

國立清華大學 電機工程學系

實作專題研究成果報告

(Ultrasound imaging  
assessment of myocardial  
lesions: feasibility  
study)

(超音波造影對於心肌病變  
的評估: 可行性研究)

專題領域：系統組

指導教授：李夢麟

組員姓名：蘇彥文，王譽錡，詹益睿

研究期間：113 年 03 月至 113 年 11 月底止，共 8 個月

## Abstract

This study aims to evaluate myocardial lesions using ultrasound technology by proposing an innovative method based on the Integrated Backscatter Coefficient (IBC) to non-invasively localize myocardial infarction areas. We focused on issues like myocardial fibrosis and hardening, designing and implementing an ultrasound data processing system. MATLAB software was used for data analysis, with proper filtering and experimental results validated the method's effectiveness. The findings demonstrate that IBC waveforms can accurately distinguish ischemic regions from healthy myocardium, highlighting the potential of IBC-based assessment in diagnosing heart diseases. This research lays a solid foundation for future clinical applications.

## 摘要

本研究旨在利用超音波技術評估心肌病變，提出一種基於逆散射積分 Integrated Backscatter Coefficient(IBC) 係數的方法，作為非侵入性診斷工具用以定位心肌梗塞區域。我們針對心肌纖維化與硬化問題，設計並實作了超音波數據處理系統。該系統使用 MATLAB 軟體對產出的波行進行數據分析，有先進行有效的濾波，並通過參考文獻上的實驗結果驗證方法的有效性。結果顯示，IBC 波形能夠準確區分缺血區域與健康心肌，證明 IBC 評估在心臟病變診斷中的潛力。研究為未來心臟疾病的臨床應用提供了重要基礎。

# 目錄

一、前言

二、原理分析與系統設計

2.1 原理分析

2.2 系統設計

三、實驗結果

四、結論

五、心得感想

## 一、前言

本專題研究旨在利用超音波技術評估心肌病變，透過逆散射積分 Integrated Backscatter Coefficient (IBC) 係數精準定位心肌梗塞區域，並為患者提供非侵入性的診斷手段。研究背景聚焦於台灣因心臟疾病導致的高死亡率問題，以及超音波技術在醫學診斷中展現的效率和高度的安全性。針對心肌纖維化和硬化等病變，我們提出了一種創新的 IBC 係數應用方法，並設計與分析了相應的辨別系統。最終，我們實作並完成了超音波數據處理系統的開發，也使用了實驗數據驗證了該方法的可行性和診斷準確性，為臨床應用奠定了基礎。

## 二、原理分析與系統設計

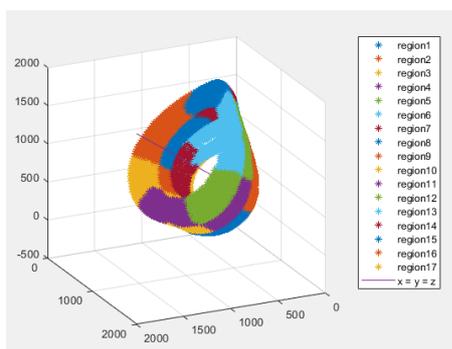
### 2.1 原理分析

#### (1) Integrated Backscatter Coefficient(IBC):

超音波逆散射積分 (IBC) 係數是一種有效的心肌病變評估工具，通過對組織的超音波回波進行處理，來判斷組織的病變情況。IBC 係數反映了組織對超音波散射的強度，並且能夠區分心肌、心瓣膜等不同組織。本研究選擇 IBC 係數作為主要評估工具，旨在通過頻率響應與數據分析，實現對心肌梗塞區域的精確定位。

#### (2)利用球狀座標來決定牛眼圖中的位置:

我們使用了美國心臟協會共同定義的牛眼圖 (bullseye) 來將心臟分為 17 個區域，以評估心肌和左心室腔的系統。



◀ 牛眼圖 17 個區域在 3D 模型之中的對應位置

### 2.2 系統設計

#### (1) 超音波數據對照位置

我們使用來自魯汶大學心血管科學系提供的超音波數據，通過機電模擬生成了超音波射頻 (RF) 數據。這些 RF 數據代表了超音波探頭髮射並接收到的信號，並以球座標 ( $r$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ ) 形式呈現。這些數據可轉換為左心室的 lateral、

elevational 和 axial 數據，從而構建出一個完整的左心室三維模型。

這組 RF 數據包含 34 個時間單位，表示一個完整的心跳週期中左心室的膨脹和收縮過程。此外，這些數據還分為冠狀左前降支動脈缺血區和健康的左心室數據。我們通過對比已知的缺血區與健康區，計算並觀察心跳週期中 IBC (逆散射積分) 的變化，以判斷缺血區的特性。

