

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

網頁式心電圖訊號擷取分析系統之建構與應用

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-216-011-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：中華大學生物資訊學系

計畫主持人：曾文慶

共同主持人：謝瑞建

計畫參與人員：謝士明、蔣家正、楊雅筑、趙怡軒、陳朝慶、詹裕仁

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

網頁式心電圖訊號擷取分析系統之建構與應用

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2213-E-216-011

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：曾文慶

共同主持人：謝瑞建

計畫參與人員：謝士明、蔣家正、楊雅筑、趙怡軒、陳朝慶、詹裕仁

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學生物資訊學系

中華民國 94 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

網頁式心電圖訊號擷取分析系統之建構與應用

The Construction and Application of a Web-Based ECG Signal Acquisition and Analysis System

計畫編號：NSC 93-2213-E-216-011

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：曾文慶 中華大學生物資訊學系

共同主持人：謝瑞建 中華大學生物資訊學系

協同主持人：謝士明 為恭醫院院長

計畫參與人員：蔣家正、楊雅筑、趙怡軒、陳朝慶、詹裕仁 中華大學資訊工程學系

一、中文摘要

心電圖是最常用來診斷各種心臟疾病的生醫檢驗方法。然而由於商用心電儀製造商均使用專屬格式處理心電圖數據，使得不同廠牌心電儀間互不相容，不但阻礙了病人舊有心電圖資料之交換與運用，且這些專屬格式使得研究人員無法直接取得原始的心電訊號數據，進行這些數據與各種心臟疾病間之相關性分析。

考量上述情形，為了能取得供研究用的原始心電圖數據及推動開放式的心電圖檔案格式，本研究設計了一組網頁式心電圖訊號擷取分析系統。本系統主要由兩個部分組成：硬體部分包括個人電腦與數據擷取裝置；軟體部分則包含網頁式心電訊號擷取介面，儲存心電圖資料的關聯式資料庫，管理整個系統的網頁式介面及一組以 PHP 及 Matlab 開發的心電圖格式轉換，數據分析與圖形顯示工具程式。

本研究提出一種新的複合式小波轉換法，結合小波包分析(wavelet packet analysis)及離散小波轉換(discrete wavelet transform)，以 MATLAB 開發一個 R 波偵測程式。對急性心肌梗塞(Acute myocardial infarction, AMI)、高血鉀(Hyperkalemia)及心房顫動(Atrial Fibrillation, Af)病患之心電訊號數據測試結果顯示，此方法對正常人及上述三種心臟疾病之 12 導程 ECG 中 R

波偵測的敏感度(sensitivity)依次為 100%、99.51%、99.72% 和 99.65%，而正確率(positive predictive value)依次為 100%、99.46%、99.66%、99.88%。此 R 波偵測程式不管在 ECG 訊號有基線漂移或參雜有雜訊的狀況下亦能準確的偵測 R 波，且適用於 ECG 的任何一個導程及各種的心臟疾病。同時，此程式在單一導程的準確率也很高，未來亦可應用在 Holter ECG 上。

關鍵詞：心電圖、心電圖格式、訊號擷取、小波包分析、離散小波轉換、高血鉀症、心肌梗塞、心房顫動

Abstract

Electrocardiogram (ECG) has been the most commonly used biomedical test for the diagnosis of various heart diseases. However, due to the use of proprietary data formats in almost all the commercial electrocardiograph, ECG's so obtained are not compatible among different brands of electrocardiograph manufactures. This not only makes the exchange of patient's ECG records difficult and inefficient, but hinders the research work in the analysis of relationship between ECG data and various heart diseases.

To facilitate the acquiring of raw ECG data for research work and to promote the use of open ECG file format, we design a

web-based ECG acquisition and analysis system in this study. The system has two major components: one is the hardware part, which includes a personal computer and a data acquisition device; the other is the software part, which includes a web-based data acquisition interface, a relational database for storing ECG's, a web-based management interface and a set of tools developed in PHP and MatLab for format transform, data analysis, and graphic representation of ECG records. The collected data then can be analyzed using the programs in the Matlab-based toolbox to search for parameters which are ECG related characteristics for various heart diseases.

