

科技部補助

大專學生研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫
* : 以希爾伯特黃進行心電圖 QRS 波形分析
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 陳貞樺
學生計畫編號： MOST 106-2813-C-040-009-E
研究期間： 106年07月01日至107年02月28日止，計8個月
指導教授： 張炎清

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 107年03月26日

以希爾伯特 – 黃進行心電圖 QRS 波形分析

壹、摘要

隨著醫療技術的不斷發展，人們可以輕易地得到關於自己身體中的訊號，在這樣的環境中，如何對我們所取得的資料進行解釋、分析，並且給予這些數值更實際的意義便是我們努力的目標。

本計畫的目的是希望藉由使用具有非線性（non-linear）、非穩態（non-stationary）特性的希爾伯特 – 黃轉換（Hilbert-Huang Transform, HHT）分析心電圖（electrocardiogram, ECG）中的不同特性關係，諸如：Q – Q 間距、R – R 間距、S – S 間距等，並且以時間序列作為分析、判斷之依據。此外，也會藉由分析經驗模式分解（Empirical Mode Decomposition, EMD）所產生的本質模態函數（Intrinsic Mode Function, IMF）針對不同病灶之病患狀況進行分析。

本計畫所採用的數據是源自 MIT-BIH 心律不整（arrhythmia）的 ECG 資料庫。希望可以藉由本研究所發現之特徵以輔助醫生在臨床中可以更加了解病患之狀況、給予最適切的治療及診斷。

貳、研究動機及研究問題

過去人們需要經過繁複的儀器檢查，再透過耗時的掛號、等待，才好不容易從醫生診斷中得知訊息，這往往造成病患的困擾，而降低了就醫意願，並延誤就醫，這些資料大都被保存在具有特定資源的場所，好比醫療中心等，令病患無法時刻得知身體訊息。近年來，隨著科技的進步，現今可以在各式各樣器具的輔助下，如：運動手環、智慧型手機等，可以便利地取得關於身體的各種數據；在取得數據後便是要將這些龐大的數據轉換為普羅大眾普遍能接受的「報告」，即賦予它們的「解釋」。

根據世界衛生組織（World Health Organization, WHO）的研究中指出，心血管疾病是全球的頭號死因，此疾病佔全球死亡總數的 31%。心電圖是由心臟搏動時所產生的相關電位變化圖，可以依照圖表上不同的波形形狀、時間間隔判斷與心臟之電器特性有直接關聯性。依照我們的所知，不同的生理訊號可以用來判斷、分析一個人的身體健康與否，其中更以心臟跳動的週期性變化扮演相當重要的角色。我們可以藉由分析心電圖中不同波型的間隔、波型的樣貌，作為判斷一個人是否可能患有相關疾病之輔助工具。除此，心電圖資料的內容也用以提供臨床醫生以及護理人員作為及時參考分析的一項重要工具。

心電圖是由心臟跳動時所產生的電位變化，經由儀器所繪製而成的圖形，在心電圖中，各個波形以及間隔皆與心臟之電位變化有相當直接的關聯性，因此也可以用以作為在心臟發生刺激、傳導及回復之客觀指標，也可以用來診斷相關之病症。例如：傳導阻斷、心房擴大、心律不整、心肌缺血等。心電圖中的完整波

型是以 QRS 複合波 (QRS complex) 或稱 QRS 波群最為顯著，而多數的研究也是針對 QRS 波群進行之分析。

本研究主要是從數據資料庫中所抓取的資料，再進行進一步的分解。在得到心電圖資料後，按照所找出的 QRS 波群，分別求出 Q-Q 波、R-R 波、S-S 波之間隔，接著透過經驗模式分解 (EMD) 將得到的數據篩選為本質模態函數 (IMF) 的組合，在得到最終本質模態函數的同時，也會進一步得到相應的趨勢 (Trend)，以此作為分析以及判斷的標準；此外，在進行多次篩選後，可以讓被提取的訊號符合本質模態函數的定義，且在篩選過程中也會產生近似於局部包絡對稱條件，又被稱為篩選的停止條件。

本研究的研究對象分為兩者，分別如下：

(1) 針對單一樣本、不同長度的時間變化量

以單一樣本為觀察對象可以藉由觀察長時間或是完整的訊號長度，以及將訊號分段進行觀察是否還具有相同的特徵或是趨勢，並且可以以此做為相關的指標，進而探討是否可以藉由短時間的訊號預測到長期的訊號趨勢走向。

(2) 針對複數樣本、完整的時間變化量

藉由分析複數樣本、完整的時間變化量下，我們可以以此發現在不同病灶、狀態下的訊號會對應出不同樣式的波型、特徵。並且也可以藉由歸納在不同階段的 IMF 階段，找出相應病灶所可能產生的狀態。

叁、文獻回顧與探討

以醫學的角度而言，心電圖 (ECG) 是用來判讀心血管疾病方面的工具，而且透過 ECG 也可以發現心跳間隔不是固定不變的，而是具有波動變異，此也是心律變異最簡易的概念，而心跳間期的變異性我們稱之為心率變異度 (heart rate variability, HRV)。從 1975 年時，Hyndman 等人首先將功率頻譜分析用於心率變異度 (HRV) 的研究上；接著在 1981 年 Akserlrod 等人發現心率變異頻譜特性可以分辨出交感神經及副交感神經的作用，最大的特點是藉由非侵入式的方法就可以了解到交感和副交感神經在生理機制上的作用區域。

除了國外的研究之外，在國內也有使用希爾伯特-黃轉換的相關研究，黃宜正和林俊賢 (2013) 也以希爾伯特-黃轉換探討耳脈搏訊號 (PPG) 與心電圖訊息的比較。他們的實驗結果包括可以透過希爾伯特-黃轉換以消除數據中的基線飄移，並且利用時頻分析將 ECG 訊號無特徵表現之 IMF 刪除，並且也可以以此來驗證 PPG 以及 ECG 兩者之間的相關性，該研究也驗證了利用頻譜特徵區分 ECG 訊號的可行性。

一、心電圖

心電圖是紀錄心臟活動時所產生的電位變化的圖形。心臟的心肌在一般靜止狀況下細胞膜外帶有正電、膜內則帶有負電，其中的電位差異大概是 -90mv，而

這種內負外正的狀態則被稱為「極化狀態」。而在心肌細胞受到刺激時，則會改變細胞膜的滲透特性，使得離子可以自由進出細胞、電位差瞬間歸零，再變為 $+20\text{mV}\sim 30\text{mV}$ ，此過程為「去極化」；隨後細胞內恢復其負電位，為「再極化」。心臟本身的電位變化會經過心臟周圍的導電組織與體液反映到身體表面，如圖 1。因此要量測心電圖的方法為在心臟周圍任意放置兩個電極板，即可記錄到兩個電極間電壓的變化，並在心電圖紙或是監視螢幕上顯示出來。

