

行政院國家科學委員會補助
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* ***** *
* 計 畫 *
* : 研發人體踝關節動作反應健康促進訓練平台 *
* 名 稱 *
* ***** *

執行計畫學生： 劉政諄
學生計畫編號： NSC 98-2815-C-040-004-E
研究期間： 98年07月01日至99年02月28日止，計8個月
指導教授： 林志峰

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學物理治療學系

中華民國 99年03月31日

行政院國家科學委員會
98 年度大專學生參與專題研究計畫結案報告書

研發人體踝關節動作反應復健訓練器

學 生：劉政諄

中山醫學大學物理治療系四年級

指導教授：林志峰 副教授

中山醫學大學物理治療學系

二、研究計畫結案報告內容：

(一)摘要

動機：

在開車時，踝關節 (ankle joint) 是執行煞車和加速動作的關節，蹠屈 (plantar flexion) 是負責控制剎車或是加速的動作，而背屈 (dorsi-flexion) 是執行將足底與踏板分開的動作。若是能夠加強踝關節 (ankle joint) 的動作肌肉群以及反應時間，可以使高齡者 (下肢動作正常，但反應速度不夠) 的日常生活功能表現更加完美。於是，本研究開發一套結合視、聽覺回饋練踝關節 (ankle joint) 反應時間訓練系統，以提高高齡者開車的能力與信心，進而提升生活品質。

目的：

利用模擬開車的情境遊戲，來增進高齡者對突發狀況、紅綠燈的反應時間；此外，透過遊戲產生的視覺及聽覺回饋，讓高齡者在訓練過程中可以得到更多的樂趣，增加高齡者對於健康促進訓練的動機以及意願。

方法：

本研究已完成開發一套可訓練踝關節蹠屈以及背屈動作反應之訓練設備；本訓練設備需連接電腦進行電腦遊戲，利用電腦遊戲中隨機出現的情景，讓使用者必須做出適當的反應，如：蹠屈或是背屈動作來避開障礙物，藉此來訓練使用者的踝關節反應時間。故本設備係以一般之家用有線滑鼠以及水銀開關進行實作。實作方式主要係將兩個水銀開關，分別焊接於滑鼠之左右鍵上，以取代原來滑鼠的左右按鍵，並將滑鼠以及水銀開關固定於半圓形之平衡板下方，以提供踝關節蹠屈以及背屈動作反應訓練。

本研究收案受試者年齡介於 23 至 32 歲，共有 10 位受試者完成本實驗測試。實驗方法是以自製人體踝關節動作反應復健訓練器為主要訓練工具，輔以市售動作分析儀 Zebris 作為訓練前後踝關節反應動作時間評估

工具。測試方式分別為前測實驗與後測實驗；實驗結果發現，受試者在透過人體踝關節動作反應復健訓練器之訓練後，踝關節反應動作時間[均有顯著提升。本研究期望此訓練儀器也能夠對高齡者在反應時間訓練上有所幫助，並提供駕駛突發狀況一個反應訓練的參考。

(二)研究動機與研究問題

台灣自1993年跨過高齡化社會的門檻後，因醫療科技的進步與生育率的下降，人口老化的速度加速進行，至2006年底，老年人口已達227萬7,029人，佔總人口的10.0%；老化指數由1994年的30.2%，增至2006年的55.2%，關於高齡者的議題是不容忽視！

而高齡者可能因感官知覺功能退化，使反應速度變慢；還有因為骨骼肌肉系統的退化，導致肌肉力量下降，這些都是讓高齡者的開車能力下降的原因之一。當高齡者在具有潛在危害的環境時，迴避危險的能力對降低風險具有相當的影響。在事故發生前，如果能早期認知危險徵兆，即可採取有效的迴避行動，若是無充分的危險認知能力，則無法早期迴避危險，此時『反應能力』對於迴避危險便具有決定性的影響。當高齡者處於存有潛在危害的環境時，迴避危險的能力對降低風險具有相當的影響。在事故發生前通常會有一些徵兆，如果高齡者能早期認知危險存在，即可採取有效的迴避行動，此時其危險迴避能力主要受危險認知能力支配。但若是高齡者無充分的危險認知能力，則無法早期迴避危險，此時『反應能力』對於是否能有效迴避危險便具有決定性的影響。因此，反應時間可視為迴避危險能力之一項重要指標。