In order to analyze the features of ECG for various heart diseases, an R wave delineator was developed in MATLAB, which used a novel hybrid wavelet transform method (includes wavelet packet analysis and discrete wavelet transform) to detect R waves. The results showed that the sensitivities of R wave detection were 100%, 99.51%, 99.72%, 99.65% for normal, AMI, Hyperkalemia, and Af ECG's respectively; and the positive predictive value of R wave detection were 100%, 99.46%, 99.66%, 99.88% for previous four categories of ECG records. The algorithms developed in this study can be applied directly to clinical 12-lead ECG records for waveform analysis with high accuracy of R wave detection in various leads and diseases, regardless of interferences embedded in an ECG record such as baseline wandering, muscle contraction noise, and patient movement. The R wave detecting tool can also be applied to Holter ECG systems for waveform analysis because of its robust ability for processing single-lead ECG signals.

Keywords: Electrocardiogram, ECG format, Signal acquisition, Wavelet packet analysis, Discrete wavelet transform, Hyperkalemia, Acute myocardial infarction, Atrial Fibrillation

二、緣由與目的

目前商用心電儀均使用專屬格式

(priority format)儲存心臟電位變化訊號產生之數據，要解讀分析這些心電訊號數據，就必須使用該廠商的專屬瀏覽器。這種以專有格式處理心電數據之方式，使得不同廠牌心電儀互不相容，阻礙了病人舊有心電圖資料之交換與運用，往往須做不必要的重複量測，不但浪費醫療資源，無法充分利用病人原有病歷，且有時還會延誤了診療的最佳時機。更有甚者，專屬格式使得研究人員無法直接取得原始的心電訊號數據，進行這些數據與各種心臟疾病間之相關性分析，改進目前應用心電圖來判定相關心臟疾病之靈敏度(sensitivity)與專一性(specificity)。這使得目前心電圖所能提供之資訊，仍侷限於原心電儀廠商所提供瀏覽器分析之參考結果，其餘的就全須仰賴臨床醫師之經驗了。

本研究之目的，即是以歐洲所推動之 SCP-ECG (Standard Communications Protocol for Computer-Assisted Electrocardiography, 2000; Open ECG Project, 2005)開放式心電圖標準格式為指標，設計一套以網頁為介面的心電圖擷取分析系統，內含心電訊號擷取裝置，網頁式心電訊號擷取介面，心電圖的關聯式資料庫，管理整個系統的網頁式介面及一組以 PHP 及 Matlab 開發的心電圖格式轉換，心電圖圖形顯示及心電圖數據分析之工具程式。本系統可提供臨床醫師即時的心電圖作為診斷之參考。對研究人員而言，除了提供寶貴的心電圖原始資料供分析外，本研究也開發心電圖相關特徵參數(Porter et al., 2001.)之萃取軟體，取得心電儀量測所得數據中之特徵參數，作為進一步開發診斷系統用。

三、研究方法

網頁式心電圖訊號擷取分析系統之架構如圖 1 所示。以心電圖資料庫與心電訊號分析系統(ECG Database and Analysis System, ECGDAS)為核心之架構，前端為心電訊號擷取裝置，負責病人心電訊號之量測；資料庫伺服器負責心電圖之儲存；使用者端則經由網頁式介面，提供心電圖格式轉換，瀏覽與分析之功能。