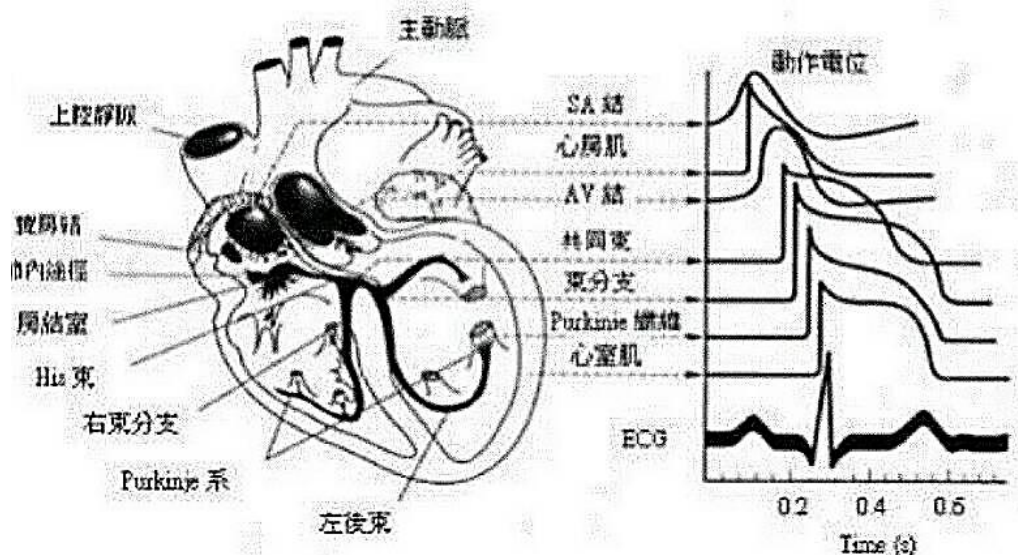


圖1，心臟傳導與心電圖關係[黃進忠,2005]

二、波型探討

心電圖所得到之波形是由各部心臟細胞的動作電位所合成的，記錄著時間與電位變化的關係，一個完整的心跳主要可以分為五部分：P 波、Q波、R波、S 波、T波，如圖2所示。

- ◆ P波：是為心電週期的第一個波；在心房去極過程中，心電向量從竇房結指向房室結，去極化由右心房至左心房，這個過程在心電圖上形成了P波，前半部分是右心房去極化，後半部分則是左心房去極化；正常的時間範圍不會超過0.11秒，振幅大小不會超過0.25mV；
- ◆ QRS複合波：由於心室的肌肉組織比心房發達，所以QRS複合波比P波的振幅高出很多；當刺激傳送至心室產生去極化，生成 QRS波，其時間範圍通常介於 0.08 秒 - 0.12 秒，反映了左右心室的快速去極化的過程。第一個向下偏折的波是為 Q 波，接著 Q 波後面急遽上升偏折的是為 R 波，S 波為接在 R 波之後向下偏折的，QRS 複合波自Q波的起始自S波的結束，向下的偏折只有出現在 QRS 波最開頭的時候才叫做Q波，任何其他向下的偏折都叫做S波。
- ◆ T波：心室舒張產生再極化，其波形圓滑而不對稱，其方向與QRS主波一致。

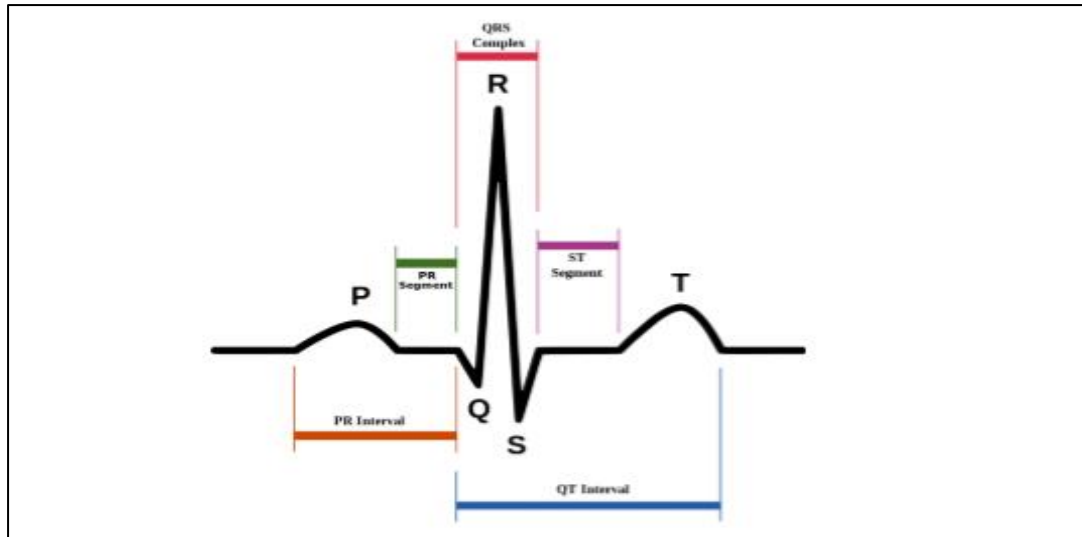


圖 2，心電圖訊號波形

(來源: Wikipedia, Electrocardiography)

三、MIT-BIH心律不整資料庫

MIT (Massachusetts Institute of Technology, 麻省理工學院)-BIH (Beth Israel Hospital, 現在為 Beth Israel Deaconess Medical Center) 心律不整資料庫, 自1980年以來, 被廣泛使用於研究心臟疾病。MIT-BIH心律不整資料庫整理了48筆資料, 每一筆資料內有兩組不同導程的心電圖, 記錄著三個文件, 分別為header、signal、reference annotation, 如圖3所示, 取樣頻率為360Hz, 它是第一個能普遍獲得的標準測試資料庫, 可用來評估心律不整偵測器的效能。

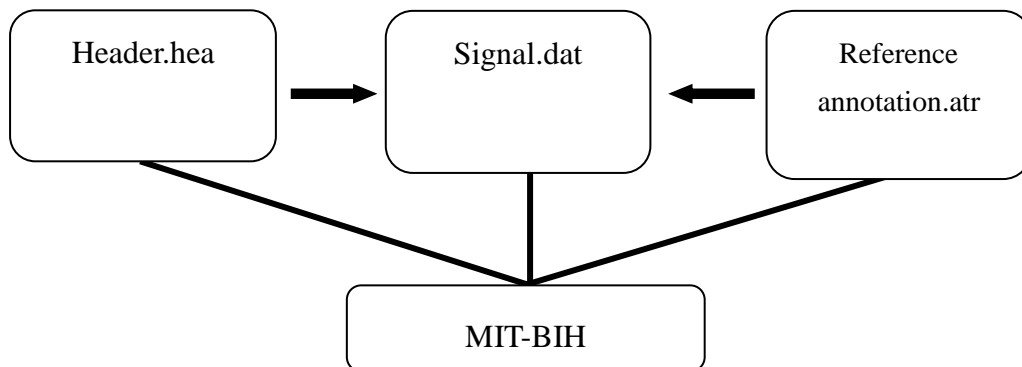


圖 3，MITBIH 資料庫組成

四、心電圖訊號擷取

本研究數據透過PTF (Pan-Tompkins-Filter) 峰值演算法作為前處理有效的偵測QRS複合波, 運用QRS複合波波形之斜率、振幅、寬度資訊, 將QRS複合波與其他波和雜訊分離出來, 並得到其位置。

肆、研究方法與步驟

◆ 希爾伯特 - 黃轉換 (HHT, Hilbert-Huang Transform)

希爾伯特 - 黃轉換由經驗模態分解 (EMD) 和希爾伯特頻譜分析 (HAS) 組成，是一種自適應數據分析方法，已廣泛應用於地球物理、地震工程等研究。此外，希爾伯特 - 黃轉換擅長將數據分解為少量而且有限的本質模態函數 (IMF)，很適合分析非線性 (non-linear) 以及非穩態 (non-stationary) 的數據，因此可作為關於數據的時頻能量分布的另一種有效分析法。

