

# 精通 MRI 頻寬： 從物理原理到臨床影像 優化

一份寫給放射師、住院醫師及物理師的實戰指南，深入解析發射與接收頻寬的操作策略。

# 什麼是 MRI 頻寬？發射與接收的雙重奏

在 MRI 中，頻寬是指在限定時間內可以發射或接收的頻率範圍，單位為赫茲 (Hz)。



一個 MRI 序列包含兩種頻寬：

1. **發射頻寬 (tBW)**：描述射頻脈衝 (RF pulses) 的特性，主要負責「激發」指定的切面。🌐
2. **接收頻寬 (rBW)**：描述 MRI 訊號的品質，主要負責「讀取」影像資訊。🖼️

# 模組一：發射頻寬 (tBW)

## 精準定義影像切面

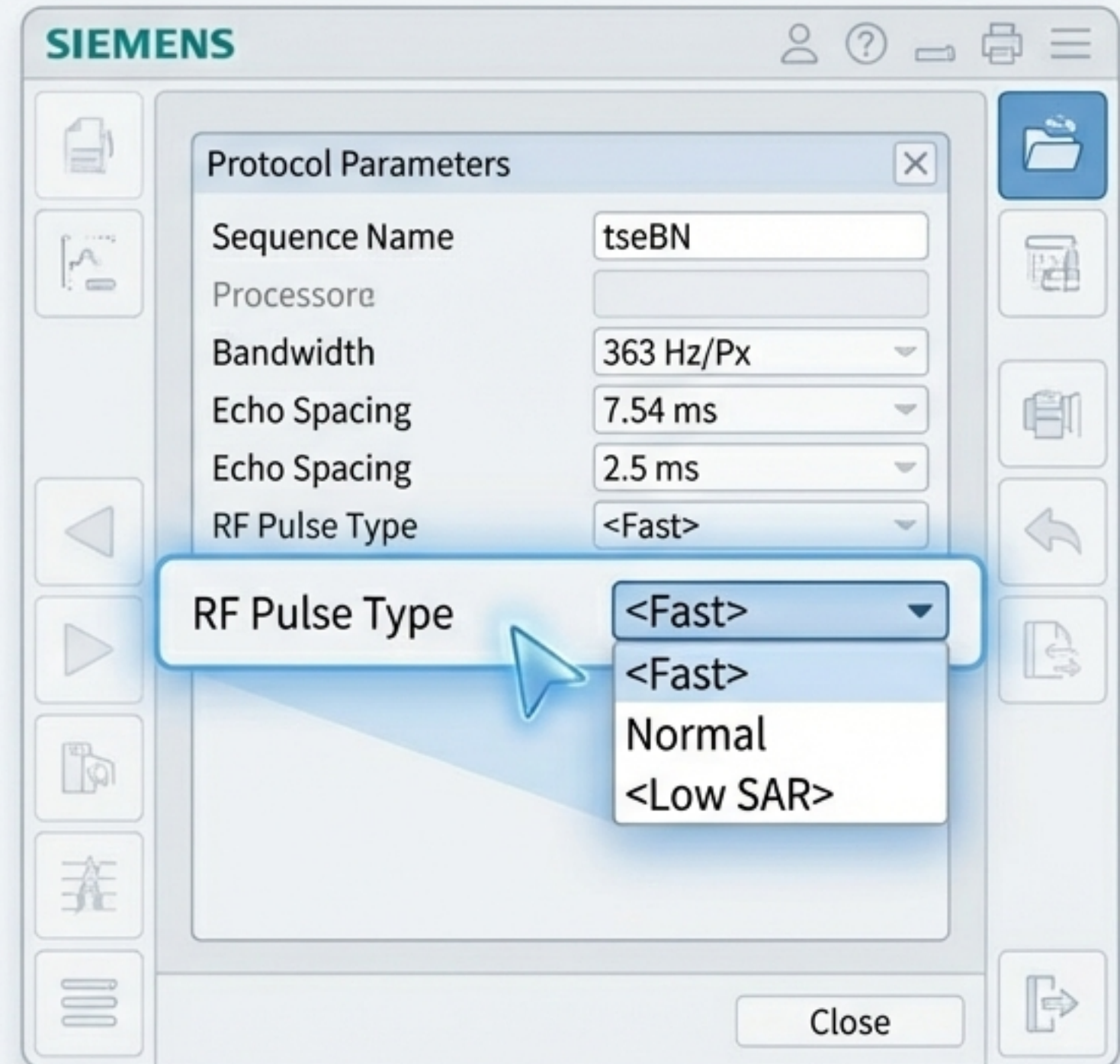
tBW 用於激發一個離散的切面厚度或體積。序列能實現的「最小切面厚度」與 RF 脈衝的 tBW 成正比。

