

# 科技部補助

## 大專學生研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 踝關節扭傷復健患者的本體感覺重建系統 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 林俞呈  
學生計畫編號： MOST 103-2815-C-040-013-E  
研究期間： 103年07月01日至104年02月28日止，計8個月  
指導教授： 李孝屏

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學醫學資訊學系

中華民國 104年04月27日

# 目 錄

	頁次
圖 目 錄.....	ii
表 目 錄.....	iii
一. 摘要.....	1
二. 前言.....	2
三. 文獻探討.....	3
(一) 踝關節扭傷與復健.....	3
(二) 本體感覺.....	5
(三) 體感裝置.....	5
(四)Kinect 體感裝置.....	6
(五) Open Natural Interaction (OpenNI) Library.....	7
(六) 3D 場景模擬引擎.....	9
四. 研究方法.....	10
(一) 設備與技術分析.....	10
(二) 系統架構.....	10
(三) 使用對象.....	11
(四)以角度判斷動作正確度.....	11
五. 研究成果.....	13
(一)遊戲內容與流程.....	13
(二)成效評估.....	18
(三) 系統特色.....	20
六. 結論與未來展望.....	21

## 圖 目 錄

圖 1：KINECT 體感裝置.....	6
圖 2：KINECT 三維座標系統示意圖.....	7
圖 3：OPENNI 標準函式庫 FRAMEWORK.....	7
圖 4：系統架構圖.....	10
圖 5：單腳站立.....	11
圖 6：演算法流程圖.....	12
圖 7：系統流程圖.....	13
圖 8：遊戲起始畫面.....	14
圖 9：操作說明畫面.....	14
圖 10：遊戲目的畫面.....	15
圖 11：排行榜畫面.....	15
圖 12：前測畫面.....	16
圖 13：遊戲設定畫面.....	16
圖 14：遊戲中畫面.....	17
圖 15：後測畫面.....	17
圖 16：分數結算畫面.....	18

## 表 目 錄

表 1、目前常見之踝關節復健方式與輔助器材.....	4
表 2、OPENNI 與 KINECT FOR WINDOWS SDK 之比較.....	8
表 3、各種 3D 引擎之比較.....	9
表 4、基本問題統計表.....	19
表 5、系統介面設計與操作統計表.....	19
表 6、交叉分析之復健成效.....	20

## 一. 摘要

腳踝在人體架構中扮演著相當重要的角色，尤其是踝關節必須承受來自全身體重的壓力，根據臺北市政府衛生局統計資料指出，踝關節傷害為所有運動傷害中受傷比例最高的部位，受傷後若無得到有效的復健及良好的照護，復發機率相當高，由此可知，正確的復健無疑是傷害恢復過程中重要的一環。然而復健過程通常需要患者重複並持續做相同的動作，相當枯燥乏味，使患者缺乏持續復健的動力，導致復健成效不彰。有鑑於此，本研究開發出一套適用於踝關節扭傷患者的復健遊戲，我們以市面上常見的體感裝置 Kinect 作為溝通媒介，搭配 Unity 3D 引擎，並以腳踝復健中的單腳站立動作為核心，完成此復健遊戲，方便患者能夠隨時進行復健，提升其自主復健的意願；此外，為了符合患者個人復健需求，遊戲中，完成一次復健動作(單腳站立動作)的標準時間，能夠依照復健師給的療程做調整，並且在遊戲結束後，本系統提供腳踝復健相關結果，供復健師參考，也讓患者能清楚知道復健效果並增加成就感，相較於傳統無趣的復健方式，不僅趣味性十足，同時還能夠有效提升腳踝穩定性，達到「在娛樂中復健」的成效。

關鍵字：復健醫學、踝關節扭傷、Kinect、Unity

## 二. 前言

腳踝在人體架構中扮演著相當重要的角色，當人靜止站立時，雙腳承受來自地面、相當於一倍體重的反作用力，尤其是踝關節必須承受和傳遞來自全身體重的壓力，在運動的時候，往往容易因過度的負重造成運動傷害。根據臺北市政府衛生局於民國 98 年及 99 年委託萬芳醫院辦理「運動傷害防治保健門診」之統計資料[1]指出，國人運動傷害中，踝關節傷害約佔 25%~40%，為所有運動傷害中受傷比例最高的部位，但卻因常見而容易被忽視，事實上，踝關節一旦扭傷，若無得到有效的復健[2]及良好的照護，傷害再復發機率相當高，由此可知，正確的復健無疑是踝關節傷害恢復過程中重要的一環。

運動傷害的治療與復健是根據受傷後所處的階段來決定的，通常分為三個階段：(一)急性期、(二)亞急性期、(三)慢性期[3]。正常情況下，患者在經歷急性期的治療後，即能夠正常步行，等到腳踝能夠負重且無疼痛感後，方可進行復健，此時復健的重點，除了恢復關節活動度及柔軟度之外，為維持身體的平衡及穩定，本體感覺的訓練也是至關重要的[4]。然而本體感覺訓練的過程通常需要患者重複並持續做相同的動作[3]，相當枯燥乏味，容易使患者難以保持高度的興趣、缺乏持續治療的動力，造成療程實施不完整或是不確實，導致復健成效不彰；因此，如何有效提升患者接受治療的意願，為復健醫學中一項重要的課題。目前體感技術漸趨成熟，已被廣泛使用在許多領域，但相較於生活上的應用，運用於復健醫學的案例仍在少數，目前已知的應用例如：協助腦中風[5]、脊髓損傷[6]、五十肩[7]等患者進行復健，但復健治療具有其專一性及獨特性，裝置在各個部位的應用不盡相同，而應用在踝關節本體感覺重建上的發展，對於有此方面需求的患者來說仍是相當可期的。

本研究開發出一套適用於踝關節扭傷患者的復健遊戲，我們以市面上常見的體感裝置 Kinect 作為溝通媒介，搭配 Unity 3D 引擎，讓使用者不需配戴任何感測器，透過一般家用電腦即可執行復健遊戲，提升患者自主復健的意願。

### 三. 文獻探討

本研究將文獻探討分為以下幾個範疇：(一)踝關節扭傷復健、(二)本體感覺、(三)體感裝置、(四) Open Natural Interaction (OpenNI) Library、(五) 3D 場景模擬引擎。以下分別說明：







#### (一) 踝關節扭傷與復健

復健的療程與該部位受傷的程度及復原階段有相當大的關聯。臨床上，我們可以把踝關節扭傷程度大概分為三級[8]：

1. 第一級傷害患者，於傷害發生時僅有細微的韌帶纖維受到損傷，可能有輕微的壓痛以及組織腫脹，除此之外亦無功能性不穩定(functional instability, FI)與機械性不穩定(mechanical instability, MI)[9]；
2. 第二級傷害患者，通常有明顯的韌帶纖維受傷，患部除壓痛以及局部的組織腫脹外，伴隨有瘀血、功能性不穩定以及中等程度的機械性不穩定；
3. 第三級傷害患者，通常因韌帶的完全性斷裂，有嚴重的組織腫脹、瘀血和運動功能的喪失，除功能性不穩定外亦有機械性不穩定的狀況發生，此類患者治療後易再次受到傷害，且可能出現退化性關節炎或習慣性脫臼等後遺症。