◆ 經驗模式分解 (Empirical Mode Decomposition, EMD)

EMD 是直接的時間-頻率空間中運作，而不是在相應的頻率空間中工作，且依據資料的後驗定義上，此分解具有直觀性 (intuitive)、直接性 (direct)、適應性 (adaptive)。此分解可以生成時間序列的分量，對瞬時頻率和瞬時振幅在物理上提供更具體且更具意義的定義。

在此分解中也隱含一個簡單的假設：在任何給定的時間中，數據都可能含有許多不同顯著頻率的簡單振盪模式，一個疊加在另一個之上，因此 EMD 將訊號分解為 IMF 的組合，分解後剩餘的殘差，對數據也有著重要的意義，而 EMD 的執行步驟如圖 4。

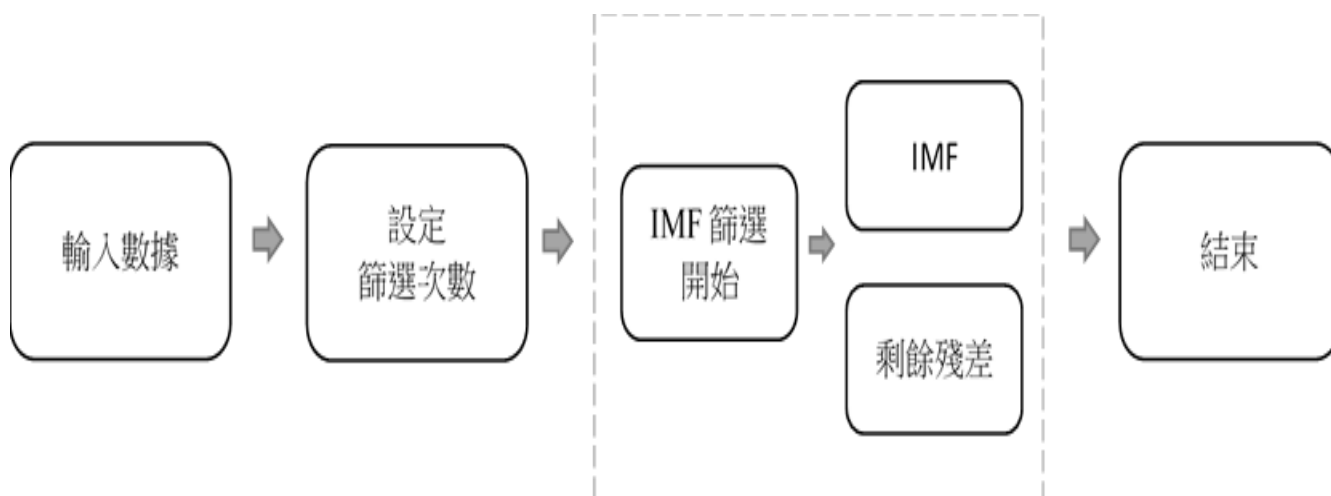


圖 4，EMD 之篩選過程

◆ 本質模態函數 (Intrinsic Mode Function, IMF)

將數據集由高頻分解到低頻，由此來觀察其相關性，IMF 滿足以下條件：

1. 在整個數據集中，極值的數目和過零焦點的數目必須相等或最多相差一個。
2. 在任何數據點上，局部最大值和局部最小值的平均值為零。

其分解過程如圖 5。

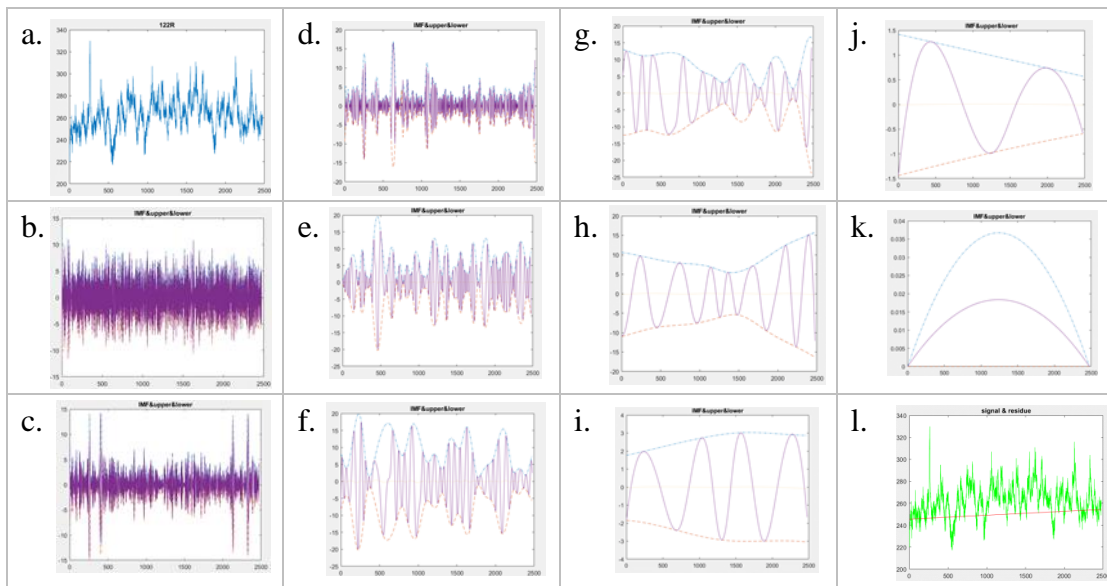


圖 5 IMF 的篩選過程

(a) 任意的輸入值

(b) ~ (k) 透過迭代生成的 IMF，其中實線為 IMF，上下虛線分別為上下包絡線，中間虛線為均值包絡線

(l) 原始訊號扣除所有 IMF 的值，即為殘差或趨勢，與原始訊號之疊圖

◆ 殘差 (residual)

因原始訊號被分解為 n 個 IMF 和一個殘差，這個殘差可以是自適應趨勢或常數，而殘差與其重複出現表示了訊息趨勢的不同意義。

伍、實驗結果

我們可由上述方法得到以下的數據，我們將完整抓取 Q、R、S 區間資料之紀錄進行 Hilbert-Huang Transform 中 Empirical Mode Decomposition 分析，從而得到 Intrinsic Mode Function。其結果呈現在圖 6 至圖 17，包括 No. 112、No. 117、No. 122、No. 212 之資料筆數，其中資料分別包含針對 Q、R、S 完整波型之分析資料，以及針對各項數據取前半段以及後半段資料之分析，共有七種資料。表 1 列出各編號病例固定時間總共心臟跳動次數。

從圖 6、圖 7、圖 8 中發現，編號 112 當訊號拆成前後兩個時間段時，從第 6 次 IMF 時可以看出，拆成前後兩段時間的波型可以組合成與完整波型相似的波形；以及最後的 IMF 成果，三者的結果是以相似圖形作為結束。

從圖 9、圖 10、圖 11 中發現，編號 117 當訊號拆成前後兩個時間段時，從第 5 次 IMF 時可以看出，拆成前後兩段時間的波型可以組合成與完整波型相似的波形；以及最後的 IMF 成果，三者的結果是以相似圖形作為結束；以及從三者最後的餘值，也可以發現完整波型可以分解為前後兩段時間的波型。

從圖 12、圖 13、圖 14 中發現，編號 122 當訊號拆成前後兩個時間段時，從第 6 次 IMF 時可以看出，拆成前後兩段時間的波型可以組合成與完整波型相似的波形；以及最後的 IMF 成果，三者的結果是以相似圖形作為結束。