**高 tBW = 可實現更薄的切面。**

### 操作介面

在 Siemens 掃描儀上，tBW 通常透過選擇「RF 脈衝類型 (RF Pulse Type)」來調整，提供三種主要模式：

- Low SAR (低特定吸收率)：低頻寬脈衝
- Normal (標準模式)：中頻寬脈衝
- Fast (快速模式)：高頻寬脈衝



# tBW 模式的權衡：速度、厚度與 SAR 的抉擇

## Low SAR 模式

### ✓ 優點

- ✓ 切面輪廓極佳、串擾少
- ✓ 最小切面厚度 (0.7mm)
- 🌡️ SAR 值低

### ⚠️ 缺點

- 🕒 最小 TE/TR 較長 (612/13)
- 🕒 Echo Spacing 較長 (12.9)  
→ 掃描時間增加
- ⚠️ 對磁化率假影更敏感

## ⚖️ Normal 模式

### ⚖️ 特性

- ⚖️ 良好的切面輪廓
- ⚖️ 優化的 SAR 表現
- ⚖️ 各項參數的平衡點

## Fast 模式

### ⚡ 優點

- ⚡ 最小 TE/TR 最短 (501/10)
- ⚡ Echo Spacing 最短 (10.3)  
→ 縮短掃描時間
- ✓ 磁化率假影最少

### ✗ 缺點

- ✗ 切面輪廓受損
- 🌡️ SAR 值較高
- ⚡ 周邊神經刺激風險較高
- ✗ 最小切面厚度較厚 (1.9mm)