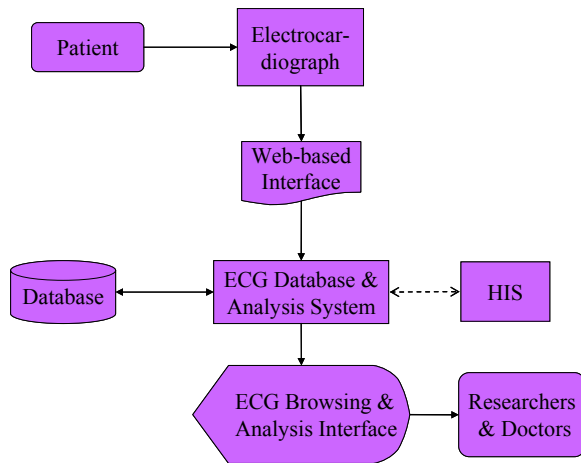


圖 1 網頁式心電圖訊號擷取分析系統架構

(一) 心電訊號擷取

由生訊科技股份有限公司(台北市)開發，內含感測器、濾波器、放大器、安全電路及類比數位轉換器之 12 導程心電訊號擷取裝置(BEST-B728A25A-12C, 圖 2)之組成元件如圖 3 所示。

操作 12 導程心電訊號擷取裝置時，使用者經由本研究開發之網頁式心電訊號擷取介面設定各項參數，經數位化後之心電圖數據經由 RS232 介面傳輸至電腦，進行後續之儲存、管理及分析。



圖 2 12 導程心電訊號擷取裝置

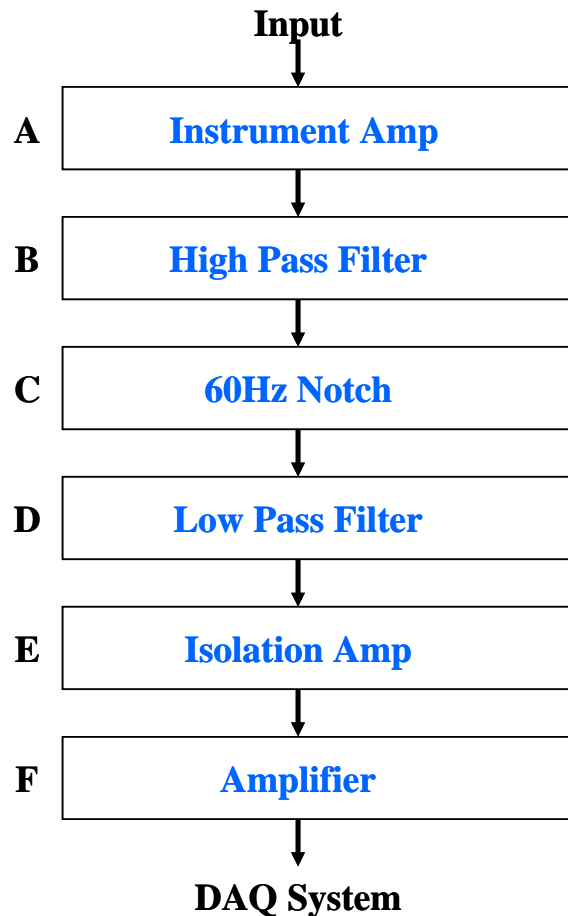


圖 3 心電訊號擷取裝置之組成元件

各組成元件之功能如下：

- A. Instrument Amp(放大器) --- 輸入放大,使用 1000 倍的放大倍率.
- B. High Pass Filter(高通率波器) --- 截止頻率為 0.159Hz,目的是濾除低頻的直流準位,避免訊號的飄移,使得心電訊號能在同一準位上.
- C. 60Hz Notch(帶拒濾波器) --- 設定去除 60Hz 的雜訊.
- D. Low Pass Filter(低通濾波器) --- 設定截止頻率為 150Hz,去除較高頻的訊號,如肌電訊號等.
- E. Isolation Amp(隔離保護電路) --- 避免受測者遭受到電流的傷害.
- F. Amplifier(反向放大電路) --- 將隔離後的訊號放大.