從圖 15、圖 16、圖 17 中發現，編號 212 當訊號拆成前後兩個時間段時，從第 5 次 IMF 時可以看出，拆成前後兩段時間的波型可以組合成與完整波型相似的波形；以及最後的 IMF 成果，三者的結果是以相似圖形作為結束；以及從三者最後的餘值，也可以發現完整波型可以分解為前後兩段時間的波型。

從圖 7、圖 8、圖 9、圖 10、圖 11、圖 15，最後的殘值與原始訊號的疊圖中可以發現，當原始訊號呈現為高起的訊號時，其中的殘值反而會呈現下降的趨勢，而此兩者之間之成負比的趨勢的原因是因為，殘值的表示並不是受訊號的大小值的影響，而是受訊號的密集程度的影響。因此，會呈現這些波型的原因是當原始訊號有突然高起的圖型時，這些訊號大部分並不是「常態」、這些數據的密集程度也並不高。

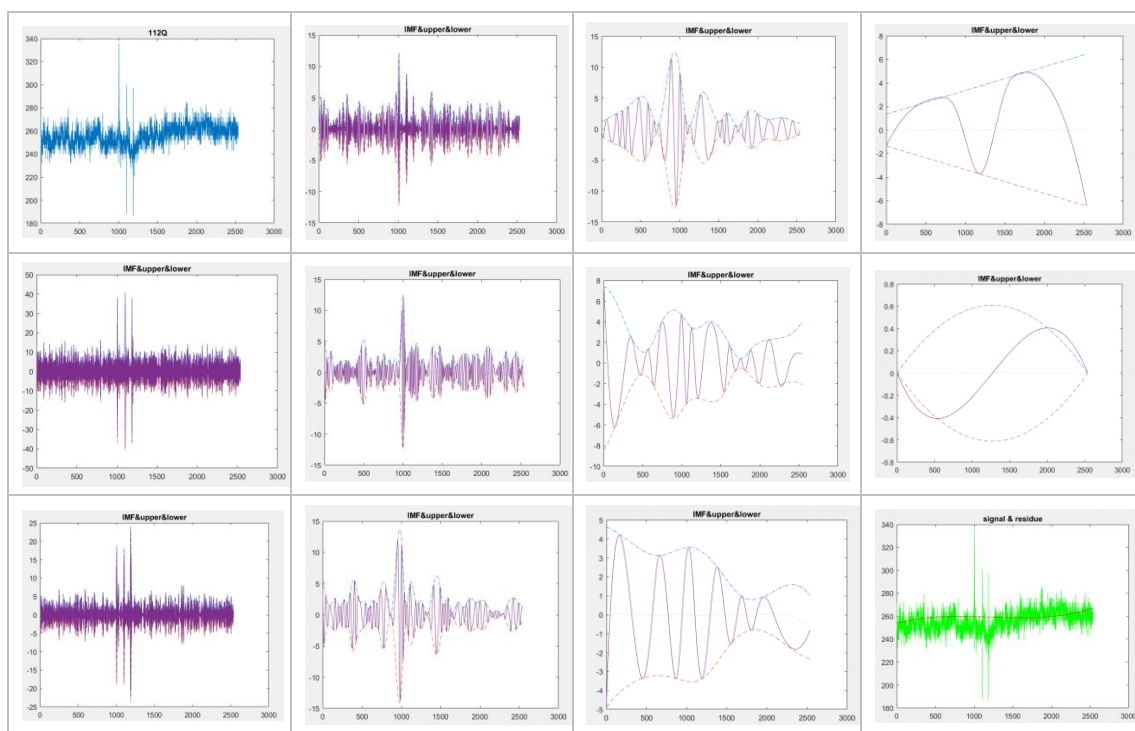


圖 6：Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition: the Q-Q wave of the whole time of No.112

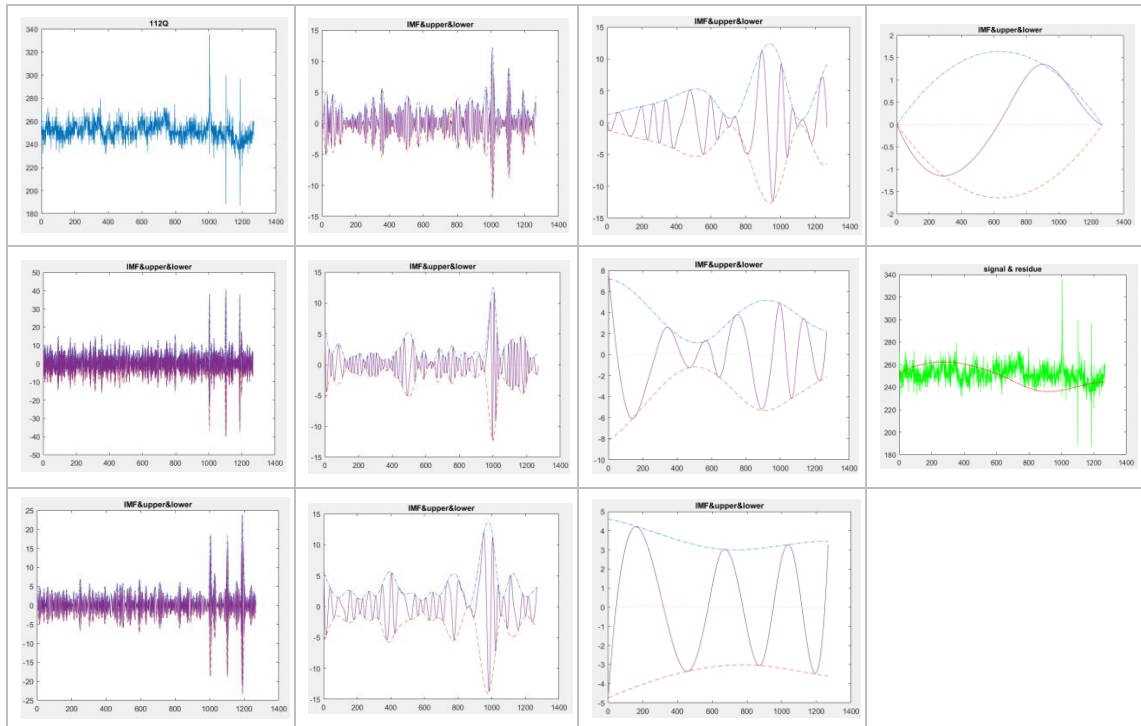


圖 7 : Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the Q-Q wave of the first half time of No.112