踝關節扭傷是最常見的運動傷害，一般來說，只要處理得當就能夠復原[10]，但是根據調查卻有高達約 55% 患者並未尋求專業治療[8]，扭傷往往被低估並且不恰當的處理，尤其受到第二級和第三級傷害的患者，容易因韌帶癒合不良，導致踝關節不穩定。根據祥寧中醫診所統計資料[11]，曾經扭傷踝關節的患者，31%~35% 會有踝關節不穩定的情形，造成發生重複性踝關節扭傷的機率提高，主因多為踝關節的身體姿勢控制缺失所引起，我們進一步探討機械性不穩定以及功能性不穩定可以發現，機械性不穩定與關節韌帶的鬆弛有關，功能性不穩定則與受損的踝關節本體感覺受器有關。目前踝關節扭傷的復健方式如表 1 所示，較常見的方式像是主動性的腳踝運動，在不引發疼痛的前提下，患者自行轉動踝關節以維持關節活動度，以及利用平衡板訓練本體感覺[12]等等。

表 1、目前常見之踝關節復健方式與輔助器材

復健方式	復健動作示意圖	所需輔助器材
單腳站立平衡訓練		無
踝關節主動運動		無
脛前肌阻力運動		毛巾或彈性繃帶
小腿牽拉運動		毛巾或彈性繃帶
平衡板訓練		平衡板
動靜態平衡訓練儀		動靜態平衡訓練儀 (大裕儀器有限公司)



## (二) 本體感覺

本體感覺(proprioception)[13]是經由本體感覺受器(mechanoreceptor)[14]接受外界的刺激，經過中樞神經系統將關節的活動及位置傳輸回大腦，使我們能察覺關節的動作感覺及位置感覺，而這些本體感覺受器是由感覺神經特化而成的機械受器，這些周邊機械受器如：肌梭(muscle spindle)、高爾基肌腱器與壓力感受器等，存在於關節囊，韌帶，肌腱、肌肉，肌腱與皮膚中[15]，人體接受外界的刺激與改變，經過一高度複雜的回饋控制過程，促使肢段間動作產生與協調肌肉收縮，以維持動作的精準與關節的穩定性[16]。一般而言，上肢的本體感覺受器負責較為精密的動作，而下肢的本體感覺受器則是負責身體的平衡與穩定，一旦感覺接受器受損，大腦無法明確知道關節的動作和位置，肌肉間收縮的力量無法平衡，關節穩定性不足便會增加再次受傷的機率。由此可知，當踝關節扭傷患者經過治療進入慢性後，除需維持踝關節活動度與重新訓練肌力外，同時必須針對感覺受器重新訓練，本體感覺訓練的核心在於平衡感，除使用完善的復健設備外，亦可在家使用單腳站立的方式自主訓練，以達到平衡訓練的效果，然而，如同許多復健訓練一般，長時間不斷重複相同動作是相當無趣的，極容易導致復健中患者因難以保持高度的興趣、缺乏持續治療的動力，最後放棄治療。

為使患者獨自在家時，亦能樂於進行自主復健，本研究將著眼在踝關節扭傷患者可進行自主復健的單腳站立動作，以此為出發點發想本系統之遊戲內容，而系統的主要目的為協助患者進行本體感覺重建，使患者在娛樂過程中，能夠漸漸找回踝關節的本體感覺及平衡感，降低再次受傷的機率，達到良好的復健成效。

## (三) 體感裝置

「體感」是身體感覺的總稱，體感裝置即為一種能讓使用者透過自身身體直接操控的電子式裝置或設備，從人機介面開始進入到體感操控時代，也就是所謂的第七期電子遊戲世代(現為第八期)，最早可回溯到 2006 年[17]，當時任天堂公司推出的遊戲機 Wii[18]同時搭配具備紅外線感應的體感無線遙控器「Nunchuk Controller」，從此開啟體感的世代，廣為人知的日本 Sony 公司也在 2010 年 9 月推出體感遙控手把 PlayStation Move，市場上掀起一陣體感裝置的熱潮。不過，截至此階段，體感技術仍需要外部裝置的輔助；甚至為了使裝置能夠在三度空間中定位，需要更多的技術相佐，真正將體感操控技術推廣到人們生活當中者，則是微軟公司(Microsoft)於 2010 年 11 月推出的體感裝置 Kinect[19]，使用者完全不需要其餘穿戴式或手持式裝置的輔助，便可以與遊戲進行互動。之後其他公司也陸續開發出體感裝置，如 ASUS 的 Xtion[20]、由田新技的 MagiXian[21]、羅技的 MX AIR 空中滑鼠[22]等，種類繁多，不過應用較為廣泛的仍屬 Wii 和 Kinect 兩款體感裝置。

#### (四)Kinect 體感裝置

本研究使用 Microsoft 所設計的體感裝置 Kinect，實體如圖 1，機身配備了三個鏡頭，包括中間的彩色影像攝影機、左右兩邊的紅外線發射器以及紅外線 CMOS 攝影機，紅外線發射器及攝影機則共同構成了 Kinect 的深度感應器，其最佳感測距離為 1.2 公尺至 3.5 公尺間，水平視野 57 度[23]。由紅外線發射器所形成的紅外線光柵，透過攝影機的紅外線感測器(CMOS sensor)接受後，經由整合系統晶片(SoC)分析，即為一優良的 3D 深度感應系統，並可由此一系統偵測使用者的肢體動作，構成自然且即時的人機互動模式，由於此一設計，使 Kinect 具有人體骨架追蹤以及深度影像獲取兩項優勢。人體骨架追蹤部分，Kinect 在畫面中最多可以同時偵測到六個人，即時進行個人動作的辨識，其原理主要為透過擷取到的影像資訊來轉換到骨架追蹤系統，透過處理深度數據來建立人體各個關節的座標，確定人體的各個部分，如哪部分是手，頭部，以及身體，還能確定他們所在的位置。此部份較需要注意的是，Kinect 與電腦所對應的影像座標系是不一樣的，一般而言，電腦從左上開始算(0,0,0)座標，往右 X 座標以及往下 Y 座標分別遞增，而 Kinect 是以裝置所對應的方向為基準，往左 X 座標遞增，往上 Y 座標遞增，如圖 2 示意圖所示，皆與電腦對應的座標評估不同，所以在擷取骨架資訊後想呈現 XY 所對應的座標必須透過三維空間的座標轉換處理方可呈現。在官方函式庫支援下，骨架追蹤系統最多可同時偵測到兩個人體的骨架；每個人共可記錄 20 個節點，包含頭部、軀幹、四肢以及手指等都是追蹤的範圍。深度影像獲取部分則是採用 Light Coding 技術[24]來進行深度影像擷取的工作。Light Coding 是利用近紅外線對空間進行編碼，經感應器讀取編碼的光線，運算並進行解碼後，生成一具有深度的圖像(Depth Map)，任何物體進入該空間、或是在空間中移動時，都能被確切地紀錄位置。透過骨架及深度辨識技術，Kinect 能夠完整記錄並分析出使用者的動作，並回傳至處理器，因此，本研究採用能夠完整獲取人體肢體動作的 Kinect 體感裝置，來作為本系統進行本體感覺重建的主要的人機互動媒介，且因 Kinect 價格相較於昂貴的復健設備為低，市價約在臺幣 4500 元上下，符合獲取便利、具互動性、實用性以及低成本的需求。