# tBW 臨床實戰：何時選擇 Low SAR？何時選擇 Fast 模式？

## Low SAR 模式應用場景

- 適用對象：新生兒、鎮靜病患、孕婦（避免對胎兒的潛在 RF 傷害）、帶有 MRI 條件性植入物（如心律調節器）的病患。

✅ 核心優勢：安全性高，精準度高。

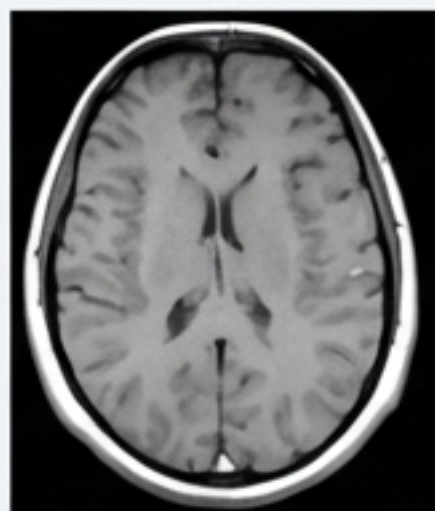
## Fast 模式應用場景

- 適用對象：幽閉恐懼症或易動病患（縮短掃描時間）、金屬植入物周邊（減少磁化率假影）。

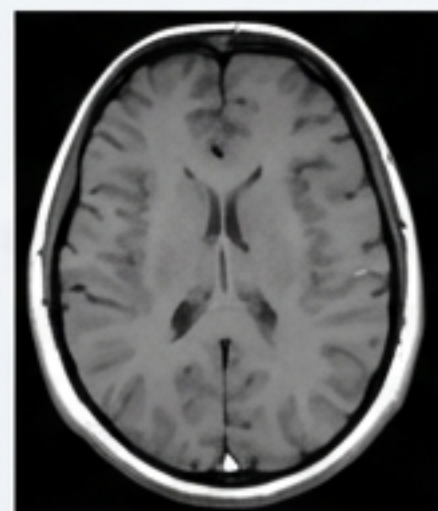
✅ 核心優勢：速度快，抗假影能力強。

## 視覺證據

### 時間比較

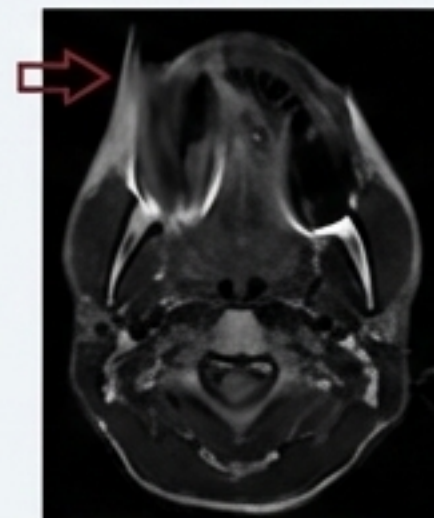


Low SAR mode  
Acquisition time 3.40 minutes

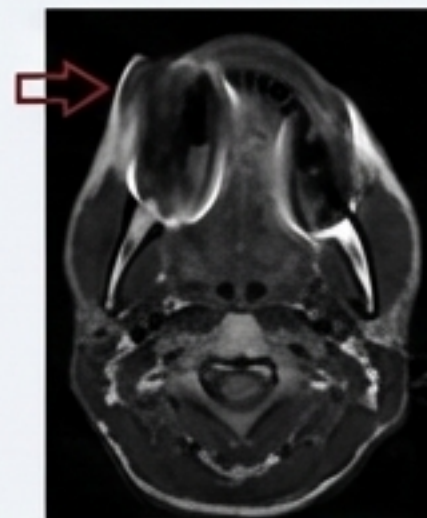


Fast mode  
Acquisition time 2.50 minutes

### 假影比較



Low SAR mode  
High susceptibility artefact



Fast mode  
Low susceptibility artefact

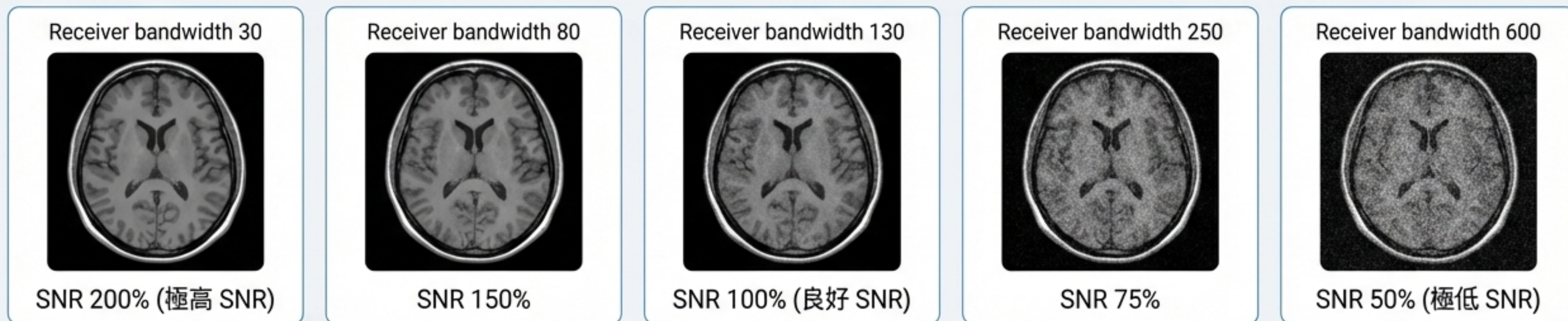
## 模組二：接收頻寬 (rBW)