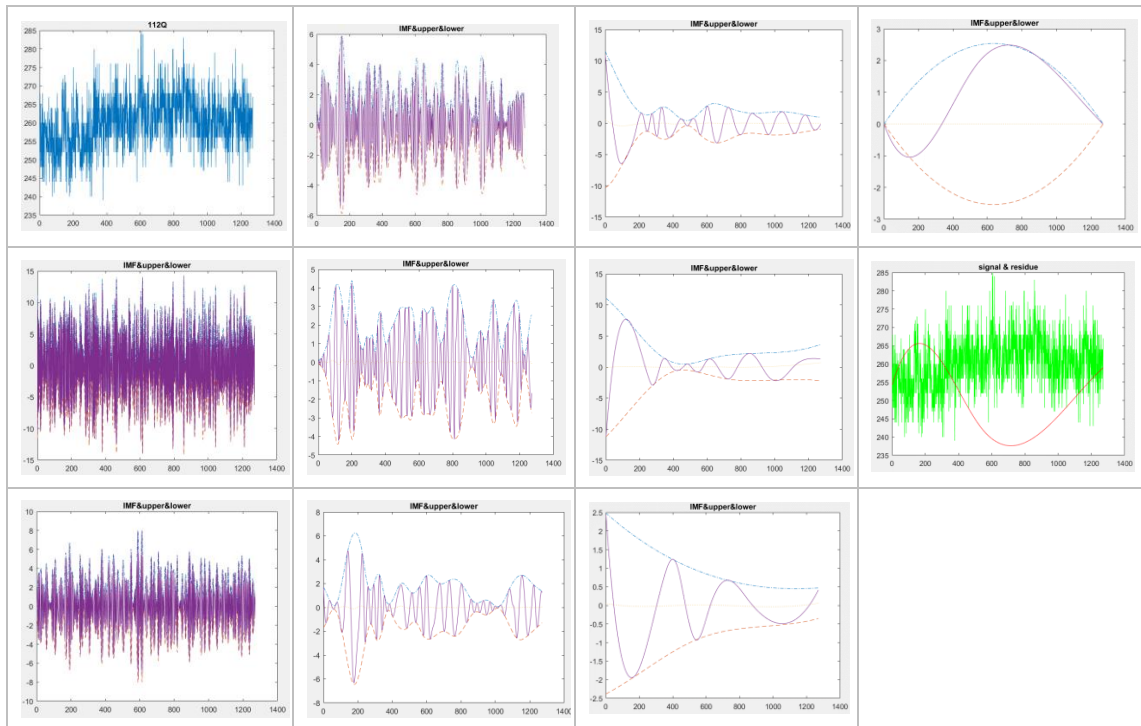


圖 8 : Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the Q-Q wave of the second half time of No.112

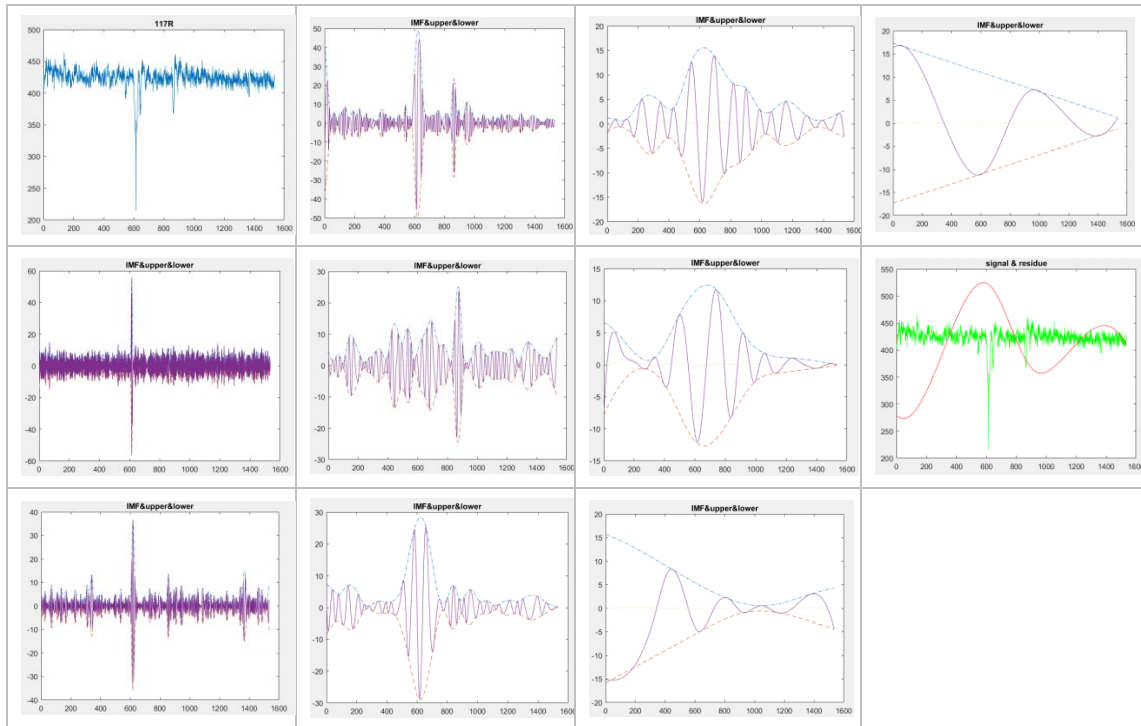


圖 9 : Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the R-R wave of the whole time of No.117

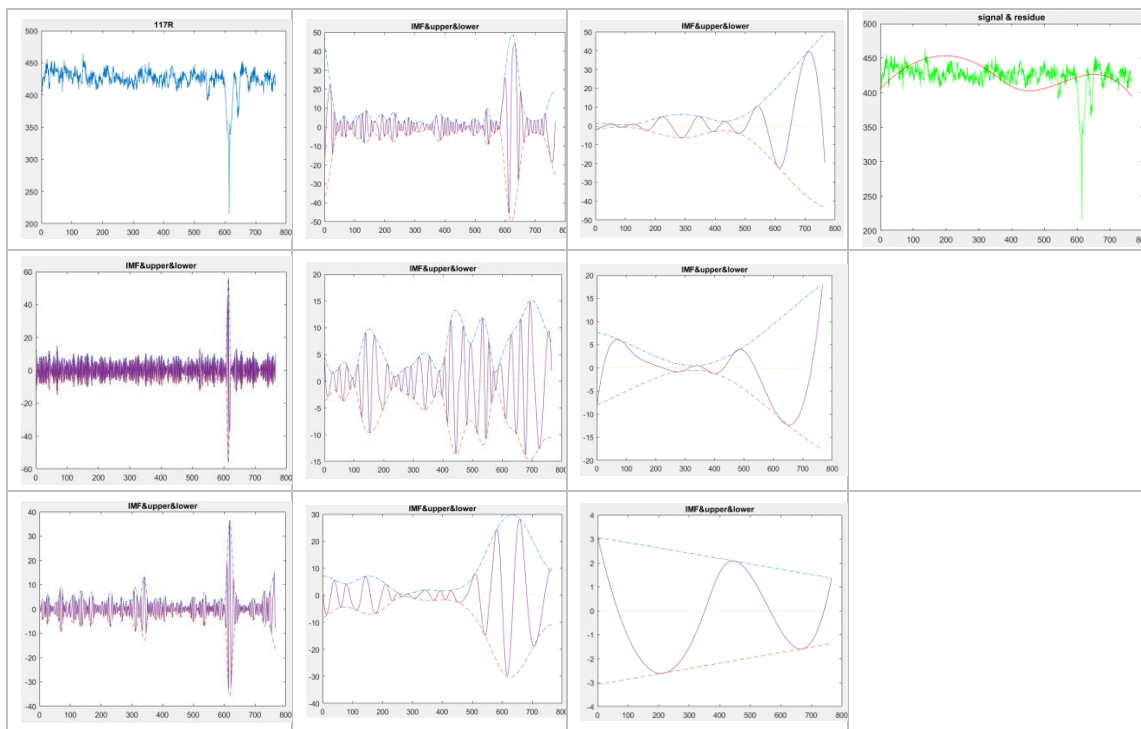


圖 10 : Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the R-R wave of the first half time of No.117