圖 1：Kinect 體感裝置

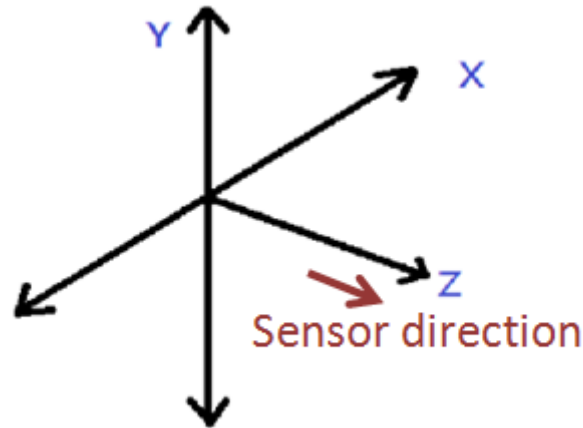


圖 2：Kinect 三維座標系統示意圖

### (五) Open Natural Interaction (OpenNI) Library

OpenNI[25]是一個針對 Kinect 這款感應器提供的跨平台、開放原始碼[26]的標準函式庫，其定義了撰寫自然操作程式時所需要的 API，可在 C/C++或 Java Wrapper[27]程式語言中提供開發協助，因 OpenNI 主要是以 C 語言為基礎的函式庫，具備了跨平台的 framework，可讓程式開發者在不同平台上使用該標準函式庫，使用視覺、聲音相關感測器，便於對所擷取的資料進行分析。

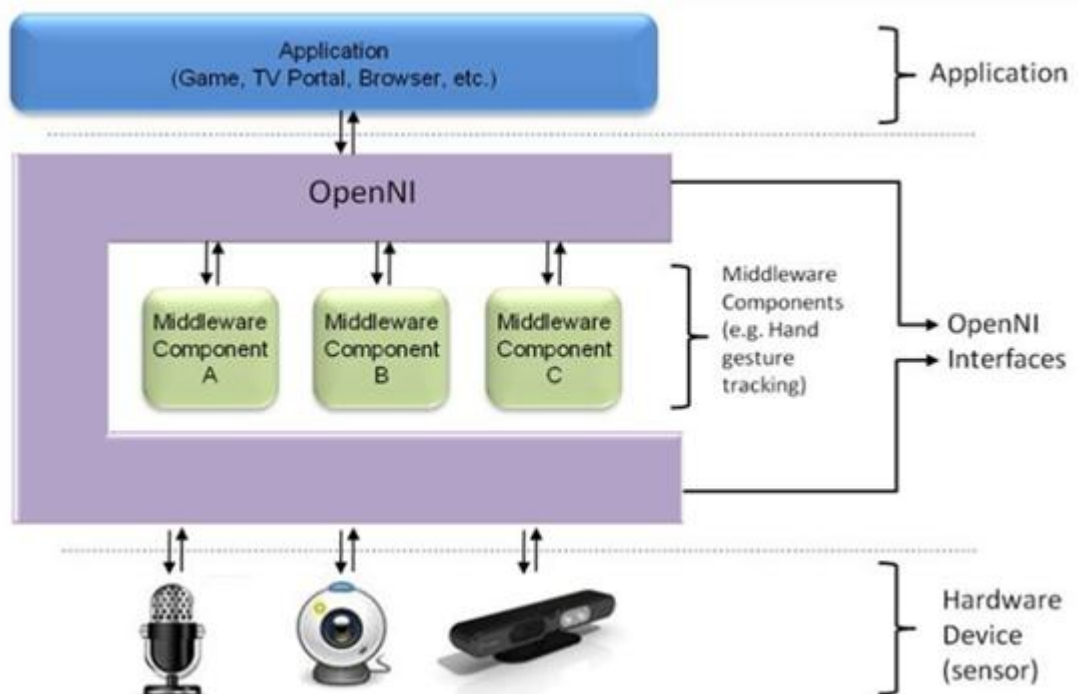


圖 3：OpenNI 標準函式庫 framework

圖 3 為 OpenNI 的架構，可將之概分為三層，第一層是應用層(Application)，也就是程式開發者可進行開發的部分，如使用者介面或觸發事件等；第三層則是硬體的部分，目前而言，OpenNI 可支援的硬體設備，包含了：3D 感測器、彩色影像攝影機、紅外線攝影機以及音訊裝置等四類。而 Kinect 體感裝置的硬體配備符合 OpenNI 函式庫的設計，使 OpenNI 對於 Kinect 具有高度的相容性與支援度，此搭配提供程式開發者相當良好的協助。第二層即為 OpenNI 之核心，主要的作用為應用程式與硬體之間的溝通，此外，第二層也預留了中介軟體(middleware)的空間，例如較被廣為使用的中介軟體 NiTE[28]，可以額外進行像是手部分析(Hand point analysis)、全身分析(Full body analysis)、手勢偵測(Gesture detection)和場景分析等四個主要元件，其中手部分析顧名思義可針對手在空間中的位置進行追蹤；全身分析則能夠由感應器取得的資料，產生身體的相關資訊，如節點、相對位置、角度和質心等；手勢辨識部分能夠分析並辨識定義好的手勢；而場景分析則能夠針對場景內的資訊，如分離前景和背景、地板的座標軸、辨識場景內的不同物體。

除 OpenNI 以外，針對 Kinect 進行整合開發時亦可使用微軟官方發布、專為 Kinect 所設計的 Kinect for Windows SDK[29]；關於 OpenNI 與 Kinect for Windows SDK 兩套軟體之比較如表 1 所示，由於在開發環境設置部分，Kinect for Windows SDK 僅能在 Windows 作業系統上使用微軟的整合開發環境 Visual Studio[30]進行系統開發，且非開放源碼之軟體，開發彈性度相較於 OpenNI 函式庫較低，故本計畫選擇較具有開發彈性的 OpenNI 函式庫協助系統開發。

表 2、OpenNI與Kinect for Windows SDK之比較

	OpenNI+NiTE	Kinect for Windows SDK
作業系統	Windows、Mac、Ubuntu、Andiord	僅相容 Windows 7(含以上)
開發環境	C/C++、C#、Java Wrapper	C++、C#、Visual Basic
授權方式	開放原始碼	不開放原始碼
支援硬體	可支援多種體感裝置	Kinect Only
支援感應器	深度影像、彩色影像、聲音	深度影像、彩色影像、聲音
追蹤人數	無人數限制	六個使用者、兩個人的骨架

