

解鎖人體流動的奧秘： MRI 血流定量分析

在臨床診斷中，精準地觀察並量化體內的動態流動—無論是血管中的血液還是腦脊髓液—都至關重要。磁振造影 (MRI) 提供了一種強大的非侵入性方法，讓我們能夠將這些看不見的流動視覺化，為疾病的診斷與評估提供關鍵資訊。本指南將深入探討實現此目標的核心技術：速度編碼 (VENC)。



VENC：量化流速的關鍵參數



定義：速度編碼（Velocity Encoding，VENC）是磁共振造影中的一個關鍵參數，用於定量評估體內移動流體（如血液和腦脊髓液）的速度。



功能：VENC 設定了 MRI 掃描儀能夠準確測量的最大速度值，而不會產生混疊假影（aliasing artifacts）。



應用：在「相位對比 MRI」（Phase-Contrast MRI）技術中，VENC 值至關重要，它能確保由流體運動引起的相位偏移被準確捕捉，從而實現對血流和腦脊髓液流速及方向的精確測量。



單位：cm/s（公分/秒）。

VENC 的物理原理：一個關於相位變化的故事

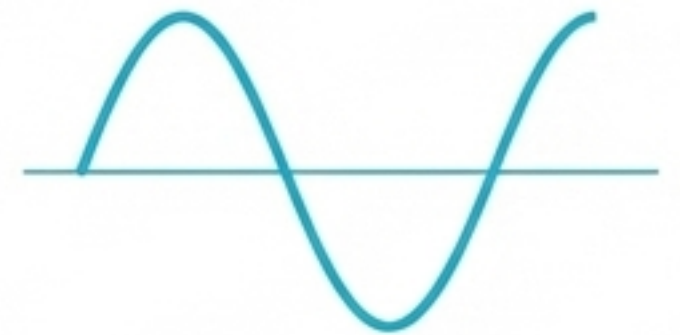
VENC 的運作原理基於一個事實：在磁場中移動的質子，其相位會相對於靜止的質子發生變化。

在相位對比 MRI 中，系統會施加特定的梯度脈衝，將移動質子的「速度」編碼到 MRI 信號的「相位」中。

VENC 值的作用是校準這些梯度，使其與預期的最大流速相匹配。

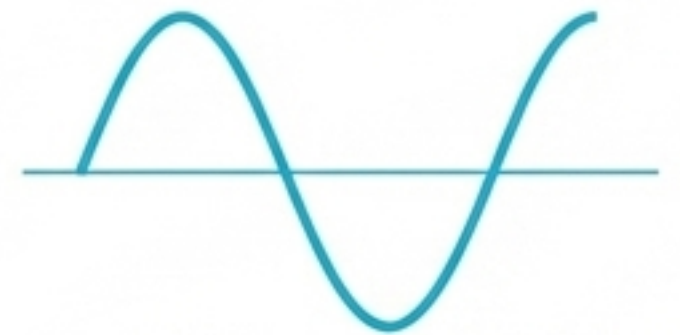
如果流體速度超過設定的 VENC 值，相位偏移將會「環繞」 (wrap around)，導致影像上出現錯誤的數據。透過謹慎選擇 VENC，系統就能準確測量流速。