在開車時，踝關節(ankle joint)是執行煞車和加速動作的動作關節，踝關節(ankle joint)動作包刮蹠屈(plantar flexion)與背屈(dorsi-flexion)這兩個動作；蹠屈(plantar



flexion)是在開車時，踩剎車或是油門的動作，而背屈(dorsi-flexion)是執行

將足底與踏板分開的動作；若是能夠針對這兩個動作，來加強踝關節(ankle joint)動作肌肉群以及反應速度，可以提高齡者在平常自行開車的機會，同時拓展了生活圈，提高了生活品質。

檢索踝關節訓練器材相關文獻，有美國的專利¹，也有台灣開發的器材²，但在視覺回饋上，只是單一方向的回饋；還有其他的評估系統³，但大多數都是注重在手掌的訓練、評估，未有真正運用在下肢系統。或是運用在下肢系統的器材，並不是針對訓練特定功能動作，而只是整體下肢的訓練⁴。

在國外有許多的開車訓練模擬器⁶⁻¹²，在虛擬實境方面的人機介面非常精細，國外也有使用駕駛模擬器進行復健療程（紐約市的 Driver Rehabilitation Services 和明尼蘇達州的 Sister Kenny Institute），但是器材昂貴，不是普通物理治療部門所能夠承擔的花費；另外有一國人發展的飛行模擬器⁵，有強調了生物力學的特性，但以上皆沒有特別來訓練下肢系統，主要是操控方向盤為主。國內也有許多人研究虛擬實境，來訓練手部的動作¹³，或是在醫療教育、遠端監控以及手術¹⁴。

目前有醫學基礎研究顯示：生物迴饋訓練，可以改善踝關節功能以及步態¹⁹；還有年齡造成反射能力降低，可能影響踝關節伸肌的神經驅動能力²⁰。

於是，本研究希望發展出來訓練踝關節（ankle joint）反應速度的訓練器材。

並且結合視覺及聽覺回饋，依照高齡者的表現，給予不同的聲音及動畫，讓高齡者在健康促進訓練中可以有不一樣的樂趣，不在只是呆板的踩著訓練器材，而且物理治療師可以依據高齡者完成目標的次數、頻率以及反應速度，來評估高齡者的能力是否進步，是否可以進入下一個階段的訓練。

（三）文獻回顧與探討

文獻回顧主要分成三大部分，第一部份以回顧健康促進訓練器材的研發，主要是提供器材開發時的功能參考與改進方向；第二部分則以虛擬實境的相關設備為主，為之後人機介面內容的主要參考來源，包括資料分析與介面設計等；第三部份是回顧前人做過的生理或是健康促進相關研究，是來輔助說明為什麼要強調反應速度以及視覺、聽覺回饋的重要性。

復健器材研發：

【用於復健及訓練之方法及裝置¹】、【健身復健阻助力控制系統²】：這兩項器材擁有阻力調整裝置，可用來訓練高齡者的肌肉力量，但無法訓練其反應速度。

【張智仁[1997]²¹：手部運動功能診斷、評估系統】、【Burdea 等人[1997]²²，以虛擬實境為基礎的手部復健診療系統】及【史傑州[1999]¹⁸，應用感應手套模擬手部復健評估】：以上三個評估、訓練器材皆注重在手部，並沒有推廣到下肢的例子，而且也無評估、訓練反應速度之系統。

虛擬實境的相關設備：

【飛行模擬器之力感控制系統研製⁵】：

此設備用於訓練飛行技術，不過有阻力控制系統，可以作為本研究的參考之一。

【賓士汽車駕駛模擬器⁷】：

1980 年賓士公司提出駕駛模擬系統的概念，1981 年開始設計發展和建造駕駛模擬系統，於 1983 年完成，並於 1984 年 10 月開始真正進行測試實驗。整個系統位於高 12 公尺的建築物內，為一重達 18 公噸的圓球形結構，佔地面積為 15 × 22 平方公尺。



