



適合高齡者平衡能力訓練之擴增實境太極拳系統之研發

¹陳柏榕、¹劉政諄、²莊榮仁、¹宋文旭*

¹國立陽明大學物理治療暨輔助科技學系、²中國文化大學技擊運動暨國術系

投稿日期：2020 年 02 月；通過日期：2020 年 05 月

摘要

目的：本研究分析太極拳單招的力學特性，搭配太極拳師父的單招教學錄影與體感偵測技術，開發一套擴增實境太極拳訓練系統，並招募高齡者參與試驗，驗證其對改善平衡能力的成效。**方法：**太極拳選用楊氏太極 24 式，以各單招的雙腳站姿與執行時身體重心移動軌跡長度來區分執行難度，再依據高齡者自主移動重心能力的表現挑選適合的訓練單招。擴增實境功能使用 Kinect for Windows 進行動作偵測，將使用者執行訓練時的即時影像與偵測的骨架資訊疊合顯示，與太極拳師傅執行同一單招的資訊比對，立即提供動作提示。系統開發完成後招募高齡者參與試驗，為期 8 週，每週 3 次、每次 30 分鐘。使用伯格量表 (Berg Balance Scale, BBS)、計時起走測試 (Timed Up and Go Test, TUG)、功能性前伸測試 (Functional Reach Test, FR) 與下肢肌肉力量測試，來評估介入前後的表現差異，統計顯著差異水準訂在 $p < .05$ 。**結果：**本研究共招募高齡者 8 人 (平均年齡為 70.0 ± 4.2 歲)，訓練後，BBS 平均進步了 3.5 ± 1.0 分 ($p = .011$)，TUG 平均快了 2.0 ± 0.4 秒 ($p = .011$)，FR 平均增加了 4.3 ± 2.4 公分 ($p = .012$)，下肢肌力測試平均進步了 3.8 ± 0.9 公斤，皆達顯著差異。**結論：**本研究開發了一套擴增實境太極拳訓練系統，參與訓練的高齡者經過 8 週的訓練後，平衡功能及下肢肌力表現有顯著提升。結合擴增實境進行太極拳訓練應對改善高齡者平衡表現有良好助益。

關鍵詞：體感偵測、平衡能力、下肢肌力

壹、緒論

世界人口結構迅速老齡化，根據聯合國 2019 年的統計 (United Nations, 2019)，壽命延長加上出生率下降，2050 年時世界人口推估將有 98 億人，其中 65 歲以上的老年人口將超過 15 億人，約占總人口的 16%。老化會造成感覺系統、心肺功能、骨骼肌肉、神經系統、循環系統、消化系統等功能降低，使功能性活動受限，最後影響到日常生活、休閒活動等 (Jones & Rikli, 2002)。而高齡者下肢功能退化以及平衡能力下降，將阻礙其由坐到站、走路、爬梯能力，不僅影響其日常生活，甚至可能造成跌倒 (Glogoski & Foti, 2001)。

根據 WHO 統計，跌倒是全世界意外或非故意傷害死亡的第二大原因，其中 65 歲以上成人在致命性跌倒中所佔的比例最高 (WHO, 2018)。在台灣，跌倒是事故傷害的第二大原因，而事故傷害是十大死因的

第六位 (衛生福利部統計處，2018)。跌倒除了造成高齡者身體損傷，提高罹病率和死亡率外，也會產生心理陰影，對平衡功能表現喪失自信，又懼怕再次跌倒，造成自我設限行動範圍及活動能力，讓這些曾經跌倒者進入加速身體功能退化的惡性循環中 (Legters, 2002)。

運動訓練已被證實可以改善高齡者的功能表現，減少跌倒的風險，例如：阻力訓練、有氧運動和生物回饋訓練等 (Cadore et al., 2013)。和緩且連續性運動是增加平衡與下肢肌肉能力的最佳方式，而太極拳正是這類運動的代表 (Kim, 2009)。太極拳運動是中國武術運動項目，常被用來訓練平衡能力與下肢肌肉能力，是目前最廣泛推廣於高齡者的運動之一。太極拳對下肢是閉鎖鍊運動，比開放鍊運動更可以增進整體下肢肌肉力量以及本體感覺 (Kim, 2009)。太極拳的動作非

*通訊作者：宋文旭 國立陽明大學物理治療暨輔助科技學系
地址：112 台北市北投區立農街二段155號
E-mail: wenhsusung@gmail.com

常溫和且緩慢，使身體關節所受到的衝擊力量也比其他運動小 (Kim, 2009)，減少了運動傷害的發生機會。有許多研究發現，太極拳運動課程訓練對高齡者平衡功能 (Lin et al., 2006)、姿勢控制 (Lin et al., 2006)、跌倒預防 (Li et al., 2004)及肌力增進 (Xu et al., 2006)都有顯著而正向的效應，顯示太極拳運動是一項有效的運動復健方法。

然而現行之太極拳運動有許多門派，演練的套路非常複雜，常用的太極拳套路少則由十幾個單招、多則由數十個單招所組成 (Wu, 2002)。Li 等人在 2003 年發表的研究提到，對於高齡者來說，學習太極拳有三點困難之處，第一是對與招式記憶的認知挑戰；第二部分招式需要是高度協調能力；第三是某些困難的招式所造成的安全疑慮 (Li et al., 2003)。隨後在 2005 年，Chen 等人的研究亦顯示高齡者認為太極拳招式中最容易學習的是緩慢與動作大之招式，覺得困難的是低蹲姿勢及複雜的手勢 (Chen et al., 2005)。而過於複雜、困難的招式往往造成高齡者在記憶與學習上的困擾，而影響其參與運動的效果與意願。

