基於無線感測網路下即時心律變異量測系統之設計與實作

The Implementation of Realtime HeartRate Variability Measurement System

謝文川 [a], 林家威 [b*], 陳怡靜 [b], 陳泓銘 [b], 陳虹君 [b], 蕭惠如 [b], 顏振哲 [b]
Wen-Chuan Hsieh [a], Jia-Wei Lin [b*]
[a] *國立應用科技大學資訊管理學系*
[b] *高雄醫學大學醫療資訊管理學系*
[*]*通訊作者: 林家威*, u9514046@cc.kmu.edu.tw

摘要

本研究核心為一即時性心率變異測量系統之研製，而此研究主要是利用心率帶以及無線感測技術來對人體做非侵入式的量測，並利用 ANT 無線感測裝置傳送與接收訊號於電腦上取樣與分析，透過微軟程式開發工具 Java 將受測者的心率值與心率圖表現出來，再儲存於後端的 Oracle 資料庫做一個整理和分析，並由此來探討在運動的時，即時心率變化與外在環境因素影響之相關性。

本研究的主要重點內容有三:(1)即時測量與收集數據(2)心率變異數分析(3)結合資料庫整合分析。最後，要強調的是本計畫的技術核心，除兼併傳統心率帶測量心跳外，並著重在即時性測量運動狀態下的心率狀況，評估人體的身體狀態分析與心肺功能優劣，並結合資料庫的部分可以追蹤病例紀錄，設計出具有客觀的心率變異測量系統，再利用 Java GUI 圖型的使用者介面設計，使自行研製之心率變異測量系統具有能夠自我診斷功能與友善的人機介面，可供醫師臨床診斷與未來居家保健使用。

關鍵字：心率變異分析、無線感測、R-R interval

1、研究動機與目的

近幾年以來，醫療技術的發達讓人口趨於高齡化之現象，而慢性疾病與文明病也伴隨著出現，如果可以趁早養成運動習慣，這些慢性病與文明病都是可以提早預防的；也就是說：運動，可以減緩你生理上的老化速度，讓你遠離慢性疾病與文明病的威脅。

人體的心跳率會受到身體姿勢、運動、情緒與體溫等因素的影響。透過心率的測量，可以評估人體的身體狀態，以及疾病的預防，還可以判定心肺功能優劣，作為運動強度指標及評估運動訓練效果，是相當重要的人體健康情況的指標（林正常、王順正，2002）。[18]有研究報告指出對人體而言，心率變異性（HRV）不僅可以當作運動強度指標同時也可以預測”身體透支”情況的最有效指標，人的身體透支會導致人體無法對外在和內在壓力做出適當的機能去自我調節。如患有冠狀動脈疾病、心肌梗塞等疾病的人群，其心率變異度會比身體健康的人還要低。

根據以往針對 HRV 的量測，大部分都是“有線“的設備，在運動的活動中，產生了距離與空間自由度的侷限，有些運動又是屬於劇烈運動(動作大或快速、例：劍道)。因此，為了應映這方面的考量，於是開始有了所謂“無線感測裝置“，不用透過線路就可以直接發送給儀器來做測量與記錄，使得 HRV 相關的研究可以做一個延伸，測量的準確性跟參考度上也比較高。但目前為止，國內有關劍道方面的研究的論文佔少數(陳安寶，1993、陳義隆，2007、 陳翠娟，2007) [4,5,6]，能提供的資料有限，主要研究生物運動力學再探討技術層面上，本研究希望藉由自由對練的方式，觀察 HRV 的即時量測探討劍道訓練可帶給劍道選手在心臟的負荷力與體力是有相互關係。因此，本研究將以大專生劍道選手為例，測驗自由對練前後，心率正常與心率不正常的測試者在心跳速率、RR-interval 上的差異比較，利用儀器即時測量，進而藉由系統數據觀察心率變異度對於體能狀況之間的影響。

