超音波影像融合與導航技術於肝臟腫瘤

超音波導引消融治療的應用

王勝永

台北馬偕胃腸科 主治醫師

隨著肝臟腫瘤微創治療技術的發展，熱消融治療，特別是射頻消融（radiofrequency ablation, RFA）與微波消融（microwave ablation, MWA）等，因其微創性、恢復期短與重複治療可行性等優點，已成為不適合接受手術切除之肝腫瘤患者的重要治療選項。然而，如何將治療能量精準地傳遞至目標區域，完整破壞腫瘤，同時保留鄰近的正常結構，仍為肝臟消融治療的重要課題。

傳統上，超音波因其即時動態影像、高可攜性、無輻射暴露及與相對低成本等優點，為肝臟消融治療中最常使用的導引工具。然而，臨床應用中仍面臨諸多限制。例如，消融過程產生的微小氣泡會遮蔽超音波成像，影響術中評估或追加治療的可行性。此外，超音波穿透力在肥胖或重度脂肪肝患者中顯著下降，某些腫瘤因組織特性，或因鄰近結構遮蔽，導致超音波成像不佳，都可能限制傳統超音波導引消融治療的徹底性與安全性。

影像融合技術（fusion）

為克服上述限制，現代高階超音波機種提供影像融合進階影像技術，將術前的影像資料（如電腦斷層(CT)、磁振造影(MR)、正子攝影(PET)或超音波）與術中即時超音波影像進行空間對位與疊合。傳統上，經驗豐富的操作者需在腦中完成多重影像的認知整合，但此方式高度依賴個人經驗，且誤差風險大。電腦輔助影

像融合則將此過程客觀化、精準化，提升臨床應用的準確性與一致性。

影像融合的基本流程包括病人適當擺位、術前影像匯入、啟動電磁定位系統，並完成將術前影像與即時超音波影像的對位與融合。其中，自動對位（automatic registration）技術已逐漸成熟，讓術前影像與即時超音波的對位能夠在電腦輔助下自動完成，進一步降低學習操作門檻與人為誤差。自動對位主要操作方式有二：一是血管導向對位，藉由術前影像中可辨識的血管樹作為特徵，與超音波影像中的血管進行對位，適用於能清楚辨識血管樹之術前影像。另一種是表面輪廓導向對位，則根據肝臟表面輪廓特徵進行對位，優點是不一定需要顯影劑增強影像，對於術後或血管變異較大之患者尤其適用。

影像融合技術能輔助偵測並定位傳統超音波下難以顯影的肝臟腫瘤，特別是針對小型病灶，能提高消融治療的可行性。一篇前瞻性研究指出，影像融合能顯著改善不易察覺腫瘤的可見度和消融可行性，若影像融合評估認為治療可行性低，則病灶接受消融後的局部復發風險較高。

導航技術（navigation）

在影像融合基礎上進一步延伸的導航技術，能提供消融治療的空間導引與視覺化輔助。透過附加在消融針具外部的追蹤器，

系統能在融合影像中模擬針具的進針路徑與針尖位置。對於處理位置較深、角度刁鑽，或需避開重要結構的病灶能提供相當幫助。即使消融視野受限於氣泡干擾，或消融針尖不易看清時，仍能依賴導航系統判斷針具位置並進行調整，提升複雜病灶治療的信心與準確性。

成功的肝癌消融治療不僅需要徹底涵蓋腫瘤，更須確保腫瘤周圍有足夠的消融邊緣（ablative margin），以降低局部復發機率。導航技術能協助規劃所需的消融範圍，包括預期的安全邊緣，針對較大或形狀不規則的腫瘤，可協助設計多針、多點、重疊式的消融策略。消融後，亦可立即搭配對比增強超音波（contrast-enhanced ultrasound），在融合影像上與術前規劃消融範圍進行比對，即時評估消融治療效果，針對未完全消融區域立即補強消融。

結語

影像融合與導航技術的發展，為肝臟腫瘤超音波導引消融治療開啟新的局面。透過整合多重影像資訊，提供精準的空間定位與路徑導引，不僅克服傳統超音波的侷限，提升不易察覺病灶的治療成功率，確保足夠的消融邊緣，降低復發風險，亦強化了術前規劃、術中導引及術後評估的整體治療流程。相關技術的進展與推廣，將有助於提升消融治療品質與病人預後。