靜止質子



無相位偏移

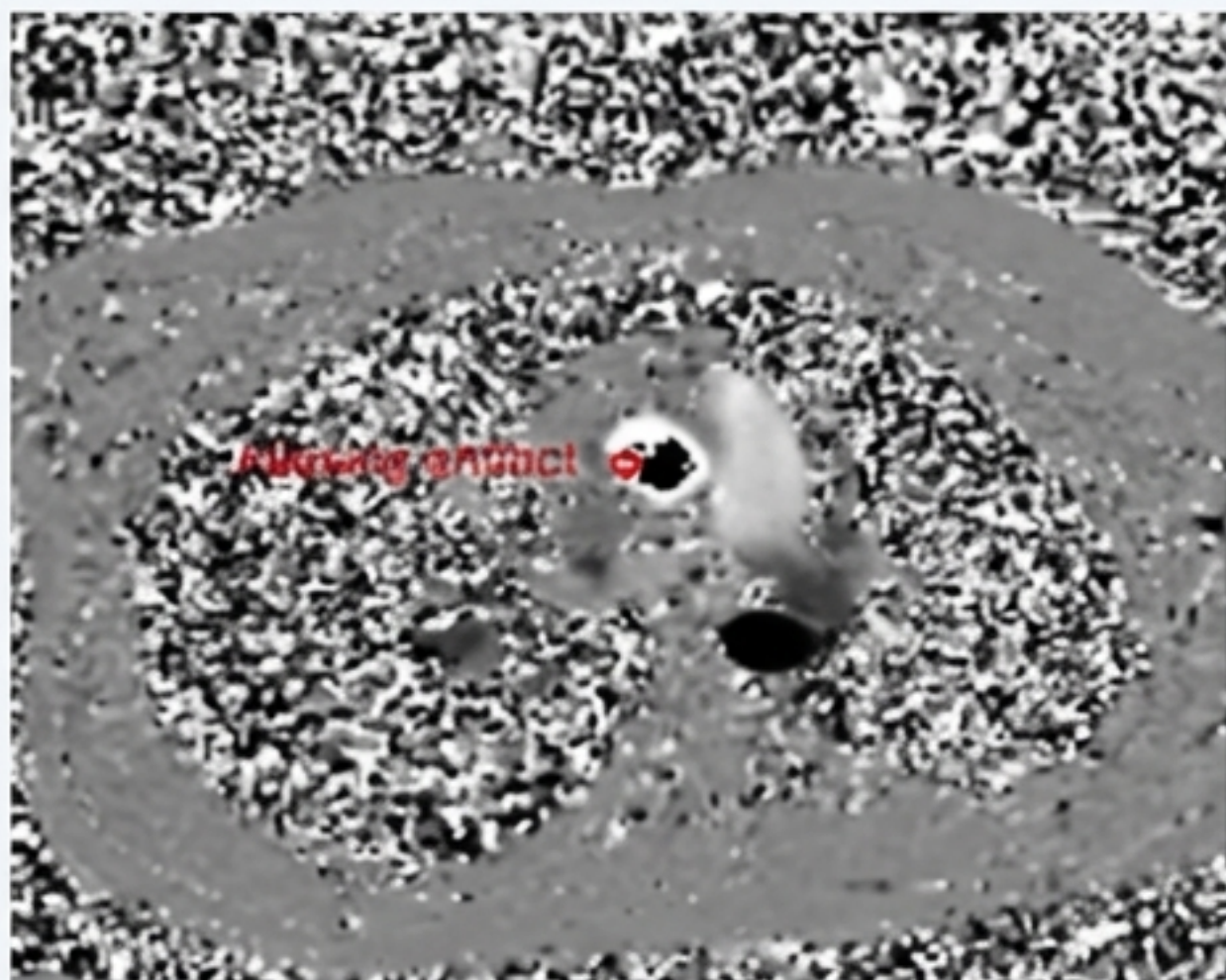
移動質子 +
梯度脈衝



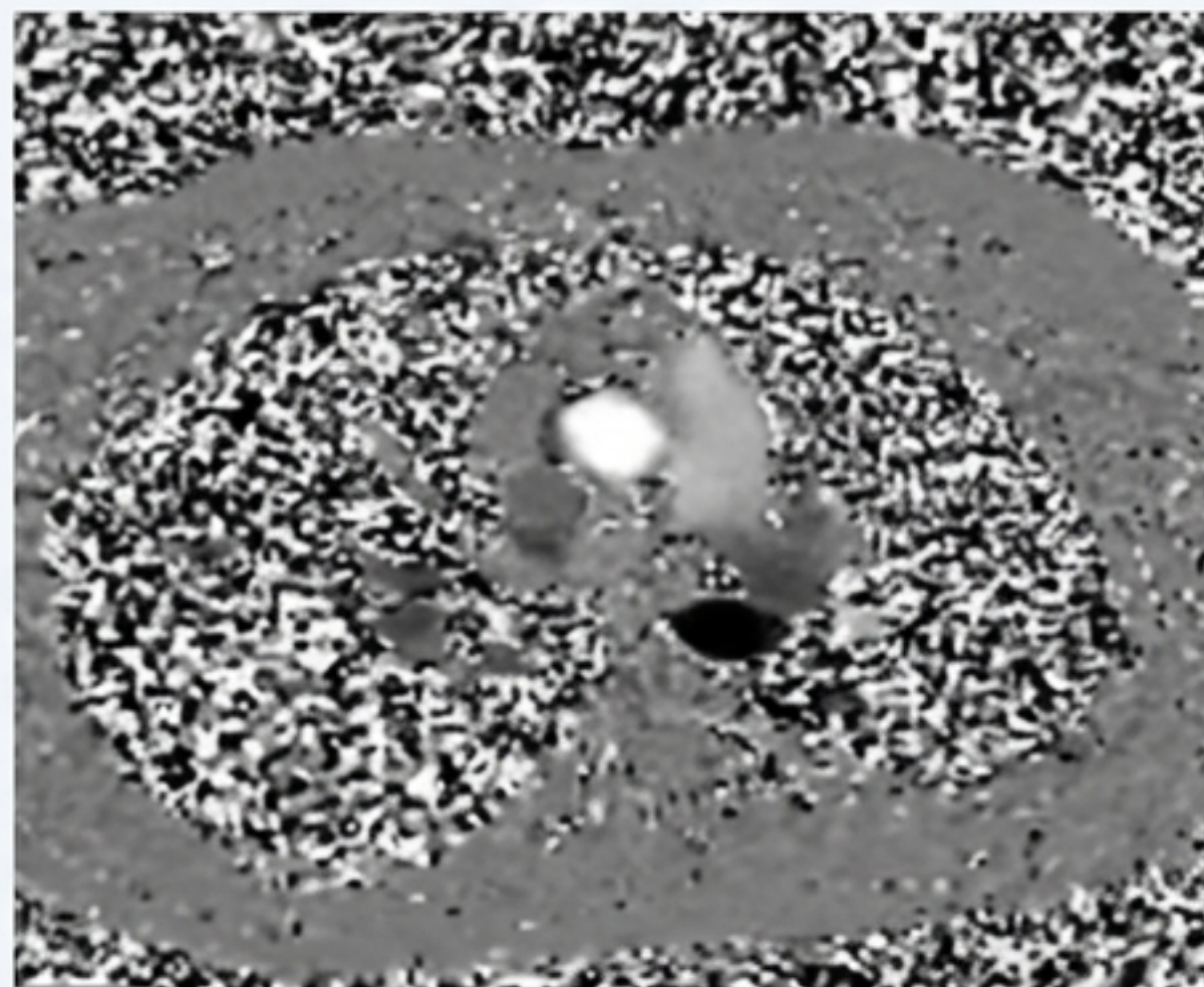
可測量的相位偏移

最大的挑戰：不準確的 VENC 所造成的混疊假影

