



研究論文

以虛擬實境技術量化評估動作控制

裴駿¹ 孫天龍² 黃建華³ *紀偉民¹

¹南開科技大學 福祉科技與服務管理學系

²元智大學 工業工程與管理學系

³署立豐原醫院 科技輔具中心

摘要

本研究藉由虛擬實境技術發展動作評估的工具，並透過此工具能有效地評估受測者的動作控制能力。本研究應用虛擬實境技術建立人模及人形框，搭配動作捕捉系統所提供的受測者的即時動作，在虛擬場景中進行互動，同時利用身體質量中心(center of mass, COM)移動軌跡線在側向(lateral-medial, X)與前後方向(anterior-posterior, Y)的位移變化量標準差和移動軌跡線長度，作為本研究量化評估的參數。利用二種人形框尺寸相對於二種人形框移動的時間設計出四種不同的評估參數，寬度大的人形框在進行實驗時是較為容易讓虛擬人模維持於人形框內，寬度小的人形框形狀較貼近虛擬人模，人形框移動時間分別為1秒及5秒。7位年輕受測者平均年齡為24歲，10位高齡受測者平均年齡約為65歲，藉此探討年齡和這四種不同評估參數對受測者單腳站立的姿勢穩定性的影響。本研究得到三項結果：(1)分別在框尺寸大和小的條件下，不同的框移動時間對於年輕受測者COM在X方向位移變化程度的影響達到顯著。同理，框移動時間對於年輕受測者COM在Y方向和橫截面上軌跡線長度之影響也都達到顯著；(2)僅在大框的條件下，不同的框移動時間對於高齡受測者的COM在X方向及橫截面上軌跡長的變化程度影響達顯著，小框則無顯著，而框移動時間對於高齡受測者COM在Y方向上之變化，不管是使用大框還是小框則皆無顯著差異；(3)分別在框移動時間長和短的條件下，框尺寸大小對年輕和高齡受測者COM位移變化及其軌跡線長度之影響皆無顯著性。

關鍵詞：虛擬實境技術、動作控制能力、身體質量中心。

1. 研究背景

老人跌倒除了造成身體損傷外，也會影響老人心理層面的障礙。這些心理障礙直接的影響到生理反應，使得老年人保護防衛機制變差，甚至影響復健的意願。而如果這些老年人長期沒有接受復健或因害怕跌倒而不活動，如此一來，反而限制了行動範圍、喪失身體功能與獨立活動能力，

慢慢地也會影響原本的生活品質，這不僅造成了龐大的醫療成本，也增加社會負擔。因此為了提升高齡者的生活品質、增強日常活動能力與降低跌倒率，預防高齡者跌倒危險已成為重要的議題。適當的跌倒篩檢與評估一直為國內醫院所重視的問題，尤其當病患跌倒的可能因素與個體平衡、步態能力相關時，復健科醫生必須進一步透過各式各樣的檢查方式來評估病患身體平衡狀況與肢體動作表現，因此，若能有一個良好且完善的動作評估工具，除了能有效測量病患平衡狀況及動作控制能力，同時也能明確瞭解病患本身的狀況，並提供適當的治療，以提升病患的姿勢穩定能力。

單腳站立之平衡對於運動及許多日常生活活動是最基本的(Forzard, 2001)，如穿褲子、行進或上下樓梯等，這些需要在小的支持面下進行重心轉移時，最容易發生跌倒，尤其對於老年人更是如此(鄭伊芳，民 93)。研究發現持續一段時間的太極拳訓練可以增加單腳站立能力，進而減少跌倒的風險。這也證實了維持單腳站立的能力對老人跌倒是很重要的預測指標，然而很少有研究根據此項動作來進行相關測試的研究與研發(Mao et al., 2006)。

隨著科技進步與儀器的普遍，傳統測量儀器對於進行平衡能力之評估，雖能快速測量受測者的身體資料，卻只能說明受測者在執行動作時，身體移動的範圍與搖晃程度。再則，針對較複雜的部分，會重複多次測量，以得到較準確的數值，使測試過程中時間過長，且枯燥、無趣。

虛擬實境的感覺刺激可促進老年人維持平衡及整合能力，進而改善姿勢控制及跌倒發生率(de Bruin et al., 2010)。後來也有許多的遊戲被應用於復健領域上，如 Wii、X-box、PS2 等虛擬遊戲機，這些虛擬遊戲機除了可以增加享受感、融入後快樂的感覺、降低疲累感等，還能有效的鼓勵參與者增加運動強度及參與度(de Bruin et al., 2010)，但是仍缺乏量化姿勢穩定能力之評估工具。

過去學者應用虛擬實境與動作捕捉技術(Motion Capture, MoCap)提供受測者視覺輔助，引導受測者執行動作，但在執行動作的過程都只考慮讓受測者依照自己方式來執行動作，並無制式且明確的模式來看受測者是否有達到標準的動作姿勢。如圖 1 所示，受測者在三種實驗環境下執行拍球動作，伸取行為藉由力板測量出壓力中心(center of pressure, COP)最大前後和側移的距離(Lott et al., 2003)。