2、文獻探討

2.1、無線感測網路（Wireless Sensor Network）

2.1.1、何謂無線感測網路

無線感測網路大致上是於 2000 至 2001 年間開始興起，最早是一項美國加州柏克萊大學（UC Brkeley）與美國國防部共同研究的研究企畫，研究人員開發出一個體積很小的感測器，欲將這個感測器透過無線傳輸的方式，應用於軍事的用途上。但最根本無線感測網路主要於多個資料收集器或是無線感測器，將所收集到的資料，一一傳回接收端做一個分析與應用，利用這些器材，可以隨意的擺放所需的感測器，這將可省去可觀的網路線材費用。[22]而無線感測網路所需要最基本架構如 Figure1 無線感測網路基本架構圖，其相關方面則不在此贅述。

一般無線感測器網路系統架構如 Figure2 所示，首先將大量的感測器(SensorNodes)散佈在待感測區域來蒐集各種環境資料，再藉由無線網路將蒐集的資訊透過無線資料蒐集器傳回給管理者或使用者手中。由於感測器可能在任意散佈的環境下使用，每個感測器並不知道自己與其他感測器的相對位置，因此感測網路必須使用自我組態(self-organization)的協定，將感測器之間自動組織出一個通訊網路，使得所有感測區域中的感測資料皆能透過自我組態所建立的網路，將資料送到無線資料蒐集器。

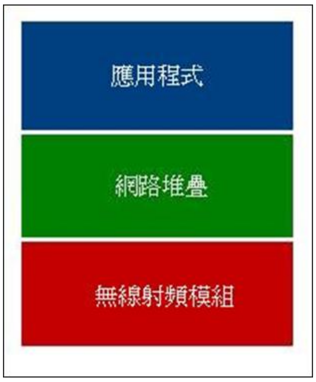

Figure 1 無線感測網路基本架構圖[本研究整理]

2.1.2、何謂無線感測網路裝置

無線感測裝置目前應用的種類相當多，有壓力感測裝置、三軸加速感測裝置等。無線感測裝置設計本身需要有感測單元、處理單元、傳輸單元與電力單元，利用感測單元感應周遭環境變化後，並將讀取到的類比訊號 ADC 轉為數位訊號送至處理單元，由處理單元整合併統一分析資訊後，經由傳輸單元送至另一感測器或是主要接收端，而整個過程由電力單元統一供應電力，目前最常使用的供電方式為電池居多，主要是因為體積與重量因素，若改採用直接電源供應，則又失去應有的無線的好處。

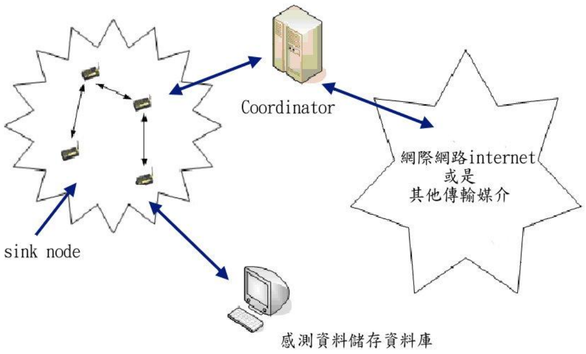

Figure 2 無線感測系統基本架構

2.2、ANT **無線感測網路標準**

ANT 為一個運行於全球 ISM 規範中的 2.4GHZ 頻率上的無線感測網路協定，擁有下列幾項特性：

- 簡單
- 沒有委員會的限制
- 超低功耗
- 高度資源優化
- 網路靈活性與擴展性
- 低成本

目前 ANT 由於全球單車活動的興起，吸引如 Sunnto、Garmin 等廠商紛紛投入 ANT 的行列，以 ANT+ Sport 供應製作運動器材感測裝置的廠商一個更佳的開發環境與規範，而 Rod Morris[1]更指出若是以多節點的樹狀、星狀等複雜網路，以現在常用的感測網路，皆無法隨意的加入或離開，而 ANT 正好可以利用本身一個高度的靈活性來輕易的解決這個問題。郭亞利[2]。認為利用 ANT 無線感測網路協定的簡易與容易操控的特性，不僅僅降低了在無線感測網路協定中的開發成本，更可利用晶片本身的省電與休眠模式來達到節能的效果，在對於智慧型家居、感測網路、工業自動化與場所監控上，是一個理想且節省能源的解決方案。

