

Acoustic radiation force and elasticity imaging

徐士哲醫師 / 臺大醫院雲林分院 內科部

觸診 (palpation) 是診斷的重要步驟。兩千四百年前西方醫學之父 Hippocrates 主張可藉由評估器官的彈性以判斷人體健康狀態；春秋時代神醫扁鵲提出「切診」，用手感覺脈象及觸壓腹部以助診斷。兩者有異曲同工之妙。然而觸診無法量化器官特性。為能客觀測量生物組織的彈性，醫療影像學於過去二十年新興一門學門，即彈性影像學 (elasticity imaging)；基本原理為透過生物內生或影像工具外加之應力 (stress)，造成生物組織產生應變 (strain)，量測應變程度以評估生物組織彈性 (elastic modulus = stress / strain)。應力來源包括外加靜態按壓 (static compression)、動態振動 (dynamic vibration)、聲波輻射力 (acoustic radiation force, ARF)、及生體內源性應力如心跳、血管脈動、呼吸；量測應變的方式包括核振造影、超音波、放射線、以及光學成像。運用不同的應力來源及量測方式，學界已發展出十餘種彈性影像學方法。以 ARF 為基礎之彈性影像學近十年發展迅速，成像原理利用超音波產生應力及量測應變，發展至今許多醫用超音波廠家已將相關應用整合於市售機型；可用

於病灶特性評估、量化組織彈性、以及局部消融治療效果判定，應用於乳房、肝臟、攝護腺、甲狀腺、以及肌肉軟組織疾病之診斷。

何謂 ARF？聲波穿透介質傳遞時，其能量會被介質吸收 (absorption) 產生衰減 (attenuation)，被吸收的能量一部分轉化為動量；介質因動量而產生位移，位移程度可透過都普勒超音波量測。好比武俠小說中「隔空打牛」，於遠端「發功」而能觸動另一端的物體，因而有學者稱之為“virtual palpation”。ARF 除了在聲波行進軸向觸動介質產生位移，在與軸向垂直之側向則會產生剪力波 (shear wave)；偵測剪力波行進速度，也可以推估介質彈性。早在 20 世紀初期英國物理學大師 Lord Rayleigh 便提出 ARF 的概念。直到 90 年代中期，俄國學者 Dr. Sarvazyan (見附圖) 等人首先提出以 ARF 原理評估生體組織彈性的理論基礎，發明剪力波彈性影像 (shear wave elasticity imaging, SWEI) 技術。美國 Duke 大學 Dr. Nightingale (見附圖) 等人於 2001 年發明聲波輻射力脈衝影像 (acoustic radiation force impulse

imaging, ARFI imaging) 技術，利用 ARF 原理產生身體組織彈性影像。Siemens 公司於 2008 年發表 ACUSON S2000 超音波機型，植入 ARFI imaging 技術 (商用名稱為 Virtual Touch Imaging)，是第一款運用 ARF 原理呈現彈性影像的商用機種。ARFI imaging 所呈現是選定區域的彈性影像，以影像灰階深淺對應 ARF 產生位移程度，所提供為質性而非量化之資訊。Dr. Nightingale 等人運用 SWEI，另發展出量化肝臟彈性係數的技術；該技術亦移植入 ACUSON S2000，商用名稱為 Virtual Touch Quantification。德國學者 Dr. Friedrich-Rust 等人於 2009 年 Radiology 期刊發表第一篇運用 Virtual Touch Quantification 技術之臨床論文，證明該技術可準確評估慢性肝炎病患肝纖維化程度；迄今各國學者於相關主題發表之原著論文已超過百篇，統合分析論文亦有四篇，皆認可 Virtual Touch Quantification 於評估肝纖維化之實用性。另一種運用 ARF 原理的彈性影像稱為超音速剪力影像 (supersonic shear imaging, SSI) 技術，由法國學者 Dr. Bercoff 等人於 2004 年發表，搭配超高速圖框率 (每秒超過 5000 幅) 超音波

主機，SSI 技術可達到實時間呈現量化的彈性影像。法國超音波廠商 SuperSonic Imagine（該公司創辦人包括 Drs. Sarvazyan 及 Bercoff）於 2008 年整合 SSI 技術推出 Aixplorer 機型；於肝纖維化程度評估、乳房疾病、及軟組織疾病鑑別診斷，皆有相關應用之原著論文陸續發表。其他超音波廠家包括 Philips 及 Toshiba，近年

推出之高階機種亦植入 ARF 相關之彈性影像學技術，可量化組織彈性。

前述影像技術應用上仍有其限制。受限於 ARF 可達深度，針對深部組織無法呈現良好之彈性影像。於過度肥胖或無法配合閉氣之受檢者，前述技術表現亦會受到影響。此外，不同彈性影像技術其量化

數值呈現目前尚未標準化；同一個受檢者使用不同設備所測得之組織彈性數值存在差異。限於篇幅，本文對於 SWEI、ARFI、及 SSI 成像原理之差異無法細述，有興趣的會員可參考 <http://dx.doi.org/10.1109/TUFFC.2013.2617> 及其參考文獻。



發展 ARF 彈性影像學的兩位奠基者：Dr. Armen Sarvazyan（圖左）與 Dr. Kathryn Nightingale（圖右）