



研究論文

## 遠距多使用者體感心臟復健運動管理系統

\*盧東宏 林星辰 陳蓉蓉 陳雅苓 李岳軒 曾宇弘 陳雪玲  
工業技術研究院 服務系統科技中心

### 摘要

本論文藉由多元化生理感測與回饋指引的整合，建構一套包含多種有氧運動模式的遠距多使用者體感心臟復健運動管理系統。居家端可透過此系統達成即時動作相似性分析以及提供運動改善指引，並同時能即時地將使用者的影像和運動骨架串流以及生理資訊傳遞到遠距端的照護中心。透過與遠距照護中心的結合，以及個管師一對多即時個人運動的監控管理，打造一安心、安全及有效的復健運動環境，提供使用者個人化的豐富多元運動處方與心臟復健運動指引，讓心臟病患在進入心臟復健階段後，一方面能夠監控復健運動處方的執行情形，也可長期監控與評估使用者在執行復健運動的強度是否達成預定的目標，提升使用者的遵從性。

關鍵詞：體感復健運動系統、個人健康管理平台、心臟復健

### 1. 緒論

運動復健是目前心臟術後治療的重點，利用有氧運動模式來訓練下肢肌肉群，以增進耗氧效率降低心輸出的壓力進而改善病況(Lloyd-Jones et al., 2010; Lu et al., 2011)。目前台灣的心臟復健仍停留在醫學中心級的醫院，其復健程序主要是依循 NYHA (New York Heart Association)與 ESC (European Society of Cardiology)所建議之準則進行。病患在接受心臟復健訓練前，會先安排最大運動心肺功能測試，得到相關之參數如最大心輸出量、最大耗氧量以及心率加速反應等；復健師根據該測驗的結果，訂定一套運動處方，以每週固定三次在復健師監督下從事運動心肺耐力訓練，每次約 30-40 分鐘，訓練 6 週後再接受一次最大運動心肺功能測試，並根據病患進步情形調整運動訓練強度。在經過 12 週的訓練之後，病患的骨骼肌之耗氧效率將可以有效的被提升，進而降低心臟的負荷以及強化心肺耐力等好處，同時也能夠得知病患的最大運動量的基準，藉由此依據，復健師可訂定個人化居家心臟復健運動計畫。此一過程中透過運動處方的執行以及衛教資訊的強化，使病患了解復健運動對於其生理狀況之影響，並使之回到家後還能夠有足夠的自覺，願意自行在家中繼續執行復健運動處方，但是目前病患於居家之運動處方執行方面僅能夠過電話追蹤的方式來進行了解，無客觀之依據可供醫院端進行判定，總是需要等到症狀出現後才由病患自行回診。

由上述現行的復健模式下，傳統的復健訓練皆需於醫院中在專業個管師監控下進行，復健動作通常需反覆不斷進行，過程枯燥且無趣，故許多出院病患很難持續在家經復健衛教單的指示進行復健運動，而且也會有姿勢正確性、運動時間及強度掌控不易之問題；有些病患受限於需要一些專業的生理量測設備及個管師的協助，必須定期前往醫院進行復健，但舟車勞頓加上照護者的時間問題，專業個管師的時間也有限（僅能同時輔助 1-2 位），皆會影響復健運動者持續且遵照運動處方的意願，往往造成病患症狀再度惡化，必須再次入院。如此周而復始不但造成醫療資源的負擔，也增加病患本身及其家人的疲累(Lu et al., 2012)。

目前有諸多文獻探討，透過科技化的導入，如體感相關週邊設備，藉以提升病患復健的意願。其中一相關研究，採用 Nintendo Wii Balance Board 的 WeHab 系統，使神經創傷病患能夠透過此系統反覆施作平衡復健訓練。然而此系統必須借重額外的平衡板的量測及復健師從旁的協助下，幫助病患反覆施作平衡復健訓練，並不適合出院病患使用於居家環境，並且也將增加復健師的負擔(Kennedy et al., 2011)。

