



超音波散射統計成像的現況與未來展望

崔博翔副教授 / 長庚大學醫學影像暨放射科學系、
長庚大學放射醫學研究院、林口長庚醫院影像診療科部

超音波影像目前是臨床上非常普遍且重要的診斷工具，近代更有許多高階功能性影像，例如彈性影像等技術陸續被提出來改善超音波影像在診斷上的不足。除了功能性影像外，來自組織中的逆散射訊號，其波型與訊號特徵已經被

證實與組織微結構組成有關，因此分析超音波散射來實現組織特性化，也是目前許多研究者，甚至是業界感興趣的研究主題，一個最好的例子，就是 Toshiba 超音波近期所推出的 ASQ(Acoustic Structure Quantification)軟體技術，即利用逆散射訊號的統計分布來診斷肝臟纖維化。

當超音波入射至組織中，若散射子小於波長，原則上就會產生散射。不同的組織微結構，會產生不同的散射訊號特徵。基於散射的隨機性，分析逆散射訊號的機率分佈模式，進而歸納出訊號統計分布與組織特性之間的關聯，是常被利用的方法。在 1970 年代，許多學者就開始研究逆散射訊號機率特性與組織特性之間的關係。常用的統計模式，包括了

雷利(Rayleigh)分布、Rician 分布、K 分布、修正 K 分布、Nakagami 分布、複合 Nakagami 分布等數學統計模型。在最近 10 年，利用統計參數來發展參數影像應用於生物與臨床需求，也得到越來越多研究者的響應。例如美國 Emory 大學放射腫瘤系 Tian Liu 教授提出以 Nakagami 影像量化放射治療誘發纖維化之程度[1]；中國西安交通大學醫工系萬明習教授提出使用 Nakagami 影像監控高能超音波燒灼[2]；葡萄牙 University of Coimbra 團隊利用 Nakagami 影像偵測水晶體白內障[3]；香港大學電機系李維寧教授利用 Nakagami 影像來定量心肌結構特性[4]。在臨床驗證同時，英國牛津大學工程科學系 Nobel 教授發展出小視窗

醫工及動物超音波專欄

超音波散射統計成像的現況與未來展望 / 崔博翔 P01

醫工超音波 - 超音波結合微氣泡對比劑促進藥物經皮穿透 / 廖愛禾 P04

動物超音波 / 林芬瓊 P07

藝文專欄 / 陳持平 P11
/ 王乃元 P12

國際會議資訊 P13

最新課程活動消息 P14

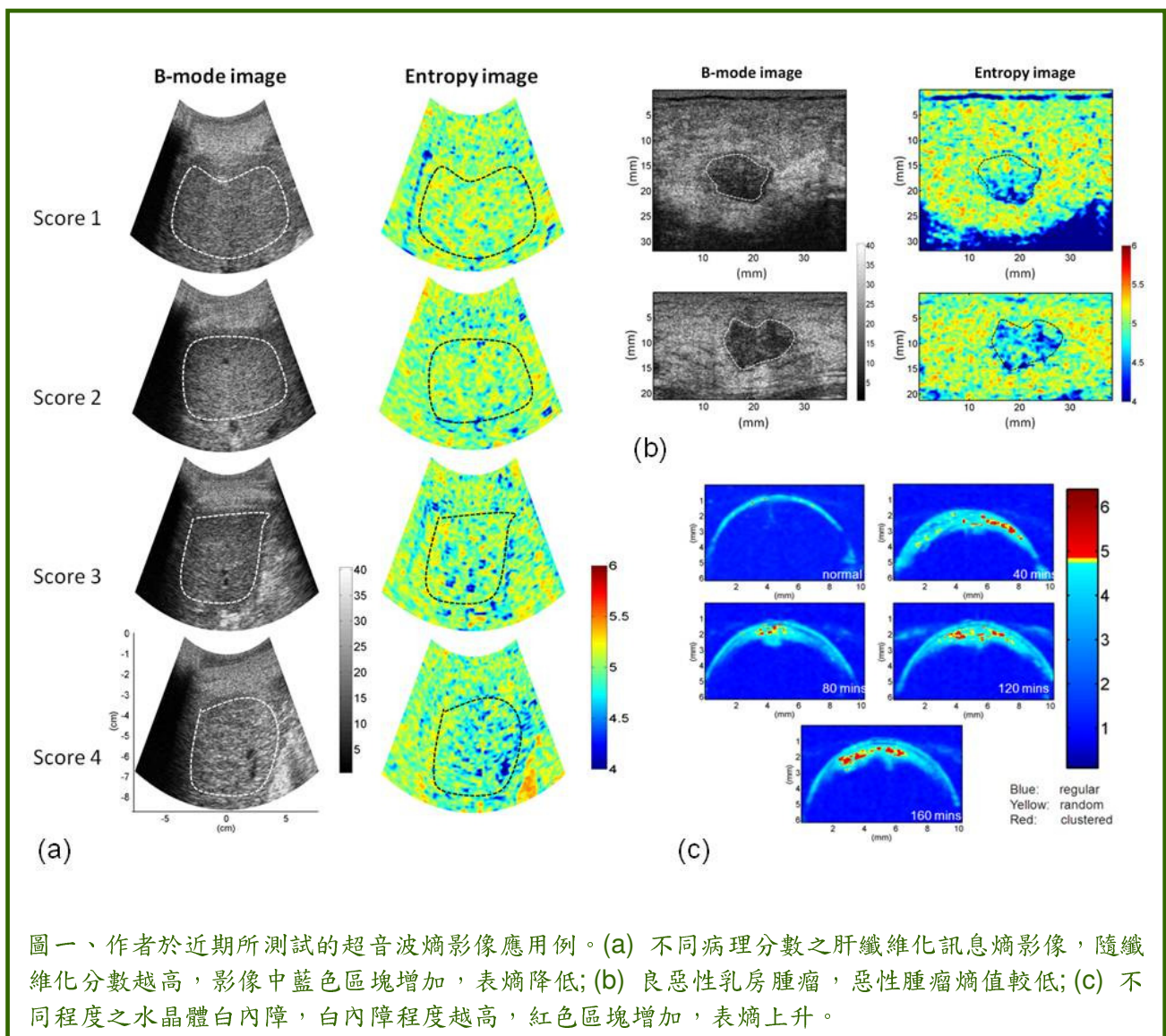
Nakagami 成像技術[5]，以及長庚大學醫放系超音波實驗室發展視窗調變複合 Nakagami 影像技術[6]，都是將超音波參數影像的品質往前提升的重要里程碑。