## (六) 3D 場景模擬引擎

一個完整的 3D 引擎通常具備 7 大模組：模擬核心、圖形引擎、輸入控制模組、音效引擎、物理引擎、數據管理模組、AI 控制模組，發展一 3D 引擎必須投入大量的成本。目前較常見的 3D 引擎有 Crytek 公司開發的 CryEngine3[31]、Epic Games 所開發的 Unreal Engine 4[32] 以及廣為人知的 Unity[33] 等，其中 CryEngine3 具有優秀的陰影處理以及超執行序處理的能力，但其開發費用相當昂貴，較不適用於一般的應用程式開發；Unreal Engine 4 除了擁有如 CryEngine3 同等能力外，亦能對渲染效果進行處理，此外具備了粒子碰撞模擬的高效能物理引擎並支援多種開發語言，然而，此種引擎的開發費用也相當昂貴，雖有提供一免費版本 Unreal Development Kit (UDK)[34] 給非商業開發用途使用，但效能相較於付費授權大打折扣；相較於上述兩個系統，Unity 的開發費用遠遠低於上述兩軟體，為市面上較常使用之軟體，在物理引擎、粒子引擎、地形編輯器等模組上都有相當不錯的性能，且操作介面較為人性化，此外，對於不同作業系統與多種 3D 繪圖軟體亦提供了高度的支援性，3 種 3D 引擎之比較如表 2 所示，有鑒於此，本計畫中將採用 Unity 3D 引擎作為 3D 場景與模擬的主要工具。

表 3、各種 3D 引擎之比較

	CryEngine3	Unreal Engine 4	UDK	Unity
開發語言	C++、C#	C++、C#、 UnrealScript、 HLSL、GLSL、 Cg、CUDA	UnrealScript	C#、 Java Script
開發平台	Windows	Windows、Mac OS	Windows、Mac OS	Windows、 Mac OS X
價格	昂貴	昂貴	免費	低廉

## 四. 研究方法

### (一) 設備與技術分析

在設備方面，由於 Kinect 體感裝置能夠完整獲取人體全身肢體動作，功能上較其他種類硬體設備符合本研究需求；且相較於市面上昂貴的復健設備，Kinect 市價約為 4500 元台幣，價格較低，符合獲取便利、具互動性、實用性以及低成本的需求，故本系統採用 Kinect 作為本系統主要的人機互動媒介。

技術方面，本研究則選用適用 Unity 3D 引擎開發的 C#[35] 程式語言做為開發語言，搭配對 Kinect 具有高度支援的 OpenNI[36] 函式庫，以達到最佳的開發效率。以此為基礎，我們可以使用現有的 Unity[37] 3D 引擎，以單腳站立之復健動作為核心，設計出兼具復健與娛樂性質的系統，並評測其復健成效。

### (二) 系統架構

本系統針對可進行自主復健的單腳站立動作，以該動作為核心，發展出此遊戲，患者在家自主訓練時，通常是配合復健師所指示之復健療程，復健師考慮患者身體狀況，訂定一次復健之固定單位秒數，並指示患者復健之次數，本遊戲能夠配合復健之所訂定療程做調整，以切合患者需求。本研究所開發的系統架構示意圖如圖 4 所示：

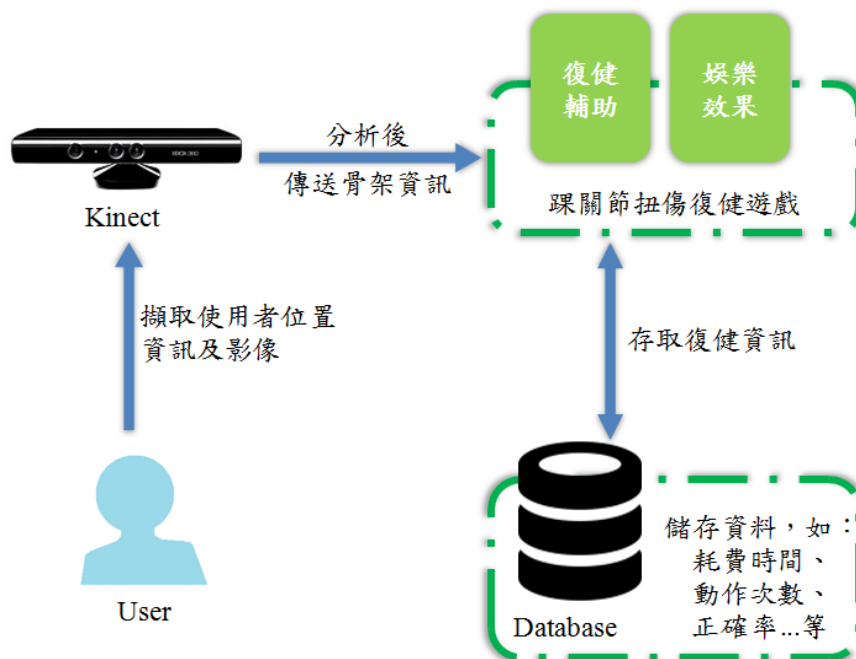


圖 4：系統架構圖

我們首先透過體感設備 Kinect 的攝影裝置，擷取使用者的影像資訊分析，若 Kinect 攝影裝置無法正常擷取到使用者，或使用者未站在鏡頭前並保持適當距離，會無法偵測到使用者，此時必須藉由調整鏡頭位置或使用者移動到適當距離，使 Kinect 能正常地偵測使用者，之後，再藉以判斷使用者在三維空間中的肢體動作變化，分析並記錄進行復健時的動作資訊，再透過 OpenNI 與 UnityOpenNIBindings 套件[38]，可輕易的將 Kinect 所偵測到之動作參數即時對應至該人物角色物件，擷取使用者的膝關節、踝關節、髖關節，讓玩家得以對角色進行操控來進行遊戲，系統在遊戲中會自動記錄患者達成動作的次數及得分，並回傳至資料庫，這些資料除了在結束畫面會顯示給玩家作為參考，也可以和復健師或物理治療師合作利用。

### (三) 使用對象

本研究對象以最常發生踝關節損傷的運動員為主要使用群體，許多種運動都十分容易發生踝關節扭傷，「國家運動選手傷害之調查研究」[39]中指出：目前國內國家運動員受傷型態以肌肉拉傷 59.5% 最常見，其次為肌腱炎 46.6%、關節扭傷 40.2% 最多；且受傷部位有腳踝的比例高達 57.5%，僅次於膝部，若在沒有完全復原的情況下，再度回到運動場上，更加容易重複扭傷，甚至可能造成永久性傷害，因此，提升復健成效對運動員來說更為重要，本系統能夠讓扭傷患者更良好、有效的復健。

