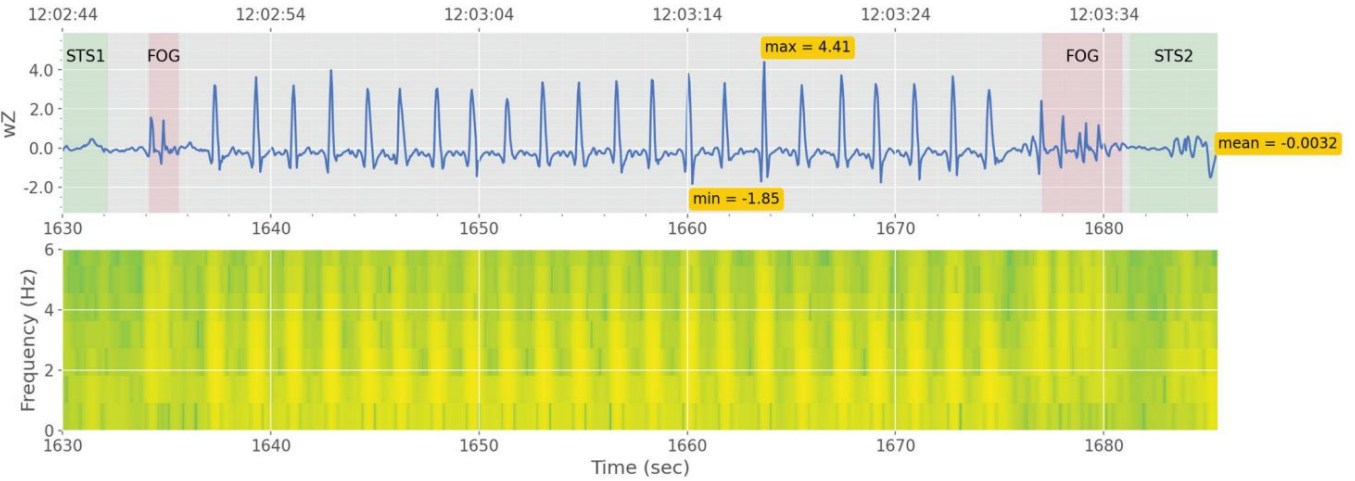


图 8.第一次试验中,受试者 C 在激光开启的情况下步态冻结。

第一次试验时开启激光。TUG 测试时间的延长归因于从站姿到坐姿的移动时间较长。在为期 1 周的后续研究中,患者还旨在通过更精确地踏上激光线来提高自己的表现,这导致整体步行速度减慢。患者的主观评估表明,她感觉更好,因为该设备可以减少 FOG 并使行走更容易。然而,在为期 1 周的后续研究中,她决心展示更大的改进,这导致她过于专注于激光线。未来研究中值得调查的一个有趣问题是长期锻炼与视觉提示的效果。此外,我们的设备作为闭环提示系统生成激光提示 (Ginis 等人, 2018 年; Mancini 等人, 2018 年),其中提示和刺激的变异性调整基于个人的步行运动,内部刺激通过感觉输入和持续的运动表现发回;这可能导致运动再学习和神经可塑性的增强,从而产生长期效果。未来的研究应该

重点关注长期使用该设备后的残留效应,以检验这一假设。一些研究表明,激光线的恒定和连续方式会导致习惯效应,即患者变得过于熟悉,并且该设备在长期使用时不会触发行走,这会导致长期使用对视觉刺激产生抵抗力 (Kompolti 等人, 2000 年)。对于 FOG 的监测,从设备收集的客观数据可用于调整程序以按需提供激光提示。因此,激光只会在发生 FOG 时投射,而不是在站立阶段的每一步中投射。这可能会减少习惯效应,应该在未来的研究中进行探索。

该设备采集的 FOG 数据还可用于监测日常生活中的冻结模式。客观测量比肉眼测量能为评估者提供更可靠的数据。需要进一步研究更大的样本量来测试测量的可靠性。有了足够的数据,机器学习算法就可以集成到程序中来计算和检测 %FOG。



结论

我们的移动脚踝手环激光设备可以改善步行速度、TUG 测试、步幅和 %FOG。该设备还可以帮助临床医生检测 %FOG 作为客观结果。  
从患者的角度来看,该装置易于使用且有助于显著改善步态。

披露声明

作者未报告任何潜在的利益冲突。

资金

本研究由泰国生命科学卓越中心 (公共组织)下属的 Yothi 医疗创新区 (YMID) 资助。作者报告称,赞助方未参与本研究,因此本研究结果未受到影响

奥西迪

Chompoonuch Ratanasutiranont,医学博士<http://orcid.org/0000-0002-3659-0570>  
Kwan Srisilpa,医学博士<http://orcid.org/0000-0003-2600-9065>  
Pichet Termsarasab,医学博士<http://orcid.org/0000-0002-3260-3119>  
Peeraya Ruthiraphong,医学博士<http://orcid.org/0000-0002-5452-6054>

作者贡献

Peeraya Ruthiraphong 和 Chompoonuch Ratanasutiranont 对手稿的构思和设计、数据的获取以及数据的分析和解释做出了巨大贡献。Kwan Srisilpa 为数据的获取、分析和解释做出了贡献,而 Pichet Termsarasab 为数据的分析和解释做出了贡献。

所有作者均参与了手稿的起草,Peeraya Ruthiraphong 对其进行了严格修改。所有作者均阅读并批准了手稿的最终版本。所有作者均对手稿做出了同等贡献,并阅读并批准了手稿的最终版本。