考量實際情況，參數影像有一個主要的限制，由於影像是基於運算數據本身遵循某統計模式下才能重建，因此數據取得若不是原始之射頻訊號，或者取得之數據經過非線性處理，則所建立的超音波參數影像便會失去參數本身的物理意義。若要突破上述限制，我們勢必要在超音波統計模型方法

之外，另闢一條新的方向來建立超音波參數影像。最重要的，是超音波新參數的估算方式，勢必需要走出原本數學模型的框架限制，使方法在反映逆散射訊號訊息的同時，更具彈性與廣泛之應用性。

那麼何謂訊息？就過去數理學家對於訊息的描述，我們可以想像它不是一個遵循某特定分布的資料，訊息應該是一種充滿各種可能性的表現。在 1948 年，美國數學家夏儂，在貝爾系統技術學報發表了通訊數學理論論文，這篇劃時代的著作，為現代訊息理論研究之

開端。在該文中，夏儂定義了訊息熵(information entropy)來度量系統所產生之訊息亂度(randomness)、或者不確定性(uncertainty)，這也是後來非常有名的夏儂熵 (Shannon entropy)。透過夏儂熵來測量一個系統訊息的亂度或者不確定性，藉此反應訊息所代表之意義，是訊息理論非常重要的核心思想。在 1992 年，美國華盛頓大學 Hughes 教授開始將夏儂熵引入超音波領域[7]，不僅分析超音波訊號之波型特性，並也探討超音波訊息熵影像在組織特性定量的表現。我們在



圖一、作者於近期所測試的超音波熵影像應用例。(a) 不同病理分數之肝纖維化訊息熵影像，隨纖維化分數越高，影像中藍色區塊增加，表熵降低；(b) 良惡性乳房腫瘤，惡性腫瘤熵值較低；(c) 不同程度之水晶體白內障，白內障程度越高，紅色區塊增加，表熵上升。

最近也利用統計直方圖的簡易模式，發展出超音波熵影像[8]，並且定義出加權熵來更靈敏的診斷組織的散射微結構變化[9]。夏儂熵分析優於超音波統計模型的地方包括：(i) 熵並非數學模型，訊號本身不需遵循某特定分佈，實際應用上更

具彈性；(ii) 熵是利用射頻訊號本身計算，可以真正落實訊號波形資訊的反映；(iii) 由於熵跳脫數學模型的限制，這對無法提供超音波原始訊號數據的超音波系統來說，有了開發參數影像的機會。在未來，若能賦予熵完整的散射物理意義詮

釋，並協同臨床醫師進行臨床實務驗證與業界技術支持，將非常有機會實現新一代的超音波參數影像技術，進而促進臨床技術提升以及國內產業技術加值之效果。

參考文獻

1. Yang X, Tridandapani S, Beitler J J, Yu D S, Wu N, Wang Y, Bruner D W, Curran W J and Liu T 2014 Ultrasonic Nakagami-parameter characterization of parotid-gland injury following head-and-neck radiotherapy: a feasibility study of late toxicity *Med. Phys.* **41** 022903
2. Zhang S, Li C, Zhou F, Wan M and Wang S 2014 Enhanced lesion-to-bubble ratio on ultrasonic Nakagami imaging for monitoring of high-intensity focused ultrasound *J Ultrasound Med* **33** 959-70
3. Caixinha M, Jesus D A, Velte E, Santos M J and Santos J B 2014 Using ultrasound backscattering signals and Nakagami statistical distribution to assess regional cataract hardness *IEEE Trans Biomed Eng.* **61** 2921-9
4. Yu X and Lee W N 2014 Characterization of the heart muscle anisotropy using ultrasound Nakagami imaging *IEEE Ultrason. Symp. Proc.* **1** 2367-70
5. Larrue A and Noble J A 2011 Nakagami imaging with small windows *IEEE Ultrason. Symp. Proc.* 887-90
6. Tsui P H, Ma H Y, Zhou Z, Ho M C and Lee Y H 2014 Window-modulated compounding Nakagami imaging for ultrasound tissue characterization *Ultrasonics* **54** 1448-59
7. Hughes M S 1993 Analysis of digitized waveforms using Shannon entropy *J. Acoust. Soc. Am.* **93** 892-906
8. Zhou Z, Huang C C, Shung K K, Tsui P H, Fang J, Ma H Y, Wu S and Lin C C 2014 Entropic imaging of cataract lens: an in vitro study *PLoS One* **9** e96195
9. Tsui P H 2015 Ultrasound detection of scatterer concentration by weighted entropy *Entropy* **17** 6598-616



圖二、作者與小孩生活近照