為了解決太極拳套路複雜、難以學習的問題，有不少學者嘗試將太極拳運動加以精簡或改良，以期符合高齡者或是殘障人士的特殊需求 (Chen, 2002; Li et al., 2003; Chen et al., 2006)。Chen 等人 (2006) 針對分析 40 位衰弱高齡者身體狀況，經由 10 位太極拳師傅的協助，設計出精簡的太極拳運動 (Simplified Tai-Chi Exercise Program, STEP)(Chen et al., 2006)，並在自己後續的研究中驗證其效果，對象是長期照護中心的高齡者，發現可以改善血壓、握力與下肢柔軟度 (Chen et al., 2008)。

不同太極拳單招的生物力學特性不同，對演練者的基本能力要求與可以提供的訓練也不同。目前針對太極拳生物力學特性分析的研究，已有研究探討了身體質量中心 (Center of Mass, COM) (Chan et al., 2003)、身體壓力中心 (Center of Pressure, COP) (Chan et al., 2003)、關節活動度 (Range of Motion, ROM) 及肌電圖 (Electromyogram, EMG) (Leung & Tsang, 2008) 等。有學者請太極師傅在測力板上演練 18 式的太極套路，收集此套路各單招的 COP 移動量，並以身高作進行正規化，結果發現各個招式在前後位移量、單腳支撐、雙腳支撐及左右位移量皆不盡相同，依此可以區分出太極套路各招式間的難易程度 (Chan et al., 2003)。本研究團隊先前也曾分析太極師傅演示楊式太極 24 式時的 COP 變化，將楊式太極單招作難度拆解分類給予

高齡者作訓練，在先前的初步驗證中發現，可以改善膝伸直肌群、伯格式量表 (Berg Balance Scale, BBS) 以及功能性前伸測試 (Functional Reach Test, FR) 的表現 (Sung et al., 2018)。

除了將太極拳套路進行精簡，降低高齡者的學習難度，以及對太極拳單招進行力學分析，挑選難度適合的單招讓高齡者進行練習之外，亦可以透過電腦輔助訓練的方式，來協助高齡者進行單招演練及單招間的串連轉換，增進學習的效果 (Boyd et al., 2006)。近年新興的擴增實境 (Augmented Reality, AR) 技術，應可為高齡者使用電腦輔助訓練提供一個新的應用契機。

AR 是一種藉由影像辨識，將虛擬資訊與現實世界融合投影的技術，可增加使用者對週遭情境的認知與理解 (Hamacher et al., 2016)。目前 AR 技術除了應用於遊戲和娛樂外，也已被運用在醫療領域，例如：醫療教學訓練、手術模擬、神經復健等 (Vavra et al., 2017; Vidrios-Serrano et al., 2015)。2017 年 Yoo 等人曾在小腦萎縮孩童身上，利用擴增實境搭配肌電圖訊號進行神經肌肉協調訓練，對比只有使用肌電圖訊號回饋的方式，在肘關節會有更好的神經肌肉的控制 (Yoo et al., 2017)。同年 Villiger 等人亦應用 AR 技術輔助，進行不完全脊髓損傷患者的下肢運動訓練，發現在下肢肌肉力量、平衡能力和功能活動性方面都有顯著改善 (Villiger et al., 2017)。而利用 AR 搭配奧塔格運動 (The Otago Exercise)，對年長婦女的膝關節屈曲和踝背屈的肌力有顯著增進的效果，且這些受試者的莫爾斯跌倒量表 (Morse Fall Scale) 分數有顯著進步，在代表平衡能力表現的身體重心晃動程度上亦有改善 (Lee et al., 2017)。研究人員利用 Kinect 對有進行性小腦損傷的孩童進行密集的協調性訓練，可以提高運動表現 (Ilg et al., 2012)。帕金森氏病患者在利用 Kinect 作為基礎訓練後，發現可以改善身體的平衡和步態，心肺功能與生活質量也有改善 (Pompeu et al., 2013)。亦有研究利用 Kinect 進行虛擬踏步運動來對慢性中風患者進行臨床訓練 (Lloréns et al., 2012)。在高齡者防跌研究上，研究顯示利用 Kinect 做虛擬實境訓練，比較實驗組和對照組之後，發現在 BBS 和 TUG 測試上有平衡能力的進步 (Hsieh et al., 2013)。

本研究將結合對太極拳單招的生物力學特性分析，配合對高齡者個人平衡能力的評估結果，分析建議合適的太極拳單招，藉此組成個人化、精簡版的太極拳訓練套路，再搭配太極拳師父的教學資訊，整合成一擴增實境太極拳訓練系統，並探討其應用於高齡者平

衡能力訓練的成效。

貳、研究方法

一、擴增實境太極拳訓練系統之開發

本研究開發的擴增實境太極拳訓練系統之主要硬體設備為 Kinect for Windows (簡稱 Kinect)，Kinect 能以光學辨識的方式，偵測使用者全身動作，不需使用額外的控制器，就可用動作、手勢或聲音對系統進行操作。本研究使用 Kinect 內建的 3D 深度感應器偵測使用者的動作，再透過專屬的軟體開發套件 (Kinect for Windows SDK) 中提供的數位骨架計算功能，計算出使用者各肢體部位的空間位置。此訓練系統的主要軟體開發工具為 Microsoft Visual Studio，搭配 Kinect for Windows SDK 來開發訓練功能。