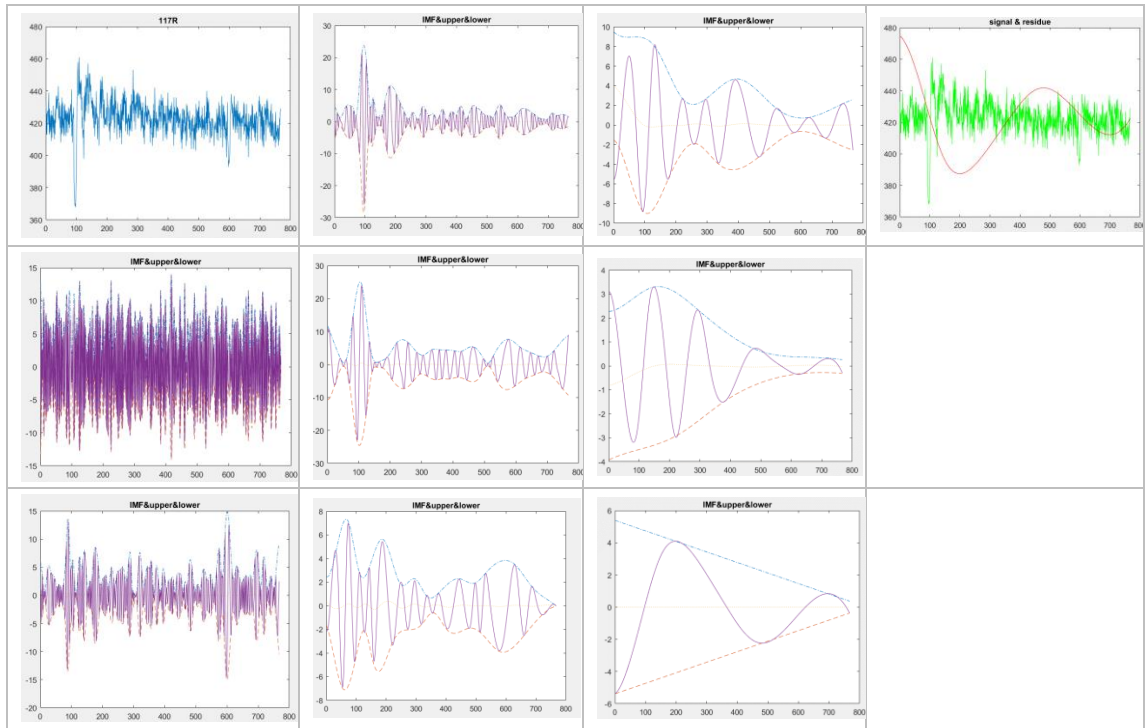


圖 11 : Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition: the R-R wave of the second half time of No.117

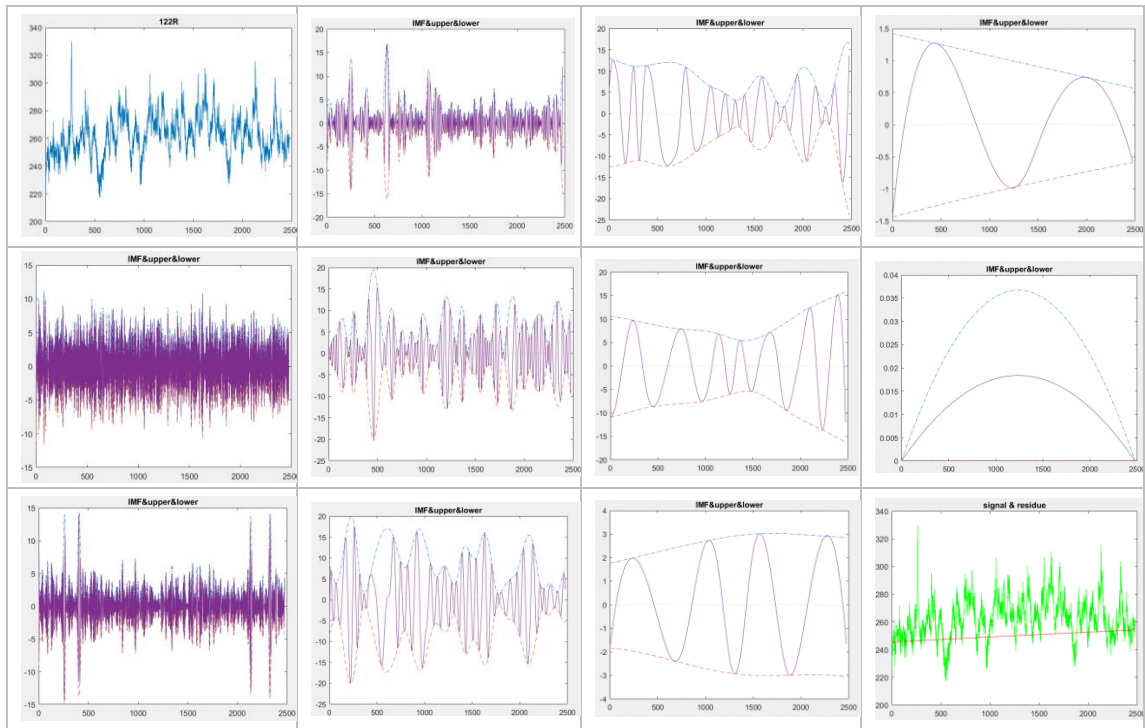


圖 12 : Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition: the R-R wave of the whole time of No.122

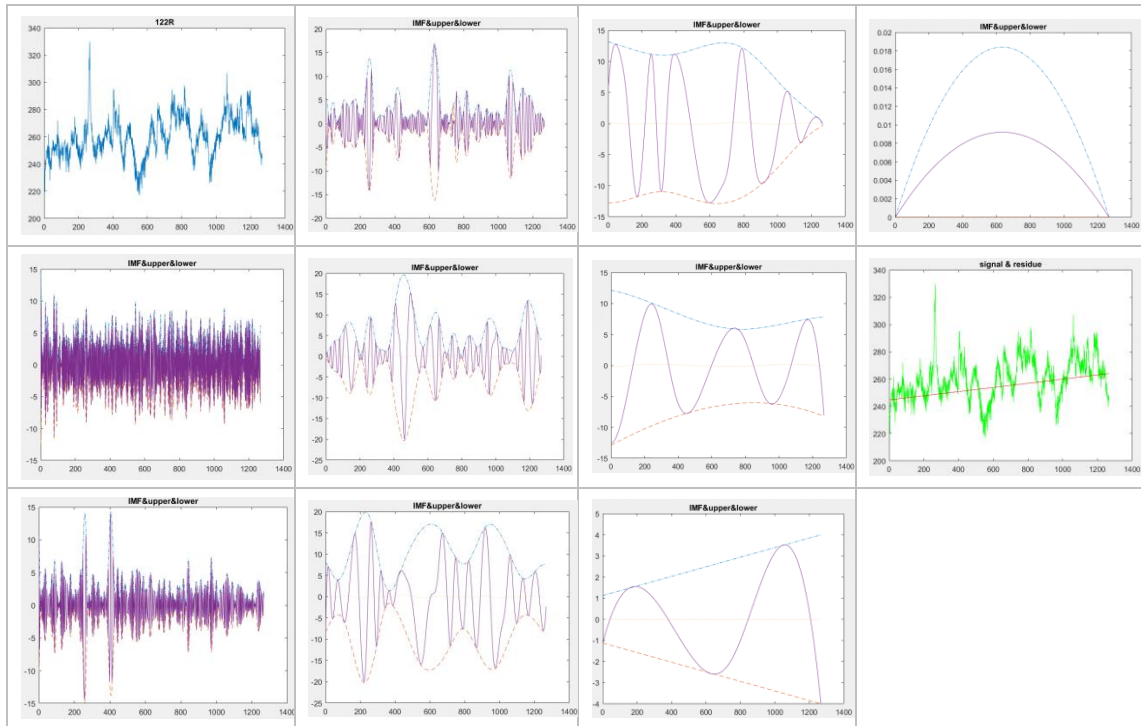


圖 13: Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the R-R wave of the first half time of No.122