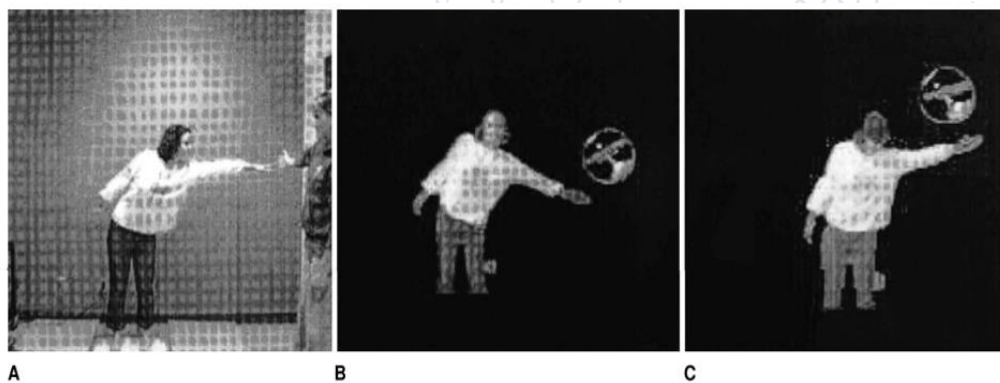


圖 1. (A)真實環境、(B)觀看環境、(C)受測者帶頭戴顯示器下執行拍球動作(Lott et al., 2003)

Ustinova 等人探討在站立時，虛擬相機之不同視角呈現對手臂伸展動作之影響。如圖 2 所示，以第三視角投影方式呈現虛擬場景，由 11 位受測者在未失去平衡下，依指導者指示的方向（前方與側邊），將手指向遠處的花朵，而在相機視角的參數設定分為 0 度、22.5 度、45 度、77.5 度以及 90 度之五種不同視角作測試，實驗過程中將透過光源系統紀錄受測者的手臂、軀幹與腳動作，所蒐集到的動作資料將做手部端點位移、手臂姿勢協調與質心(center of mass, COM)位移分析 (Ustinova et al., 2010)。

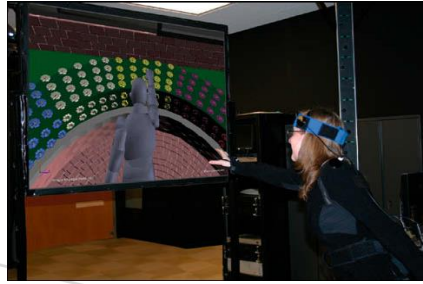


圖 2. 不同視角下所呈現的虛擬環境(Ustinova et al., 2010)

本研究目的是藉由虛擬實境技術發展動作評估的工具，並透過此工具能有效地評估受測者的動作控制能力。本研究也利用虛擬實境與 MoCap 來進行實驗，評估高齡者動作控制能力之測試，希望能有以下的效果：(1)有效地評估受測者的動作控制能力；(2)能增加動作控制能力測試的困難度，讓受測者能了解自身的動作控制能力狀況，進而調整動作控制能力測試之難度；(3)於虛擬場景中放置虛擬人模提供視覺回饋，也讓受測者了解自己是否達到標準之評估動作。

2. 研究方法

本研究動作控制能力評估概念如圖 3，在進行動作控制評估的時候，受測者身上穿著動作捕捉衣並且驅動虛擬場景中的虛擬人模，受測者應該盡量維持標準姿勢讓虛擬人模穿越行進中的人形框，以符合動作控制評估之標準姿勢。