(二) 心電圖資料庫

資料庫系統以 Apache、PHP、MySQL 開發，採用三層式架構：第一層為 MySQL 資料庫與檔案目錄系統；第二層以 Apache

與 PHP 為系統之核心，負責與其他元件的溝通及邏輯運算，心電圖的分析與格式的轉換也在此進行；第三層為使用者瀏覽界面(圖 4)。

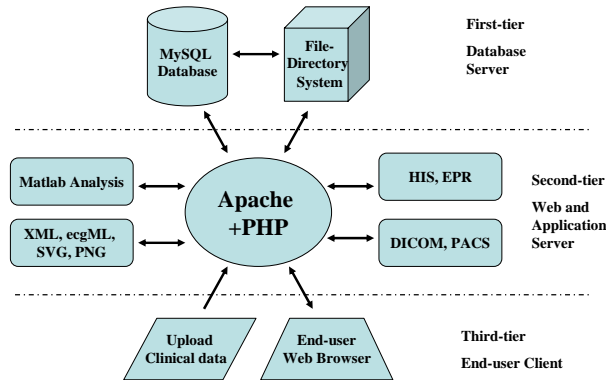


圖 4 三層式架構之心電圖資料庫

(三) 心電圖格式轉換

本研究分析數種開放原始碼之心電圖格式，以 PHP 及 Matlab 開發這些格式之轉換工具程式，心電圖資料可以透過所建立的伺服器轉換成 ASCII、XML、SVG、ecgML、PNG 和 DICOM 等格式。

由心電訊號擷取裝置取得之資訊(包括文字內容及心電訊號數據)先以 ASCII 碼儲存為文字檔，接著以 HL7 公佈之標準為依據，將這些資訊轉為 FDA_XML 及 ecgML 格式。至於擷取裝置所得心電圖資訊之呈現，分別以向量圖形及點陣式圖形兩種方式，產生近似於臨床所用之標準 12 導程心電圖報告。向量圖檔採用以 XML 為基礎之二維圖形描述語言 SVG 撰寫 (SVG Homepage, 2005)，只要支援 SVG 解讀功能之瀏覽器即可呈現心電圖報告之內容，且可在不失真之情況下，放大局部之內容。點陣式圖檔則採用 PNG 與 DICOM 兩種格式。PNG 檔案以 CSIRO 所開發的 SVG 工具程式，直接將 SVG 檔案轉檔產生。這些 PNG 圖檔加上原存於文字檔之資訊，即可以 MatLab 程式碼再轉為 DICOM 檔案。

(四) 心電訊號分析

典型心電圖波形及特徵參數之定義如圖 5 所示(蔣家正, 2005)。要分析心電圖特徵，就須將這些特徵參數由心電訊號數

據中萃取出來。由於 R 波在心電圖波形中通常最高且明顯，因此心電圖特徵參數之萃取，可由 R 波之定位開始，再由其左右找出其他之特徵參數。

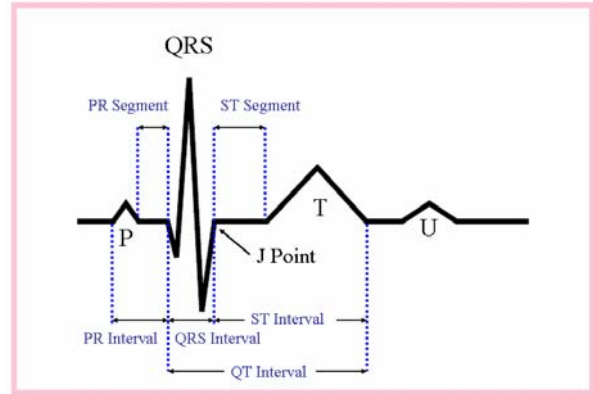


圖 5 心電圖波形及特徵參數示意圖

本研究提出一種新的複合式小波轉換法，結合小波包分析(wavelet packet analysis)及離散小波轉換(discrete wavelet transform, DWT)，以 MATLAB 開發 R 波偵測程式(楊雅筑, 2005; Li et al., 1995; Pan and Tompkins, 1985)。(1) 式所示為小波轉換方程式

$$W(a,b) = \frac{1}{a} \int S(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

其中 W 為轉換後之係數， a 為 dilation parameter， b 為時間軸的 shift-parameter， S 為心電訊號， Φ 為小波函數。本研究以 Haar wavelet 為複合式小波轉換之母函數(mother wavelet function)。在小波包轉換時，原始訊號 S 被分解為低頻(A)及高頻(D)兩部份。其中 D20 即是用於找出 R 波位置之係數(圖 6)。