# 訊號品質與雜訊的平衡

rBW 是指在接收 RF 脈衝期間所利用的頻率範圍。它決定了類比數位轉換器 (ADC) 採樣訊號的速度。

**黃金法則：**頻寬與採樣時間成反比。提高頻寬會縮短採樣時間，但會降低訊號振幅並增加像素中的雜訊，最終導致訊噪比 (SNR) 顯著下降。

## 視覺化證明



極高 SNR ←

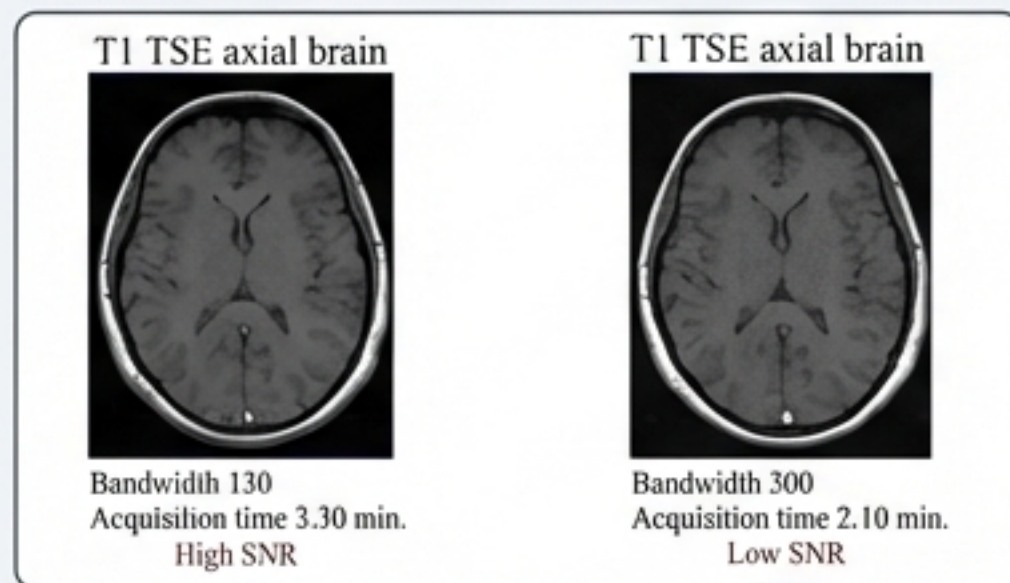
隨著 rBW 增加，採樣時間縮短，SNR 顯著降低。

→ 極低 SNR