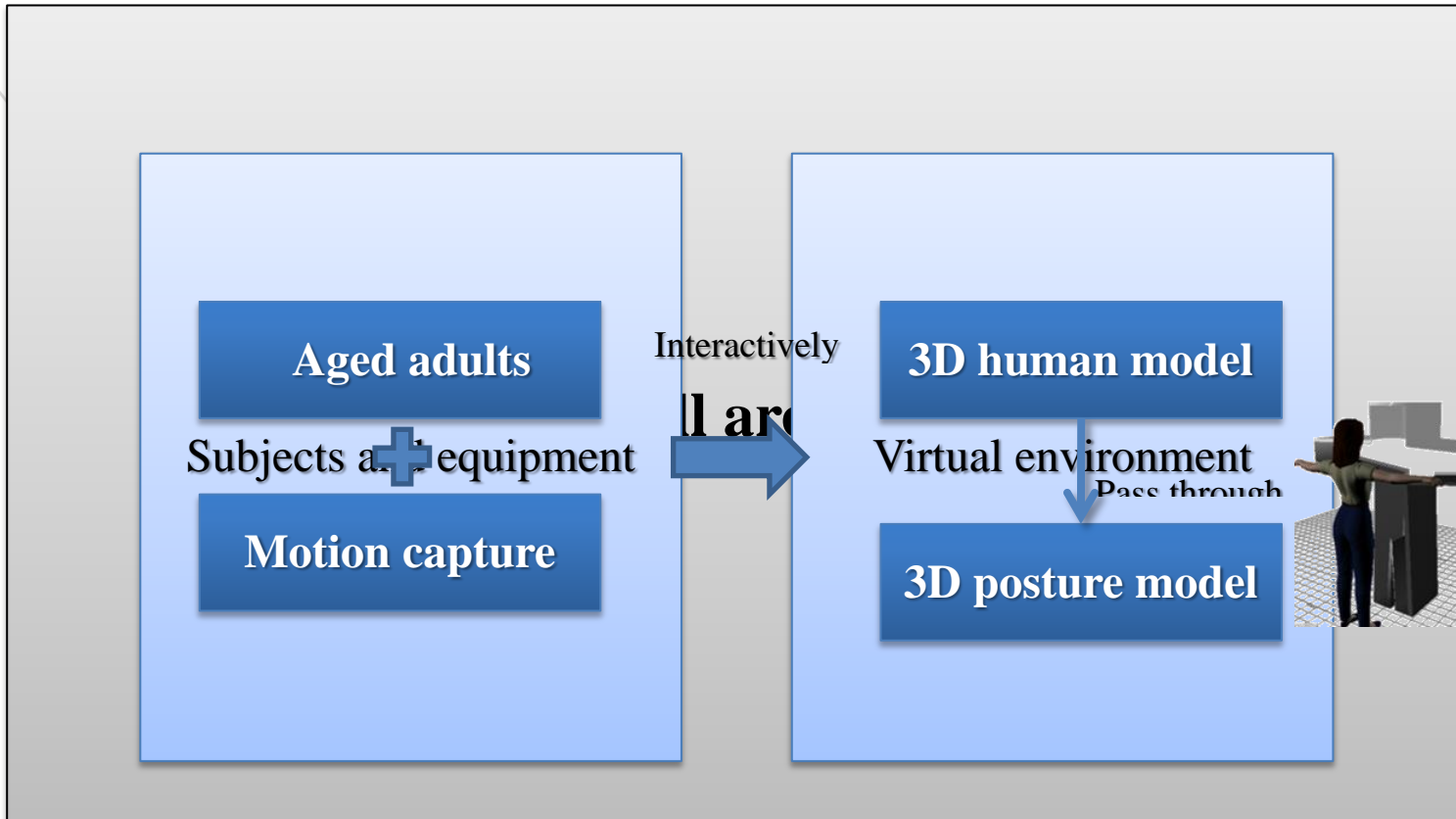


圖 3. 動作控制能力評估概念之架構

2.1 實驗目的

評估人形框大小及人形框移動時間對於年輕受測者與高齡受測者之動作控制能力(COM變化)。希望研究結果將可輔助復健專家客製化的設計、量化動作控制能力之評估。本研究範圍與限制如下：

(1) 研究範圍與對象

本研究受測者對象可分為年輕人與高齡者，年輕人平均年齡為 24 歲，有 7 位受測者，高齡者平均年齡約為 65 歲，有 10 位受測者。受測對象皆沒有因為下肢肌肉、骨骼及中樞神經等會影響到平衡能力的相關病史，且在一年內無跌倒經驗的健康受測者，作為研究對象。排除對象的標準包含：任何骨科(膝關節損傷)或神經系統合併症、身體質量指數(Body Mass Index, BMI)大於 30、無法執行單腳站立者。

(2) 研究限制

本研究因為人力、物力及時間的限制，所以參與對象僅找到符合收案標準之健康個案作研究測試。

2.2 實驗設計

(1) 動作控制能力評估之姿勢

本研究以受測者慣用腳(右腳)抬起進行單腳站立，其原因為在進行單腳站立的過程中，人體在進行下肢重心轉移的動作是最容易發生跌倒之時刻(鄭伊芳，2004)，且已有研究發現維持單腳站立活動是預測老人跌倒的一個重要指標(Richardson, et al., 1996)。因此本研究以單腳站立動作作為動作控制能力評估之姿勢(如圖4)。



圖 4. 單腳站立姿勢

人形框尺寸參數設計為寬度大的人形框在進行實驗時是較為容易讓虛擬人模維持於人形框內，反之寬度小的人形框形狀較貼近虛擬人模(digital human model, DHM)。人形框移動時間分別為 1 秒及 5 秒。藉此探討年齡和這四種不同評估參數對受測者單腳站立的姿勢穩定性的影響。

(2) 人形框建構與設計

本實驗設計為受測者觀看前方的虛擬場景，而人形框從正前方直線接近受測者以進行互動(如圖 6)，藉由二種人形框尺寸相對於二種人形框移動的時間設計出四種不同的評估參數，在動作控制能力評估的過程中紀錄四種虛擬場景如表 1，評估受測者對於不同人形框設計參數之動作控制能力，用身體質量中心移動軌跡線在側向(lateral-medial, X)與前後方向(anterior-posterior, Y)的位置變化標準差和移動軌跡線長度，作為本研究量化評估的參數。

表 1. 動作控制能力之測試實驗

	實驗設計分組	蒐集數據
人形框之	PM1：人形框寬度大/移動時間 5 秒	1. COM 軌跡線在 X 和 Y 軸方

視覺輔助	PM2：人形框寬度大/移動時間 1 秒	向上的標準差。 2. COM 在橫截面上移動軌跡線長度。
	PM3：人形框寬度小/移動時間 5 秒	
	PM4：人形框寬度小/移動時間 1 秒	

(3) 實驗自變項

人形框尺寸參數設計：

寬度設計—本研究設計兩種寬度的人形框，如圖 5 所示，寬度距離為虛擬人模與人形框之間的距離。對於受測者而言，在進行實驗時，寬度大的人形框在進行實驗時是較為容易讓虛擬人模維持於人形框內，反之寬度小的人形框形狀較貼近虛擬人模因此寬度小的人形框難度高於寬度大的人形框。