除了運動員之外，本遊戲亦可適用於一般民眾，讓家裡沒有復健用具，或是不方便常常到診所復健的民眾，能夠輕鬆在家達到復健效果。

### (四) 復健動作是否正確之判斷演算法

在復健的過程中，正確的復健動作相當重要，因此我們與中山醫學大學物理治療系的老師以及中山醫學大學附設醫院的物理治療師進行洽談，了解到單腳站立的復健動作的標準動作是，抬頭挺胸不能往前或往後傾，抬腳的高度必須讓大腿平行於地面，並且在膝蓋的關節處，要彎曲成 90 度，如圖 5[40]。



圖 5：單腳站立

在訓練過程中，我們的目的是讓使用者在單腳站立下努力地保持平衡，所以抬腳的高度及限制使用者的膝蓋彎曲角度是主要影響保持平衡的因素之一，此外，BAUDRY[41]物理治療中心與 Clinical Biomechanics 期刊[42]中說明單腳站立的平衡訓練動作以這兩個標準來訓練平衡，所以我們透過兩種方式來規範復健者是否有達系統之復建標準：

1. 復健者之膝蓋彎曲維持大約 90 度。
2. 復健者抬腳高度是否有達到膝蓋。

有則符合與復建師討論的下述兩點：

=>符合抬腳時的高度

=>符合大腿平行於地面

因單腳站立的重點在非支撐腳的抬腳高度及膝蓋彎曲角度，故當使用者進行單腳站立時，本系統會判斷使用者是否有達到膝蓋彎曲 90 度及腳踝高度是否高於膝蓋，如這兩樣標準皆達成，即達到本系統復健之標準，演算法流程圖如下圖 6 所示。

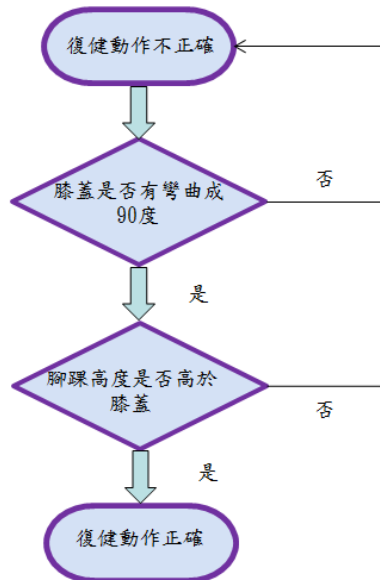


圖 6：演算法流程圖

計算抬腳高度的部分，我們利用抬腳的高度是否有高於站立腳的膝關節高度 (KNEE\_NODE 和 FOOT\_NODE 的 Y 座標) 來判斷抬到復健所要求的高度，藉由這兩點的 Y 座標來判斷出使用者是否有達到正確的復健動作。

在計算關節彎曲角度部分，我們可以根據 Kinect 所擷取到的人體骨架資訊來計算節點之座標，透過膝關節、髖關節、踝關節 (KNEE\_NODE、HIP\_NODE 和 FOOT\_NODE) X、Y、Z 節點座標，在三維空間中，我們以三節點的 X、Y、Z 座標，求出兩向量，分別為 a 向量及 b 向量，接下來，再使用 a、b 兩向量的內積(1)來計算三節點所形成的角度，進而計算出膝關節的彎曲角度。其內積公式可以簡單的變化為：



$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta$$

$$\Rightarrow \cos \theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|}$$

$$\Rightarrow \theta = \arccos \theta \quad (1)$$

## 五. 研究成果

### (一) 遊戲內容與流程

本研究開發出一套適用於踝關節扭傷復健患者，以幫助其本體感覺重建的復健遊戲，使用者透過一般家用電腦即可執行復健遊戲，遊戲流程圖如圖 7：

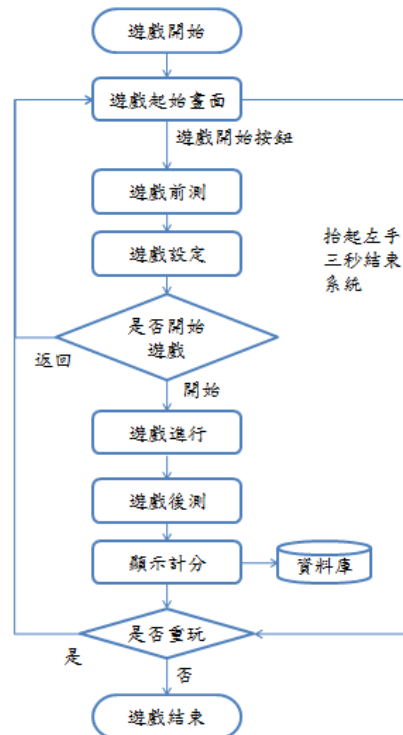


圖 7：系統流程圖

為了方便使用者能夠自行操作此系統，我們也設計了本遊戲目的說明以及系統操作的詳細介紹，最後，使用者能夠透過系統看到過去遊玩的最佳紀錄及前三排名的分數，藉此讓使用者實際的看到自己的進步。

1. 遊戲起始畫面：遊戲啟動時會進入「遊戲起始畫面」如圖 8，畫面上共有四個按鈕，分別為「開始」、「遊戲目的」、「操作說明」以及「排行榜」，其中，操作說明畫面，如圖 9 所示，為本遊戲的玩法；遊戲目的畫面內容包含本研究的研究對象及研究目的，畫面如圖 10；使用者可以透過排行榜畫面實際看到自己是否進步，畫面如圖 11。此外，在起始畫面下方，備有起始畫面的操作說明，玩家可以透過左右手的揮動選擇上一項或下一項，抬起左腳來選擇目前所選項目，而抬起左手並維持三秒，即可關閉系統。



