

探討立即性電刺激對立定跳遠離地瞬間的影響

陳朝福^{*}、謝瀟瀟、申星星、何嬋

中國 安徽省淮北師範大學 / 體育學院

摘要

緒論：本研究探討神經肌肉電刺激對立定跳遠的影響。**方法：**招募大學體育教育專業的 15 名男性學生作為實驗研究對象，平均身高 175.53 ± 4.98 公分，體重 66.87 ± 6.20 公斤，年齡 22.00 ± 1.46 歲。本實驗利用慣性式動作捕捉系統進行測試，利用神經肌肉電刺激來啟動相關肌肉，並利用慣性式動作捕捉系統完成運動學參數之蒐集。受試者前測盡最大努力完成立定跳遠動作，間隔 72 小時進行後測，後測前先經 30 分鐘的神經肌肉電刺激介入，再盡最大努力完成立定跳遠動作。以描述性統計計算平均數和標準差，再以 Wilcoxon signed-rank test 檢驗神經肌肉電刺激介入對立定跳遠動作各運動學參數差異，顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。**結果：**立定跳遠後測平均為 2.63 公尺、前測平均為 2.32 公尺；在離地瞬間的大腿加速度、小腿加速度、腳掌加速度、髖關節角度、膝關節角度、踝關節角度、髖關節角速度、膝關節角速度、踝關節角速度與前測相比都呈現高顯著差異。**結論：**神經肌肉電刺激在人體運動的過程中，具有啟動肌肉興奮性的作用。下肢速度的提高和下肢肌肉力量也是密不可分的，人體的爆發力通常為速度和力量的乘積，因此，神經肌肉電刺激，可以提供一種新型的訓練方法，從而提高訓練興趣和訓練品質。

關鍵詞：下肢肌力、運動表現、神經肌肉活化、慣性捕捉

通訊作者：陳朝福

電子郵件：chenchaofo@chnu.edu.cn

壹、緒論

在體育課程學習過程和體育運動訓練中，立定跳遠作為一個極為重要的運動項目，已經引起了老師和教練員的高度關注。透過立定跳遠的訓練，可以提升學生和運動員的身體協調能力、平衡能力以及下肢爆發力 (潘正曄等，2023；徐敬國，2023)。為了提高立定跳遠的成績，教學過程中老師的角色至關重要，老師在體育教學中應充分發揮引導和指導的主導作用，優化教學方法和教學手段，改善教學策略以及營造適合學習的教學環境，都有助於提高學生的學習效果。此外，持續開拓創新的教學思維方法和新的教學模式也有助於提高學生對立定跳遠的理解和技能掌握 (李海強，2022)。值得注意的是，立定跳遠作為一個檢測下肢爆發力的運動項目，其動作技術相對簡單且結構清晰，測試時省時省力，同時也提供了高效的測試方式，以評估學生和運動員的下肢爆發力水平 (李小華，2022)。

此外，神經肌肉電刺激是一種在運動訓練中的生理學工具，其原理是通過電刺激神經肌肉系統，以提高肌肉的興奮性和反應速度 (Hasan et al., 2022)。在立定跳遠的訓練中可以用來針對下肢肌肉進行有針對性的刺激，以增強肌肉收縮的力量和速度 (Chen et al., 2023)。此訓練方法可以更有效地提高下肢爆發力，對立定跳遠的表現有積極的影響。然而，在使用神經肌肉電刺激時，需要注意安全性問題，使用者應確保設備的正確使用，並按照專業指導進行操作，以避免潛在的風險或副作用。此外，應根據個體的身體狀況和訓練需求，制定適當的神經肌肉電刺激方案，並適度控制刺激的強度和頻率，以確保訓練的安全性和有效性 (Blazevich et al., 2021)。神經肌肉電刺激作為提高立定跳遠表現的工具之一，具有潛力，但需要在安全性和使用方式方面進行深入探討，並應根據具體情況選擇最適合的應用方法 (Flodin et al., 2022)。神經肌肉電刺激是一種通過將治療儀的兩個電極片放置於特定肌肉的肌腹兩端，使電流定向通過該肌肉，以達到對該肌肉進行訓練的目的，神經肌肉電刺激通過促使肌肉產生收縮記憶來啟動 PAP 效應 (Postactivation Potentiation, PAP)，對受試者的肌肉進行短時間訓練 (李建設等，1993)，增強了肌肉力量的生成 (Hasan et al., 2022)。