圖 5. 人形框大小 (1) 小人形框、(2) 大人形框

移動時間設計—本實驗將人形框移動時間分為兩類：短期和長期。長時間運行的時間設置為 5 秒，可以使受測者能有足夠的反應時間做出動作控制能力評估之姿勢；短時間運行的時間設置為 1 秒，這可刺激受測者須立即做出動作控制能力評估之姿勢，如下圖 6 所示。

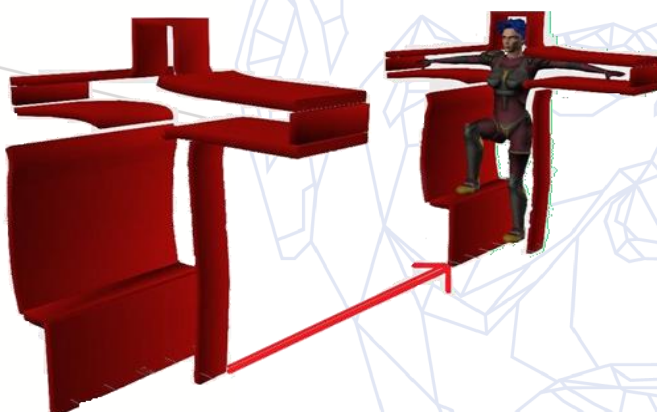


圖 6. 人形框移動時間 (5 秒或 1 秒)

(4) 實驗依變項

本研究以虛擬實境技術建立人模及人形框，搭配動作捕捉系統所提供的受測者的即時動作，在虛擬場景中進行互動，評估動作控制能力在不同的評估參數設計下，是否能增加動作控制能力評估的困難度，並利用身體質量中心移動軌跡線在側向(X)與前後(Y)方向的位置變化標準差和移動軌跡線長度，作為本研究量化評估的參數。

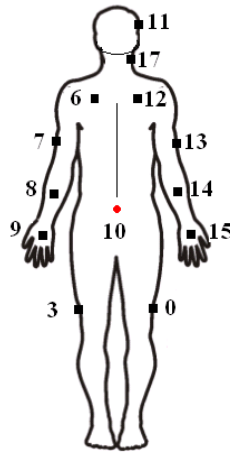


圖 7. 右圖為 Animazoo 系統 HIPS 位置 (紅點 10)

Aniamazoo 分析系統中人體模型的 HIPS 位置點 10 (紅色) 近似於人體質量中心(center of mass, COM) (Smith, et al., 1980; 胡名霞著, 2009), 如圖 7。因此, 本研究將人體模型 HIPS 的移動軌跡線定義成 COM 的移動軌跡線。

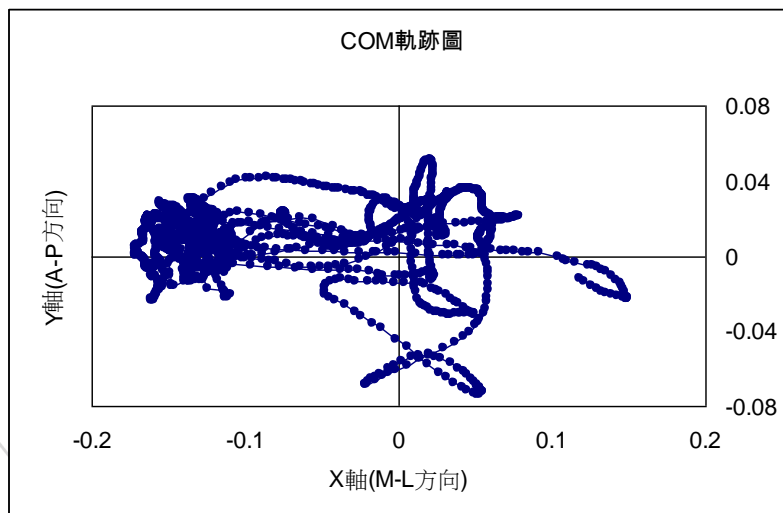


圖 8. Animazoo 分析系統中人體模型 HIPS 的移動軌跡線圖

2.3 實驗步驟

本實驗所需器材為動作捕捉系統 Animazoo—Gypsy Gyro 18，包含動作捕捉衣、接收器、發送器與陀螺儀等器材，以及一台個人電腦，已安裝 Motion Builder 即時動畫軟體、Animazoo 驅動裝置與單槍投影設備。Animazoo 動作捕捉系統是以相對地磁北方的偏移量來計算動作數據，因此，避免磁場干擾造成虛擬人模之驅動異常，需事先測試確定無磁場干擾現象，本研究選擇中部某醫院復健科運動中心作為實驗環境。

進行本實驗前須詢問受測者基本健康資料，確定無影響平衡能力等相關病史，以及一年內無跌倒經驗之受測者。符合本實驗條件之受測者穿著動作捕捉衣，並請指導員帶領受測者練習雙手平舉時單腳站立之姿勢，讓受測者了解本實驗動作控制能力評估之姿勢。

本研究應用虛擬實境技術建立人模及人形框，搭配動作捕捉系統所提供受測者的即時動作，在虛擬場景中進行動作控制能力之評估實驗。實驗前先讓受測者學習操縱虛擬人模的動作再開始進行實驗，接著使用二種人形框尺寸相對於二種人形框移動時間設計出的四種不同評估場景，來呈現出不同難易程度的實驗模式（如表 1），實驗的四種不同評估場景各測試一次。