擴增實境太極拳訓練系統之主要運作流程為：(1) 由 Kinect 感應器偵測到使用者，計算出使用者的骨架資訊。(2) 將太極拳師傅演練指定單招的影片繪製於螢幕上，同時在背景搜尋對應的太極拳師傅演練此單招的人體骨架資訊。(3) 使用者開始練習時，系統會即時比對使用者動作的骨架資訊與太極師傅單招骨架資訊，並同時將使用者自身的影像與偵測到的骨架資訊融合顯示在電腦螢幕上。(4) 當系統比對完使用者與太極師傅的骨架資訊差異後，會將動作提醒詞彙顯示在螢幕上，提醒使用者練習單招時的動作修正。系統運作流程圖請參見圖 1。

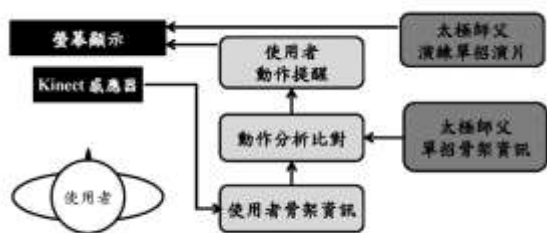


圖 1 擴增實境太極拳訓練系統之運作架構

擴增實境太極拳訓練系統在運作時的顯示畫面主要有三個區塊，分別是太極拳師傅的太極拳單招影像資訊（顯示於螢幕左側）、使用者本身執行動作的鏡射影像與其骨架資訊（顯示於螢幕右側），以及各個單招的重要步驟提示訊息（顯示於畫面右上方圓圈）。太極拳單招影像資訊下方並設置有招式選擇與播放、暫停、停止等控制按鈕，方便使用者作功能選擇或變換。系統運作畫面請參閱圖 2。



圖 2 擴增實境太極拳訓練系統之運作畫面

二、個人化太極拳訓練內容

本研究使用的太極拳訓練內容為楊氏太極 24 式，分析其中的每個單招，步驟為：(1) 請太極拳師父在測力板上執行各個單招，記錄下身體壓力中心 (Center of pressure, COP) 的移動量變化。(2) 將記錄到的 COP 移動變化量在前後左右的最大值，除以師父的兩腿平均長度作正規化。(3) 再以正規化後的 COP 移動數據作為分類依據，分類各單招的執行困難度。太極拳單招共有六種不同的足底支撐面，包含：與肩同寬站、雙腳併攏站、右腳在前，左腳在後、左腳在前，右腳在後、左腳單腳站、右腳單腳站。將楊氏太極 24 式完整分析後，依上述的六種足底支撐面與壓力中心位移量變化，細分為 36 個單招。以太極拳的起式為例，其中便包含有三種足底支撐面的變化，分別為：雙腳併攏站、右腳單腳站、與肩同寬站，其中佔最多時間的動作為與肩同寬站。

參與平衡能力訓練的受試者，在試驗前會先要求站在測力板上，檢測其在六種 BOS 的狀況下，身體自主向前、後、左、右四個方向移動的最大 COP 移動量。評估過程中要求受試者雙手自然垂放於大腿兩側，身體直立，以指定的足底支撐方式站立。當研究者告知受試者移動方向後，請受試者開始移動身體重心，在不跌倒的前提下，移動到可以維持平衡的最遠位置，研究者會記錄此資訊，將其除上受試者腳長做正規化後，作為其平衡能力的表現指標。此指標會用做選擇合適的太極拳單招的依據，挑選可訓練特定足底支撐形式、特定 COP 移動量的單招進行平衡訓練。一組的個人化太極拳訓練內容約包含 5 個經此程序挑選的單招，作為後續執行平衡能力訓練的內容。詳細的單招分類可參閱本研究團隊先前已發表之研究成果 (Sung et. al, 2018)。

三、招募高齡者進行平衡能力訓練

本研究在系統開發完成後，至臨近社區招募年齡大於 65 歲的受試者參與使用擴增實境太極拳訓練系統的平衡能力訓練，除了年齡條件外，受試者的迷你心智狀態檢查 (Mini-Mental Status Examination, MMSE) 需在 24 分以上。排案條件為：不可罹患中樞神經性疾病 (例如：中風、腦外傷及帕金森氏症等)、不可有下肢肌肉骨骼系統的疾病 (例如：骨折、開刀及支架等)，或是無法執行本研究的平衡能力檢測者也會被排除。

合格的受測者會先接受檢測，檢測項目分為兩類：臨床平衡檢測與下肢肌肉力量測試。臨床平衡檢測部分有：(1) 伯格式量表、(2) 計時起走測試、(3) 功能性前伸測試。下肢肌肉力量測試將會施測受測者雙側下肢髖關節、膝關節以及踝關節主要動作肌肉群，分別為：(1) 髖屈曲肌 (Hip Flexor)、(2) 髖伸直肌 (Hip Extensor)、(3) 髖外展肌 (Hip Abductor)、(4) 髖內收肌 (Hip Adductor)、(5) 膝伸直肌 (Knee Extensor)、(6) 膝屈曲肌 (Knee Flexor)、(7) 踝背屈肌 (Ankle Dorsi-flexor) 以及 (8) 踝蹠屈肌 (Ankle Plantar-flexor)，共 8 條肌肉群。在下肢肌肉力量測試以手握式肌力測試儀器 (Hand-hold dynamometer, Micro FET 3, Hoggan Health Industries) 為量測工具，精準度為 1%，單位為公斤重 (kgw)。同樣的測試項目在受試者完成運動訓練後會再進行一次，以比較此訓練介入的效益。