本論文開發一套遠距多使用者體感心臟復健運動管理系統，此系統包括居家端的體感復健運動系統，以及遠距端的個人健康管理平台。其中，居家端的體感復健運動系統具有多樣化的復健運動模式，透過體感攝影機擷取的使用者全身影像融入虛擬運動情境中，運用動作分析技術即時計算使用者運動動作遵從性，即時提供運動動作改善引導，同時亦融合生理資訊，分析使用者運動前中後生理差異；此外，同時結合 VoIP 及串流資料整合技術，提供即時的一對多遠距端的個人健康管理平台的運動監控與互動式指引功能。圖 1 為本系統使用情境示意圖，使用者在居家端透過此系統施作復健運動時，當使用者運動遵從度不足時，遠距端的個管師能透過即時連線介入，進行互動式動作修正指引。



圖 1. 系統使用情境示意圖

## 2. 系統架構

圖 2 所示為此遠距多使用者體感心臟復健運動管理系統之系統架構，居家端佈署一互動式體感復健運動系統，協助使用者在即時生理監控以及具有即時通訊能力的環境下進行復健運動，讓使用者於醫院中所訓練的最佳運動耐受基準能夠維持在一定的水準內，提升復健運動遵從性降低疾病復發之風險。配合無線生理量測設備自動偵測之生理數據，系統自行運算病患進行運動時可能產生危險狀況之風險值，同時透過體感攝影機（如 Microsoft Kinect 或 ASUS Xtion PRO）自動分析使用者運動動作正確性。而在遠距端則即時透過 VoIP 技術、使用者動作影像分析技術、運動骨架串流技術以及生理資訊匯流技術建構一個人健康管理平台伺服器，方便個管師能夠在遠端異地同時監控多人的運動實況及運動生理變化。當生理量測值出現異常數值或系統計算之風險值偏高時，系統將自動警示遠距端之個管師，因此個管師可透過復健運動系統所傳入之各種數據，透過 VoIP 與居家端即時視訊連線，進行了解與處理。以下將針對遠距多使用者體感心臟復健運動管理系統中的居家端體感復健運動系統及遠距端個人健康管理平台作進一步的介紹。

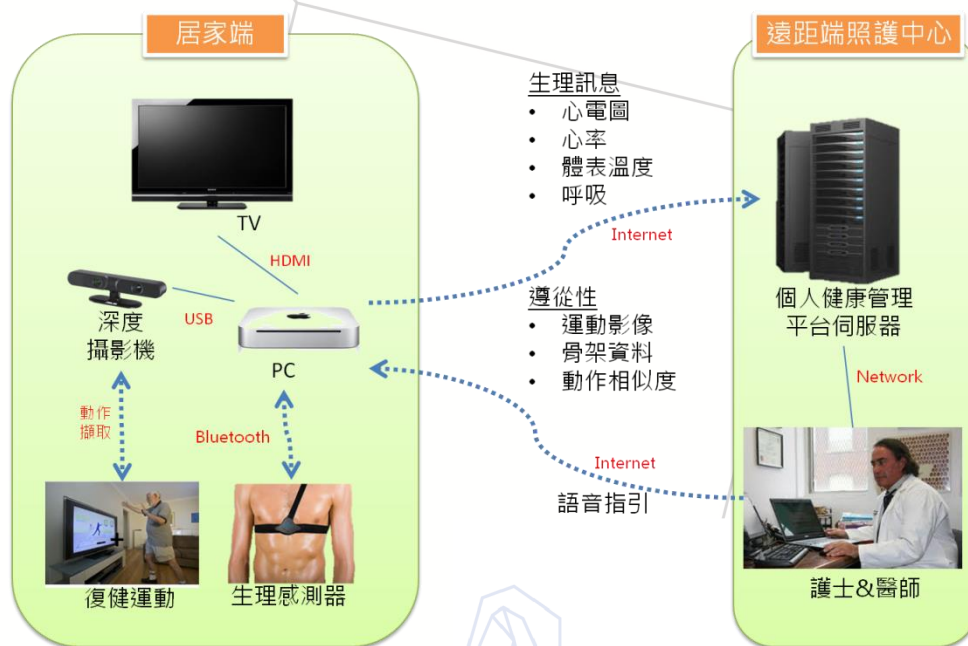


圖 2. 系統架構

### 2.1 體感復健運動系統

體感復健運動系統架構如圖 3 所示，包含有運動樣本資料庫、動作特徵分析模組、復健指引模組、生理訊號匯集模組、及運動安全規則庫與決策模組。本系統所提供的虛擬運動教練所引導病患施作各種不同類型的中低強度的有氧復健運動（藉由醫師所設計的復健運動模式），將透過專業級動作擷取系統錄製動作後儲存於運動樣本資料庫中，促使使用者依照虛擬運動教練的指引進行復健運動。若使用者動作未達標準，亦能經由體感攝影機及動作特徵分析模組擷取使用者骨架運動軌跡，了解使用者的動作與姿態，即時透過運動樣本資料庫中的標準骨架運動軌跡進行動作