本實驗對象可分為年輕人與高齡者，年輕受測者共有 7 位，而高齡受測者共 10 位，皆進行虛擬實境動作控制能力評估，如圖 9 所示。

實驗過程會用攝影機做實驗過程紀錄，而實驗過程中受測者的實驗數據記錄於應用軟體 MotionBuilder，同時利用身體質量中心移動軌跡線在側向(X)與前後(Y)方向的位置變化標準差和橫截面上軌跡線長度如圖 10，作為本研究量化評估的參數，再分別探討年齡和這四種不同評估參數對受測者單腳站立的姿勢穩定性的影響。

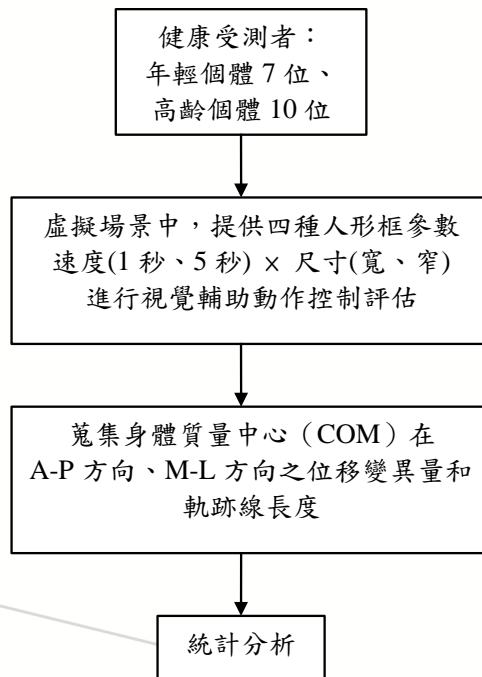


圖 9. 動作控制能力評估實驗架構流程

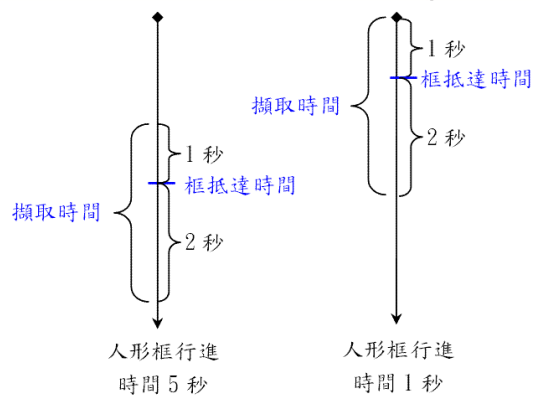


圖 10. 擷取 COM 軌跡線長度之時間示意圖

3. 結果

3.1 人形框移動時間及人形框尺寸對於年輕受試者之反應

(1) 對於年輕受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化分析 (如表 2 及表 3)

- 以人形框大小為控制變因，人形框移動時間為操縱變因：在大框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於年輕受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響達顯著；小框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於年輕受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響也達顯著。

- 以人形框移動時間為控制變因，人形框尺寸大小為操縱變因：框移動時間為 1 秒時，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響則未達顯著。框移動時間為 5 秒，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響亦未達顯著。

表 2. COM 軌跡在 X 方向位移變化之統計量

年輕受測者	平均數	標準差	個數
L1	0.0280598	0.01953518	7
L5	0.0028707	0.00158026	7
S1	0.0316061	0.01584211	7
S5	0.0034130	0.00127443	7

表 3. 四種評估參數設計對於年輕受測者 COM 軌跡在 X 方向之位移變化

年輕受測者	t 檢定	P 值
控制人形框尺寸大小，框移動時間之影響	L1 vs. L5	0.017*
	S1 vs. S5	0.002*
控制人形框移動時間，框尺寸大小之影響	L1 vs. S1	0.437
	L5 vs. S5	0.584

註：L1 人形框為大框，框移動時間短，1 秒到達。L5 表示人形框為大框，框移動時間長，5 秒到達。S1 人形框為小框，框移時間度短，1 秒到達。S5 表示人形框為小框，框移動時間長，5 秒到達。†表示 $P < 0.1$ ，*表示 $P < 0.05$ ，**表示 $P < 0.01$ ，***表示 $P < 0.001$ 。

(2) 對於年輕受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度（如表 4 及表 5）

- 以人形框大小為控制變因，人形框移動時間為操縱變因：在大框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於年輕受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響達顯著；小框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於年輕受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響也達顯著。
- 以人形框移動時間為控制變因，人形框尺寸大小為操縱變因：框移動時間為 1 秒時，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響則未達顯著。框移動時間為 5 秒，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響亦未達顯著。

表 4. COM 軌跡在 Y 方向位移變化之統計量

年輕受測者	平均數	標準差	個數
L1	0.0154232	0.00771996	7
L5	0.0036980	0.00194647	7
S1	0.0161123	0.00731350	7
S5	0.0042883	0.00216530	7

表 5. 四種評估參數設計對於年輕受測者 COM 軌跡在 Y 方向之位移變化

年輕受測者	t 檢定	P 值
控制人形框尺寸大小，移動時間之影響	L1 vs. L5	0.012*
	S1 vs. S5	0.014*
控制人形框移動時間，框尺寸大小之影響	L1 vs. S1	0.875
	L5 vs. S5	0.584