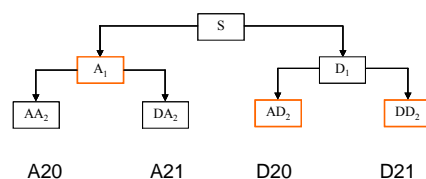


圖 6 小波包轉換用於定位 R 波之 D20 係數

當前述方法無法正確找出 R 波位置時，心電訊號就改以離散小波轉換來分析，訊號解析後所得之 D4 及 D3 係數可用來定出 R 波之位置(圖 7)。

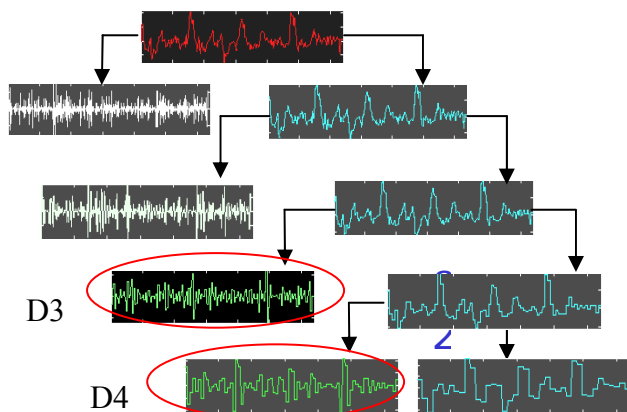


圖 7 離散小波轉換用於定位 R 波之 D3 及 D4 係數

三、結果與討論

(一) 網頁式心電訊號擷取介面

心電儀操作介面採網頁式設計，由使用者觀點出發，畫面內容主要分為兩大部分：一為操作參數輸入區；一為心電訊號顯示區。如圖 8 所示心電儀操作人員可輸入或設定之參數包括病歷號碼(Patient ID)、流水號碼(Accession number)、訊號擷取長度、取樣頻率(sampling rate)及儲存檔案名稱等。至於所測得心電訊號之顯示則可選擇一次顯示 12 個導程，或以三個導程為一組分開顯示在畫面上。

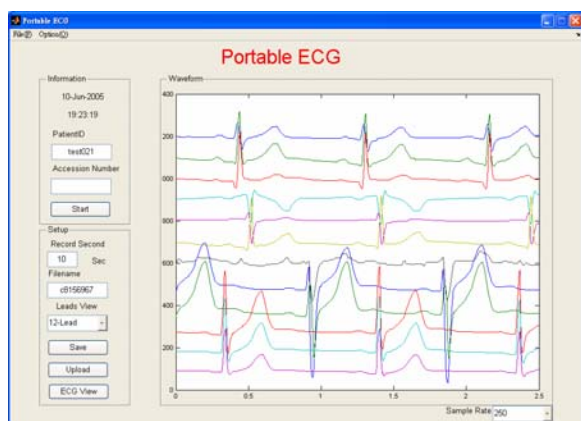


圖 8 網頁式心電訊號擷取介面

(二) 心電圖資料庫

本研究建立之心電圖資料庫為關聯式資料庫管理系統 (relational database management system)，其結構(schema)由 7 個表格組成(圖 9)。心電圖資料庫與心電訊號分析之整合系統(EGC Database and Analysis System, ECGDAS)經由網頁式介面管理，其登入後首頁如圖 10 所示。