神經肌肉電刺激廣泛應用在現代醫學的運動康復治療過程，以及專業運動團隊比賽後的運動員身體恢復過程中，由於使用頻率較高，神經肌肉電刺激的運用範圍較廣，是治療相關疾病和運動損傷以及促進運動疲勞恢復最重要的手段 (蘇棟楠等，2022)。運用神經肌肉電刺激來進行康復訓練，以及為患者在出院後儘快恢復到正常生活和工作中起到了重要的理論指導 (黃長睿，2022)。本次實驗便是利用慣性式動作捕捉系統來完成，

目前神經肌肉電刺激對立定跳遠離地瞬間影響的研究較少，因此，本研究來探討神經肌肉電刺激對立定跳遠的影響。

貳、方法

一、研究對象

本研究招募大學體育教育專業的 15 名男性學生作為實驗的研究對象，平均身高 175.53 ± 4.98 公分，體重 66.87 ± 6.20 公斤，年齡 22.00 ± 1.46 歲。本實驗對象均是來自體育學院的志願者學生，都能夠熟練掌握立定跳遠的關鍵動作技術和基本技巧，實驗對象在進行實驗之前身體狀況都處於良好狀態，均無運動損傷和肌肉疲勞，在參加實驗之前均沒有進行大強度運動，同時也沒有攝入酒精、咖啡因等刺激性物質。實驗之前，實驗對象均已知曉本實驗目的、過程以及注意事項並簽署知情同意書。本研究遵守赫爾辛基聲明，該研究經當地大學批准，編號 22040851。

二、實驗設備

(一)調頻脈衝治療儀 (ZN-566, Guangzhou City, Beijing, China)

(二)慣性式動作捕捉系統 (FOHEART·X, Beijing, China)

(三)動作分析系統 (Motion Venus 3.1.0)

三、實驗流程

本實驗以慣性式動作捕捉系統進行測試頻率為 60Hz，利用調頻脈衝治療儀進行神經肌肉電刺激來啟動相關肌肉，頻率範圍 1000 Hz 開始進行刺激，強度設置為研究參與者最大忍受度範圍，其平均腹直肌功率 10.71 ± 3.04 VA、股內側肌功率 13.33 ± 2.25 VA、股二頭肌功率 13.93 ± 1.85 VA、腓腸肌功率 14.33 ± 2.15 VA，通過穿戴慣性式動作捕捉系統，搭建資訊連通設備，然後將慣性式動作捕捉系統與電腦相連，實驗之前檢查設備電源，建立並調整慣性式動作捕捉器系統的信號源，進行身體姿態以及數據的校正 (王鵬，2022；李珍麗，2022；張穎，2022) (如圖 1 所示)。