註：†表示 P<0.1，*表示 P<0.05，**表示 P<0.01，***表示 P<0.001。

(3) 對於年輕受測者 COM 在軌跡線位移長度變化 (如表 6 及表 7)

- 以人形框大小為控制變因，人形框移動時間為操縱變因：在大框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於年輕受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響達顯著；小框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於年輕受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響達顯著。
- 以人形框移動時間為控制變因，人形框尺寸大小為操縱變因：框移動時間為 1 秒時，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響則未達顯著；框移動時間為 5 秒，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響亦未達顯著。

表 6. COM 軌跡長度變化之統計量

年輕受測者	平均數	標準差	個數
L1	0.1707918	0.03378546	7
L5	0.0487564	0.01719581	7
S1	0.1785967	0.04890752	7
S5	0.0477014	0.02167614	7

表 7. 四種評估參數設計對於年輕受測者 COM 軌跡長度之變化

年輕受測者	t 檢定	P 值
控制人形框尺寸大小，框移動時間之影響	L1 vs. L5	0.000*
	S1 vs. S5	0.000*
控制人形框移動時間，框尺寸大小之影響	L1 vs. S1	0.748
	L5 vs. S5	0.897

註：†表示 P<0.1，*表示 P<0.05，*表示 P<0.01，***表示 P<0.001。

3.2 人形框移動時間及人形框尺寸對於高齡受試者之反應

(1) 對於高齡受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度 (如表 8 及表 9)

- 以人形框大小為控制變因，人形框移動時間為操縱變因：在大框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於高齡受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響達顯著；小框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於高齡受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響未達顯著。
- 以人形框移動時間為控制變因，人形框尺寸大小為操縱變因：框移動時間為 1 秒時，人形框尺寸大小對於高齡受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響未達顯著；框移動時間為 5 秒，人形框尺寸大小對於高齡受測者 COM 軌跡在 X 方向位移變化程度之影響亦未達顯著。

表 8. COM 軌跡在 X 方向位移變化之統計量

高齡受測者	平均數	標準差	個數
L1	0.0320335	0.02399899	10
L5	0.0088047	0.01072100	10
S1	0.0228066	0.01367980	10
S5	0.0214470	0.04560644	10

表 9. 四種評估參數設計對於高齡受測者 COM 軌跡在 X 方向之位移變化

高齡受測者	t 檢定	P 值
控制人形框尺寸大小，框移動時間之影響	L1 vs. L5	0.009*
	S1 vs. S5	0.932
控制人形框移動時間，框尺寸大小之影響	L1 vs. S1	0.25
	L5 vs. S5	0.376

註：†表示 $P < 0.1$ ，*表示 $P < 0.05$ ，**表示 $P < 0.01$ ，***表示 $P < 0.001$ 。

(2) 對於高齡受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度 (如表 10 及表 11)

- 以人形框大小為控制變因，人形框移動時間為操縱變因：在大框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於高齡受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響未達顯著；小框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於高齡受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響未達顯著。
- 以人形框移動時間為控制變因，人形框尺寸大小為操縱變因：框移動時間為 1 秒時，人形框尺寸大小對於高齡受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響未達顯著。框移動時間為 5 秒，人形框尺寸大小對於高齡受測者 COM 軌跡在 Y 方向位移變化程度之影響亦未達顯著。

表 10. COM 軌跡在 Y 方向位移變化之統計量

高齡受測者	平均數	標準差	個數
L1	0.0123503	0.01179138	10
L5	0.0063952	0.00462420	10
S1	0.0091474	0.00512130	10
S5	0.0105115	0.01573532	10

表 11. 四種評估參數設計對於高齡受測者 COM 軌跡在 Y 方向之位移變化

高齡受測者	t 檢定	P 值
控制人形框尺寸大小，框移動時間之影響	L1 vs. L5	0.063†
	S1 vs. S5	0.746
控制人形框移動時間，框尺寸大小之影響	L1 vs. S1	0.307
	L5 vs. S5	0.337

註：†表示 P<0.1，*表示 P<0.05，**表示 P<0.01，***表示 P<0.001。

(3) 對於高齡受測者 COM 在軌跡線位移長度變化 (如表 12 及表 13)

表 12. COM 軌跡長度變化之統計量

高齡受測者	平均數	標準差	個數
L1	0.2079725	0.17423853	10
L5	0.0833527	0.05348728	10
S1	0.1452163	0.05656953	10
S5	0.1342882	0.15734854	10

表 13. 四種評估參數設計對於高齡受測者 COM 軌跡長度變化

高齡受測者	t 檢定	P 值
控制人形框尺寸大小，框移動時間之影響	L1 vs. L5	0.022*
	S1 vs. S5	0.254
控制人形框移動時間，框尺寸大小之影響	L1 vs. S1	0.826
	L5 vs. S5	0.254

註：†表示 P<0.1，*表示 P<0.05，**表示 P<0.01，***表示 P<0.001。

- 以人形框大小為控制變因，人形框框移動時間為操縱變因：在大框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於高齡受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響達顯著；小框下，框移動時間分別為 1 秒及 5 秒對於高齡受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響則未達顯著。