VENC 設定是成敗的關鍵。如果 VENC 值設定得太低（遠低於實際流速），就會發生「混疊假影」。這會導致高速流動的區域被錯誤地顯示為低速甚至反向流動，從而使定量分析完全失效，並可能導致錯誤的臨床判斷。



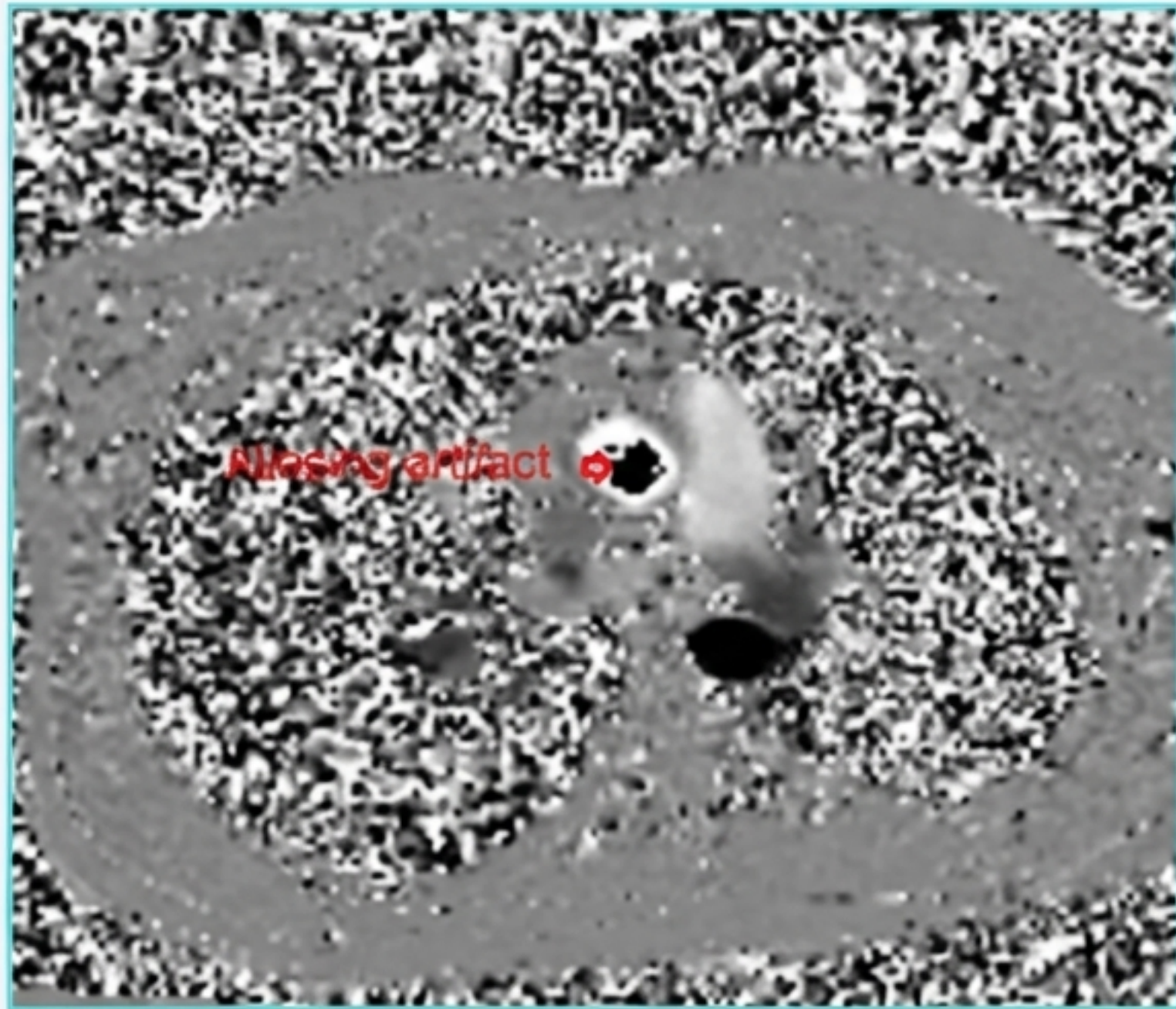
失敗 (VENC 設定過低)