圖 1

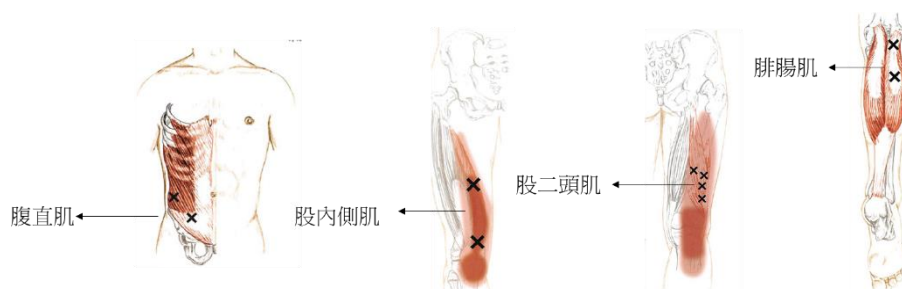
慣性捕捉器裝置的運動感應點表



設備調整後，使用三圍尺對實驗對象的頭部長度、頸部長度、肩部寬度、上臂長度、前臂長度、手掌長度、身體長度、髌部寬度、大腿長度、小腿長度、腳踝高度、腳掌長度進行精準測量 (龔佳樂等，2021；盧倫依等，2023)。將數據輸入到動作分析系統的骨骼長度中，並對傳感器磁場進行數據校準。測試前讓實驗對象進行充分的熱身，熱身運動可以有效的啟動身體的肌肉，提高大腦中樞神經系統的興奮性，降低肌肉的粘滯性，增加皮膚的血流量以及升高人體的體溫 (劉彥含等，2017)。熱身運動後，隨即在研究者的幫助下迅速將慣性式動作捕捉器穿戴完畢。並進行各個動作的姿態校準，以減少在實驗過程中產生的各個誤差。在準備結束之後，實驗對象隨即進行立定跳遠的測試。立定跳遠的動作技術可以分為預擺、起跳、騰空、落地四個階段 (孫勝男、王澤平，2021；劉京洋等，2021)。測試過程以最大力量進行立定跳遠，試作三次，取最佳成績。記錄 15 個實驗對象最好的立定跳遠成績，即完成了前測。在三天之後進行立定跳遠的後測，召集原來參加實驗的 15 個實驗對象，利用調頻脈衝電療儀對實驗對象先進行神經肌肉電刺激。在進行實驗之前，先用酒精片對實驗對象的肌膚進行消毒，確保衛生安全 (劉京洋等，2021)。將電極片分別貼在實驗對象的身體兩側的腹直肌處、股二頭肌處，股內肌側處以及腓腸肌處 (如圖 2 所示)。

圖 2

電刺激位置示意圖



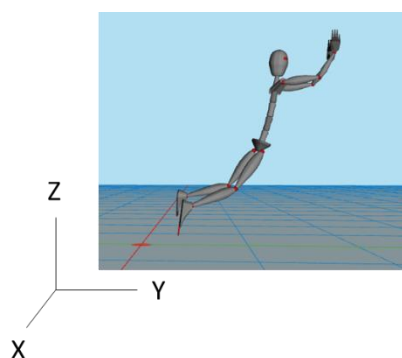
利用調頻脈衝治療儀，將調頻脈衝治療儀的電刺激大小調整到實驗對象能夠接受的適宜的刺激程度，對各個肌肉進行連續性 30 分鐘的神經肌肉電刺激 (王瑋等，2020；何嬋等，2022)。隨後儘快穿戴好慣性捕捉器設備，進行姿態校正，校正完畢後，讓實驗對象最大努力進行三次立定跳遠，並取最好一次成績進行記錄，待 15 名實驗對象都測試完畢以後，利用動作分析系統進行數據處理和分析。

四、資料整理與分析

本研究將三度空間方向定義為： X 軸為左右方向、 Y 軸為前後方向、 Z 軸為垂直方向。本次實驗研究的是將慣性式動作捕捉器進行運動數據的捕捉和分析，以離地時的雙腳離開地面 (膝關節角度最大值) 定義為離地瞬間 (Ortega & Olmedo, 2017) (如圖 3 所示)。通過慣性式動作捕捉系統分別對神經肌肉電刺激介入前後離地瞬間的 X 軸與 Y 軸和 Z 軸總合的大腿加速度、小腿加速度、腳掌加速度、髌關節角速度、膝關節角速度、踝關節角速度； Y 軸與 Z 軸夾角的髌關節角度、膝關節角度、踝關節角度、以及立定跳遠的距離進行數據收集與分析。

圖 3

立定跳遠雙腳離地瞬間示意圖



註： X 軸為左右方向、 Y 軸為前後方向、 Z 軸為垂直方向

本研所得之運動學參數資料，以 SPSS for Windows 26.0 統計套裝軟體進行統計處理，以描述性統計方法計算出平均數和標準差，再以 Wilcoxon signed-rank test 檢定神經肌肉電刺激介入前後對立定跳遠動作各運動學參數差異，顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

立定跳遠的距離取決於起跳時瞬間速度與各關節的運動學參數，如髖關節、膝關節和踝關節伸展技術，皆會影響立定跳遠的運動表現。通過研究實驗可以發現，經肌肉電刺激介入後，實驗對象在離地瞬間的大腿加速度、小腿加速度、腳掌加速度、髖關節角度、膝關節角度、踝關節角度、大腿角速度、小腿角速度、腳掌角速度以及立定跳遠的距離各個數值的前測與後測，均呈現出顯著水準 ($p < .05$) (如表 1)。