比對，藉由復健指引模組回饋給使用者以進行立即動作修正(Lloyd-Jones et al., 2010)。另外，配合適當無線生理量測設備及感測器，可透過生理訊號匯集模組收集與監控使用者運動過程中的生理數據，若使用者運動當下發生異常生理訊號時，將立即觸發運動安全規則庫與決策模組以確保使用者運動安全性。

本系統除提供一虛擬遊戲情境如圖 4 所示，可讓使用者 RGB 影像融入虛擬遊戲情境跟隨虛擬教練施作運動藉以提升復健的趣味性外，並且能透過諸如動作修正建議的運動指引、運動消耗卡路里、R 波間距、心率變異度分析(HRV)、即時心電圖、運動遵從性、心率等無線生理量測設備及 3D 體感攝影機即時監測，確實掌控使用者的復健執行程度(Lu et al., 2012; Clark et al., 2012; Ramchandani et al., 2008; Watters et al., 2006; Burdea, 2003)。

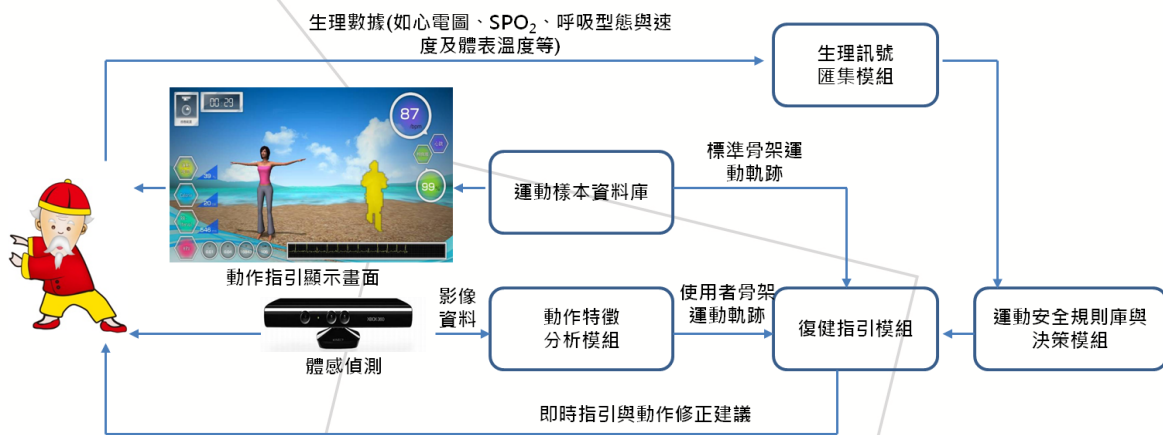


圖 3. 體感復健運動系統架構



圖 4. 體感復健運動虛擬遊戲情境介面

## 2.2 個人健康管理平台

遠距端的個人健康管理平台則整合居家端的體感復健運動系統、無線生理量測設備、VoIP 等技術，發展一套後端照護者所使用之監控平台，提供 1 對 30 之服務，監控平台提供 30 人同時上

線使用體感復健運動系統以進行不同目的之復健運動，個管師可同時監控 6 人運動實況。配合無線生理量測設備自動偵測之生理數據，系統自行運算使用者進行運動時可能產生危險狀況之風險值。當生理量測出現異常數值或系統計算之風險值偏高時，系統將自動警示照護端之個管師，個管師可透過體感復健運動系統所傳入之各種數值，透過 VoIP 與居家端即時連線，進行了解與處理。

由居家端體感復健運動系統中所傳入個人健康管理平台的資料，定義如下：即時運動資料包含生理量測資料（包含心電圖、心跳、血壓、呼吸、體表溫度等）與運動監控資料（包含運動相似度、骨架節點資料等）。其中心電圖 ECG 中，每秒 60 筆資料，資料量約每秒 1204 bits；骨架節點中，共有 15 個節點，每個節點有 x 軸、y 軸及 z 軸的 3 軸座標，每秒 30 張骨架資料，每秒鐘約有 1K 資料傳入；動作相似度中，為一個整數數字，表示動作相似度的百分比。