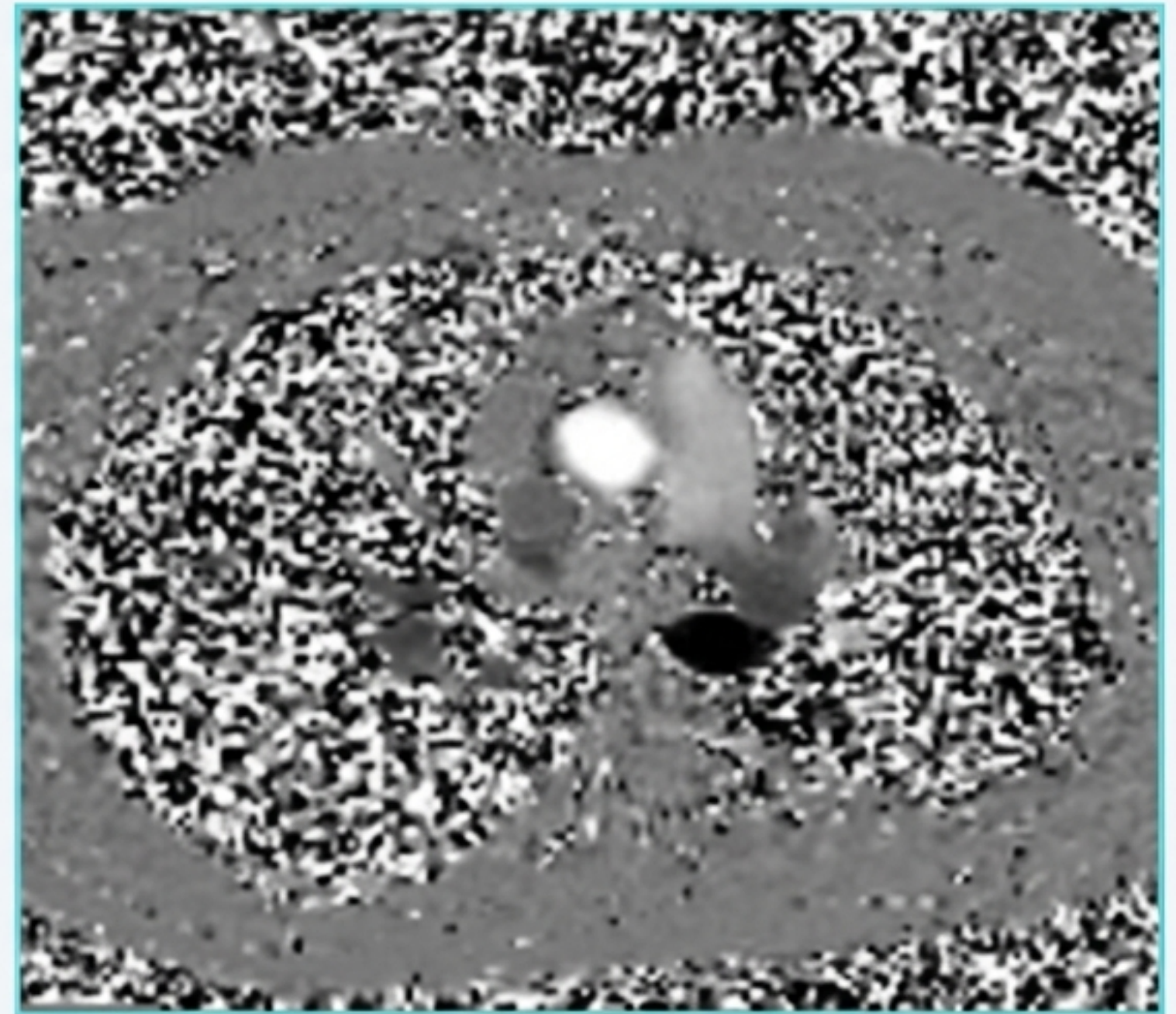
成功 (VENC 設定正確)

實例解析：主動脈血流測量中的 VENC 設定

以下是測量主動脈血流時，不同 VENC 設定所產生的結果對比。注意當 VENC 設定為 50 cm/s 時，主動脈中心的亮白信號 (代表高速血流) 中出現了黑色區域，這就是典型的混疊假影。