表 1

前測與後測立定跳遠離地瞬間運動學參數 $N = 15$

	前測	後測	z 值
立定跳遠成績 (公尺)	2.32 ± 0.31	2.69 ± 0.35	-3.408**
離地瞬間			
大腿加速度	5.05 ± 1.83	8.91 ± 3.79	-3.408**
小腿加速度	5.42 ± 1.89	7.59 ± 1.88	-3.408**
腳掌加速度	7.86 ± 4.26	11.15 ± 4.57	-2.101**
髖關節角度	14.33 ± 6.43	20.25 ± 11.46	-3.124**
膝關節角度	162.74 ± 6.50	168.76 ± 6.31	-3.237**
踝關節角度	145.09 ± 9.83	150.81 ± 7.22	-2.897**
髖關節角速度	362.09 ± 151.17	566.56 ± 195.56	-2.840**
膝關節角速度	258.64 ± 88.31	362.09 ± 134.84	-3.067**
踝關節角速度	520.00 ± 222.44	803.41 ± 285.64	-3.408**

註：* $p < .05$; ** $p < .01$

肆、討論

立定跳遠的訓練過程中，存在多種不同的訓練方法，然而，利用神經肌肉電刺激來提高立定跳遠成績的訓練方法並不常見 (劉京洋等, 2021)。本研究透過應用神經肌肉電刺激，觀察到立定跳遠的成績以及與其相關的運動學參數，包括離地瞬間的大腿加速度、

小腿加速度、腳掌加速度、髌關節角度、膝關節角度、踝關節角度、髌關節角速度、膝關節角速度和踝關節角速度，相較於前測都呈現高度顯著的改善。立定跳遠運動表現通常被用來檢測下肢爆發力，並評估學齡兒童、青少年、成人和體育運動員的身體健康狀態 (Hraski et al., 2015)。過去的研究發現了一些重要的關聯性，這些關聯性有助於更深入地理解立定跳遠的運動表現。本研究結果顯示，起跳瞬間的重心高度平均為 85.40 公分，與立定跳遠的成績平均為 2.35 公尺呈現高度正相關 ($r = .75, p = .005$)。此外，起跳瞬間的髌關節角度平均為 161.63 度，而膝關節角度平均為 160.58 度，兩者呈負相關 ($r = -.59, p = .045$)。同樣地，起跳瞬間的膝關節角度平均為 160.58 度，與踝關節角度平均為 110.04 度呈高度正相關 ($r = .76, p = .004$)。起跳瞬間的踝關節角度平均為 110.04 度，與重心角度平均為 32.41 度呈正相關 ($r = .60, p = .039$)。這些發現表明，立定跳遠的距離取決於起跳時的瞬間速度以及各關節的運動學參數。在跳躍過程中，髌關節、膝關節和踝關節的伸展技巧被用來增加推力，從而提高立定跳遠的運動表現 (吳蕙汝、陳朝福，2021)。在立定跳遠的運動技術中，增加離地瞬間的速度以及調整髌、膝、踝三個關節的角度可以延長騰空時間 (Chen & Wu, 2022)。因此，可以看出，在立定跳遠的運動中，提升離地瞬間的表現相對重要。

此外，通過對先前研究結果的綜合分析，不僅確認了下肢爆發力對羽球、排球、網球和桌球的表現具有重要作用 (盧正崇等，2017；黃怡仁等，2018；趙曉雯等，2018；吳文郁，2020)。事實上，下肢爆發力是一項關鍵的生理能力，選手在瞬間內能夠快速起跳，並在極短時間內產生大量的力量，以執行快速的運動和反應、迅速移動以及發出快速的擊球 (林子嵩、黃書涵，2013；傅思凱等，2022；訾志偉等，2022)。所有這些動作都不可或缺地需要強大的下肢爆發力的支持 (吳蕙汝、陳朝福，2023) 對於各種運動項目的表現至關重要。相關文獻指出，下肢爆發力對於改善離地瞬間的速度以及髌、膝和踝的角度具有至關重要的作用，這些因素有助於延長騰空時間，從而提高整體運動表現 (Chen et al., 2023)。本研究觀察到神經肌肉電刺激介入後，離地瞬間的大腿、小腿和腳掌加速度，以及髌、膝和踝關節的角度和角速度均有所提升，此發現不僅對運動員本身有所助益，並對教練和訓練計劃的制定提供了重要參考。從研究結果可以明顯看出，神經肌肉電刺激能夠有效激活人體肌肉，提高肌肉的興奮性，對於改善立定跳遠的表現具有積極的促進作用。這一發現為運動訓練領域提供了一種新的方法，可應用於提升運動員的立定跳遠成績。未來的研究應進一步探討神經肌肉電刺激的最佳應用方法以及其在不同運動訓練中的效果，以更全面地了解其潛力和實際應用價值。