此系統的主要目的在於研究車輛的動態行為，提供即時性的計算功能和影像模擬系統，顯示出可藉著以動作為基礎之能力來達成某些改善，並再生出一些駕駛極限或緊急狀況發生時所產生的不自然的瞬間現象。

就目前的發展狀況而言，賓士汽車公司已創造出一精密的模擬系統，此系統並搭載了新式的液壓缸，具備有 5.6 米的衝程。賓士汽車公司還計畫擴增橫向移動的功能，能更精確的模擬駕駛實況。

【driVR¹⁷】:

加拿大溫哥華的 Imago Systems 公司所推出的產品，具復健與評估的功能，包含：資料檢視(Data Viewer)、重播功能(Playback Viewer)、路徑選擇(Route Builder)、環境設定(World Environment Selector)。



【Elemental Driving Simulator (EDS)¹⁶】:

由神經心理學家 Rosamond Gianutsos 所開發，架構在一般個人電腦的駕駛模擬器。可量測駕車的相關認知能力，包括心理處理效能、同步資訊的處理、感知與技能等。



醫學基礎研究部分：

【 Improved ankle function in children with cerebral palsy after computer-assisted motor learning.¹⁹】:

以生物回饋方式訓練小兒麻痺小朋友的踝關節功能，以聽覺及視覺做為回饋，訓練時間為每週三天，持續六週；主動關節活動(active ROM)以及腳踝背屈肌 (ankle dorsi-flexor) 肌力有改善，被動關節活動 (passive

ROM)沒有影響，而 tapping ability 在訓練後測量教訓練前有顯著的進步，6 週後則開始下降，但仍較訓練前佳，而 14 個月後則與訓練前沒有差別；因此，此研究相信生物回饋的訓練方式，可以增加運動單元的徵召，以此解釋腳踝背屈肌 (ankle dorsi-flexor) 肌力、主動關節活動(active ROM)的改善；故生物回饋可以促進踝關節功能。

結論：

目前有汽車製造廠商，開發過不同的開車訓練模擬器⁶⁻¹²，可以提供一個無外在危險的環境，方便訓練開車技巧，或是研究汽車駕駛的行為模式；而在訓練中結合視覺回饋，可以增進效果¹⁸⁻²⁰，但是甚少運用在復健領域上。此外，有些運用在復健領域的評估系統³，大多數都是注重在上肢動作的控制訓練及評估，未有專門強調運用於下肢動作控制的訓練及評估系統。

(四)研究方法及步驟

一、【人體踝關節動作反應復健訓練器之設備開發】：

本研究已完成開發一套可訓練踝關節蹠屈以及背屈動作反應之訓練設備；本訓練設備需連接電腦進行電腦遊戲，利用電腦遊戲中隨機出現的情景，讓使用者必須做出適當的反應，如：蹠屈或是背屈動作來避開障礙物，藉此來訓練使用者的踝關節反應時間。故本設備係以一般之家用有線滑鼠以及水銀開關進行實作。實作方式主要係將兩個水銀開關，分別焊接於滑鼠之左右鍵上，以取代原來滑鼠的左右按鍵，並將滑鼠以及水銀開關固定於半圓形之平衡板下方，以提供踝關節蹠屈以及背屈動作反應訓練。

本研究之設備開發流程如下：1) 拆解滑鼠外殼，圖 1 所示、2) 分別將水銀開關焊接於滑鼠電路板之左右鍵，如圖 2 所示、3) 將滑鼠電路板以水銀開關固定於平衡板下方，如圖 3、圖 4 所示。本設備組裝完成如圖 5 所示。