2.3、心律變異度分析

2.3.1、心律變異的定義

心率變異分析也稱為心率變異度分析 Heart rate variability (HRV)，是一種量測連續心跳速率變化程度的方法。心率是指心臟跳動的頻率，單位是 BPM (Bit Per Minute),而變異度則是每個心跳時間間格上的差距,因此心率變異度就是心臟跳動的頻率與心跳時間間隔上的程度變化。大量研究認為，心率變異度是自律神經系統與心血管系統相互制衡的關係。其實心率會有週期性之變化，此現象早在十八世紀即曾被研究過，Hales 在 1733 年首先報告心率與血壓是有變異性的，他也發現呼吸週期、血壓和心跳間期之間有相關性。[28]

2.3.2、HRV 在運動上的應用

直接測量運動時的心跳率變化，是評量運動心跳率的最好方法，也是瞭解運動心跳率變動情形的最有效方式。

有研究(De, 1992; Galetta, 1994)報告指出，「經長期接受有計劃的運動訓練者，其運動訓練後之有氧運動能力不僅有顯著加的效應，同時副交感神經的活性也有轉變為佔優勢的趨勢」，由此顯示運動訓練具改善心臟副交感神經系統調節能力的效益。

運動強度的不同也會對 HRV 產生不同的變化，Pichot 等人(2000)提出高強度訓練可改變心臟自律神經的平衡狀態，這種高強度訓練結果會使交感神經的活性高於副交感神經之活性。杜鎮宇（2002）[19]提出短期之規律運動訓練為改善安靜狀態或運動中之心臟自主神經活性的調控狀態，是以高強度的運動訓練的效果較佳。換言之，高強度的運動訓練對安靜狀態及運動中之交感神經有減弱作用及對副交感神有增強作用。

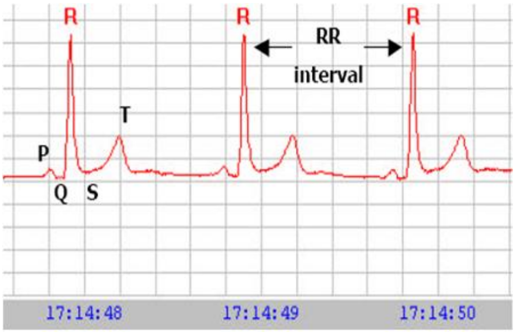

Figure 3 RR interval 心率變異度

2.3.3、HRV 與疾病之關聯

過去多年來，醫界的臨床研究發現 HRV 降低和年紀增加、自律神經系統失調等都有很大關係。國外醫界有許多臨床報告指出 HRV 和疾病的關係，以下是一些研究報告的結果：

- 心臟與心血管疾病

原發性高血壓病人與心肌梗塞患者，其迷走神經的衰減會反映在心率變異上，因此心率變異亦可作為其預測指標。

- 神經病學

心率變異可以反映出各種病患的中樞性自主神經失調，譬如帕金森氏症、慢性酒精中毒、四肢麻痺等。

- 糖尿病

糖尿病人引發的心肌症將會降低心率變異。而心率變異的降低往往在臨床病症產生之前，因此心率變異可以作為糖尿病早期預警的指標。

3、研究方法與架構

3.1、系統架構

Figure4 為本研究提出之基於無線感測網路下即時心率變異量測系統之設計與實作的架構圖，是由人體上穿戴的心跳速率感測裝置發出無線訊號，利用個人電腦主機上配有透過所謂的 RX/TX 連結到 ANT 的無線感測裝置，接收無線訊號並透過本研究撰寫的 Java 語言建立而成的程式分析其訊號格式，在將訊號送至另一應用程式，接收感測的數據將即時的將心跳紀錄顯現在電腦上，透過友善的 GUI 圖形使用者介面去檢視並且記錄出其心律圖，以求達到即時的測量並且可以馬上分析資料，最後將資料儲存到後端 Oracle 資料庫的部分，可以做即時的查詢做為後續追蹤診治。本系統也透過由撰寫的 Java 程式語言設計出表單來方便建立使用者的資料，更新 Oracle 內的使用者資訊。[25]