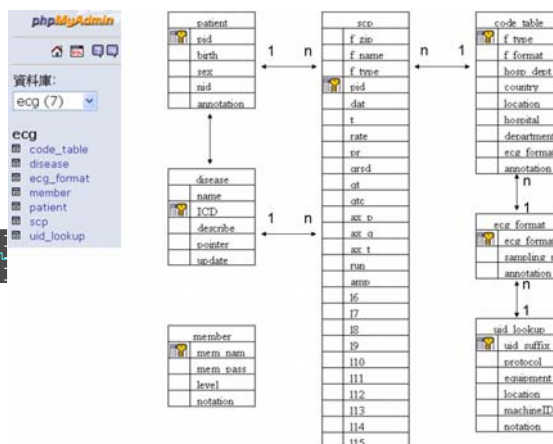


圖 9 心電圖資料庫之結構

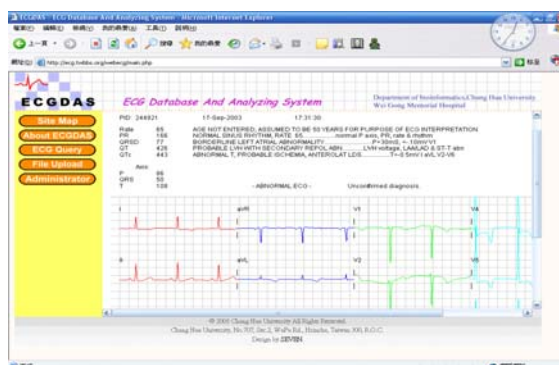


圖 10 ECGDAS 之首頁

本心電圖資料庫除了儲存 12 導程心電儀所量測之資訊外，也可遠端收取來自於苗栗為恭醫院病患之心電圖資料。在過去二年間，本研究的結果已蒐集超過 8 千個以上完整 12 導程心電圖紀錄，這些資料可轉換成 XML、SVG、PNG 和 DICOM 等便於交換之格式，並可進一步做為心電圖特徵參數與心臟疾病相關性分析之用。

將這個資料庫與醫院之醫療資訊系統 (Hospital information system, HIS) 結合，經由醫師確認後，本研究建立了正常人 (Normal) 及四種心臟疾病患者之 ECG 資料庫：急性心肌梗塞 (Acute myocardial

infarction, AMI)、高血鉀症(Hyperkalemia)、低血鉀症(Hypokalemia)及心房顫動(Atrial Fibrillation, Af)。到 94 年 9 月止,各種病患之心電圖筆數如表 1 所示。

表 1 各種心臟疾病患者於 ECG 資料庫中之筆數

疾病	ECG 筆數
Normal	12
AMI	44
Hyperkalemia	40
Hypokalemia	50
Af	19

本心電圖資料庫伺服器能提供有效的心電圖訊息服務,來幫助臨床醫生的診斷以及協助研究人員的心電圖訊號處理。將來,我們的工作可以包括其他醫學訊號,比如 24 小時心電圖(Holter ECG)、運動心電圖,病患監視器和心音圖等。

(三) 心電圖格式轉換

圖 11 所示為經過轉換程式處理後所得之 FDA_XML 文件,其原始碼可用一般的網頁瀏覽器顯示。圖 12 所示則是利用 AMPS LLC website 所取得之 FDA_XML viewer 所得到之結果,這與臨床上醫師所習慣的 12 導程心電圖有很大的不同。