- 以人形框移動時間為控制變因，人形框尺寸大小為操縱變因：框移動時間為 1 秒時，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響則未達顯著。框移動時間為 5 秒，人形框尺寸大小對於年輕受測者 COM 在橫截面上軌跡線長度變化程度之影響亦未達顯著。

4. 討論

本研究將實驗結果整理後發現，不同的人形框速度下，年輕受試個體對於其反應在三個分量上都達到顯著性，即不管是大框還是小框，年輕受試個體對不同的框速，其單腳站立的姿勢平衡表現在三個分量上都達到顯著差異。框行進速度愈慢其 COM 晃動的範圍就愈小，COM 軌跡線座標值在 X、Y 方向上的標準差就愈小、軌跡線長度也就愈短，如表 14 所示。但是本研究所設計大、小不同人形框，在框行進速度快（時間 1 秒）的狀況下，年輕受試者單腳站立的姿勢平衡表現在三個分量上都沒有達到顯著差異。相同的，在框行進速度慢（時間 5 秒）的狀況下亦然。顯示此一實驗項目的設計對年輕受試個體未能達到有效的鑑別性。

表 14. 年輕受試個體 COM 在三個方向分量上的表現

年輕受試者	X 方向標準差	Y 方向標準差	軌跡線長
L1 vs. L5	*	*	***
S1 vs. S5	**	*	***
L1 vs. S1	—	—	—
L5 vs. S5	—	—	—

註：†表示 $P < 0.1$ ，*表示 $P < 0.05$ ，**表示 $P < 0.01$ ，***表示 $P < 0.001$ 。

表 15. 高齡受試個體 COM 在三個方向分量上的表現

年輕受試者	X 方向標準差	Y 方向標準差	軌跡線長
L1 vs. L5	**	†	*
S1 vs. S5	—	—	—
L1 vs. S1	—	—	—
L5 vs. S5	—	—	—

註：†表示 $P < 0.1$ ，*表示 $P < 0.05$ ，**表示 $P < 0.01$ ，***表示 $P < 0.001$ 。

然而高齡受試者與年輕受試者則有不同的反應。在不同的人形框速下，使用大框，受試者對於其反應在三個分量上幾乎都達到顯著性，而小框則否。因此，在使用大框的情形下，高齡者受試者對不同的速度，其單腳站立的姿勢平衡表現在三個分量上都達到顯著差異。框行進速度愈慢其 COM 晃動的範圍就愈小，COM 軌跡線座標值在 X、Y 方向上的標準差就愈小、軌跡線長度也

就愈短，而小框則沒有如此的表現，見表 15。當使用小框時，高齡者對框速度(S1, S5)的刺激，出現不合常理的現象。速度快(S1)和速度慢(S5)姿勢控制表現相近。而且在統計的檢定上無法達到顯著水準。本研究推論在使用小框，框速快(S1)、框速慢(S5)的實驗時，無法表現出不同框速度對其姿勢控制的影響，如表 15 和 17 所示。

表 16. 不同年齡受試個體 COM 在大框下三個方向分量上表現之 t 檢定結果

		X 方向標準差	t 檢定	Y 方向標準差	t 檢定	軌跡線長	t 檢定
L1	y	0.0281±0.0195	—	0.0154±0.0077	—	0.1707±0.0338	—
	o	0.0320±0.0240		0.0123±0.0118		0.2079±0.1742	
L5	y	0.0029±0.0016	0.0577 [†]	0.0037±0.0019	0.0617 [†]	0.0488±0.0172	0.0413*
	o	0.0088±0.0107		0.0064±0.0046		0.0834±0.0535	

註：[†]表示 P<0.1，*表示 P<0.05，**表示 P<0.01，***表示 P<0.001。

表 17. 不同年齡受試個體 COM 在小框下三個方向分量上表現之 t 檢定結果

		X 方向標準差	t 檢定	Y 方向標準差	t 檢定	軌跡線長	t 檢定
S1	y	0.0316±0.0158	—	0.0161±0.0073	0.0274*	0.1785±0.0489	—
	o	0.0228±0.0137		0.0092±0.0051		0.1452±0.0566	
S5	y	0.0034±0.0013	—	0.0043±0.0022	—	0.0477±0.0217	0.0601 [†]
	o	0.0214±0.0456		0.0105±0.0157		0.1343±0.1573	

註：[†]表示 P<0.1，*表示 P<0.05，**表示 P<0.01，***表示 P<0.001。

從表 15 可知高齡者在使用小框的實驗設計項目下動作反應鑑別性相對於大框差，框速度不同的效應無法在人體動作控制中明顯表現。但是，比較表 14 和 15 可以得知，人形框的大小對高齡的姿勢控制的反應仍是有影響。在使用小框的實驗下，年輕受試者對於框速度不同的效應，則仍然能在動作控制中顯著表現出二者間的差異，如表 14。因此，雖然本研究在控制框移動速度，操作框大小尺寸的實驗項目的設計上對年輕和高齡受試個體未能達到有效的鑑別性，但從上述可知框的尺寸大小，在虛擬實境的動作控制反應，仍是具有影響，尤其是高齡受試者。

比較不同年齡受試個體姿勢控制的反應，在使用大框的實驗中發現，速度快(L1)年輕受試者與高齡受試者的反應相似，在三個分量的表現上均無顯著差異。但是在速度慢(L5)實驗中發現，年輕受試者在三個分量的表現上表現有優於高齡受試者的的趨勢，COM 軌跡線座標值在 X、Y 方向上的表現接近 0.05 的顯著水準，而軌跡線長度則達顯著水準，見表 16，顯示年齡差異的因素可由大框速度慢(L5)的測試項目上表現。