3.2、研究方法

本研究的目的在於測量運動中受測者的心率值，找出心率帶量測出之訊息並且將其數據個別探討與分析，達到心率的即時量測，最後與後端資料庫做一個整合

和連接，使系統的結構更加完整。

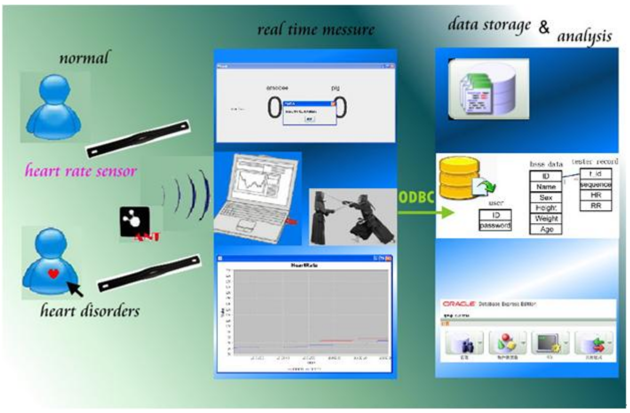

Figure4 基於無線感測網路下即時心率變異量測系統架構圖[本研究整理]

本系統分為三個部分去做研究與設計：第一個部分，建立與無線感測裝置與 ANT 接收器的連線，運算且分析訊息並取得心率帶之 HR 值傳送到電腦介面上。第二部分使用 GUI 圖形化介面設計，建立簡單的人機介面，使系統使用起來更加人性化，並且使用 JFreechat 套件使即時量測之心率值同步顯示於介面。最後，整合後端 Oracle 資料庫儲存所量測之數據資料，做為完整的查詢與分析。

系統中使用之 Suunto 心率帶根據最高標準設計，以確保可靠質量。和以往傳統心率帶比較起來，最大的差別在於傳輸協定上的差異，Suunto 心率帶是使用 ANT 編碼的傳輸方式，不易受到其他電磁波的干擾，運作壽命長達 2500 小時。

Figure5 心跳速率感測裝置[本研究整理]

Figure6 實際佩帶位置[本研究整理]

3.4、數據分析

Figure7 為使用 JFreechart 所呈現出的即時動態圖，紅色的線條代表一號受測者即時量測到的 HR 值，藍色代表二號受測者，HR 以及 RR 值都有即時動態圖的展現。由於即時動態圖並不能夠提供使用者確切的數值，因此也有及時顯示所測到的數值的介面。如 Figure8、Figure9 所示。

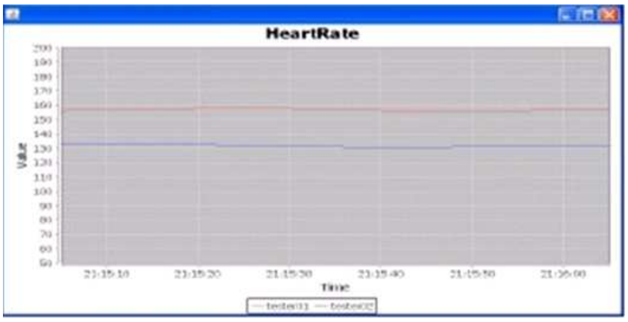

Figure7 HR 即時動態圖表

為了預防過度運動的情形發生，相對應的警示功能就顯得特別重要。本研究中，HR 值低於 100 時為黑色;100~400 之間微黃色;高於 140 時則會呈現紅色的狀態。

使用者：user01

tester01第12次測試 tester02第13次測試

Heart Rate： 163 123

Figure8 HR 值

使用者：user01

tester01第12次測試 tester02第13次測試

R-R interval： 106 477

Figure9 RR 值

時域分析法是將所有的心跳間期做各種統計學上計算，以求得各種變異度的指標，一般常用者如下：

1.心跳間期的平均值(Mean)

- 將所有心跳間期加以平均。

2.心跳間期標準偏差 (Standard deviation，SD)