檢測完成後受試者將使用本研究開發的擴增實境太極拳訓練系統，進行為期 8 週、每週 3 次、每次 30 分鐘個人化的太極拳運動訓練。

受試者的前測與後測數據會以 SPSS 18.0 版統計軟體進行分析。受試者的基本資料會以描述性統計進行分析，並以無母數分析 Wilcoxon 檢定，分析經過 8 週太極拳訓練之後，各項平衡功能測試與下肢肌肉力量的變化，統計顯著差異水準設在 $\alpha = .05$ 。

參、結果

本研究共招募了年齡在 65 歲以上的受試者 8 位 (2 男、6 女) 參與試驗，受試者的平均年齡為 70.0 ± 4.2 歲，身高 157.6 ± 7.0 公分，體重 63.6 ± 7.3 公斤。收測的高齡者大多有穩定的運動習慣，但皆不熟悉太極拳運動。

在臨床平衡檢測部分，受試者在介入前與介入後的表現，在伯格式量表分數 (50.8 ± 2.1 vs 54.3 ± 1.3 , $p = .011$)、計時起走測試秒數 (8.7 ± 0.7 vs $6.7 \pm$

0.9 , $p = .011$) 與功能性前伸測試長度上 (29.5 ± 3.2 vs 33.8 ± 3.4 , $p = .012$) 皆達到顯著差異。

在肌肉力量測試，受試者在介入前與介入後的表現，下肢 16 條肌群的肌力平均進步了 3.8 ± 0.9 公斤重，全部皆達到顯著差異。數據請見表 1。

表 1 受試者肌肉力量之前測與後測表現 (單位：公斤重)

肌肉名稱	前測 (平均值 ± 標準差)	後測 (平均值 ± 標準差)	<i>p</i> 值
右側髖屈曲肌	20.9 ± 5.8	25.3 ± 7.8	.012*
左側髖屈曲肌	20.8 ± 5.3	25.3 ± 8.0	.012*
右側髖伸直肌	19.5 ± 4.6	23.4 ± 6.9	.012*
左側髖伸直肌	20.6 ± 5.7	24.5 ± 9.2	.012*
右側髖外展肌	14.8 ± 2.8	19.3 ± 5.3	.012*
左側髖外展肌	14.2 ± 2.1	18.5 ± 4.9	.012*
右側髖內收肌	13.6 ± 2.6	16.7 ± 4.4	.042*
左側髖內收肌	12.3 ± 2.9	16.2 ± 4.7	.012*
右側膝屈曲肌	13.3 ± 4.0	14.8 ± 4.3	.018*
左側膝屈曲肌	12.8 ± 3.8	15.5 ± 5.2	.011*
右側膝伸直肌	20.6 ± 4.3	24.2 ± 5.9	.042*
左側膝伸直肌	20.0 ± 4.0	23.7 ± 5.8	.012*
右側踝背屈肌	14.2 ± 4.3	17.2 ± 5.3	.012*
左側踝背屈肌	13.8 ± 3.5	17.5 ± 4.4	.012*
右側踝蹠屈肌	20.5 ± 2.9	26.3 ± 8.6	.017*
左側踝蹠屈肌	20.9 ± 2.9	24.9 ± 6.5	.012*

* $p < .05$

肆、討論

一、結合擴增實境進行訓練的優點

本研究開發的擴增實境太極拳訓練系統可播放太極拳師傅的太極拳單招影像供使用者作為練習的參照，在螢幕上會同時顯示太極拳師傅與使用者本身的影像，並比對先前所蒐集之太極拳師傅骨架資訊與此次使用者骨架資訊的差異，在關鍵動作給予使用者提示，好讓使用者更正動作。本研究目標族群視為高齡者，螢幕上太多提示資訊對於高齡者來說反而是打擾，使得高齡者無法關注於當前的動作上。當使用者在操作系統時，使用者下方的角落會有圓形色塊閃爍來做為提

醒之用，有鑒於此上肢動作易混淆，主要著重在下肢，我們將提示的資訊縮減為一個，用來偵測下肢關鍵性的動作改變，偵測受試者往前跨步或是往側邊移動的膝關節動作資訊，比對太極師父與受試者的差異。每個招式的太極拳師傅與使用者的骨架資訊數值差異，皆可以存檔作為日後分析之用。

Li 等人 (2003) 的研究指出，太極練習通常涉及到需要記住的招式名稱與單招的姿勢以及單招之間的串連動作，造成認知上的挑戰 (Li et al., 2003)。而學者認為，視覺觸覺反饋可有效用於時間空間的學習上 (Sigrist et al., 2013)，藉由螢幕上選擇招式內容，使用者可以跟隨著太極拳師傅作招式的演練，無須記憶招式內容與相關聯的串連動作，應可免除高齡者在記憶招式上的混亂，專心於當下的動作上。而擴增實境有著立即的視覺導引與執行提示的特點，已經應在許多醫療手術教學上，無論是虛擬實境或擴增實境，與平板電腦設備一樣，對於在教授醫療相關解剖學科上同樣有價值 (Moro et al., 2017)，在帕金森氏症患者身上，藉由使用擴增實境的感覺反饋的設備，可改善其的步行能力 (Espay et al., 2010)，行走是一個連續性的活動，就如同太極拳單招或單張之間的轉換一樣，牽涉到的不只是動作本身，還有其協調性。練習太極需要上下肢的高度協調動作，高齡學習者常見的情況便是姿勢轉換中，無法順暢執行連續動作，造成招式中斷影響練習。本系統可以並且藉由動作差異的提示，除了避免遺忘動作，更有助於使用者在關鍵動作做修正。