圖 8：遊戲起始畫面

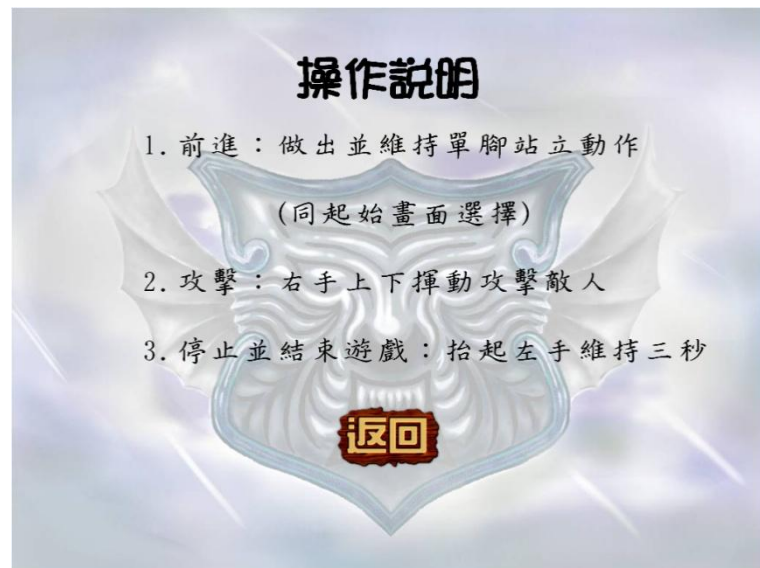


圖 9：操作說明畫面

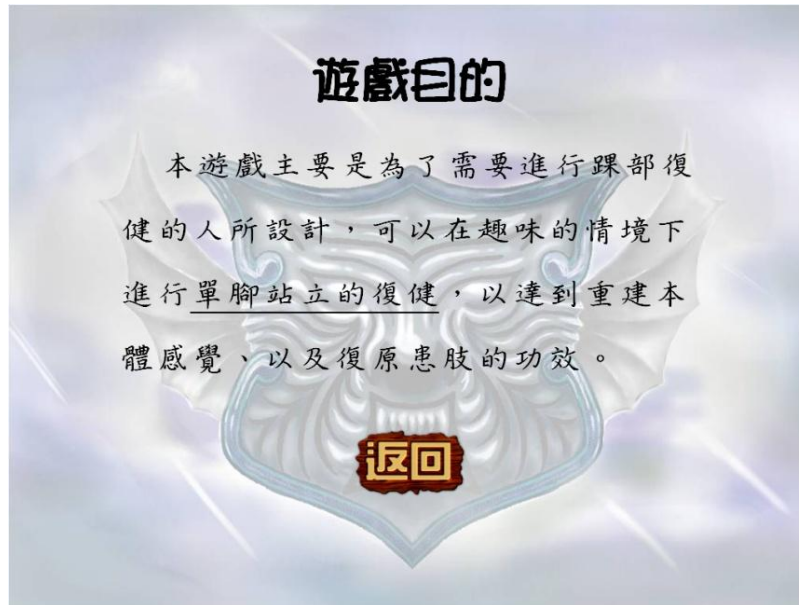


圖 10：遊戲目的畫面



圖 11：排行榜畫面

2. 前測：選擇遊戲起始畫面的「開始遊戲」按鈕後，系統會自動跳轉到前測畫面，測量使用這單腳站立的最長時間，來當作遊戲中復健的完成一次單腳站立動作的標準時間設定，如圖 12。
3. 遊戲設定：選擇遊戲起始畫面的「開始遊戲」按鈕後，系統會自動跳轉到遊戲設定畫面，內容包含復健重點腳的選擇，以及微調前側部分的完成一次單腳站立動作的標準時間設定，此一設計能夠讓遊戲更切合患者的療程，符合個人需求，如圖 13。

4. 進行方式：進入遊戲，玩家需做出並維持單腳站立動作以操控角色向前移動，玩家在本遊戲中扮演的角色為一前鋒戰士，遊戲目標為在限制時間內盡可能消滅更多的敵人，為了確實達到復健效果，遊戲設計敵人和敵人之間有一段間距，玩家每次必須維持單腳站立動作約五至六秒，移動到下一個敵人前，進行攻擊時，玩家由上而下揮動右手即會發動，擊倒面前的敵人後，玩家才能讓角色往前進；反之若沒有打倒敵人，角色便無法繼續向前，遊戲得分會隨著消滅敵人數目的增加而自動累計。與此同時，系統也會記錄左右腳完成單腳站立動作的次數(非復健重心腳完成次數即為零次)，直到到達終點，或是遊戲時間結束為止。



圖 12：前測畫面

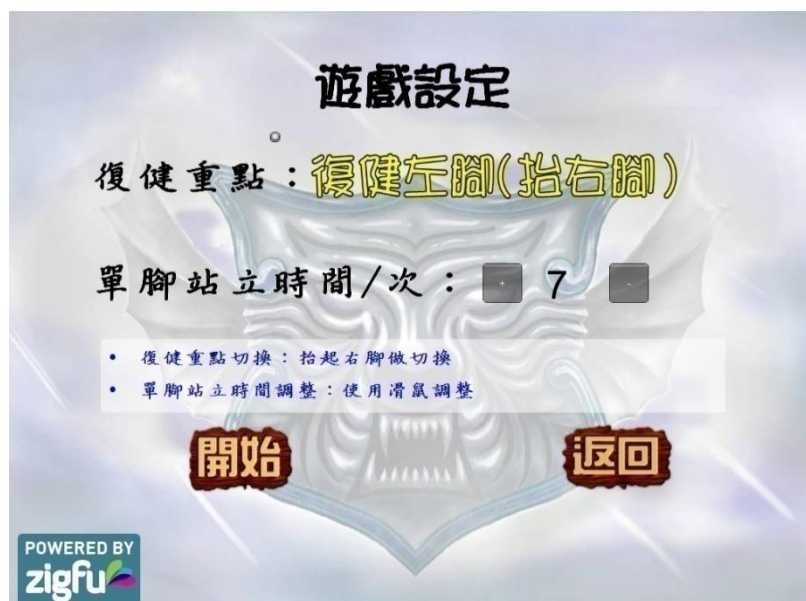


圖 13：遊戲設定畫面

5. 遊戲計分方式：本遊戲取得分數的主要來源為消滅的敵人人數、剩餘時間以及左右腳復健動作完成次數的分數加成，消滅敵人人數越多分數越高，剩餘時間以及復健動作完成次數越多，加分也會越高。在遊戲中畫面，如圖 14，的畫面左上方，會及時統計目前擊倒敵人所獲得的分數；遊戲結束後，系統會自動做時間及復健次數的加成並計算總分，在最後的遊戲分數結算畫面，顯示玩家該次遊戲的總得分，作為玩家綜合比較依據。

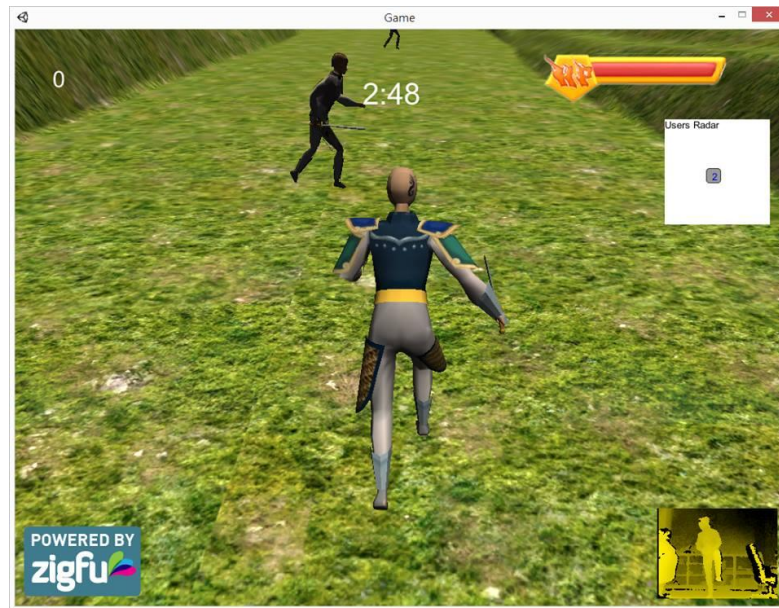


圖 14：遊戲中畫面



圖 15：後測畫面



圖 16：分數結算畫面

6. 後測畫面：遊戲結束後，系統自動跳轉至後測畫面，如圖 15，此部分是測試使用在遊戲完成後，是否有增加單腳站立的時間，做為一個能夠及時評估的一個依據，與復健師詳談後，增加單腳站立的時間，也能達到踝關節之本體感覺的重建，故此部分能作為復健師評估的依據之一。
7. 遊戲分數結算畫面：如圖 16，此時玩家才能夠看到該次遊戲的得分，顯示項目包含：左腳復健完成次數、右腳復健完成次數、剩餘時間以及得分，畫面下方則有「返回」及「結束」兩個按鈕，同起始畫面操作，揮動左右手選擇，抬起左腳確認選項，如選擇返回按鈕，系統會返回遊戲起始頁面，玩家可以重複遊玩；如選擇結束按鈕，即跳出程式、結束遊戲。