- 正常心跳間期的標準偏差，即變異數的開平方，其標準差愈大，HRV 愈高。

3.心跳間期的變異係數（Coefficient of variation，CV）

- CV（RRI）＝SD（RRI）/mean（RRI）

4.相鄰正常心跳間期差值平方和的均方根（RMSSD）

5.相鄰正常心跳間期差值超過 50 毫秒的比例（pNN50%）

- 1991 年 Ewing 等證實 pNN50%是反應副交感神經的可靠指標。

其中 PNN50%為判斷一個人的心率變異度的好壞標準，PNN50%的值越高代表此人的心率變異度能力越好，越低則反之。

total number of R peaks:285.0
shortest beat (sec):99.0
longest beat (sec):649.0
RR interval mean (sec):48.36
RR interval std dev (sec):4195.52
PNN50 (%):56.49%

total number of R peaks:292.0
shortest beat (sec):0.0
longest beat (sec):28160.0
RR interval mean (sec):78.15
RR interval std dev (sec):5634.65
PNN50 (%):46.23%

Figure10 時域分析值

4、討論

4.1、系統信度

SUUNTO 心率帶測量精確性極高，且完全防水,它是測量心率的最有效工具。研究表明，如果您在鍛煉過程中停下來測量脈搏，心率會下降 10-20 次／分，與其估計鍛煉強度，不如準確地了解鍛煉強度。

在本系統使用的 SUUNTO Heart Rate Transmitter Belt 的心率帶準確度上，我們使用的心率帶和 Polar 心率帶的量測原理是一樣的，其量測出的心率數值已得到實驗與證實，現有的醫學報導[27] 將 Polar 測出的 R-R interval 和 Reynolds v8.4 測出的 ECG 部分去做分析，其相關性約在 0.927 到 0.998，證明兩者間有很高的相關性。因此，由心率帶所量測出的心率數值是有一定的準確性的。

4.2、系統效度

在系統效度的方面，分為兩方面：即時量測以及利用無線代替有線的部分。

- Real time

現有的心率研究或產品中，普遍都是在探討運動前和運動後的是後分析，只能歸納出運動前後的變化，而不能做到即時分析。假如一個受測者在運動過程中的一個動作出現的心率的變化，而在運動過後才加以分析，並不能得到為什麼在運動期間出現這樣的變化。因此本研究設計出一套可以及時監測心率的系統，即使在運動過程中，也可以達到即時量測、即時分析的作用。

- Wireless Sensor

市面上普遍使用的心電圖測量是有線的，會有空間上使用的限制，本研究使用現在也廣受研究使用的無線感測網路代替有線的心電圖，使受測者在使用時更加簡單方便以及更有靈活性。

5、結論與未來展望

隨著健康體系的發展，人類對於健康設備的要求越來越高，以往的醫療設備受到有線的限制，無法做到活動中的即時測量。許多運動選手本身具有淺在性危險的病因,在運動時可能造成許多無法預期的狀況。本研究針對此狀況模擬檢測運動員在運動時的心率變化，探討與疾病的關聯，可提供一個即時的測量去分析動態中的心率變化，期望未來運用在臨床醫學上，提供醫師一個有效的健康指標系統。

本系統擁有以下優勢：

- 無線感測網路取代有線網路

使用無線感測網路的方便性使整個系統使用過程，不需複雜線路的牽引，更在使用上沒有因線路問題而有使用地點的限制。

- 超低功耗感測單元

整合超低功耗的 ANT 無線感測網路環境，打造出真正可以長時間不需更換供電單元的感測裝置。

- 適用於運動環境與診療場所

由於本系統整合無線感測網路，因此測量不再是侷限於固定空間，更可以是運動環境使用，

- 實驗架設容易

由於採用的心率帶方便佩帶，且利用無線感測網路不須線材的特性，使本系統在使用環境上更佳的便利且容易。

- 追溯病史

由於採用 Oracle 資料庫儲存大量心率資訊，且分析運動動作與心率的相關性，使本系統能提供方便查詢受

測者過往測量的歷史紀錄。

- 警示功能

在受測者運動過程中量測到心率大於 100 以及大於 140 時，會出現顏色的改變提醒該受測者是否達到運動效果以及警示其心率問題。

在未來，針對這套系統的改善，提供更完善的量測服務以及病史追蹤，期待不久的將來可以達到以下幾點：

- 多蒐集實際心率紀錄資料，並加以分析，增強後端資料庫的實用性以及可靠性。
- 整合病理上的資訊和分析後心率資訊做配合。
- 應用於臨床醫療上，利用此系統設計協助醫師即時診斷病患在何種時間點下的狀況與動作造成心率異常。
- 活用於復建病人，提供一個運動強度的指標。