學者針對中風與帕金森氏症患者做量身訂做遊戲的相關研究，認為非接觸式跟踪的增強現實系統為在挑戰性、參與性和患者量身的環境中客觀量化運動功能提供了機會 (Bank et al., 2018)。本系統可以讓使用者選擇簡易或是困難的單招做演練，也提供給研究人員使用者演練動作時的動作參數，作為日後分析，更可以了解使用者的狀況。有研究分析使用 AR 相關技術的系統，發現它們引起類似於復健運動時所經歷的生理反應的能力，在心率與皮膚傳導率上有部分達到顯著增加 (Wiederhold et al., 2019)。有研究招募 56 到 76 歲的高齡者進行三度空間的 AR 運動訓練，發現相較於一般傳統訓練，在伯格式量表與計時起走測試上均有顯著差異，並在 Tetrax 平衡功能測試上也有獲得相當程度的進步 (Ku et al., 2019)。證實 AR 系統在運動訓練上有優勢，對高齡者防跌訓練而言，最需要的訓練要素則是增加下肢肌力，本系統選擇使用太

極拳單招做為運動訓練項目，可有效的訓練高齡者下肢的肌力。

二、高齡者參與訓練之成效探討

以往相關太極拳研究，在收測方面通常會使用力板的實驗室平衡能力評估與臨床上平衡能力測試，而我們在先前系列的研究上，兩者檢測方式都有採用，但是對應到收測對象是高齡者，有些較困難的力板檢測項目，例如單腳站方面，高齡者不見得可以完成測試，加上安全因素，故後續研究選用臨床上平衡能力為主。

先前我們的研究有使用力板上的平衡能力檢測，是在六種不同足底支撐面上，進行身體穩定極限測試 (Sung et al., 2018; Penn et al., 2019)。身體穩定極限測試是指支撐底面積固定且保持平衡狀況下，使身體重心到達最大活動範圍極限的能力 (Melzer et al., 2009)，而速度越快以及所到達的極限範圍越大軌跡也越穩定表示其能力越好，高齡者的穩定能力逐漸退化，穩定極限範圍會隨年紀增加而縮小 (Shumway-Cook & Woollacott, 2007)，如果患有神經疾病之高齡者，其動態姿勢控制能力會更差 (Clark & Rose, 2001)。執行身體穩定極限測試，是以自我感覺為主的位移量測試，請受試者於站姿不變的情況下，將身體傾向至他能力所及之最遠距離，口令為：腳步維持不動，將身體盡量往前、後、右、左方向移動。

而先前系列研究的數據顯示出達到差異的原因皆不相同。可能造成影響因素為以下三點：(1) 對動作不熟悉：身體穩定極限測試需要適當的重心位移能力，而重心位移對許多高齡者而言，是相當陌生且不熟悉的動作，雖然已練習 1~2 次，仍不一定能執行出最大位移量。本研究收案的受試者在測試當下，經常反應過去沒有做過類似的評估。(2) 使用不同的動作策略：部分受試者因無法適當的作出重心位移，會使用彎腰的動作策略，因此，即使身體有往前，身體壓力中心也不會有太多改變。(3) 其它身體功能因素影響：因高齡者身體功能差異大，易受多系統性疾病影響，除了重心位移能力外，其它身體功能因素也會影響穩定極限測試，如膝蓋痠、腰痛、腳麻、痛風等等，皆會造成測試時位移量改變 (Clark & Rose, 2001)。

而以往太極拳訓練已知的效果包含：可以提高臨床平衡量表分數 (例如：伯格式平衡量表) (Eyigor et al., 2009; Logghe et al., 2009)、計時起走測試 (Frye et al., 2007)，增進下肢肌肉力量以及關節活動度 (Chan et al., 2003; Hass et al., 2004; Wolfson et al., 1996)，因為本次

研究是為了測試擴增實境太極拳訓練系統的療效，故選用的是臨床上較常使用的平衡能力與肌肉力量測試。本研究之訓練成效在臨床平衡檢測方面大致與過去文獻相符合，過去文獻訓練時間短期為 8-12週 (Frye et al., 2007; Eyigor et al., 2009; Logghe et al., 2009)，本研究的訓練時間為8週。

高齡者會因腿部肌群肌力的提升，由坐到站、站到坐、轉位的獨立性及穩定度改善。個別化太極相當強調動作的緩慢，而動作放慢為一種更高難度的動作控制 (Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994)，會誘發到更多肌群共同協調動作的穩定度，也需要更大的肌力來配合執行動作。參與本研究訓練的受試者在下肢肌群的肌力有顯著提升，對執行伯格式量表評估項目的表現應有幫助。

太極運動的膝關節需維持在輕微彎曲的角度，配合動作緩慢，下肢會有如肌力訓練的半蹲效果，因股四頭肌需維持在離心收縮，對股四頭肌是種強力訓練 (Kinakin, 2009)，加上太極下肢多為閉鎖鍊運動，需要多關節彼此聯動 (Kim, 2009)，對下肢肌力有良好的訓練效果。因下肢力量的提升，使起身、坐下的速度變快、變穩定，並可能因此提升了行走速度，在本研究的計時起走測試中，讓後測結果的平均秒數比前測時要縮短 2秒 (縮短約 23.0%)。

太極運動的過程當中，膝蓋微彎的姿勢會活化腿部肌群，不只提高肌力也可增加關節活動度 (Lauche et al, 2013)，在本研究的功能性前伸測試，後測表現的平均前伸距離較前測增加 4.3公分 (增加約 12.7%)，代表受試者的動作協調度增加且軀幹柔軟度改善，且下肢肌力提升也有助於維持上身軀幹向前彎時的穩定度 (Zhang et al., 2006)。