# 高 rBW 的優勢：更快、更清晰、更少假影

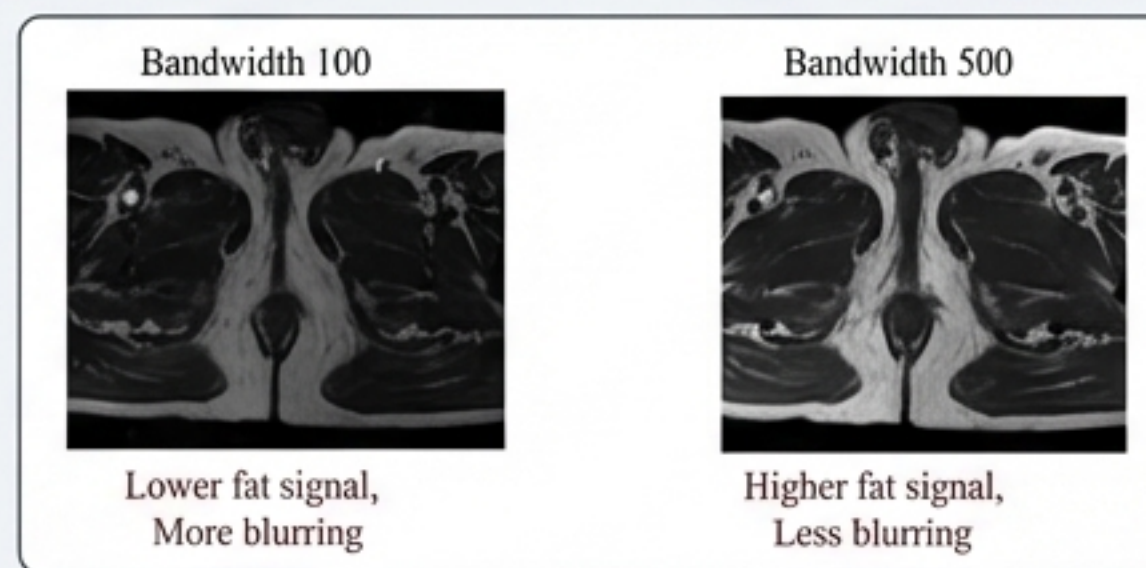
## 縮短掃描時間

允許更短的 TR 和 TE。



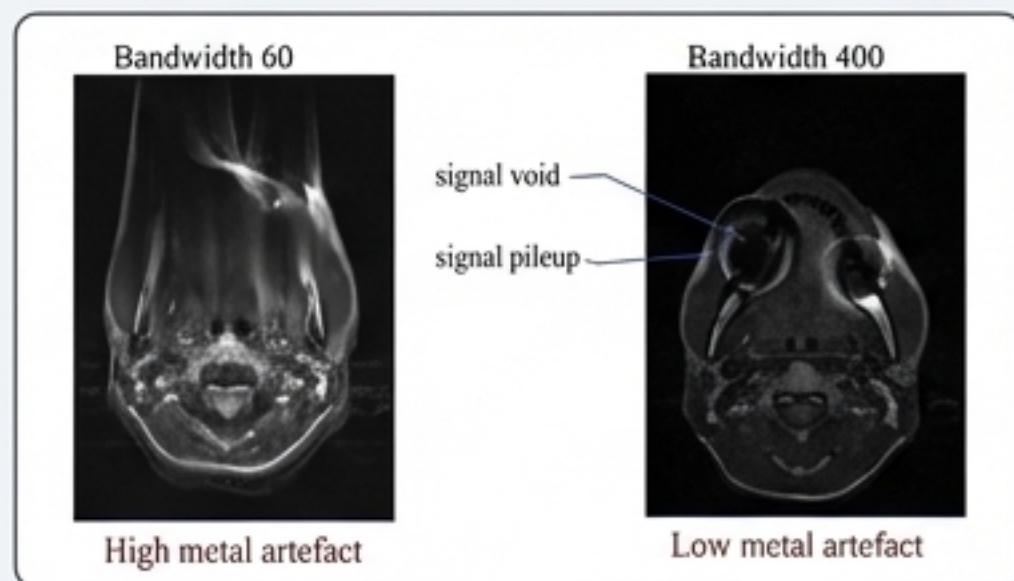
## 減少影像模糊

縮短 Echo Spacing (ES)。



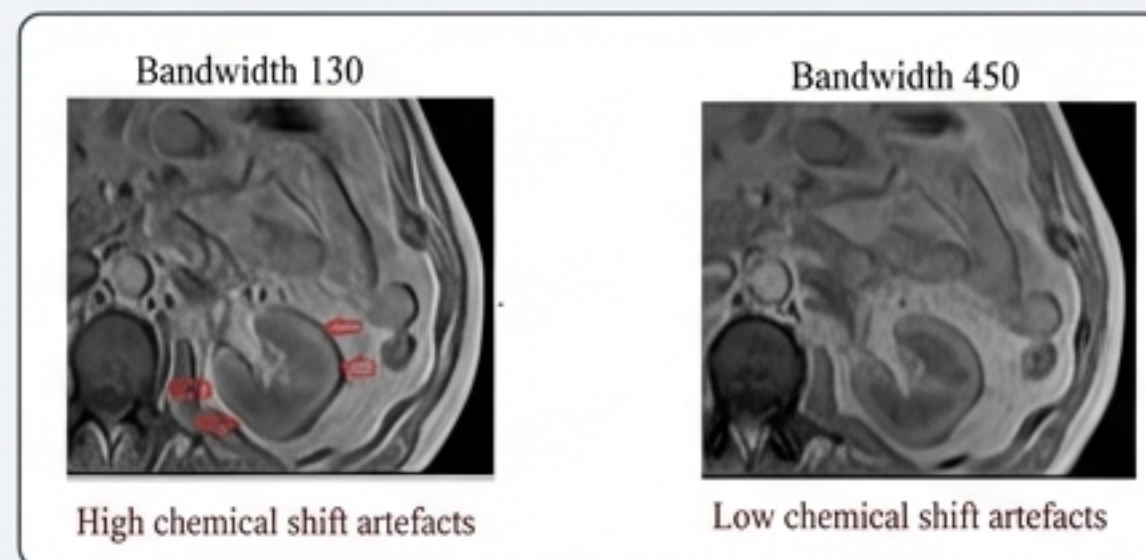
## 減少金屬與磁化率假影

降低切面輪廓的離面扭曲。