伍、結論

透過神經肌肉電刺激的應用，立定跳遠的表現以及各種關鍵運動學因素在後測中都呈現出了顯著的提升。神經肌肉電刺激在人體運動過程中扮演著刺激肌肉並啟動肌肉興奮性的關鍵角色，是治療相關疾病和運動損傷，以及促進運動疲勞恢復最重要的工具之一。然而，儘管捉多研究證實神經肌肉電刺激在促進康復和減輕疼痛方面具有價值，但其對於優化運動表現的實際效益尚需要更多實證性研究來確認。因此，建議未來需要更廣泛地推廣和普及神經肌肉電刺激技術，以提高運動訓練的科學性和創新性。這將有助於確定神經肌肉電刺激在不同運動領域中的潛在應用，並為運動員提供更多有效的訓練工具，以提高運動表現。需要更多的研究來充分了解神經肌肉電刺激對運動表現的實際影響，以確保其在運動界的應用能夠獲得最大的效益。

致謝

感謝自願參與這項研究的所有參與者、淮北師範大學博士科研啟動費經費資助（編號：03106066），以及淮北師範大學校級實驗室開放項目經費部分資助（項目編號：2022sykf012）。

引用文獻

- 王瑋、朱志強、殷可意、宋林傑、董禕凡、劉宇 (2020)。經顱直流電刺激對縱跳生物力學特徵的影響。《體育科學》，40(7)，57–64。 <https://doi.org/10.16469/j.css.202007007>
- [Wang, W., Chu, C.-C., Yin, K.-I., Sung, L.-C., Chiang, I.-F., Liu, Y. (2022). Effects of transcranial direct current stimulation on biomechanical characteristics of vertical jump. *Sports Science*, 40(7), 57–64]
- 王鵬 (2022)。經皮穴位電刺激對瀋陽大學板球隊運動員運動能力影響研究[未出版之碩士論文]。瀋陽大學。
- [Wang, P. (2022). *Effects of Transcutaneous Acupoint Stimulation on Athletic Ability of Shenyang University Cricket Players* [Unpublished master's thesis]. Shenyang University.]
- 何嬋、申星星、謝瀟瀟、陳新宇、陳朝福 (2022)。NMES 的介入對武術騰空雙飛腳的影響。《高科大體育》，5，29–39。

- [He, C., Shen, H.-H., Xiè, X.-X., Chen, X.-Y., & Chen, C.-F. (2022). The influence of the intervention of NMES on Wushu soaring and flying feet. *Sports at Kaohsiung University of Science and Technology*, 5, 29–39.]
- 吳文郁 (2020)。競技桌球運動體能訓練之探討。《淡江體育學刊》，23，25 – 36。
[https://doi.org/10.6976/TJPE.202011_\(23\).0003](https://doi.org/10.6976/TJPE.202011_(23).0003)
- [Wu, W.-Y., (2020). Discussion on physical fitness training in competitive table tennis. *Tamkang Journal of Physical Education*, 23, 25 – 36]
- 吳蕙汝、陳朝福 (2021)。大學生男子立定跳遠之運動學與表現相關。《中原體育學報》，17，51–60。 [https://doi.org/10.6646/CYPEJ.202112_\(17\).0005](https://doi.org/10.6646/CYPEJ.202112_(17).0005)
- [Wu, H.-R., & Chen, C.-F. (2021). Kinematics and performance correlations in male standing long jump in college students. *Chung Yuan Physical Education Journal*, 17, 51–60.]
- 吳蕙汝、陳朝福 (2023)。大學生立定跳遠與身體活動的基本體能之關係。《長榮運動休閒學刊》，17，11 – 19。
- [Wu, H.-R., & Chen, C.-F. (2023). The relationship between standing long jump and basic physical fitness of physical activities in college students. *Evergreen Sports and Leisure Journal*, 17, 11–19.]
- 李小華 (2022)。淺談高中體育立定跳遠的教學與訓練。《冰雪體育創新研究》，19，135–138。
- [Li, X.-H. (2022). Talking about the teaching and training of standing long jump in high school sports. *Innovation Research in Ice and Snow Sports*, 19, 135–138.]
- 李建設、黃聖方、過東升、潘慧炬 (1993)。神經肌肉電刺激摹擬肌肉力量訓練的生物力學研究。《浙江體育科學》，5，17–22。
- [Li, J.-S., Huang, S.-F., Guo, D.-S., & Pan, H.-J. (1993). Biomechanical studies of neuromuscular electrical stimulation mimicking muscle strength training. *Zhejiang Sports Science*, 5, 17–22.]
- 李珍麗 (2022)。低頻電刺激在原發性痛經治療中的應用[未出版之碩士論文]。江漢大學。
- [Li, Z.-L. (2022). *Application of low-frequency electrical stimulation in the treatment of primary dysmenorrhea* [unpublished master's thesis]. Jiangnan University.]
- 李海強 (2022)。談初中體育多元化教學的有效策略-以立定跳遠為例。《教育界》，35，23–25。