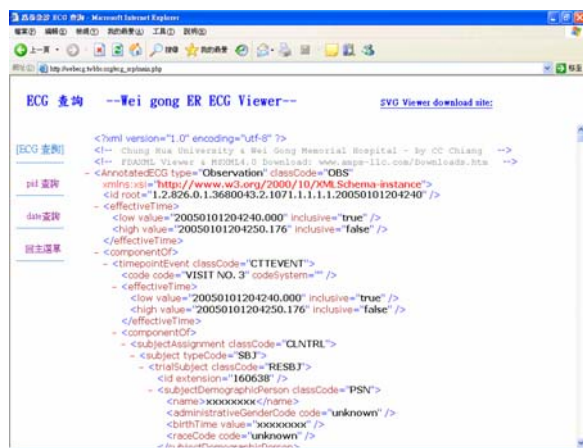


圖 11 網頁瀏覽器所呈現之 FDA_XML 文件原始碼

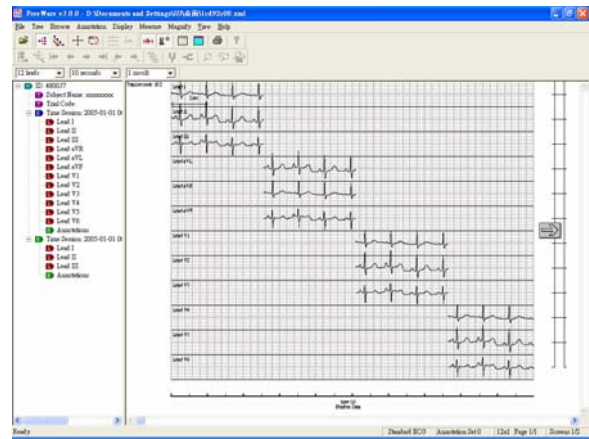


圖 12 FDA_XML viewer 所得之 12 導程心電圖

為了能提供臨床醫師所熟悉的典型 12 導程心電圖及未來能與醫院資訊系統(Hospital information system, HIS)相容,本研究發展工具程式將 FDA_XML 內容以 SVG 語言描述,其結果如圖 13 所示。為了進一步提高系統於網路上之相容性及應用性,由 SVG 描繪之心電圖,可再轉為圖像相同之 PNG 及 DICOM 格式。



圖 13 SVG 文件在瀏覽器中以 Adobe SVG viewer 3.0 plug-in 所得之 12 導程心電圖

(四) 心電訊號分析

將急性心肌梗塞(AMI)、高血鉀(Hyperkalemia)及心房顫動(Af)病患之心電訊號數據以本研究的 R 波偵測程式分析後,利用人工的方式將判斷所得的 R 波位置和正確的 R 波位置進行比對,作為評估程式判斷效能之依據。表 2 所示為各種疾病心電訊號以複合式小波轉換法定位 R 波位置的敏感度(sensitivity)及準確度(positive predictive value)。表中各代號的定義如下:

1. True positive(TP)：正確偵測到的 R 波數目。
2. False negative(FN): 偵測錯誤 R 波數目。
3. False positive(FP)：不是 R 波卻被偵測到的數目。
4. Sensitivity(Se) = TP / (TP+FN)
5. Positive predictive value(P+) = TP / (TP+FP)

結果顯示，此方法對正常人及上述三種心臟疾病之 12 導程 ECG 中 R 波偵測的敏感度(sensitivity)依次為 100%、99.51%、99.72%和 99.65%，而正確率(positive predictive value)依次為 100%、99.46%、99.66%、99.88%。

表 2 各種疾病以複合式小波轉換法定位 R 波位置的敏感度及準確度

疾病種類	TP	FN	FP	Se	P+
正常人	483	0	0	100%	100%
急性心肌梗塞	1839	9	10	99.51%	99.46%
高血鉀症	1763	5	6	99.72%	99.66%
心房顫動	864	3	1	99.65%	99.88%

由於用來測試之心電圖來自多種狀況下之臨床量測結果，心電訊號往往受各種不可預期之變數影響，但本研究開發之 R 波偵測程式不管在 ECG 訊號有基線漂移或參雜有雜訊的狀況下亦能準確的偵測 R 波。另一方面，這個程式也適用於 ECG 的任何一個導程及各種的心臟疾病。由於此程式在單一導程的準確率也很高，未來亦可應用在 Holter ECG 上。

四、計畫成果自評

本計劃成果至 94 年 9 月止共計發表國外 EI 論文一篇(Chiang et al., 2004)，國外研討會 Computers in Cardiology 論文三篇(Tzeng et al., 2005; Yang et al., 2005; Lin et al., 2005)及國內研討會” 94 年度急診醫學會年會”論文一篇(蔣等, 2005)研究成果豐碩。

在本研究中，我們完成了：

1. 建立一個由心電訊號擷取裝置與個人電腦為硬體組成之網頁式心電訊號擷

取分析系統。搭配以 PHP 及 MatLab 開發之心電圖資料庫與心電訊號分析系統(ECGDAS)，可做為臨床醫師診斷之輔助工具，也可協助研究人員進行心電圖資料之蒐集與分析。