VENC 設為 50 cm/s



VENC 設為 150 cm/s

掌握 VENC 的專業流程：一個確保精準度的分步指南

為了避免混疊假影並獲得最高品質的流速影像，放射技師應遵循一個系統性的流程。這個流程的核心是使用「前導掃描」 (Scout Scans) 來經驗性地確定最佳的 VENC 值。

- 1 序列設定 (Setup)
- 2 執行 VENC 前導掃描 (Scout Scan)
- 3 分析掃描結果 (Analyze)
- 4 設定最終序列 (Finalize)
- 5 定量分析 (Quantify)

步驟 1 & 2：序列設定與執行前導掃描

第一步：設定相位對比序列 1 (Setting Up the Phase-Contrast Sequence)

- 放射技師需設定一個基本的 MRI 序列，並選擇能橫切目標血流的適當平面（穿平面 through-plane 或面內 in-plane）。
- 根據解剖位置和預期生理速度，做出 VENC 的初步估計。例如，主動脈等高流速動脈使用較高的 VENC，而靜脈則使用較低的值。

第二步：執行 VENC 前導掃描 2 (Performing a VENC Scout Scan)

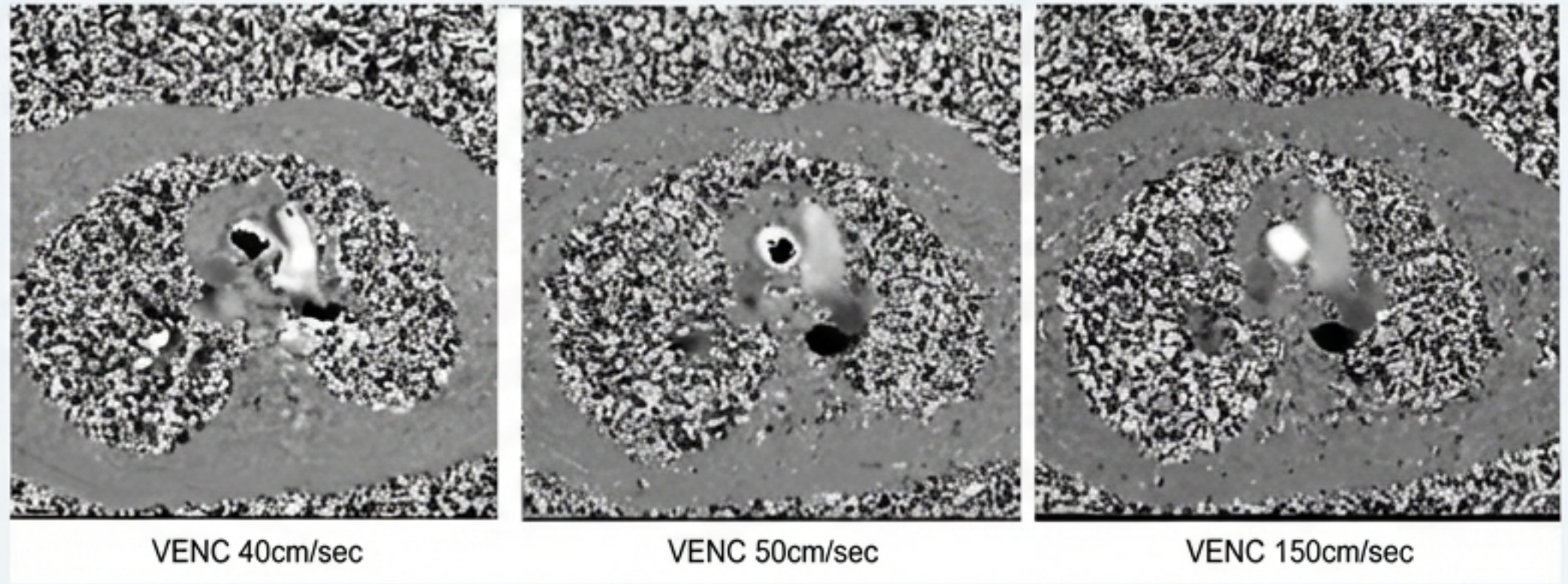
- 在最終的流量測量之前，執行一系列的前導掃描（也稱為 VENC 測試掃描或範圍尋找掃描）。
- 這些掃描涵蓋一系列的 VENC 值，從較低的估計值開始，逐步增加到較高的速度。

步驟 3：分析前導掃描，找出最佳 VENC

影像判讀：放射技師（以及放射科醫師）會審視前導掃描的影像，以確定最佳的 VENC 值。

選擇標準：最佳的 VENC 值應在「避免混疊」與「最大化影像品質和速度敏感度」之間取得平衡。

- 如果在初步掃描中觀察到混疊（如下方 VENC 40/50 cm/s 影像所示），則需向上調整 VENC。
- 如果影像信噪比差且流速對比不明顯，可考慮向下調整 VENC。
- 如果在初步掃描中觀察到混疊（如下方 VENC 40/50 cm/s 影像所示）
- 如果影像信噪比差且流速對比不明顯，可考慮向下調整 VENC。