- [Li, H.-Q. (2022). Talking about the effective strategy of diversified teaching of physical education in junior high school-taking the standing long jump as an example. *Educational Circles*, 35, 23–25.]
- 林子鳶、黃書涵 (2013)。瞬間變速、漸進式及增強式訓練法的動力學分析比較。《淡江體育學刊》，16，12 – 22。 [https://doi.org/10.6976/TJPE.201311_\(16\).0002](https://doi.org/10.6976/TJPE.201311_(16).0002)
- [Lin, Z.-Y., & Huang, S.-H. (2013). Kinetic analysis and comparison between slower ramp movements, plyometric, and instantaneous change speed training. *Tamkang Journal of Physical Education*, 16, 12–22]
- 孫勝男、王澤平 (2021)。立定跳遠動作要領及練習方法。《田徑》，8，22–23。
- [Sun, S.-N., & Wang, Z.-P. (2021). Essentials and practice methods of standing long jump. *Athletics*, 8, 22–23.]
- 徐敬國 (2023)。初中立定跳遠教學與訓練分析。《田徑》，4，18–19。
- [Xu, J.-G. (2023). Junior middle school standing long jump teaching and training analysis. *Athletics*, 4, 18–19.]
- 張穎 (2022)。《面向抑鬱症治療具有腦電回饋的腦神經電刺激系統的研究》[未出版之碩士論文]。汕頭大學。
- [zhang, Y. (2022). *Research on Brain Nerve Stimulation System with EEG Feedback for the Treatment of Depression* [Unpublished Master's Thesis]. Shantou University.]
- 傅思凱、林靜茹、賴長琦、王怡品、余家賢 (2022)。漸增式間歇訓練對空手道對打項目選手健康體適能之影響。《淡江體育學刊》，25，46–55。
[https://doi.org/10.6976/TJPE.202211_\(25\).0004](https://doi.org/10.6976/TJPE.202211_(25).0004)
- [Fu, S.-K., Lin, J.-R., Lai, C.-C., Wang, Y.-P., & Yu, C.-H. (2022). Effects of progressive interval training on health-related physical fitness in karate kumite players. *Tamkang Journal of Physical Education*, 25, 46–55.]
- 黃怡仁、蕭玉琴、廖琬如、謝明蕙 (2018)。排球選手接發球進攻與防守反擊進攻助跑技巧分析。《淡江體育學刊》，21，34 – 44。 [https://doi.org/10.6976/TJPE.201811_\(21\).0004](https://doi.org/10.6976/TJPE.201811_(21).0004)
- [Huang, Y.-R., Hsiao, Y.-C., Liao, W.-J., & Hsieh, M.-H. (2018). Analyzing approaching technique of volleyball players during first round attack and counterattack. *Tamkang Journal of Physical Education*, 21, 34–44.]
- 黃長睿 (2022)。《功能訓練結合神經肌肉電刺激在前交叉韌帶術後患者康復中的療效》[未出版之碩士論文]。武漢輕工大學。