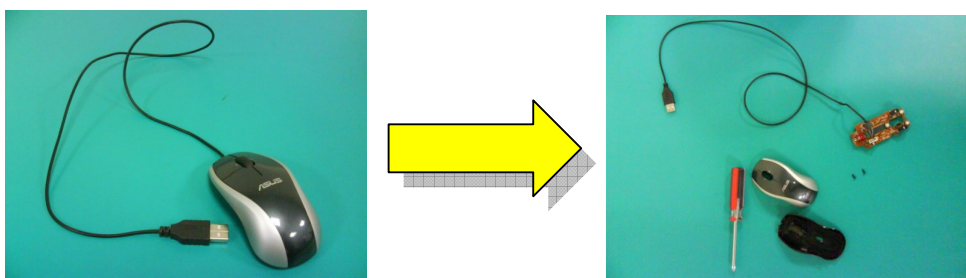


圖 1 拆解滑鼠外殼

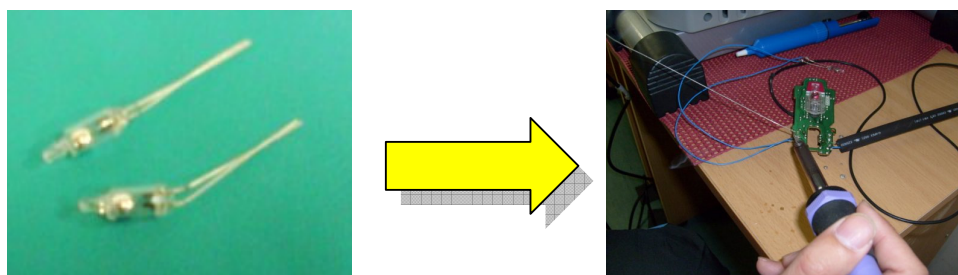


圖 2 分別將水銀開關焊接於滑鼠電路板之左右鍵



圖 3、圖 4 將滑鼠電路板以水銀開關固定於平衡板下方

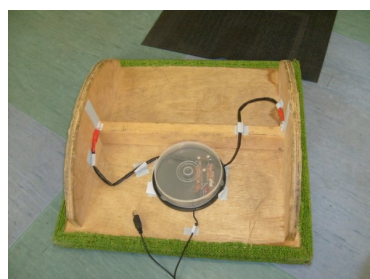


圖 5 本設備組裝完成圖

本設備組裝完成後，即進行電腦連接測試、如圖 6、圖 7 所示。使用本設備時，其踝關節動作方向與滑鼠按鍵定義如下：一、背屈動作代表滑鼠左鍵、二、蹠屈動作代表滑鼠右鍵。由於調整水銀開關之位置會改變踝

關節動作驅動滑鼠按鍵之靈敏性，所以在每次施測前，必需先評估受測者的踝關節的動作能力以及關節角度，以調整水銀開關的位置，才得以讓受測的動作能夠準確的反應在訓練遊戲程式之上，如圖 8 所示。



圖 6 連結電腦

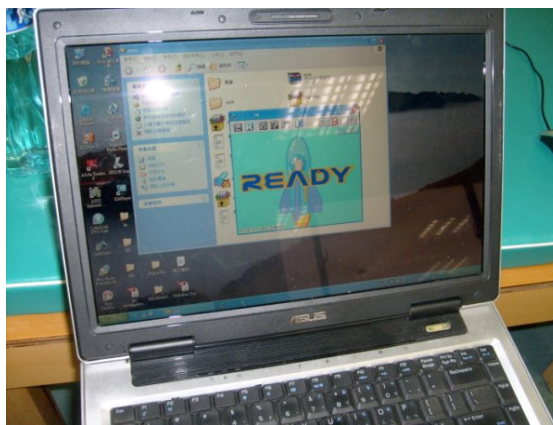


圖 7 選擇電腦遊戲



圖 8 進行靈敏度測試

待本設備之功能動作都一切正常之後，本研究亦將進行臨床用試，本研究邀請了幾位同學以及高齡者來使用，如圖 9、圖 10 所示，並請他們針對遊戲過程以及動作問題給修正建議，在針對他們的建議作調整。