個人健康管理平台如圖 5 所示，分為應用服務、運算服務、儲存庫服務及整合服務。此平台透過整合服務的 Super Socket 串接模組與居家端體感復健運動系統介接，接收來自體感復健運動系統的各式生理量測資料及運動監控資料；透過所接收傳入的資料經由運算服務的骨架處理模組、心電圖(ECG)處理模組、心率(HR)處理模組、血壓(BP)處理模組、呼吸率(BR)處理模組及體表溫度(BT)處理模組分別進行資料傳輸頻率（次/秒）、資料量（Byte）及傳輸量（Byte/秒）的即時處理運算及統計分析；傳入的原始資料以及透過運算服務所得到的運算結果均可藉由儲存庫加以儲存紀錄，以便個管師隨時調閱使用者運動歷程；應用服務包括視訊模組、運動提示顯示模組、遵從度顯示模組及動作與生理訊號顯示模組，可於監控介面中顯示多人上線運動情況（如圖 6，包括多人運動的上線使用者骨架串流顯示視窗、視訊對話影音視窗、生理訊號監測視窗）；若有一使用者動作遵從度不足時，個管師可藉由視訊通話進行即時連線，進行立即了解與處理，如圖 7 所示。

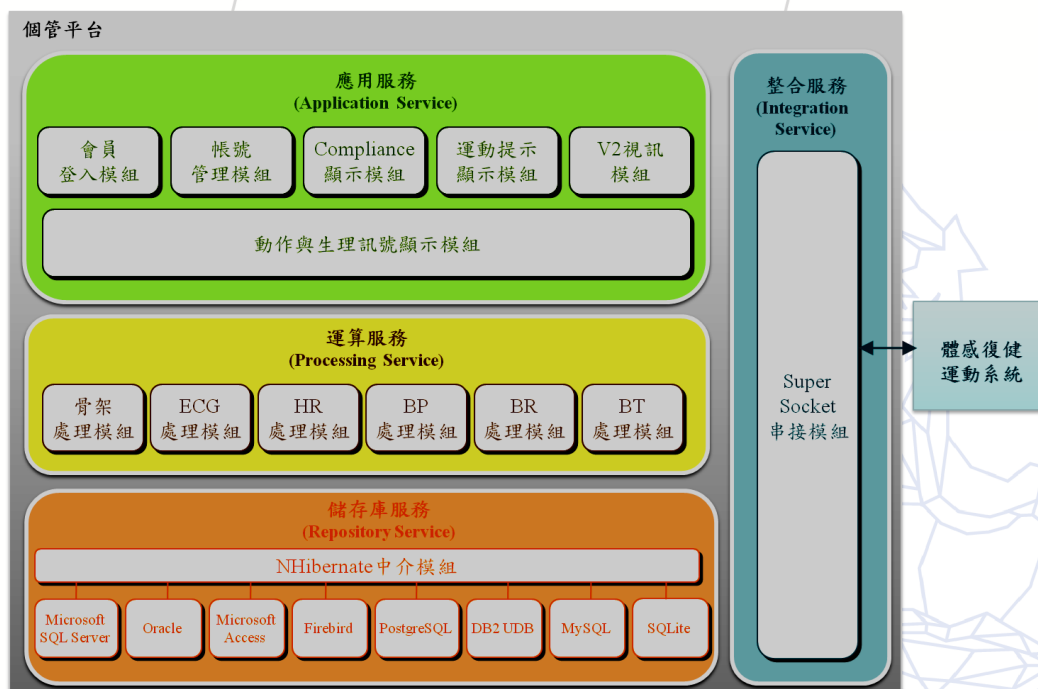


圖 5. 個人健康管理平台架構

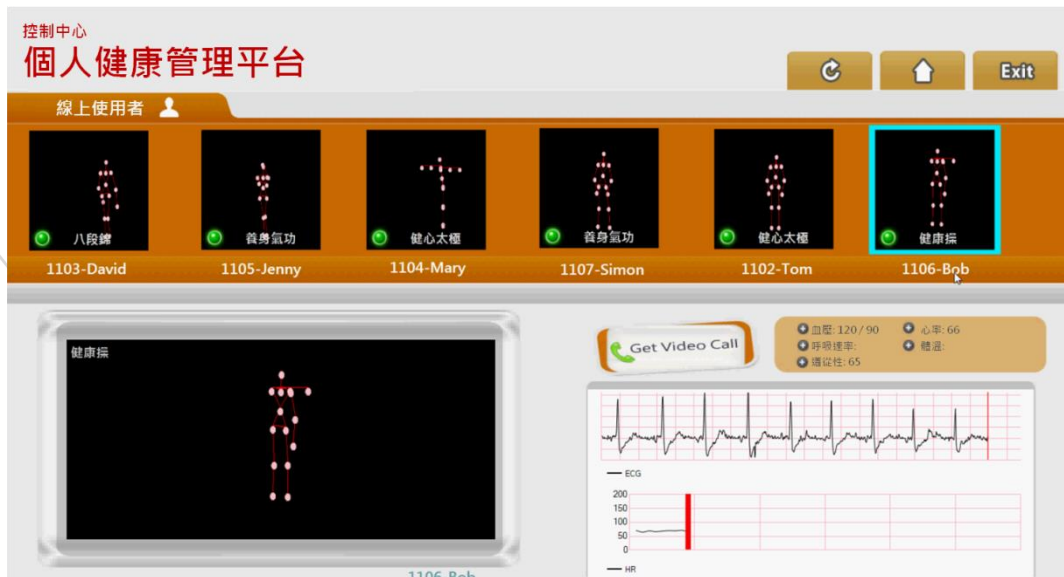


圖 6. 監控 6 人運動實況介面



圖 7. 視訊對話影音介面

### 3. 研究結果與分析

本節以體感復健運動系統之登階運動為例設計三項實驗，以驗證體感復健運動系統的運動效果、分析學習反應、瞭解使用者的接受度。透過這三項實驗，不僅為體感復健運動系統的運動效果評估建立了一種科學化的驗證方式，未來亦將實驗過程所蒐集到的數據可以更進一步的回饋到設計的內容當中。

#### 3.1 體感復健運動系統之運動效果

(1) 實驗目的：本系統的設計已經讓使用者在運動過程中，可以瞭解自己運動過程中實際上與系統中的虛擬教練動作的相似度，在此簡稱為體感遵從度（透過深度影像比對虛擬教練與作者：盧東宏 等