一般而言，高強度肌力訓練需 2~3週才會有顯著進步，中高強度需要 4~8週 (Kinakin, 2009)，本研究的介入訓練為期八週，在肌力訓練方面成效改善顯著。回顧過往的太極拳研究，在下肢肌力方面大多可以看到顯著的訓練效果 (Zhang et al., 2006; Xu et al., 2006)，但比較少見到探討哪些肌群肌力增加的原因，可能的原因應該是各個研究者選擇的太極拳派別不同，導致在下肢肌力訓練在下肢肌力訓練上成效上，雖然有進步，但不一定一致。太極拳運動有相當多的膝蓋微彎動作，伴隨著長時間的招式演練，通常對於下肢在矢狀面上的屈曲和伸展有著顯著的訓練效果，而招式之間的轉換，在冠狀面，也就是內收、外展、側屈，以及腳踝的內外翻部份，也有著良好的訓練效果。個別

化訓練為挑選合適的招式給予高齡者學習，所以會請受試者重覆的練習我們給予的太極單招，因此他們會一直重覆使用此單招所需的相關肌群。符合肌力訓練的基本原則：重覆次數，且重覆多次動作達 20次以上便可提升肌耐力 (Kinakin, 2009)。也可能因為如此，本次研究在下肢肌力測試上，都有顯著的進步。

肌力表現增加不一定是單一肌力提升的效果，與動作學習和協調改善皆有關聯，包含增加運動單位的徵召數量、速率、同步性等。過去文獻回顧提及下肢肌力和高齡者的平衡能力、行走功能非常相關 (Brach et al, 2013)，高齡者因為下肢肌力萎縮及協調能力退化，且容易影響到日常生活功能，而運動提升的平衡能力及下肢肌力，可降低跌倒風險並減少髖部骨折機率 (Gregg, Pereira, & Caspersen, 2000)。

伍、結論

本研究開發了一套擴增實境太極拳訓練系統，參與訓練的高齡者經過8週的訓練後，平衡功能及下肢肌力表現有顯著提升。結合擴增實境進行太極拳訓練應對改善高齡者平衡表現有良好助益。

陸、參考文獻

- 衛生福利部統計處 (2018)。死因統計：107年度死因統計。取自：<https://dep.mohw.gov.tw/DOS/lp-4472-113.html>
- Bank, P. J. M., Cidota, M. A., Ouweland, P. E. W., & Lukosch, S. G. (2018). Patient-Tailored augmented reality games for assessing upper extremity motor impairments in Parkinson's Disease and stroke. *Journal of medical systems*, 42(12), 246. doi:10.1007/s10916-018-1100-9
- Boyd, L., & Winstein, C. (2006). Explicit information interferes with implicit motor learning of both continuous and discrete movement tasks after stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(2), 46-57; discussion 58-49. doi:10.1097/01.npt.0000282566.48050.9b
- Brach, J. S., Van Swearingen, J. M., Perera, S., Wert, D. M., & Studenski, S. (2013). Motor learning versus standard walking exercise in older adults with subclinical gait dysfunction: a randomized clinical trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(11), 1879-1886. doi:10.1111/jgs.12506
- Cadore, E. L., Rodriguez-Manas, L., Sinclair, A., & Izquierdo, M. (2013). Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation research*, 16(2), 105-114. doi:10.1089/rej.2012.1397
- Clark, S., & Rose, D. J. (2001). Evaluation of dynamic