實例: 主動脈穿平面血流分析的 VENC 前導掃描

步驟 4 & 5：執行最終掃描與定量分析

第四步：設定最終相位對比序列 4 (Setting the Final Phase-Contrast Sequence)

- 一旦確定了最佳的 VENC 值，就將其設定為最終相位對比流速序列的參數。

第五步：執行最終掃描與後處理 5 (Execution and Post-Processing)

- 使用此優化後的 VENC 設定運行詳細的最終掃描。
- 掃描完成後，使用專用軟體對影像進行後處理，計算出流量、速度和流動模式等定量數據。這些測量值對於診斷狹窄、瓣膜功能障礙或分流等疾病至關重要。

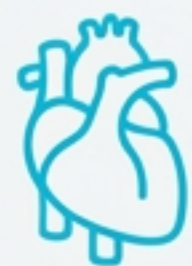
您的臨床工具庫：常用 VENC 參考值

雖然最佳的 VENC 值應透過前導掃描確定，但了解不同血管和解剖區域的典型生理流速，可以為您的初步設定提供一個絕佳的起點。

以下是臨床上常用的 VENC 參考範圍。

各部位血管與腦脊髓液的 VENC 參考值

高速動脈



主動脈 (Aorta):
130-200 cm/s

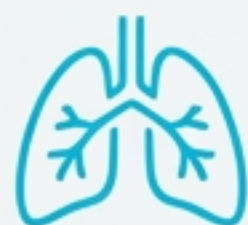


頸動脈
(Carotid Artery):
50-100 cm/s

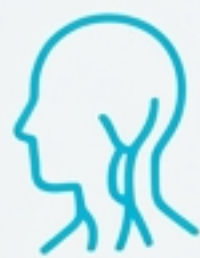


股動脈
(Femoral Artery):
50-100 cm/s