參考文獻

[1] Rod Morris(2008)超越網路標準，電子工程專輯 http://www.eettaiwan.com/login.do?fromWhere=/ART_8800520194_681521_TA_81dc50e2.HTM，上網日期：97/11/04

[2] 郭亞利(2008)基於 ANT 協議的無線收發器 nRF24AP1 及其應用，國外電子元器件期刊，2008 年 第一期

[3] 陳俊憲(2003) 不同溫度的飲用水對運動員心率變異度之影響 碩士論文

[4] 陳安寶(1993)我國劍道不同段位選手面部進擊與退擊動作之生物力學分析 碩士論文

[5] 陳義隆(2007)日治時期臺灣武道活動之研究 碩士論文

[6] 陳翠娟(2007)十公尺衝刺與跳繩訓練對青少年劍道選手下肢動力、攻擊速度極反應時間之影響 碩士論文

[7] 林佳皇(2005) 中甲組籃球運動員心率變異度之效應 碩士論文

[8] 顏克典(2005) 間歇低氧訓練對有氧適能與心率變異性表現之影響 碩士論文

[9] 陳俊憲(2003) 不同溫度的飲用水對運動員心率變異度之影響 碩士論文

[10] 彭立帆(2005) 無線行動式心電圖即時監測裝置 碩士論文

[11] 劉秀玲(2005)國小兒童田徑運動員與一般兒童心率變異度之比較

[12]傅傳志(2005)以心率變異與體溫特性評估環境與精神壓力對自律神經系統調節之研究 碩士論文

[13]教育劍道之科學2-6松村司郎著藉由劍道克服(身體二重性) http://fska.org.tw/F.writings_02-16.htm

[14]劍道鍊士六段　黃士銘 氣、劍、體一致〔心、氣、力一致〕 http://www.jskendo.org.tw/kendo/56-2008-09-05-07-33-37.html

[15]陳翠娟(Tsui-Chuan Chen);黃雅陵(Ya-Ling Huang);王月琪(Yueh-Chi Wang) (2007) 劍道攻擊速度訓練對新陳代謝反應之探討 2007第九期

[16]徐維聯;楊漢琛(2003) 劍道運動的起源與演進過程之探討 2003 第六十六期

[17]陳安寶(1999) 劍道運動的起源與演進過程之探討 1999第七期

[18]林正常、王順正(2002)不同強度心跳率控制跑步訓練對心肺適能影響之研究

[19]杜鎮宇（2002）不同強度的規律運動訓練對人體安靜與運動狀態下心臟自主神經功能的影響

[20]Dynastream Innovations Inc.,(2007)ANT Message Protocol and Usage,Canada:Dynastream Innovations Inc.

[21]林必寧(2006)「220-年齡」可以有效推估最大心跳率嗎？，運動生理週訊電子報，第214期，http://epsport.ccu.edu.tw/epsport/week/show.asp?repno=214，上網日期：97/11/11

[22]徐子明、翁嘉德、朱南勳、吳善同、張奇著，2008出版，無線感測網路(WSN)之新興商機研究

[23]http://www.energymedicine.org.tw/pdf_files

[24]http://163.13.129.217/specialtopics/JAVA/10-Articles/2005sep16JavaIDE.doc

[25] Oracle http://www.oreilly.com.tw/preface/111.pdf

[26] 姚景升(2002) 同步量測心電圖和脈波儀器之設計製作和心率變異度與血壓變異度之分析 碩士論文

[27]http://d.wanfangdata.com.cn/NSTLQK_NSTL_QK8686847.aspx

[28] S. Hales, "Statistical Essays," Vol II. Haemostaticks. London: Innings & Manby & Woodward, 1733