- balance among community-dwelling older adult fallers: a generalizability study of the limits of stability test. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(4), 468-474. doi: 10.1053/apmr.2001.21859
- Chan, S. P., Luk, T. C., & Hong, Y. (2003). Kinematic and electromyographic analysis of the push movement in tai chi. *British Journal of Sports Medicine*, 37(4), 339-344. doi:10.1136/bjism.37.4.339
- Chen, S. (2002). A modified Tai Chi program for individuals with physical disabilities. *Palaestra*, 18(2), 43-47.
- Chen, K. M., Chen, W. T., Wang, J. J., & Huang, M. F. (2005). Frail elders' views of Tai Chi. *The Journal of Nursing Research*, 13(1), 11-20.
- Chen, K. M., Chen, W. T., & Huang, M. F. (2006). Development of the simplified Tai Chi exercise program (STEP) for frail older adults. *Complementary therapies in medicine*, 14(3), 200-206. doi:10.1016/j.ctim.2006.05.002
- Chen, K. M., Lin, J. N., Lin, H. S., Wu, H. C., Chen, W. T., Li, C. H., & Kai Lo, S. (2008). The effects of a Simplified Tai-Chi Exercise Program (STEP) on the physical health of older adults living in long-term care facilities: a single group design with multiple time points. *International journal of nursing studies*, 45(4), 501-507. doi:10.1016/j.ijnurstu.2006.11.008
- Espay, A. J., Baram, Y., Dwivedi, A. K., Shukla, R., Gartner, M., Gaines, L., Revilla, F. J. (2010). At-home training with closed-loop augmented-reality cueing device for improving gait in patients with Parkinson disease. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 47(6), 573-581. doi:10.1682/jrrd.2009.10.0165
- Eyigor, S., Karapolat, H., Durmaz, B., Ibisoglu, U., & Cakir, S. (2009). A randomized controlled trial of Turkish folklore dance on the physical performance, balance, depression and quality of life in older women. *Archives of gerontology and geriatrics*, 48(1), 84-88. doi:10.1016/j.archger.2007.10.008
- Frye, B., Scheinthal, S., Kemarskaya, T., & Pruchno, R. (2007). Tai Chi and low impact exercise: effects on the physical functioning and psychological well-being of older people. *Journal of Applied Gerontology*, 26, 433-453. doi:10.1177/0733464807306915
- Glogoski C & Foti D. (2001). Special needs of the older adult. In Pedretti, L.W., & Early, M. B. (Eds.). *Occupational therapy practice skills for physical dysfunction* (5th ed., pp.993-994). St. Louis, Missouri: Mosby.
- Gregg, E. W., Pereira, M. A., & Caspersen, C. J. (2000). Physical activity, falls, and fractures among older adults: a review of the epidemiologic evidence. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(8), 883-893.
- Hamacher, A., Kim, S. J., Cho, S. T., Pardeshi, S., Lee, S. H., Eun, S. J., & Whangbo, T. K. (2016). Application of virtual, augmented, and mixed reality to urology. *International neurourology journal*, 20(3), 172-181. doi:10.5213/inj.1632714.357
- Hass, C. J., Gregor, R. J., Waddell, D. E., Oliver, A., Smith, D. W., Fleming, R. P., & Wolf, S. L. (2004). The influence of Tai Chi training on the center of pressure trajectory during gait initiation in older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(10), 1593-1598. doi:10.1016/j.apmr.2004.01.020
- Hsieh WM, Chen CC, Wang SC, Tan SY, Hwang YS, Chen SC, Lai JS, Chen YL. (2014). Virtual reality system based on Kinect for the elderly in fall prevention. *Technology and health care*, 22(1):27-36.
- Ilg W, Schatton C, Schicks J, Giese MA, Schöls L, Synofzik M. (2012). *Video game-based coordinative training improves ataxia in children with degenerative ataxia. Neurology*. 79(20):2056-60.
- Jones, C.J. and Rikli, R.E. (2002) Measuring Functional Fitness in Older Adults. *The Journal of Active Ageing*, 25-30.
- Kim HD. (2009). Effects of Tai Chi exercise on the center of pressure trace during obstacle crossing in older adults who are at a risk of falling. *Journal of Physical Therapy Science*, 21(1), 49-54.
- Kinakin, K. (2009). *Optimal muscle training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ku, J., Kim, Y. J., Cho, S., Lim, T., Lee, H. S., & Kang, Y. J. (2019). Three-Dimensional augmented reality system for balance and mobility rehabilitation in the elderly: a randomized controlled trial. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(2), 132-141. doi:10.1089/cyber.2018.0261
- Lauche, R., Langhorst, J., Dobos, G., & Cramer, H. (2013). A systematic review and meta-analysis of Tai Chi for osteoarthritis of the knee. *Complementary therapies in medicine*, 21(4), 396-406. doi:10.1016/j.ctim.2013.06.001
- Lee, J., Yoo, H. N., & Lee, B. H. (2017). Effects of augmented reality-based Otago exercise on balance, gait, and physical factors in elderly women to prevent falls: a randomized controlled trial. *Journal of physical therapy science*, 29(9), 1586-1589. doi:10.1589/jpts.29.1586
- Legters, K. (2002). Fear of falling. *Physical therapy*, 82(3), 264-272.
- Leung, E. S., & Tsang, W. W. (2008). Comparison of the kinetic characteristics of standing and sitting Tai Chi forms. *Disability and rehabilitation*, 30(25), 1891-1900. doi:10.1080/09638280802358563
- Li, F., Fisher, K. J., Harmer, P., & Shirai, M. (2003). A simpler eight-form easy Tai Chi for elderly adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 11(2), 206-218.