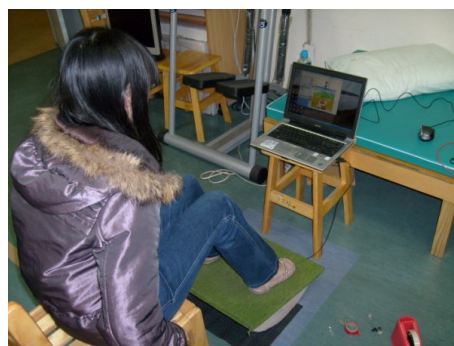


圖 9 邀請受試者進行測試



圖 10 邀請高齡者進行測試

二、【人體踝關節動作反應復健訓練器之驗證】：

本研究召集了 10 位年齡介於 23 至 32 歲近三個月腳踝皆無受傷記錄的受試者，所有受試者皆有 1 年以上汽車駕駛經驗，共有 10 位受試者完成本實驗測試。實驗方法是以自製人體踝關節動作反應復健訓練器為主要訓練工具，輔以市售動作分析儀 Zebris 作為訓練前後踝關節反應動作時間評估工具。測試方式分別為前測實驗與後測實驗，在每次測試開始前都必須隨機抽取一種顏色之圓形圖示作為練習時做反應依據，共有黃、紅、黑、藍、綠 5 種顏色之圓形圖示可供受試者挑選(如圖 11 所示)，當受試者選擇特定顏色之圓形圖示後由施測者下口令開始實驗，此時 Zebris 超音波動作量測儀也開始啟動，電腦將按照已設定的順序出現，當受試者前方之電腦螢幕出現受試者所選擇的顏色圓形圖示時，雙腳必須立即往前踩平衡板(如圖 12 所示)實驗則隨之結束，電腦將記錄從開始到雙腳往前踩平衡板之過程，經 Zebris 超音波動作量測儀記錄時間與電腦出現受試者選定的顏色出現的秒數相減既可求得受試者之反應時間。



圖 11 受試者端坐在椅子上挑選顏色圓形圖示



圖 12 受試者雙腳往前踩平衡板

實驗方法

在開始進行反應時間量測之前，本研究將 Zebris 超音波發射器、Zebris 超音波接收器、Zebris 參考座標框架、Zebris 主控電腦、提供顏色圓形圖示電腦與平衡板設置如圖 13 所示。



圖 13 實驗場地設備設置圖

實驗步驟

1. 請受試者端坐在椅子上，雙腳平踩於平衡板上，然後受試者先從前方電腦螢幕中之黃、紅、黑、藍、綠 5 種顏色之圓形圖示中挑出一個顏色。
2. 當受試者選擇顏色之圓形圖示完畢則開始進行前測試，施測者開始下開始口令，此時 Zebris 超音波動作量測儀也開始啟動及受試者前方之電腦螢幕開始啟動。
3. 電腦將按照已設定的順序出現不同顏色，當受試者所選擇顏色之圓形圖示出現時，受試者雙腳必須立即往前踩平衡板，此時 Zebris 超音波動作量測儀及受試者前方之電腦螢幕將停止測試工作。
4. 當前測試結束後，受試者休息 10 分鐘。
5. 請受試者端坐在椅子上，雙腳平踩於平衡板上，然後受試者前方電腦螢幕將出現電腦遊戲畫面，利用電腦遊戲中隨機出現的情景，讓使用者必須做出適當的反應，如：蹠屈或是背屈動作來避開障礙物，藉此來訓練使用者的踝關節反應時間。控制方式主要係固定於半圓形之平衡板下方之水銀開關，以提供踝關節蹠屈以及背屈動作反應之訓練，訓練時間以 30 分鐘為限。

6. 完成踝關節反應訓練後，受試者休息 10 分鐘。
7. 請受試者端坐在椅子上，雙腳平踩於平衡板上，然後受試者先從前方電腦螢幕中之黃、紅、黑、藍、綠 5 種顏色之圓形圖示中挑出一個顏色。
8. 當受試者選擇顏色之圓形圖示完畢則開始進行進行前測試，施測者開始下開始口令，此時 Zebris 超音波動作量測儀也開始啟動及受試者前方之電腦螢幕開始啟動。
9. 電腦將按照已設定的順序出現不同顏色，當受試者所選擇顏色之圓形圖示出現時，受試者雙腳必須立即往前踩平衡板，此時 Zebris 超音波動作量測儀及受試者前方之電腦螢幕將停止測試工作。
10. 將 Zebris 超音波動作量測儀記錄時間與電腦出現受試者選定的顏色出現的秒數相減既可求得受試者之反應時間。反應與時間關係圖如圖 14 所示。