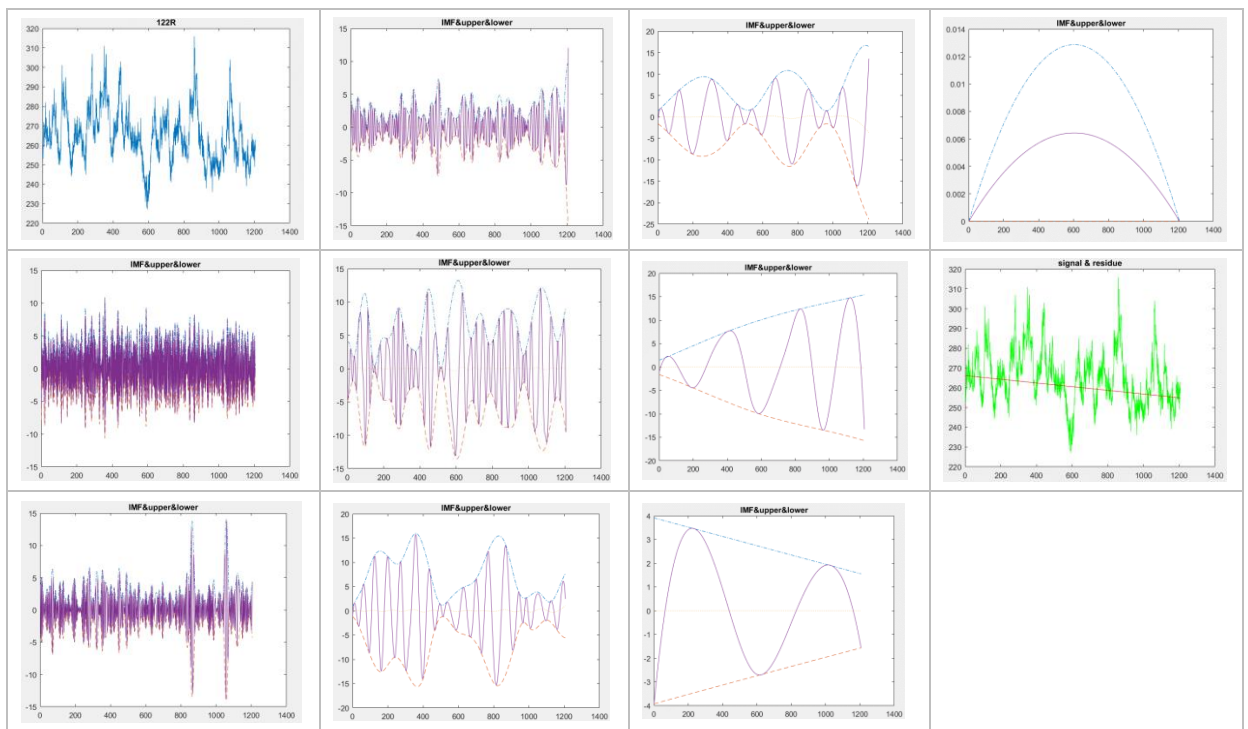


圖 14: Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the R-R wave of the second half time of No.122

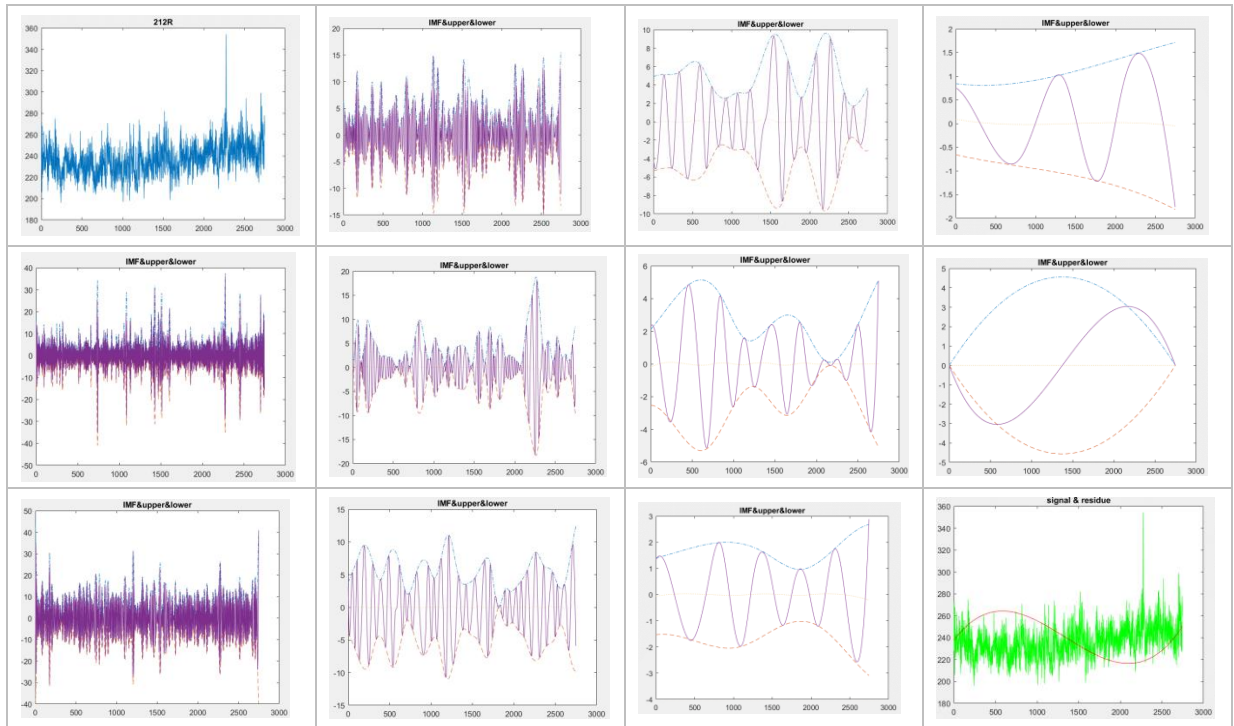


圖 15: Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the R-R wave of the whole time of No.212