受試者的肢體骨架之 15 個節點位置穩合程度)，然而在達成多少遵從度的情況下，才能達到與傳統運動相同的效果，仍需要透過科學化的方式加以驗證。

- (2) 實驗方法：透過蒐集體感運動過程中使用者的熱量代謝需求，以分析使用者所達到的運動效果，並與傳統運動過程的熱量代謝需求相比較（本研究以美國運動學會 ACSM 之登階運動 VO<sub>2</sub> 消耗計算公式作為評比指標； $VO_2=0.2*f+(1.33*1.8*H*f)+3.5$ ，H 為登階箱高度；f 為節拍），以瞭解在多少運動遵從度的情況下，能達到與傳統運動相同的效果。透過招募健康的受試者 30 名，登階時分別使用 15 公分、25 公分與 35 公分的登階箱，進行體感復健運動系統。本系統在運動前中後，系統皆會進行指引，流程包含運動前的三分鐘休息，運動中虛擬教練亦指引受試者進行登階運動，完成登階後會繼續指引使用者進入三分鐘的緩和。整個過程中，受試者皆會配戴 VO<sub>2</sub> 測量儀器，以測量運動過程中的熱量代謝需求，運動過程中系統亦會即時計算使用者的運動遵從度。
- (3) 實驗結果：受試者招募的平均年齡 20 歲，健康男女生各 15 名，每位受試者在完成整體運動過程後，皆能透過體感復健運動系統與 VO<sub>2</sub> 儀器，取得使用者運動遵從度與 VO<sub>2</sub> 消耗量，經計算發現，當使用者的運動遵從度平均為 78% 以上時，其所產生的 VO<sub>2</sub> 消耗量會與傳統運動的 VO<sub>2</sub> 登階運動達到相同的熱量代謝。如表 1 所示，以整體受試者的登階平均結果而言，當體感遵從度為 79% 時，自 VO<sub>2</sub> 測量儀器所得到的熱量代謝 VO<sub>2</sub> 值 22.98 與傳統運動（利用 VO<sub>2</sub> 公式進行計算）所獲得的 VO<sub>2</sub> 值 22.66 相當近似。因此我們可以推論當運動姿態遵從度等於 79% 時，其運動效果即與傳統的登階運動效果相同。