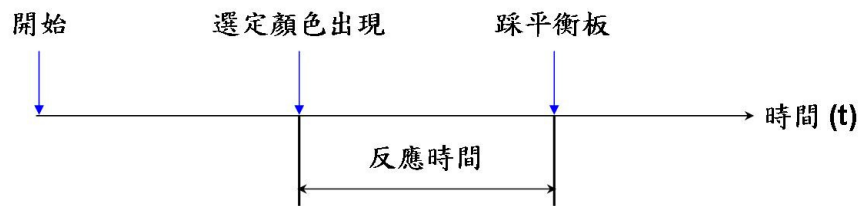


圖 14 受試者雙腳踩平衡板之反應與時間關係圖

(五) 實驗結果

本研究將 10 位受試者前測與後測由 Zebris 超音波動作量測儀記錄時間與電腦出現受試者選定的顏色出現的秒數相減求得受試者之反應時間進行平均處理，並以平均數和標準差呈現，如表一。在統計分析部分，以配對 t 檢定(pair sample t-test)統計經由本研究開發之人體踝關節動作反應復健訓練器前、後測之反應時間差異，以了解前、後測之差異性，如表二。

研究結果顯示，受試者接受本研究開發之人體踝關節動作反應復健訓練器 30 分鐘訓練後，前、後測之反應時間均有顯著差異($p < 0.05$)，如表二。10 位受試者訓練前對於所選擇顏色之圓形圖示出現時，雙腳往前踩平衡板之反應時間平均為 0.328 秒，經過 30 分鐘的踝關節動作反應訓練後，受試者雙腳往前踩平衡板之反應時間平均為降為 0.144 秒，由此可得知反應訓練可能有立即效果。本研究開發之人體踝關節動作反應復健訓練器，未來可應用於增進高齡者對於開車時的突發狀況、紅綠燈的反應速度應變能力。除此之外，因為此器材運利用遊戲產生的視覺及聽覺回饋，將讓高齡者在健康促進訓練過程中得到更多的樂趣，增加高齡者對於健康促進訓練的動機以及意願。

表一 受試者前測與後測反應時間比較表

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	first	.3280	10	.24571	.07770
	second	.1440	10	.09652	.03052

表二 受試者前測與後測反應時間配對 t 檢定統計表

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	first - second	.18400	.23032	.07283	.01924	.34876	2.526	9	.032

但是，本研究尚未將可能干擾受試者反應時間之影響因素及其他反應指標如踝關節控制能力及反應速度等納入本研究中。後續研究可以朝向不同的實驗項目與需求，研究不同刺激源與不同干擾之影響，或是在刺激顯示的方式上，對刺激與回饋動作做更深入或複雜的設計與探討。例如：本研究之人體踝關節復健訓練器未能直接測得反應時間，後續研究可納入此

點，藉由增加實驗的廣度與深度，做更深入之研究。此外，在量測反應速度時，若能同時配合其它儀器測量，做更詳細之研究與探討，才能更精確瞭解各項儀器之關聯性與差異性。在探討危險迴避能力時，本研究探討的是可能面對危險時之迅速反應的能力，若將危險認知部份納入本研究，結合危險認知能力與反應速度兩部份時，即可建立對迴避危險能力之評估方法。此種設計可用於量測人為之可靠度，例如：在大眾運輸業進用新員工時可針對該行業別之危險狀況與類型來設計測驗，藉由危險認知與反應速度來瞭解對安全知識的認知與反應的能力。在量測樣本上，可擴大收集範圍與層面，使樣本收集更符合普遍性之原則，使各變項之樣本數量更充足，增加變異數之同質性，將更能釐清其它因子與反應速度之關聯性。