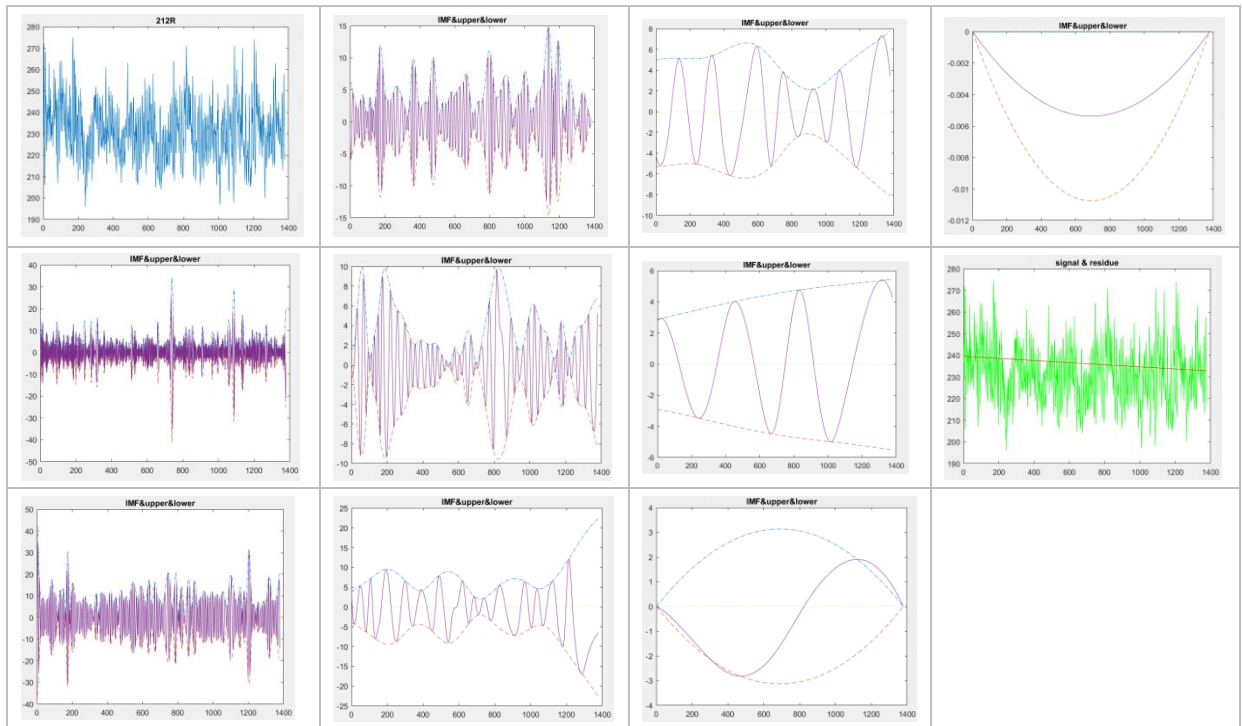


圖 16: Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition:
the R-R wave of the first half time of No.212

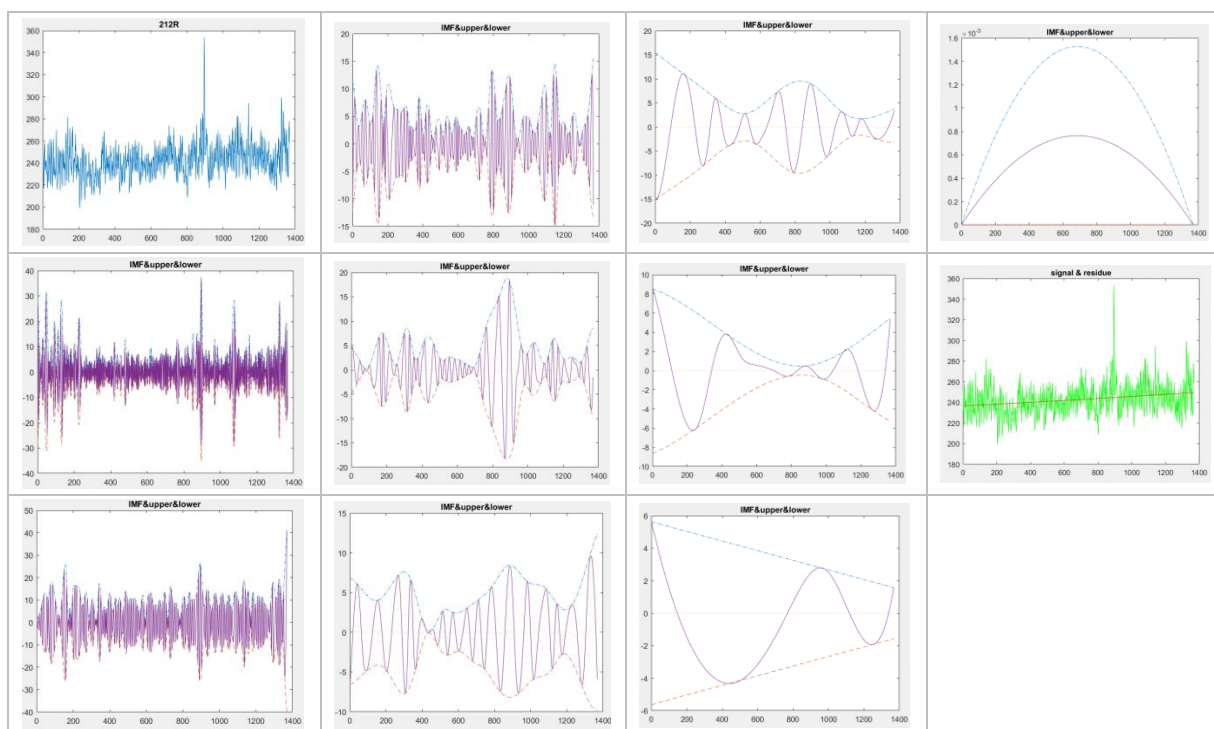


圖 17: Intrinsic Mode Function of Hilbert-Huang Transform's Empirical Mode Decomposition: the R-R wave of the second half time of No.212

表 1：各編號病例固定時間總共心臟跳動次數

No.	Normal	Normal(R)	Normal(A)	Total
112	2537	0	2	2539
117	1534	0	1	1535
122	2476	0	0	2476
212	923	1825	0	2748

Normal(R)：右分枝束阻斷；Normal(A)：心房早期收縮

陸、結論

本研究是將希爾伯特 - 黃轉換中經驗模態分解的本質模態函數運用在心電圖，以探討 Q - Q 區間、R - R 區間、S - S 區間波型的特性，透過分析長時間與短時間的波型，可以發現即使使用較短時間的數據，仍然可以得出長時間波型所擁有的趨勢。

柒、參考文獻

[1] 心電圖歷史說明-維基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BF%83%E7%94%B5%E5%9B%BE>

[2]黃宜正、林俊賢, 2013, “應用經驗模態與希爾伯特黃轉換探討耳脈搏訊號與心電圖

訊息之比較”，技術學刊 第二十八卷 第一期 民國一〇二年，國立彰化師範大學機電工程系

[3]黃進忠, 2005, “即時 HRV 分析系統發展及其應用於生物回饋系統”，碩士論文，交通大學電控工程研究所

[4]楊正榮, 2004, “以小波轉換為基礎的 QRS 波偵測方法”，碩士論文，中山大學機電工程研究所.

[5] S.T. Malcol 原著, 呂嘉陞編譯, 1999, 心電圖學必備, 合記圖書出版社

[6]莊琲麟, “心電圖特徵擷取與波形分析”，大專生研究計畫

[7]希爾伯特-黃轉換-維基百科

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B8%8C%E7%88%BE%E4%BC%AF%E7%89%B9-%E9%BB%83%E8%BD%89%E6%8F%9B>

[8] Huang, N. E., and Z. Wu (2008), A review on Hilbert-Huang transform: Method and its applications to geophysical studies, Rev. Geophys., 46, RG2006, doi:10.1029/2007RG000228.

[9] Chih-Min Hsieh, 2007, “希爾伯特黃轉換簡介(Hilbert Huang Transform)”，高雄海洋大學助理教授