### (2) matlab 的實際操作及 ibc 的應用

我們設計了一套基於 MATLAB 的系統，旨在通過快速傅立葉轉換 (FFT) 處理超音波回波數據並計算逆散射積分係數 (IBC)。該系統的主要目標是高效計算心臟不同區域的 IBC 值，以便清晰區分健康區域與病變區域，從而為醫學診斷提供重要依據。此外，系統還包含圖像處理的步驟，能將處理後的數據以圖像形式可視化，並通過對比分析結果，提升診斷的可靠性。

$$IB = \frac{1}{f_1 - f_2} \sum_{f_1}^{f_2} \frac{|S_r(f)|^2}{|S_{ref}(f)|^2}$$

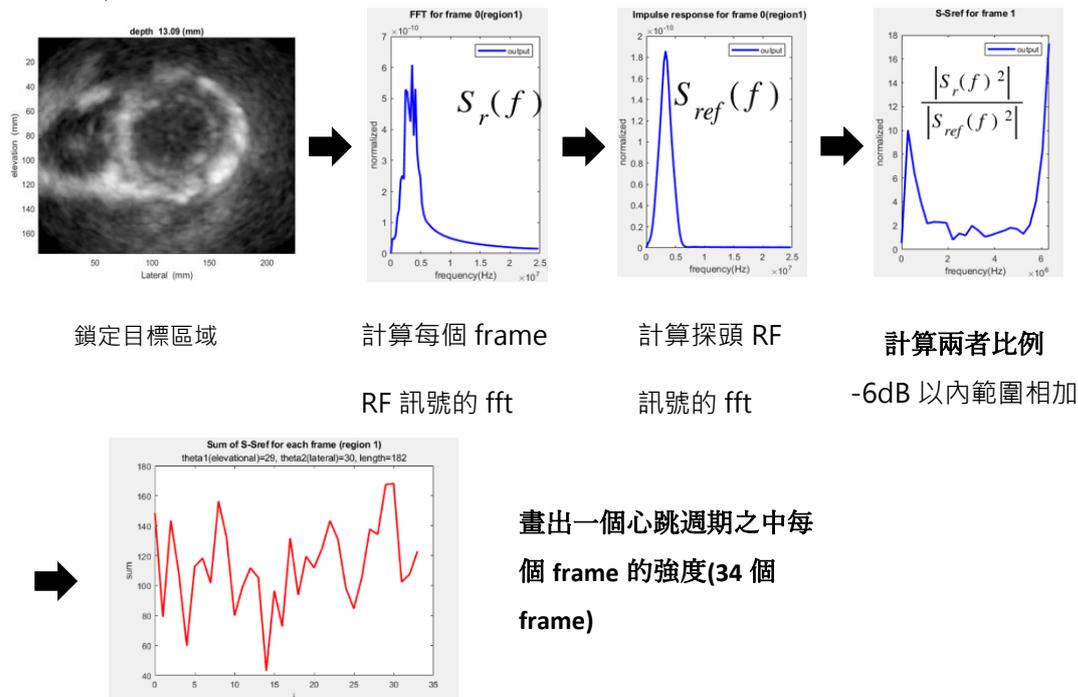
$f_1$ : lower frequency which intensity is -6dB

$f_2$ : higher frequency which intensity is -6dB

$S_r(f)$ : rf signal reflecting from tissue

$S_{ref}(f)$ : rf signal from transducer

IBC 分析流程：



### (3). 擷取參考資料的心肌差異：

正常心肌：正常心肌的 IBC 圖像呈現兩級波動模式，反映出心臟收縮與舒張過程

中的信號變化。心臟收縮時信號強度較高，舒張時信號強度較低。

缺血區域：與正常心肌相比，缺血區域的 IBC 波形出現相位差，信號變化與正常區域呈現反向特徵。在心臟舒張期間，缺血區域的 IBC 值反而上升，收縮期間則下降，這與文獻中的心肌梗塞研究結果一致，表明 IBC 能有效檢測缺血區域。從參考資料[3]可以發現這篇論文跟上一頁我們做出的結果有著類似的結果，缺血區域變化完全反轉，心收縮期間強舒張期間弱。