2. 經由與為恭醫院之合作，在過去二年間，本研究蒐集超過 8 千個以上完整的 12 導程心電圖紀錄。將資料庫與醫院之醫療資訊系統結合，再經由醫師確認後，本研究建立了正常人及四種心臟疾病患者之 ECG 資料庫，其中包括急性心肌梗塞、高血鉀症、低血鉀症及心房顫動等。
3. 藉由以 PHP 或 Matlab 開發之心電圖格式轉換工具程式，心電圖資料可以透過所建立的伺服器轉換成 ASCII、XML、SVG、ecgML、PNG 和 DICOM 等格式。一方面有利於心電圖資料跨平台之交換，另一方面可將心電訊號擷取所取得之數據以典型 12 導程心電圖呈現並且使用網頁瀏覽器即可進行檢閱。
4. 本研究所發展的 R 波偵測方法，不管是在訊號含有雜訊、較高的 P 波或 T 波、基線漂移的情況下，都有很高的敏感度及準確度(平均分別在 99.72% 及 99.75%以上)。
5. 以往的研究所用的資料來源，大都是取自 MIT/BIH 的資料庫，而本研究的資料來源為苗栗為恭醫院急診室的臨床資料，這顯示本研究發展之 R 波偵測程式能適合臨床醫療環境所使用。

五、參考文獻

Analyzing Medical Parameters for Solutions, AMPS LLC., 2005. website:

<http://www.amps-llc.com/>

Chiang CC, Yang, YCWC Tzeng WC, WD Tseng WD, Hsieh JC, “An SCP Compatible 12-Lead Electrocardiogram Database for Signal Transmission, Storage, and Analysis” Computers in Cardiology 2004;31:621-624. (EI)

CSIRO, 2005. website:

<http://www.cmis.csiro.au/>

EUROPEAN COMMITTEE FOR
STANDARDIZATION. Standard
Communications Protocol for
Computer-Assisted Electrocardiography.
prENV 1064:2000 2000 ; : 1 – 172

Li C. et al., Detection of ECG
characteristic points using wavelet
transforms. IEEE Trans Biomed Eng. 1995;
42(1):21-28.

Lin SK, Hsieh JC, Tzeng WC, “Simulated
Blocking of Potassium Channels Medication
on Mutant SCN5A Sodium Channels”
Session PA9.3, Computers in Cardiology
2005.

Open ECG Project, 2005. website:
<http://www.openecg.net>

Pan J and Tompkins WJ. A real-time QRS
detection algorithm. IEEE Trans. Biomed
Eng. 1985 ; 32(3):230-236.

Porter RS, Kaplan J, Zhao N, Garavilla
LDE, Eynon CA, Wenger FG, and
Dalsey WC. Prediction of Hyperkalemia in
Dogs from Electrocardiographic Parameters
Using an Artificial Neural Network.
Academic Emergency Medicine. 2001 ;
8(6) : 599 - 603.

SVG Home Page, 2005. website:
<http://www.w3.org/Graphics/SVG/>

Tzeng WC, Chan YZ, Hsieh JC, “Predicting
Hyperkalemia by the Use of a 12-Lead
Temporal-Spatial Electrocardiograph:
Clinical Evaluations and Model Simulations”
Session S44.6, Computers in Cardiology
2005.

Yang YC, Hsieh JC, Tzeng WC, “Detecting
ECG Characteristic Points by Novel Hybrid
Wavelet Transforms: An Evaluation of a
Clinical SCP-ECG Database” Session PA2.3,
Computers in Cardiology 2005.

楊雅筑，”以複合式小波轉換方法偵測 R 波
之研究”，中華大學碩士論文，2005。

蔣家正，”網頁心電圖資料庫處理系統的設
計及其在臨床環境的運用”，中華大學碩
士論文，2005。

蔣家正、曾文慶、謝瑞建、楊雅筑、陳朝
慶、張靜芳、林順木，”網頁心電圖資料庫
的設計及其在臨床環境的運用”，94 年度
急診醫學會年會，2005。