(六)參考文獻

1. Einav, Omer; Einav, Haim; Rousso, Benny; Shabanov, Doron; Katzir, Eran; Binyamini, Gad; 用於復健及訓練之方法及裝置; 公開編號: 200724125。
2. 期美科技股份有限公司; 健身復健阻助力控制系統; 公開編號: 546155。
3. 鄭啟英, 虛擬實境在復健之應用; 國立中央大學機械工程研究所, 碩士論文。
4. 李明義、連永昌; 虛擬環境適應復健訓練設備, 公開編號: 355137。
5. 蔡清池, 陳耀貴, 林水春; 飛行模擬器之力感控制系統研製; Journal of Technology, Vol. 20, No. 2, pp. 185-194 (2005)。
6. J. R. Bloomfield, S. A. Carroll, Y. E. Papelis, and M. J. Bartelme, "Driver's Response to an Automated Highway System with Reduced Capability," Working Paper December. 93-October. 95(Revised), Iowa Univ., Iowa City, Center for Computer Aided Design, p.108, November 1996.
7. J. Drosdol, and F. Panik, "The Daimler-Benz Driving Simulator: A Tool for Vehicle Development," SAE Technical Paper Series, 850334, February 1985.
8. J. S. Freeman, G. Watson, Y. E. Papelis, T. C. Lin, A. Tayyab, R. A. Romano, and J. G. Kuhi, "The Iowa Driving Simulator: An Implementation and Application Overview," SAE Paper No. 950172, pp.113-122, 1995.
9. 林松柏, 汽車駕駛模擬器研究, 國立中央大學機械工程研究所, 碩士論文, 民國八十六年。
10. G. P. Bertollini, C. M. Johnston, J. W. Kuiper, J. C. Kukula, M.A. Kulczycka and W.E. Thomas, "Driving Simulation at General Motors," Automotive Engineering, pp.14-19, September 1994.
11. J. G. Kuhi, D. Evans, Y. E. Papelis, R. A. Romano, G. Watson, "The Iowa

- Driving Simulator: An Immersive Research Environment,” Computer, pp.35-41, July 1995.
12. 周松瑞，駕駛模擬系統中高速公路虛擬實境場景開發之研究，國立中央大學機械工程研究所，碩士論文，民國九十年。
 13. 辛柏陞，虛擬實境手部功能訓練系統之設計開發與成效探討之研究，國立中央大學機械工程研究所，博士論文，民國九十四年。
 14. 林尚德，虛擬實境之物性顯示及建模方法之設計及應用研究，私立中原大學機械工程學系，碩士論文，民國九十二年。
 15. Meunier MJ, Hentzen E, Ryan M, Shin AY, Lieber RL. , Predicted effects of metacarpal shortening on interosseous muscle function. , J Hand Surg [Am]. 2004 Jul;29(4):689-93.
 16. Gianutsos, R.; Beattie, A. , Elemental Driving Simulator Computing Applications to Assist Persons with Disabilities , Volume , Issue , 1-5 Feb 1992 Page(s):117 - 120
 17. Imago Systems , <http://www.drivr.com/>.
 18. 史傑州，應用感應手套模擬手部復健評估，國立成功大學工業設計系碩士論文，1999。
 19. Toner LV, Cook K, Elder GC. , Improved ankle function in children with cerebral palsy after computer-assisted motor learning. , Dev Med Child Neurol. 1998 Dec;40(12):829-35.
 20. Chalmers GR, Knutzen KM. , Soleus Hoffmann-reflex modulation during walking in healthy elderly and young adults. , J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2000 Dec;55(12):B570-9.
 21. 李明義，陸清松，鄭智仁，張智仁，”手掌部運動控制功能評估及訓練系統之雛形開發”，中華民國八十七年醫學工程年會及醫工科技研討會，1998.12。
 22. Burdea, G, Deshpande, S., Liu, B., Langrana, N., and Gomez, D., 1997, “A Virtual Reality-Base System for Hand Diagnosis and Rehabilitation,” IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 229-240.