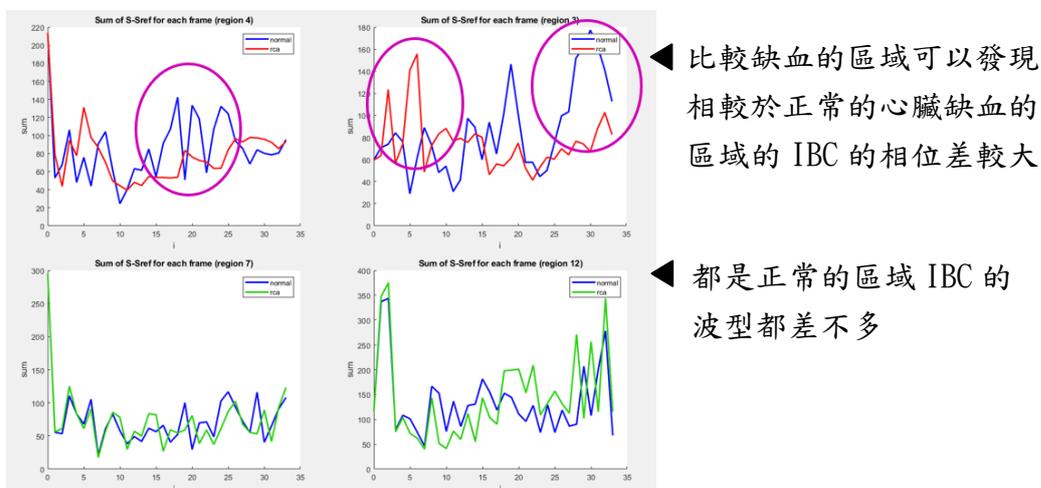
### 三、實驗結果

#### (1). 正常心臟 16 個 region(控制變因):

利用快速傅立葉轉換 (FFT) 對超音波回波數據進行頻譜分析，計算逆散射積分係數 (IBC)。系統提取射頻數據中的參考信號，通過頻譜分解獲得各頻率成分的強度，縱軸為以此為基礎計算不同區域的 IBC 值，橫軸為 34 個 frame。

#### (2). 初步 IBC 強度波型的判斷:

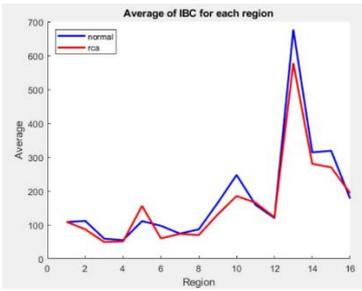
缺血區域 vs. 正常區域 :



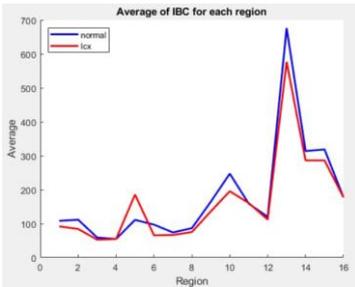
#### (3). 整理出 LCX, RCA 時不同 region 對應到的 IBC 強度:

用產圖的方式來快速分析出哪一些 region 是在病變時的 IBC 強度比正常區域來的強，而缺血的心肌平均 IBC 強度較健康的心肌來的高。

RCA:



LCX:

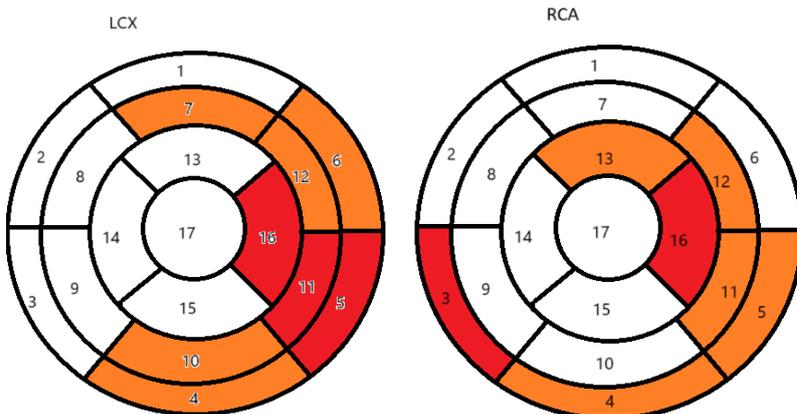


(4). 利用參考資料中的判讀方式來畫出自己的牛眼圖

我將比較對象(控制變因) 設為醫學公版的牛眼圖，由下圖的四種不同類型的心肌梗塞可以看出該種心肌梗塞缺氧心肌的位置(紅色為心肌阻塞，橘色為邊緣區域，而白色為正常心肌)。