参考

Cubo, E., Moore, CG, Leurgans, S., & Goetz, CG (2003).轮式助行器和标准助行器适用于患有步态冻结的帕金森病患者。  
帕金森病及相关疾病,10(1),9–14,https://doi.org/10.1016/s1353-8020(03)00060-9 Donovan, S., Lim, C.,Diaz, N.,Browner, N.,Rose, P.,  
Sudarsky, LR,Tarsy, D.,Fahn, S. 和 Simon, DK (2011).帕金森病患者步态冻结的激光提示:一项开放标签研究。帕金森病与相关疾病,17(4),240–245,https://doi.org/10.1016/j.parkrel dis.2010.08.010 Ginis, P., Nackaerts, E., Nieuwboer, A., & Heremans, E. (2018).为患有步态冻结的帕金森病患者提供提示:对最新和新颖观点的叙述性回顾。《物理和康复医学年鉴》,61(6),407–413,https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.08.002  
Hass, CJ,Bishop, M.,Moscovich, M.,Stegemöller, EL,Skinner, J.,Malaty, IA,Wagle Shukla, A.,McFarland, N. 和 Okun, MS (2014)。定义帕金森病患者步速的临床意义差异。《神经物理治疗杂志》,38(4),233–238,https://doi.org/10.1097/npt.0000000000000055

黄SL、谢CL、吴RM、戴CH、林CH、陆WS  
(2011 年)。帕金森病患者定时“起立行走”测试和动态步态指数的最小可检测变化。物理治疗,91(1),114–121,https://doi.org/10.2522/ptj.20090126 Kompoliti, K.,Goetz, CG,Leurgans, S.,Morrissey, M. 和 Siegel, IM  
(2000)。“论”帕金森病中的僵住:对视觉提示步行设备的抵抗力。运动障碍,15(2),309–312,doi:10.1002/1531-8257(200003)15:2<309:aid-mds1016>3.0.co;2-p

Mancini, M.,Shah, VV,Stuart, S.,Curtze, C.,Horak, FB,Safarpour, D. 和 Nutt, JG (2021)。测量日常生活中的步态冻结:一种开源可穿戴传感器方法。《神经工程与康复杂志》,18(1),1,https://doi.org/10.1186/s12984-020-00774-3

Mancini,M.,Smulders,K.,Harker,G.,Stuart,S. 和 Nutt,JG (2018)。  
评估开环和闭环提示对帕金森病患者转身和冻结能力的改善。科学报告,8(1),12773。  
https://doi.org/10.1038/s41598-018-31156-4 McCandless, PJ,Evans, BJ,Janssen, J.,Selfe, J.,Churchill, A. 和 Richards, J. (2016)。三种提示设备对患有步态启动困难的帕金森病患者的影响。步态与姿势,44,7–11,https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.11.006 Moore, ST,Yungher, DA,Morris, TR,Dilda, V.,MacDougall, HG,Shine, JM,Naismith, SL 和 Lewis, SJG

(2013)。通过下肢节段加速度测量法自主识别帕金森病的步态冻结。《神经工程与康复杂志》,10(1),19–19。  
https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-19

Morris, TR, Cho, C., Dilda, V., Shine, JM, Naismith, SL, Lewis, SJ, & Moore, ST (2013)。  
通过计算机生成的动画对帕金森病的步态冻结进行临床评估。

步态与姿势,38(2),326–329,https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.12.011  
Nutt, JG,Bloem, BR,Giladi, N.,Hallett, M.,Horak, FB 和 Nieuwboer, A. (2011)。步态冻结:一种神秘的临床现象。《柳叶刀神经病学》10(8),734–744,https://doi.org/10.1016/s1474-4422(11)70143-0

Rocha, PA,Porfirio, GM,Ferraz, HB 和 Trevisani, VF (2014)。  
外部线索对帕金森病患者步态参数的影响:系统评价。临床神经病学和神经外科,124,127–134,https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2014.06.026 Shah, VV, McNames, J., Mancini, M., Carlson-Kuhta, P., Spain, RI, Nutt, JG, El-Gohary, M., Curtze, C., & Horak, FB (2020)。多发性硬化症、帕金森病患者和匹配对照者的实验室与日常生活步态特征。《神经工程与康复杂志》,17(1),159,https://doi.org/10.1186/s12984-020-00781-4

Spaulding, SJ,Barber, B.,Colby, M.,Cormack, B.,Mick, T. 和 Jenkins, ME (2013)。帕金森病患者的提示和步态改善:荟萃分析。《物理医学与康复档案》,94(3),562–570,https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.10.026 Suteerawattananon, M.,Morris, GS,Etnyre, BR,Jankovic, J. 和 Protas, EJ (2004)。视觉和听觉提示对帕金森病患者步态的影响。《神经科学杂志》,219(1–2),63–69,https://doi.org/10.1016/j.jns.2003.12.007 Vandenbossche, J.,Deroost, N., Soetens, E.,Coomans, D.,Spildooren, J.,Vercruysse, S.,Nieuwboer, A. 和 Kerckhofs, E.

(2013 年)。帕金森病患者步态冻结,内隐序列学习受损。神经心理学,27(1),28–36。  
https://doi.org/10.1037/a0031278 Zanardi, AP,J.da Silva, ES,Costa, RR,Passos-Monteiro, E.,Dos Santos, IO,Kruel, LFM  
和 Peyré-Tartaruga, LA (2021)。帕金森病患者与健康对照组的步态参数比较:系统评价和荟萃分析。科学报告,11(1),752,https://doi.org/10.1038/s41598-020-80768-2