當使用小框時，高齡者對框速度(S1, S5)的刺激，出現不合常理的現象，其一，如上述速度快(S1)和速度慢(S5)姿勢控制表現相近，差異在統計上無顯著性；其二，框速度快(S1)時高齡者在三

個分量的表現上優於年輕人，框速度慢(S5)時高齡者三個分量的表現上卻又劣於年輕人，雖然只有 Y 方向的表現達到顯著，然而實驗設計目的無法在動作控制中表現一致，因此沒有鑑別性，見表 17。

5. 結論

本實驗所設計的虛擬實境(virtual reality)評估工具的功能如下，不管是使用大框還是小框，二種不同框移動時間對年輕受測者 COM 位移變化的影響皆具有顯著性。但使用大框條件下，框移動時間對高齡受測者 COM 在 X 方向及軌跡線長度變化的動作控制影響才有顯著性。

參考文獻

1. de Bruin, E. D., Schoene, D., Pichierri, G., & Smith, S. T. (2010). Use of virtual reality technique for the training of motor control in the elderly. *Zeitschrift für gerontologie und geriatrit*, 43(4), 229-234. doi:10.1007/s00391-010-0124-7
2. Forzard, J. L. (2001). Gerontechnology and perceptual-motor function: New opportunities for prevention, compensation, and enhancement. *Gerontechnology*, 1(1), 5-24. doi:10.4017/gt.2001.01.01.002.00
3. Smith, L. K., Weiss, E. L., & Lehmkuhl, L. D. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology (clinical kinesiology)* (5th ed.). Philadelphia: F. A. Davis Company.
4. Lott, A., Bisson, E., Lajoie, Y., McComas, J., & Sveistrup, H. (2003). The effect of two types of virtual reality on voluntary center of pressure displacement. *Cyberpsychology & behavior*, 6(5), 477-485. doi:10.1089/109493103769710505
5. Mao, D. W., Li, J. X., & Hong, Y. (2006). The duration and plantar pressure distribution during one-leg stance in Tai Chi exercise. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 21(6), 640-645. doi:10.1016/j.clinbiomech.2006.01.008
6. Richardson, J. K., Ashton-Miller, J. A., Lee, S. G., & Jacobs, K. (1996). Moderate peripheral neuropathy impairs weight transfer and unipedal balance in the elderly. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 77(11), 1152-1156. doi:10.1016/S0003-9993(96)90139-2
7. Ustinova, K. I., Perkins, J., Szostakowski, L., Tamkei, L. S., & Leonard, W. A. (2010). Effect of viewing angle on arm reaching while standing in a virtual environment: potential for virtual rehabilitation. *Acta psychologica (Amst)*, 133(2), 180-190. doi:10.1016/j.actpsy.2009.11.006
8. 胡名霞著，(2009)。動作控制與動作學習。台北市：金名圖書有限公司。
9. 鄭伊芳，(2004)。老年人於站立穿褲之動作表現。碩士論文。國立成功大學醫學工程研究所，台南市。

Employ Virtual Reality Technique to Quantify Motor Control Estimation

C. Pei, T-L. Sun, C-H. Huang, W-M. Chi

Abstract

The aim of this study was to assess a subject's motor control ability by means of a virtual reality technique. This technique was used to establish a digital human model (DHM) and posture models. A motion capture (MoCap) system recorded the action of the participant in real-time, enabling the interaction between human posture model and DHM in this virtual environment to be observed. The study also used a standard deviation statistic to analyse lateral-medial (X) and anterior-posterior (Y) directions, and the length of trajectory to quantify trajectory displacement of center of mass (COM) during single leg standing actions. Participants were divided into two age-groups: seven "young" (average age of 24) and ten "senior" (average age of 65). This study used two dimensions and two moving speeds of the posture model to yield four assessment parameters. The posture model was designed with wider width to help keep the DHM within the model during the MoCap experiment. However, with a narrower width of posture model dimension, the resulting DHM would more closely correspond to the human posture model. Two moving speeds, one and five seconds, will be applied to the posture model's moving 3 meters to the DHM in the virtual reality environment. The stability of one leg standing was estimated and studied based on these two age groups and the four assessment parameters. This study produced the following three results: (1) Under both conditions where the widths of the posture model's dimension were either wider or narrower, the two moving speeds of the posture model significantly affected the standard deviation of COM trajectory displacement on x-direction in the "young" group. In addition, the two moving speeds significantly affected both the standard deviation of COM trajectory displacement along the y-direction and the length of trajectory for the "young" group. (2) The two moving speeds of the posture model significantly affected the standard deviation of COM trajectory displacement along the x-direction for the "senior" group only under the condition of wider width of the posture model. However, the two moving speeds had no effect on the standard deviation of COM trajectory displacement along the y-direction and length of trajectory for the "senior" group, under neither the wider nor the narrower width. (3) Irrespective of the moving speeds of the posture model, the two widths of the posture model did not significantly change the standard deviation of COM trajectory displacement along either the x- or y-directions in either the "young" or "senior" groups.

Keywords: Virtual reality technique, Motor control, Center of mass (COM).