- [Huang, C.-R. (2022). *Efficacy of functional training combined with neuromuscular electrical stimulation in the rehabilitation of patients after anterior cruciate ligament surgery* [unpublished master's thesis]. Wuhan University of Light Industry.]
- 訾志偉、王舒凡、沈成東、陳朝福 (2022)。網球分腿式站位發球之運動學與表現相關分析。《中原體育學報》，19，25 – 33。 [https://doi.org/10.6646/CYPEJ.202212_\(19\).0003](https://doi.org/10.6646/CYPEJ.202212_(19).0003)
- [Tzu, C.-W., Wang, S.-F., Chen, C.-T., & Chen, C.-F. (2022). Kinematics and Performance Correlation Analysis of Tennis Split-Standing Serve. *Chung Yuan Physical Education Journal*, 19, 25–33.]
- 趙曉雯、吳建志、趙曉涵、林子揚、黃僅喻、盛世慧 (2018)。網球開跳步搶打截擊動作下肢肌電特徵分析。《淡江體育學刊》，21，22 – 33。
[https://doi.org/10.6976/TJPE.201811_\(21\).0003](https://doi.org/10.6976/TJPE.201811_(21).0003)
- [Chao, H.-W., Wu, C.-C., Chao, H.-H., Lin, T.-Y., Huang, C.-Y., & Sheng, S.-H. (2018). The EMG analysis of lower limb muscles in tennis poaching split-step movement. *Tamkang Journal of Physical Education*, 21, 22–33.]
- 劉京洋、王歡、李宇航、史彥彬 (2021)。初中體育“立定跳遠”關鍵動作的矯正及訓練指導。《體育風尚》，7，191–192。
- [Liu, J.-Y., Wang, H., Li, Y.-H., & Shi, Y.-B. (2021). The correction and training guidance of the key movements of "standing long jump" in junior high school sports. *Sports Style*, 7, 191–192.]
- 劉彥含、張曉錦、陳傑、柏冬 (2017)。膝關節半月板熱身運動前後磁共振 T₂ 時間變化研究。《醫學研究雜誌》，46(9)，146–150。
- [Liu, Y.-H., Zhang, X.-J., Chen, J., & Bo, D. (2017). Study on the time change of magnetic resonance T₂ before and after warm-up exercise of knee meniscus. *Journal of Medical Research*, 46(9), 146–150.]
- 潘正曄、馬勇、鄭偉濤 (2023)。有限元分析立定跳遠狀態時不同擺臂動作和觸地姿勢的膝關節損傷。《中國組織工程研究》，27(36)，5778–5783。
- [Pan, Z.-Y., Ma, Y., & Zheng, W.-T. (2023). Finite element analysis of knee joint injuries in different arm swing movements and ground contact postures during standing long jump. *Chinese Tissue Engineering Research*, 27(36), 5778–5783.]
- 盧正崇、孫彩卿、陳儷今 (2017)。2015 年世界優秀男子羽球雙打戰術分析。《淡江體育學刊》，20，31 – 42。
[https://doi.org/10.6976/TJPE.201711_\(20\).0003](https://doi.org/10.6976/TJPE.201711_(20).0003)
- [Lu, C.-C., Sun, T.-C., & Chen, L.-J. (2017). Analysis on the tactics of world's elite badminton men's doubles of year 2015. *Tamkang Journal of Physical Education*, 20, 31–42.]