## (二)成效評估

由於本系統以運動員作為考量，來製作此系統，因此本系統以本學校籃球運動代表隊隊員以及本系籃球運動員進行實測。

參與成效評估之受測者有 37 位，其中包含了 16 位中山醫學大學男子籃球校隊隊員、12 位女子籃球校隊隊員，及 9 位中山醫學大學醫資系籃球隊隊員，受測者都有運動的習慣，並且每次運動時間平均大於一小時。

表 4、基本問題統計表

問卷題目	是	否
您覺得腳踝扭傷需要復健嗎？	30	7
您覺得扭傷後是否會增加扭傷機率？	33	4
您覺得扭傷後是否會影響運動能力？	37	0
您是否曾經扭傷並且未尋求醫師治療？	23	14
您是否曾經嚴重扭傷尋求醫師治療後未進行復健？	23	14

表 5、系統介面設計與操作統計表

問卷題目	非常滿意	滿意	普通	不滿意	非常不滿意
1.在選擇按鈕的操作方式，簡單且容易學習。	12	15	10	0	0
2.在進入按鈕畫面的操作方式，簡單且容易學習。	11	17	8	1	0
3.在離開遊戲的操錯方式，快速方便。	19	17	1	0	0
4.在首頁標示的操作說明，文字描述清楚，前顯易懂。	8	16	13	0	0
5.在首頁中的畫面，具吸引力。	18	16	3	0	0
6.在遊戲設定中的畫面，具吸引力。	13	17	7	0	0
7.在操作說明中的畫面，具吸引力。	12	16	9	0	0
8.在遊戲目的中的畫面，具吸引力。	6	22	9	0	0
9.在排行榜中的畫面，具吸引力。	20	14	3	0	0
10.在遊戲畫面中，具吸引力。	13	21	3	0	0
11.在遊戲結算畫面，具吸引力。	14	21	2	0	0
12.遊戲中的人物模型，具吸引力。	15	14	8	0	0
13.使用一般型電腦和 Kinect 體感裝置，方便架設在家中。	13	17	7	0	0
14.不需要很大的遊戲空間。	21	14	2	0	0
15.復健時不需要配戴任何感測儀器，覺得很方便。	22	15	0	0	0
16.能有效幫助使用者增加單腳站立時間。	21	16	0	0	0
17.能有效的提升踝關節復健的意願。	8	20	9	0	0
18.詳細地顯示出能評斷復健成效的數據。	4	18	9	6	0
19.操作時，能遊戲能即時反應使用者的動作。	11	17	9	0	0
20.遊戲中，打擊敵人能增加遊戲的趣味度。	18	15	4	0	0
21.遊戲中，吃蘋果的功能能增加遊戲的趣味度。	6	22	9	0	0
22.遊戲中，抬腳越久移動速度越快能增加遊戲的趣味度。	11	20	6	0	0
23.遊戲中，顯示單腳站立的時間，是個貼心的功能。	13	22	2	0	0
24.遊戲中，背景音樂搭配的很合適。	7	24	6	0	0
25.遊戲中，Combo 的功能能增加遊戲的趣味度。	14	20	3	0	0

表 6、交叉分析之復健成效

	男生	女生	總人數
使用系統後有增加單腳站立時間	15	7	22
使用系統後沒有增加單腳站立時間	10	5	15
總人數	25	12	37

問卷統計結果顯示，絕大多數的使用者在腳踝扭傷後都不會去進行復健，甚至很少去看醫生，所以我們了解到腳踝扭傷的運動員，多數都不會去重視。受測者認為在系統操作方面，簡單、容易學習。在美工的部分，大多數認為本系統的系統畫面及系統內容包含音效、遊戲模式、加分功能，具有吸引力，能夠提升受測者的復健意願。此外，本系統不用配戴任何的感測器以及無需寬廣的空間，深受受測者的認同。在系統實測後，有 59.5% 的使用者在使用本系統後，會增加單腳站立的時間，如表 6，可見本系統能為踝關節復健達到復健之成效。

### (三) 系統特色

本系統主要目的為提升踝關節扭傷患者復健的意願及成效，除此之外尚有以下特點：

1. 第一套針對腳踝復健患者開發之體感遊戲。
2. 完成一次復健動作的單位時間能夠依照療程做調整，貼近個人需求。
3. 使用市面常見之 Kinect 設備，搭配一般家用電腦，成本較低。
4. 無需專屬的訓練空間及復健道具。
5. 系統本身操作簡易，患者不須醫師陪同即可復健。
6. 可將結果即時回饋在螢幕上，增加成就感並提高復健意願。
7. 同時兼具娛樂性質，也可作為一般遊戲。
8. 紀錄復健結果，可供醫師做為復健參考資料。



## 六. 結論與未來展望

本研究完成此套提升踝關節扭傷患者復健意願的遊戲，系統操作相當簡單，即使獨自在家也隨時能進行自主復健，還能配合復健師給患者的個人療程，讓患者不再像傳統復健時，只能一個人獨自面對牆壁做著重複的動作，而是保持愉快的心情完成復健療程，並達到「在娛樂中復健」的效果，如此排除對於依賴復健輔具的排斥心理等負面心態，將有助於踝關節的復原。然而，基於系統限制，使用者需要使用四肢來操控系統；並且在硬體方面，必須要與 Kinect 相容，否則無法使用本系統。

本系統未來能夠朝向兩大層面發展：娛樂方面能夠提高遊戲畫面、3D 模組的精緻度，或是增加更多加扣分機制，提升遊戲品質；復健輔助方面，可以尋求復健師及物理治療師合作討論，如何能夠蒐集到更多、更精準的患者身體資訊、需要取得哪些數據，也可以搭配軟體輸出報表、圖表等統計資料，以期系統能更有效的幫助患者及復健師。