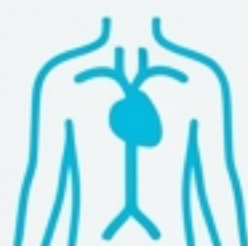
中低速血管



肺靜脈
(Pulmonary Vein):
45-70 cm/s



頸靜脈
(Jugular Vein):
30-40 cm/s



上腔/下腔靜脈
(SVC/IVC):
30-50 cm/s

腦脊髓液



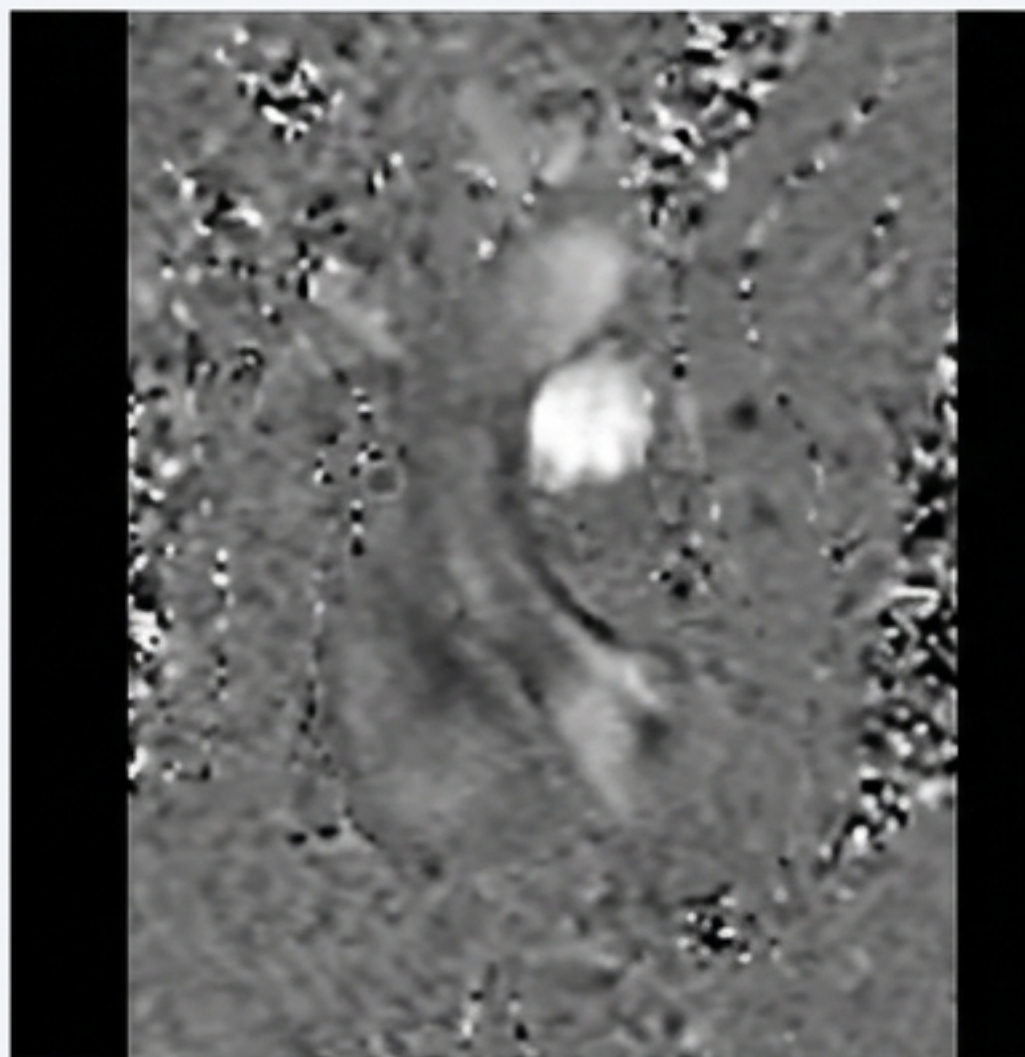
大腦中 (CSF in the
Brain):
5-10 cm/s



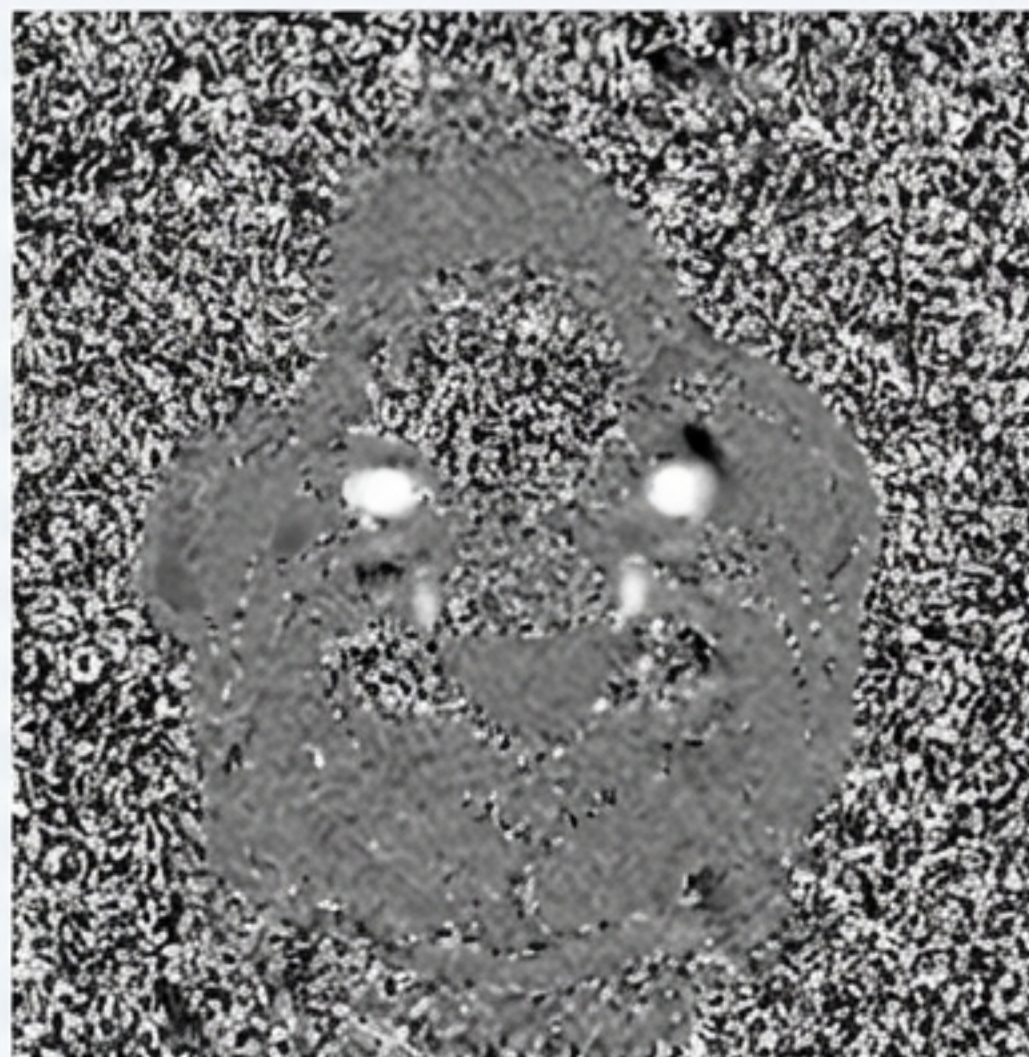
脊髓中 (CSF in the
Spinal Cord):
5-10 cm/s

成功案例展示：精準的流速測量實踐

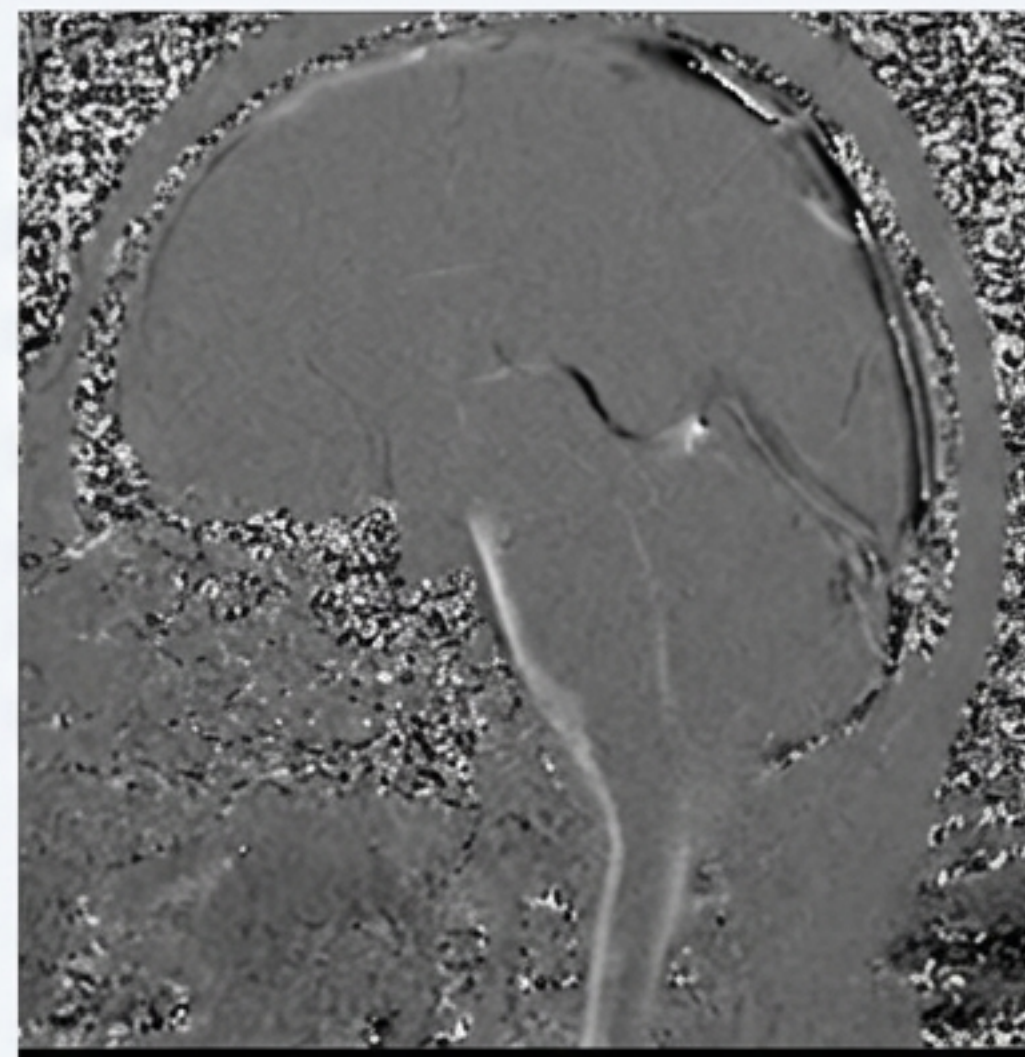
透過正確的 VENC 設定，我們可以清晰地捕捉到不同解剖區域的流動特性。



標題：主動脈血流，VENC 160 cm/s



標題：頸動脈血流，VENC 70 cm/s



標題：腦脊髓液流，VENC 6 cm/s

掌握 VENC 的核心原則

1

1. VENC 是量化流速的基礎。



它是相位對比 MRI 中最重要的參數，直接決定測量的準確性。

2

2. 混疊假影是主要敵人。



它源於 VENC 設定過低，會使所有定量數據失效。

3

3. 前導掃描是您最強大的工具。



不要依賴猜測；透過一系列快速測試掃描來找到最佳 VENC。

4

4. 平衡是關鍵。



尋找既能避免混疊，又能最大化速度敏感度和影像信噪比的最佳 VENC 值。

精益求精：深入研究與參考文獻

精通 VENC 技術是提升臨床診斷能力的持續過程。若希望深入了解其物理學、臨床應用與最新發展，可參考以下學術文獻。

- Sarrami-Foroushani, A., et al. (2015). Velocity Measurement in Carotid Artery... *Iranian Journal of Radiology*.
- Korbecki, A., et al. (2019). Imaging of cerebrospinal fluid flow... *Polish Journal of Radiology*.
- Battal, B., et al. (2011). Cerebrospinal fluid flow imaging... *British Journal of Radiology*.
- Nayak, K. S., et al. (2015). 4D flow MRI. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*.
- Reiter, U., et al. (2016). MR phase-contrast imaging in pulmonary hypertension. *British Journal of Radiology*.