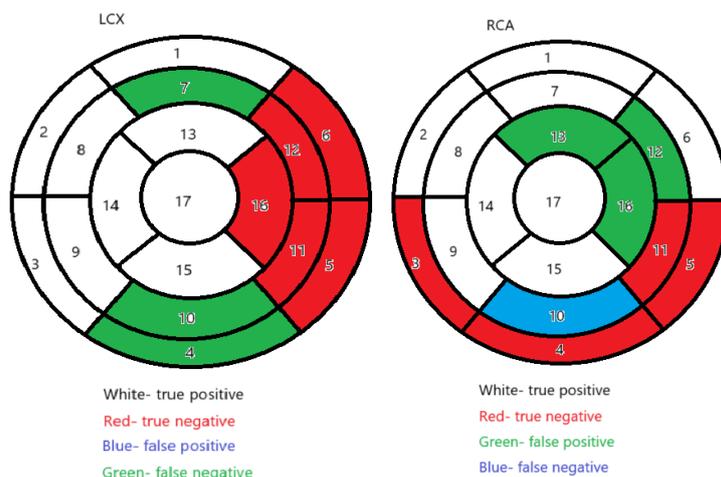


以下為判讀過後產出的牛眼圖(以 LCX, RCA 為例):



可以看出以上有病變的地方是包含公版中的患病部位，有些會呈現邊緣區域的特性，但看起來患病的部位分布的更廣，而在整理 model prediction 時，我們將邊緣區域視為輕度的心肌梗塞。

而我用 true positive/true negative/false positive/false negative 的四種區分方式來呈現做出來的結果(為下圖)，基本上白色及紅色區塊屬於判斷正確的地方，而綠色藍色屬於判斷錯誤的，而可以看到這個方法將本該有心肌阻塞的區域判斷為無阻塞的機率極低(藍色區域) 而患病的部位比起醫學公版又分布的更廣，這個方式的誤差原因(LCX 的 region 4, 7, 10/RCA 的 region 10, 12, 13, 16)大概能分為聲波隨著傳播過程的衰減以及偽影等原因。



此外藍色與綠色區域的發生原因也可能是心肌本身的位置和張力變化也對聲波的路徑產生折射效應，改變傳播方向和響應特性。肌肉中脂肪組織的厚度和分布則可能增加聲波的衰減，特別是在信號穿越這些低聲阻抗區域時，可能導致 IBC 測量的誤差。這些因素共同作用，使聲波的傳播特性在不同結構下變得更加複雜，這是這個研究的變因之一，需要進一步研究和校正以提高測量的準確性。

#### 四、結論

本次研究基於超音波技術對心肌病變進行了深入探討，透過 IBC 係數提供了一種非侵入性的評估方法，這對心臟疾病的診斷具有重要意義。在研究過程中，我們結合了頻譜分析和 IBC 係數，對心臟的不同區域進行分析，我們發現在缺血區域和正常區域上，IBC 波形顯示了明顯的相位差異。

本研究展示了超音波技術在心臟病變評估中的潛力，並為未來的臨床應用奠定了基礎。後續工作將著重於優化波形中急劇變化的部分，使波形更加平滑，同時不影響對缺血區域和正常區域的判斷，或探索其他更為可靠的判斷依據，以進一步提升診斷的精確度與穩定性。

## 五、心得感想

透過這次專題實作，我們接手學姊留下的資料，投入大量時間去理解學姊的資料以及熟悉 matlab 幫助我們分析數據。在這段學習過程中，我們深刻體會到理論知識如何轉化為實際應用的挑戰與意義，同時也感受到自主學習與解決問題所帶來的成就感。

特別感謝教授的悉心指導，每次的 meeting 讓我們有機會討論並解決遇到的問題，成功幫助我們克服了許多困難。過去在大學期間修習的課程，如訊號與系統、數位訊號處理、生醫影像導論等，所學的理论知識在這次的專題中得以充分應用。

整個專題過程中，自主學習與導師的指導成為我們進步的兩大關鍵。我們學會了如何有效地解決問題，從文獻搜尋到數據處理，再到克服實際困難，都是寶貴的實務經驗。而最大的成就感，來自於每次面對難題，經過努力與思考，在之後成功解決問題的那一刻。