## 參考文獻

- [1] 陳昭瑩。青少年運動傷害淺談。台大醫運健康電子報。2013年6月。取自：  
[http://epaper.ntuh.gov.tw/health/201306/child\\_1.html](http://epaper.ntuh.gov.tw/health/201306/child_1.html)。
- [2] A. Ben Moussa Zouita, O. Majdoub, H. Ferchichi, K. Grandy, C. Dziri, FZ Ben Salah. The effect of 8-weeks proprioceptive exercise program in postural sway and isokinetic strength of ankle sprains of Tunisian athletes. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56, 634-643
- [3] 王亭貴，陳星宇。腳踝扭傷的治療及復健。台大醫運健康電子報。2012年9月。  
[http://epaper.ntuh.gov.tw/health/201209/project\\_1.html](http://epaper.ntuh.gov.tw/health/201209/project_1.html)
- [4] 張至宏。腳踝扭傷。遠東聯合診所期刊資料。2006年8月。  
[http://www.fepec.com.tw/magazine/09508/09508\\_%E8%85%B3%E8%B8%9D%E6%89%AD%E5%82%B7.htm?sno=44](http://www.fepec.com.tw/magazine/09508/09508_%E8%85%B3%E8%B8%9D%E6%89%AD%E5%82%B7.htm?sno=44)
- [5] 葉士青，黃武元，黃子權，劉文港，陳佑宗，洪彥伯。體感應用於輔助復健訓練之研究。
- [6] 互動式體感復健系統－龍骨王。  
<http://www.bnext.com.tw/article/view/id/23756>。
- [7] 范堯中。虛擬實境結合體感技術之肩關節復健系統之復健效果與運動分析研究。國立中央大學資訊工程學系碩士論文，2013。
- [8] 任東輝。中醫治療足踝關節扭傷。  
[http://www.chimei.org.tw/main/cmh\\_department/57100/57100/NEWS44.htm](http://www.chimei.org.tw/main/cmh_department/57100/57100/NEWS44.htm)。
- [9] 鄭裕民。踝扭傷後遺症慢性踝外側不穩定之治療。高醫醫訊月刊第三十一卷第二期。2011年7月。  
<http://www.kmuh.org.tw/www/kmcj/data/10007/18.htm>。
- [10] Christine Lin. Proprioceptive training reduces the risk of ankle sprain. *Australian Journal of Physiotherapy*, Vol.55
- [11] 羅瑞陽。祥寧中醫診所。  
<http://shiningcmc.tcm.tw/articleview.php?ID=1783>。
- [12] James R. Chagdes, Shirley Rietdyk, Jeffrey M. Haddad, Howard N. Zelaznik, Arvind Raman. Dynamic stability of a human standing on a balance board. *Journal of Biomechanics*, 46, 2593-2602
- [13] Wikipedia。Proprioception。  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Proprioception>。
- [14] 醫學百科。本體感受器。  
[http://big5.wiki8.com/bentiganshouqi\\_47775/](http://big5.wiki8.com/bentiganshouqi_47775/)。
- [15] Grigg Peter, "Peripheral neural mechanisms in proprioception," *Journal of Sport Rehabilitation*, 3, 2-17。
- [16] 金明央，羅元鴻，離俊彥。踝關節扭傷對本體感覺的影響。高苑技術學院，育達商業技術學院。
- [17] 李來春、郝光中、鄭宇翔。不同體感操控介面對搜尋及閃躲任務之遊戲經驗比較研究-以遊戲相關設計科系背景的學生為例。設計學報，第17卷第3期。2012年9月。

- [18] 維基百科。Wii。 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wii>。
- [19] 身體就是控制器，微軟 Kinect 是怎麼做到的。T 客邦。  
<http://www.techbang.com/posts/2936-get-to-know-how-it-works-kinect>。
- [20] Xtion 官方網站。 [http://www.asus.com/Multimedia/Xtion\\_PRO/](http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO/)。
- [21] MagiXian 體感互動裝置官方網站。  
[http://www.utechzone.com.tw/webc/html\\_media/products/show.aspx?pid=77&kid=124,125](http://www.utechzone.com.tw/webc/html_media/products/show.aspx?pid=77&kid=124,125)。
- [22] 深度評測：羅技 MX Air 空中模式 [part2]。  
<http://chinese.engadget.com/2008/02/25/logitech-mx-air-review-02/>。
- [23] Microsoft Developer Network。Skeletal Tracking。  
<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973074.aspx>
- [24] 吳駿偉，曾偉哲，黃文義。體感式復健應用系統多媒體系統。弘光科技大學資訊管理系。2012 年 1 月。
- [25] Kinect 的軟體開發方案：OpenNI 簡介。  
[http://kheresy.wordpress.com/2011/01/19/openni\\_1st/](http://kheresy.wordpress.com/2011/01/19/openni_1st/)。
- [26] 維基百科。開放原始碼。  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BC%80%E6%94%BE%E6%BA%90%E4%BB%A3%E7%A0%81>。
- [27] OpenNI 2 簡介。  
<https://kheresy.wordpress.com/2012/12/21/basic-openni-2/comment-page-1/>。
- [28] NiTE2 基本使用。  
<http://kheresy.wordpress.com/2013/01/07/basic-usage-of-nite2/>。
- [29] Kinect 應用程式開發入門。 <http://msdn.microsoft.com/zh-tw/hh367958.aspx>。
- [30] 維基百科。Microsoft Visual Studio。  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](http://zh.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio)。
- [31] 維基百科。CryEngine3。 [http://zh.wikipedia.org/wiki/CryENGINE\\_3](http://zh.wikipedia.org/wiki/CryENGINE_3)。
- [32] Unreal Engine 4 官方網站。 [http://www.unrealengine.com/unreal\\_engine\\_4/](http://www.unrealengine.com/unreal_engine_4/)。
- [33] Unity3D 官方網站。 <http://unity3d.com/>。
- [34] Unreal Development Kit (UDK) 官方網站。  
<http://www.unrealengine.com/en/udk/>。
- [35] 維基百科。C#。 <http://zh.wikipedia.org/wiki/C%E2%99%AF>。
- [36] Wikipedia。OpenNI。 <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenNI>。
- [37] 維基百科。Unity3D。  
[http://zh.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(%E6%B8%B8%E6%88%8F%E5%BC%95%E6%93%8E\)](http://zh.wikipedia.org/wiki/Unity_(%E6%B8%B8%E6%88%8F%E5%BC%95%E6%93%8E))。
- [38] Unity3D 與 Kinect 完美結合--(二)OpenNI 與 UnityBinding 篇。  
<http://joedn522.byethost7.com/index.php/71-unity3dkinect-openniunitybinding>
- [36] 林燕君。國家運動選手運動傷害之調查研究。高雄醫學大學公共衛生學研

究所。 <http://handle.ncl.edu.tw/11296/ndltd/01669889734330105138>

[37] *Craig Liebenson, DC*。 Sensory-Motor Training, Part I。

<http://www.dynamicchiropractic.com/mpacms/dc/article.php?id=18003>

[38] BAUDRY therapy center。 <http://baudrytherapy.com/got-balance/>

[39] Michael A. Hunt, Trevor B. Birmingham, Ian C. Jones, Anthony A. Vandervoort, J. Robert Giffin. Effect of tibial re-alignment surgery on single leg standing balance in patients with knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics*, 24,693-696