

中文摘要

Tau 蛋白正子斷層造影 (Tau PET imaging) 在評估 tau 蛋白相關的神經退化性疾病，如阿茲海默症 (Alzheimer's disease, AD)，具有臨床實用性。為了提升 PET 的輻射安全與掃描效率，藉由降低注射的放射性示蹤劑 (radiotracer uptake) 劑量或縮短掃描時長獲得的低計數 (low-count) PET 影像成為一種替代方案。然而，低計數 PET 影像品質因示蹤劑攝取量減少導致影像雜訊增加，不利於臨床診斷及應用。深度學習 (deep learning) 方法近年在電腦視覺領域廣泛應用，並已被利用在低計數 PET 影像增強 (enhancement)，改善影像品質並保持臨床效用的準確性。過去的研究證實深度學習模型在增強低計數氟代脫氧葡萄糖 (FDG) 與類澱粉蛋白 (amyloid) PET 影像上表現良好，但對於低計數 tau PET 影像增強的研究仍相對不足。並且 tau PET 的示蹤劑攝取呈現更弱且更局部化的特徵，增加影像增強的難度。本研究旨在利用確定性 (deterministic) 與生成式 (generative) 深度學習方法增強低計數 [^{18}F] -florbetapir 腦部 tau PET 影像，並探討是否能在定性與定量上得到接近完整計數 (full-count) 影像的增強效果。

本研究主要的資料集包含 52 對 T1 加權核磁共振 (T1-weighted MR) 影像與靜態 tau PET 影像序列，每組 PET 序列包含六個五分鐘的影像幀 (frames)，其中，第一個影像幀被選作六分之一低計數 PET 影像，而完整計數影像為全部三十分鐘的平均訊號。本研究利用兩種深度學習方法增強低計數 tau PET 影像。第一，我們引入一種確定性深度學習模型 (一種 U-Net 變體)，並以成對的低計數與完整計數 PET 影像進行監督式學習 (supervised learning)。第二，我們提出一種新穎的生成策略——多幀生成 (multi-frame generation)，此方法透過合成多張由生成式深度學習模型的輸出影像幀，達到影像增強效果。實驗中使用條件式一致性模型 (conditional consistency model, cCM) 生成影像幀。多幀生成能夠藉由調整輸出影像幀的數量，進而應用在不同程度低計數的 PET 影像。此外，我們針對多幀生

成策略的預測可靠性、輸出與條件的一致性以及對資料的泛用性進一步驗證。

在定量評估中，無論是確定性或是生成式方法，所增強的影像在品質上皆有顯著提升。根據視覺定性評估，兩種方法皆能夠減少影像雜訊，同時保留高攝取區域的主要細節。U-Net 基底的確定性模型輸出的影像紋理較為模糊，而多幀生成策略能夠生成更加接近真實完整計數的影像紋理。此外，多幀生成策略在三分之一低計數資料集的零樣本（zero-shot）測試中相較其他模型展現出更加優異的表現。消融實驗（ablation studies）進一步支持了多幀生成的泛化能力，顯示其在不同資料集中實用的潛力。而不確定性視覺化（uncertainty maps）則提供了模型生成過程的信心程度。

確定性與生成式深度學習方法皆能有效增強低計數 tau PET 影像，而本研究提出的多幀生成策略在影像紋理保留與泛化能力方面表現更為優越。統計與腦區分析確認了影像品質的顯著提升以及影像數值的準確性。儘管本研究在訓練資料的多樣性上有所不足，研究結果仍支持深度學習在低計數 tau PET 影像增強具有高度潛力，使 tau PET 成為更安全且高效率的臨床成像工具。

關鍵字：深度學習；生成式模型；低計數正子斷層造影；Tau 蛋白正子斷層造影