表 1. 運動效果評估

登階箱高度	VO <sub>2</sub> 公式	VO <sub>2</sub> 測量儀器	體感遵從度
15 公分	16.92	17.24	82%
25 公分	22.66	22.34	77%
35 公分	28.41	29.36	79%
整體平均	22.66	22.98	79%

### 3.2 體感復健運動系統之學習反應

- (1) 實驗目的：瞭解年紀是否影響學習體感的反應時間。
- (2) 實驗方法：招募 62 名受試者，年齡 20 歲至 66 歲族群，皆進行相同的體感登階運動。過程中記錄使用者即時的體感遵從度。
- (3) 實驗結果：以受試者運動過程中，將每位受試者的體感遵從度獲得最大值的時間（若有兩次以上獲得相同的最大值，即以第一次的時間作為時間的記錄點）與受試者的年齡進行統計分析，以不同年齡層的年齡與反應時間來觀察趨勢，大致可觀察出不同的年齡層受試者之年紀對於學習反應時間有所影響，越年輕的使用者只需較少的學習反應時間，而較年長的受試者則需要更多的學習反應時間；20~29 歲者平均第一次得到最佳的體感遵從度的時間為 6 秒、30~39 歲者為 38 秒、40~49 歲者為 69 秒、50 歲以上平均為 117 秒，再以統計相關性進行分析，發現年齡與學習時間成正相關，相關係數達 0.678。

### 3.3 體感復健運動系統之接受度

- (1) 實驗目的：瞭解使用者對於體感科技的接受度。
- (2) 實驗方法：在受試者體驗完體感復健運動系統後，請受試者進行科技接受度問卷填答，本問卷主要參考 Davis 學者(1989)所提出的科技接受度模式(Technology acceptance model, TAM), TAM 問卷是一項有效用來衡量以電腦科技為基礎系統的使用者接受度評估工具，並已廣泛被使用在健康照護領域，例如以 web 為基礎的持續型學習系統、自我照護教育系統、遠距醫療應用等，問卷主要內容請參表 2，每題問項皆分為，同意、沒意見、不同意三種回答，而整體滿意度以單一問題（使用「體感復健運動系統」整體來說，我是很滿意的）進行調查。
- (3) 實驗結果：受試者為平均 46 歲族群，共 20 名，進行調查，有效問卷 30 份，結果呈現正向的接受；同意感知易用性達 100%；感知有用性達 90%；繼續使用意向達 83%；整體滿意度達 83%。

表 2. 「體感復健運動系統」使用者接受度問卷

構面	題目
感知易用性	學習「體感復健運動系統」功能對我來說是容易的
	操作「體感復健運動系統」功能對我來說是簡單的
	我認為「體感復健運動系統」的使用介面是清楚且容易瞭解的
	我認為「體感復健運動系統」的復健內容可依個人需求進行調整（例如登階的節拍）
	熟練的使用「體感復健運動系統」對我來說是很容易的
	我覺得「體感復健運動系統」是容易使用的
感知有用性	我覺得「體感復健運動系統」對復健訓練是有用的
	使用「體感復健運動系統」會增加復健者的復健效率（即更快地達到復健的目標）
	使用「體感復健運動系統」會改善復健者的復健成效（即更正確地達成復健的目標）
	使用「體感復健運動系統」讓復健者在復健時更得心應手
	使用「體感復健運動系統」時，復健者可以獲得該復健課程的指引
	「體感復健運動系統」會幫我紀錄與分析復健的狀況（例如生理狀況、心跳、心電圖訊號、卡路里消耗）
繼續使用意向	我覺得以後可以善加利用「體感復健運動系統」
	有機會的話，以後會協助推廣類似的「體感復健運動系統」
	有機會的話，將來會使用「體感復健運動系統」來協助復健的進行

## 4. 結論

本系統對於體感復健應用層面而言，旨在透過資通訊技術建立一套能夠讓病患在出院後持續進行安全的心臟復健運動，提出了以生理監測和回饋指引的方式，並透過與遠距照護中心的結合，



以及個管師一對多即時個人運動的監控管理，打造一安心、安全及有效的居家端復健運動環境，提供使用者個人化的豐富多元運動處方與心臟復健運動指引，讓病患於醫院中所訓練的最佳運動耐受基準能夠維持在一定的水準內，不致於讓病患因為回家後因為沒有持續運動導致耐受力快速衰退而造成病症復發的情形。