- 盧倫依、王鵬、梁金偉、盛強 (2023)。可穿戴式頭部擺動姿態檢測系統。《揚州大學學報 (自然科學版)》，26(1)，56–60。 <https://doi.org/10.19411/j.1007-824x.2023.01.009>
- [Lu, L.-Y., Wang, P., Liang, J.-W., & Cheng, C. (2023). Wearable head swing posture detection system. *Journal of Yangzhou University (Natural Science Edition)*, 26(1), 56–60.]
- 蘇棟楠、尚鵬、胡志剛、曾梓琳、魏風、吳繼鵬、楊德龍 (2022)。可穿戴上肢功能性電刺激儀的設計與實驗。《電子技術應用》，48(6)，92–97。
<https://doi.org/10.16157/j.issn.0258-7998.222527>
- [Su, T.-N., Shang, P., Hu, C.-K., Tseng, T.-L., Wei, F., Wu, C.-P., & Yang, T.-L. (2022). Design and experiment of a wearable upper limb functional electrical stimulator. *Applications of Electronic Technology*, 48(6), 92–97]
- 龔佳樂、王新、郭天龍 (2021 年 8 月 18 日)。基於穿戴式動作捕捉的精確運動分析及智慧動作指導系統研究〔口頭發表〕。第二十一屆全國運動生物力學學術交流大會論文摘要彙編，山西太原，中國。
- [Kung, C.-Y., Wang, H., & Kuo, T.-L. (2021.08.18). *Research on precise motion analysis and intelligent motion guidance system based on wearable motion capture* [oral presentation]. Compilation of abstracts of the 21st National Sports Biomechanics Academic Exchange Conference, Taiyuan, Shanxi, China.]
- Blazevich, A. J., Collins, D. F., Millet, G. Y., Vaz, M. A., & Maffiuletti, N. A. (2021). Enhancing adaptations to neuromuscular electrical stimulation training interventions. *Exercise and sport sciences reviews*, 49(4), 244 – 252.
<https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000264>
- Chen, C. F., & Wu, H. J. (2022). The Effect of an 8-Week Rope Skipping Intervention on Standing Long Jump Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8472.
- Chen, C. F., Wang, S. F., Shen, X. X., Liu, L., & Wu, H. J. (2023). Kinematic analysis of countermovement jump performance in response to immediate neuromuscular electrical stimulation. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 20(9), 16031–16042.
- Flodin, J., Juthberg, R., & Ackermann, P. W. (2022). Effects of electrode size and placement on comfort and efficiency during low-intensity neuromuscular electrical stimulation of quadriceps, hamstrings and gluteal muscles. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 11 – 22. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00403-7>

- Hasan, S., Kandasamy, G., Alyahya, D., Alonazi, A., Jamal, A., Iqbal, A., Unnikrishnan, R., & Muthusamy, H. (2022). Effect of plyometric training and neuromuscular electrical stimulation assisted strength training on muscular, sprint, and functional performances in collegiate male football players. *Peer J*, 10, e13588. <https://doi.org/10.7717/peerj.13588>
- Hraski, M., Hraski, Ž., Mrakovi, S., & Horvat, V. (2015). Relation between Anthropometric Characteristics and Kinematic Parameters which Influence Standing Long Jump Efficiency in Boys and Adolescents. *Collegium Antropologicum*, 30(1), 47–55.
- Ortega, B. P., & Olmedo, J. M. J. (2017). Application of motion capture technology for sport performance analysis. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 32, 241–247.

Investigate the immediate effects of electrical stimulation on the takeoff phase of the standing long jump

Chao-Fu Chen, Xiao-Xiao Xie, Xing-Xing Shen, & Chan He

Physical Education College, Huaibei Normal University, Huaibei, China

Abstract

Introduction: This study investigated the effect of neuromuscular electrical stimulation on standing long jump. **Methods:** Fifteen male students majoring in physical education at a normal university were recruited as participants in the experimental study. Their average height was 175.53 ± 4.98 cm, weight was 66.87 ± 6.20 kg, and age was 22.00 ± 1.46 years old. In this experiment, an inertial motion capture system was used for testing, and neuromuscular electrical stimulation was used to activate relevant muscles. And use the inertial motion capture system to complete the collection of kinematic parameters. Each participant tried their best to complete the standing long jump in the pre-test. In the post-test, they first received 30 minutes of neuromuscular electrical stimulation intervention, and then tried their best to complete the standing long jump (the interval between pre-test and post-test must be more than 72 hours). Descriptive statistics were used to calculate the mean and standard deviation, and then the Wilcoxon signed-rank test was used to test the differences in kinematic parameters of the oppositional long jump action involving neuromuscular electrical stimulation. The significance level was set at $\alpha = .05$. **Results:** The average post-test of standing long jump is 2.63 meters, and the average pre-test is 2.32 meters; thigh acceleration, calf acceleration, sole acceleration, hip joint angle, knee joint angle, ankle joint angle, hip joint angular velocity, knee joint at the moment of leaving the ground Angular velocity and ankle angular velocity were significantly different from the pretest ($p < .01$). **Conclusion:** Neuromuscular electrical stimulation can stimulate muscles and activate muscle excitability during human movement. The improvement of lower limb speed is also inseparable from lower limb muscle strength. The explosive force of the human body is usually the product of speed and force. Therefore, neuromuscular electrical stimulation can provide a new training method, thereby improving training interest and quality.

Keywords: lower extremity strength, motor performance, neuromuscular activation, inertial capture