- Li, F., Harmer, P., Fisher, K. J., & McAuley, E. (2004). Tai Chi: improving functional balance and predicting subsequent falls in older persons. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(12), 2046-2052. doi:10.1249/01.mss.0000147590.54632.e7
- Lin, M. R., Hwang, H. F., Wang, Y. W., Chang, S. H., & Wolf, S. L. (2006). Community-based tai chi and its effect on injurious falls, balance, gait, and fear of falling in older people. *Physical therapy*, 86(9), 1189-1201. doi:10.2522/ptj.20040408
- Llorens Rodríguez, R., Alcañiz Raya, M. L., Colomer Font, C., & Navarro, M. D. (2012). Balance recovery through virtual stepping exercises using Kinect skeleton tracking: a follow-up study. *Studies in Health Technology and Informatics*, 108-112.
- Logghe, I. H., Zeeuwe, P. E., Verhagen, A. P., Wijnen-Sponselee, R. M., Willemsen, S. P., Bierma-Zeinstra, S. M., Koes, B. W. (2009). Lack of effect of Tai Chi Chuan in preventing falls in elderly people living at home: a randomized clinical trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57(1), 70-75. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.02064.x
- Melzer, I., Benjuya, N., Kaplanski, J., & Alexander, N. (2009). Association between ankle muscle strength and limit of stability in older adults. *Age Ageing*, 38(1), 119-123. doi: 10.1093/ageing/afn249
- Moro, C., Stromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical sciences education*, 10(6), 549-559. doi:10.1002/ase.1696
- Penn, I. W., Sung, W. H., Lin, C. H., Chuang, E., Chuang, T. Y., & Lin, P. H. (2019). Effects of individualized Tai-Chi on balance and lower-limb strength in older adults. *BMC geriatrics*, 19(1), 235. doi:10.1186/s12877-019-1250-8
- Pompeu, J. E., Arduini, L. A., Botelho, A. R., Fonseca, M. B., Pompeu, S. M., Torriani-Pasin, C., & Deutsch, J. E. (2014). Feasibility, safety and outcomes of playing Kinect Adventures! for people with Parkinson's disease: a pilot study. *Physiotherapy*, 100(2), 162-168. doi:10.1016/j.physio.2013.10.003
- Shadmehr, R., & Mussa-Ivaldi, F. A. (1994). Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *Journal of neuroscience*, 14(5 Pt 2), 3208-3224.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2007). *Motor control : translating research into clinical practice* (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. *Psychonomic bulletin & review*, 20(1), 21-53. doi:10.3758/s13423-012-0333-8
- Sung, W. H., Liu, C. C., Wei, S. H., Chuang, L. R., Chuang, E., Wang, K. A., & Wang, J. C. (2018). Feasibility and outcome of an individualized Tai Chi program for improving balance and strength in the elderly: a pilot study. *NeuroRehabilitation*, 43(4), 509-518. doi:10.3233/nre-162061
- United Nations (2019). World Population Ageing 2019: Highlights. Retrieved from <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Highlights.pdf>
- Vavra, P., Roman, J., Zonca, P., Ihnat, P., Nemeč, M., Kumar, J., El-Gendi, A. (2017). Recent development of augmented reality in surgery: a review. *Journal of healthcare engineering*, 2017, 4574172. doi:10.1155/2017/4574172
- Vidrios-Serrano, C., Bonilla, I., Viguera-Gomez, F., & Mendoza, M. (2015, August). Development of a haptic interface for motor rehabilitation therapy using augmented reality. In *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 1156-1159). IEEE. doi:10.1109/embc.2015.7318571
- Villiger, M., Liviero, J., Awai, L., Stoop, R., Pyk, P., Clijse, R., Bolliger, M. (2017). Home-based virtual reality-augmented training improves lower limb muscle strength, balance, and functional mobility following chronic incomplete spinal cord injury. *Frontiers in neurology*, 8, 635. doi:10.3389/fneur.2017.00635
- Wiederhold, M. D., Crisci, M., Patel, V., Nonaka, M., & Wiederhold, B. K. (2019). Physiological monitoring during augmented reality exercise confirms advantages to health and well-being. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(2), 122-126. doi:10.1089/cyber.2018.0027
- WHO (2018) Falls. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- Wolfson, L., Whipple, R., Derby, C., Judge, J., King, M., Amerman, P., Smyers, D. (1996). Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. *Journal of the American Geriatrics Society*, 44(5), 498-506. doi:10.1111/j.1532-5415.1996.tb01433.x
- Wu, G. (2002). Evaluation of the effectiveness of Tai Chi for improving balance and preventing falls in the older population - a review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50(4), 746-754. doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50173.x
- Xu, D. Q., Li, J. X., & Hong, Y. (2006). Effects of long term Tai Chi practice and jogging exercise on muscle strength and endurance in older people. *British journal of sports medicine*, 40(1), 50-54; discussion 50-54. doi:10.1136/bjism.2005.019273
- Yoo, J. W., Lee, D. R., Cha, Y. J., & You, S. H. (2017). Augmented effects of EMG biofeedback interfaced

with virtual reality on neuromuscular control and movement coordination during reaching in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*, 40(2), 175-185. doi:10.3233/nre-161402

Zhang, J. G., Ishikawa-Takata, K., Yamazaki, H., Morita, T., & Ohta, T. (2006). The effects of Tai

Chi Chuan on physiological function and fear of falling in the less robust elderly: an intervention study for preventing falls. *Archives of gerontology and geriatrics*, 42(2), 107-116. doi:10.1016/j.archger.2005.06.007



Development of an Augmented Reality Individualized Tai-Chi Chuan Training System for Improving Balance Ability of Elderly

¹Po-Jung Chen, ¹Cheng-Chun Liu, ²Long-Ren Chuang, ¹Wen-Hsu Sung*

¹ Department of Physical Therapy and Assistive Technology, National Yang-Ming University, Taipei, Taiwan

² Department of Chinese Martial Arts, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

Received:2020/02; Accepted : 2020/05

ABSTRACT

Purposes: The study analyzes the mechanical characteristics of Tai-Chi's single strokes and uses Tai-Chi's single stroke teaching videos and body motion detection technology to develop an augmented reality (AR)-assisted coaching system, and recruit elderly to participate in the experiment to verify the training effects on balance. **Methods:** The Yang's Tai-Chi 24 styles were used and the difficulty of each style was graded by the standing posture on both feet and needed center of pressure (COP) movement trajectory length. The suitable single styles selected for training were according to the subject's ability to autonomously move the COP. Augmented reality function used Kinect for Windows to detect the subject's movement and displayed the subject's real-time image and skeleton information simultaneously. The subject's skeleton information was compared with the information of the Tai-Chi master performing the same single style to provide action prompts immediately. Senior subjects were recruited to verify the effect of the augmented reality-assisted training on balance ability. The duration lasted 8 weeks, 3 times a week, and 30 minutes each section. The Berg Balance Scale (BBS), Timed Up and Go Test (TUG), Functional Reach Test (FRT), and lower limb muscle strength tests were used to assess pre-intervention and post-intervention difference, the statistically significant level was set at $p < .05$. **Results:** Eight seniors were recruited (age: 70.0 ± 4.2 years old). After intervention, BBS was improved by an average of 3.5 ± 1.0 points ($p = .011$), and TUG was decreased by an average of 2.0 ± 0.4 seconds ($p = .011$) and FRT was increased by an average of 4.3 ± 2.4 cm ($p = .012$). In the muscle strength test, the lower limb muscle group improved by an average of 3.8 ± 3.6 kg, with significant differences in all 16 muscle groups. **Conclusion:** The improvement can be observed in clinical balance tests and lower limb muscle strength on elderly subjects with the AR-assisted Tai-Chi coaching system developed in the study with 8-weeks training. The AR-assisted Tai-Chi coaching system should help improve the balance performance of the elderly.

Keywords: motion detection, balance performance, lower limb muscle strength