對體感技術發展與推廣驗測層面而言，如深度影像處理、骨架靜態動作辨識、串流動作辨識、動作相似性分析以及即時互動式運動回饋指引等，目前已技術授權廠商及申請多項多國專利；本系統亦成功促成並導入台灣三大指標型醫院參與服務概念驗證，截至 2012 年底體驗人次已達三百多人次。

未來規劃逐漸將此體感復健系統擴增至其他應用領域，如舞蹈瘦身領域、預防老年人跌倒領域、罕見疾病復健領域等等，藉以提昇國內體感產業應用於運動健康之軟硬體技術及應用內容發展綜效及效益。

### 參考文獻

1. Burdea, G. (2003). Virtual Rehabilitation-Benefits and Challenges. *Methods of Information in Medicine* 2003, 42(5), 519-23.
2. Clark, R. A., Pua, Y. H., Fortin, K., Ritchie, C., Webster, K. E., Denehy, L., & Bryant, A. L. (2012). Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait Posture*, 36(3), 372-377. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.03.033
3. Kennedy, M. W., Schmiedeler, J. P., Crowell, C. R., Villano, M., Striegel, A. D., & Kuitse, J. (2011). *Enhanced feedback in balance rehabilitation using the Nintendo Wii Balance Board*, 2011 13th IEEE International Conference on e-Health Networking Applications and Services, Columbia. doi:10.1109/HEALTH.2011.6026735
4. Lloyd-Jones, D. M., Adams, R. J., Brown, T. M., Dai S., Simone, G. D., & Ferguson, B. (2010). Heart disease and stroke statistics-2010 update. A report from the American Heart Association. *Circulation Journal of the American Heart Association*, 121, 46-215. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192666
5. Lu, T. H., Lin, H. C., Lee, Y. H., Chen, R. R., Chen, H. L., Chang, S. Y., Chen, J. D., Wu, B. R., & Wu, T. H. (2012). *A motion-sensing enabled personalized exercise system for cardiac rehabilitation*, 2012 IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, Beijing. doi:10.1109/HealthCom.2012.6379382
6. Lu, T. H., Lin, H. C., Lee, Y. H., Chen, R. R., Tseng, Y. H., & Wu, B. R. (2011). *An innovative personalized cardiac rehabilitation care solution*, 2nd Annual AMA-IEEE Medical Technology Conference, Boston.
7. Ramchandani, A., Carroll, K., Buenaventura R., Douglas, J., & Liu, J. (2008). *Wii-habilitation increases participation in therapy*, IEEE conference of Virtual Rehabilitation, Canada. doi:10.1109/ICVR.2008.4625132

8. Watters, C., Oore, S., Shepherd, M., Abouzied, A., Cox, A., Kellar, M., Kharrazi, H., & Liu, F., Otley, A. (2006). *Extending the use of games in health care*, IEEE conference of Virtual Rehabilitation, Virginia.

## **Motion-Sensing Based Exercise Management Tele-System for Multi-User Cardiac Rehabilitation**

\*T-H. Lu, H-C. Lin, R-R Chen, Y-L. Chen, Y-H. Lee, Y-H. Tseng, H-L. Chen

### **Abstract**

This paper describes a remote motion-sensing based exercise management system. This multi-user cardiac rehabilitation system includes the use of various aerobic exercises and features an integrated physiological sensing system that provides live coaching feedback. The home-end of the system not only provides instruction and exercise coaching, it also performs motion similarity analysis in real-time while it simultaneously transmits data to a telecare center including the user image, a live streaming image of the exercising person's skeletal positioning, and physiological information. Using the combination of the home-end and the remote-end systems as well as real-time care management by a one-to-multiple personal exercise monitor, this system can provide the user with a variety of personalized exercise prescriptions and real-time cardiac rehabilitation coaching in a relaxed, safe and effective rehabilitation exercise environment. Therefore, by using this telesystem during cardiac rehabilitation the patient can not only be monitored for compliance with the rehabilitation exercise prescription, but also can be monitored for the long-term and evaluated to see if the patient is reaching the predicted goals and intensity of the rehabilitation exercise prescription in a way that improves patient compliance.

**Keywords:** Motion-sensing rehabilitation exercise system, Care service platform, Cardiac rehabilitation