## 減少化學位移假影

減少脂肪質子訊號的位移。



# 低 rBW 的優勢：最大化訊噪比與解析度



**更高的訊噪比 (SNR)：**這是最主要的優勢，可獲得更乾淨的影像。



**更少的雜訊：**訊噪比提升的直接結果。

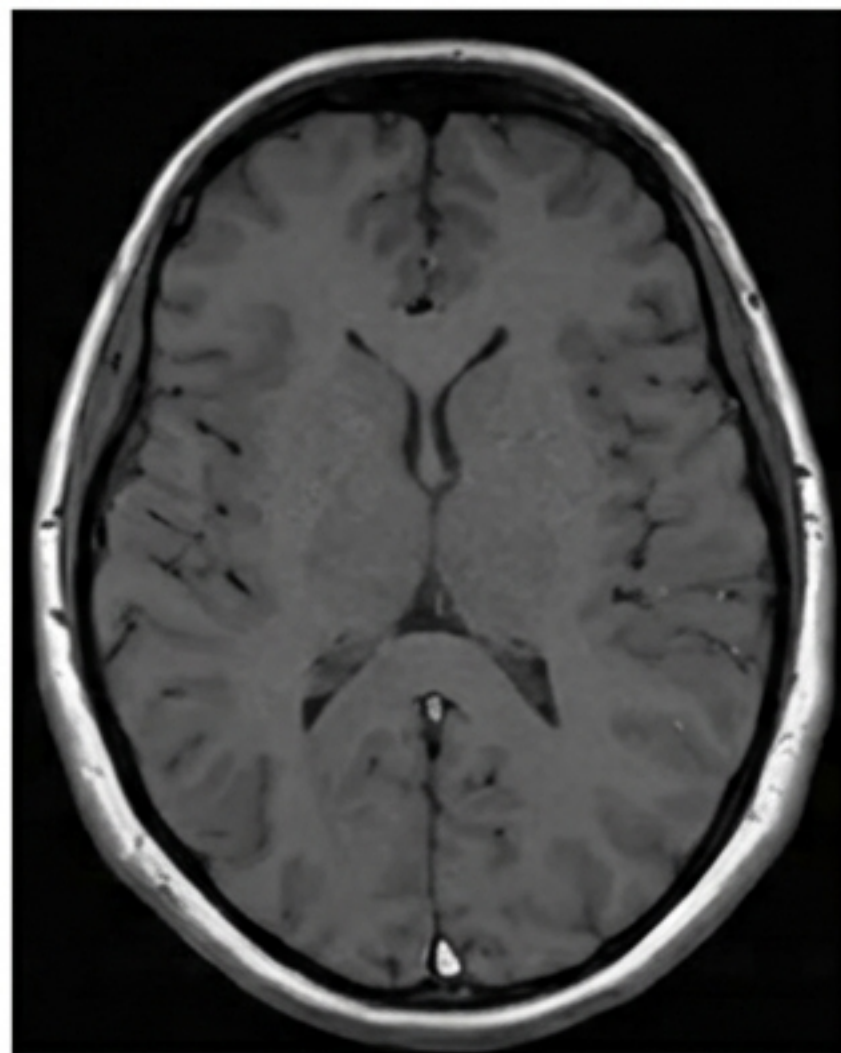


**更小的最小視野 (FOV)：**適用於掃描小部位，如顱下頷關節 (TMJ) 或拇指。

## **\*\*臨床應用\*\***

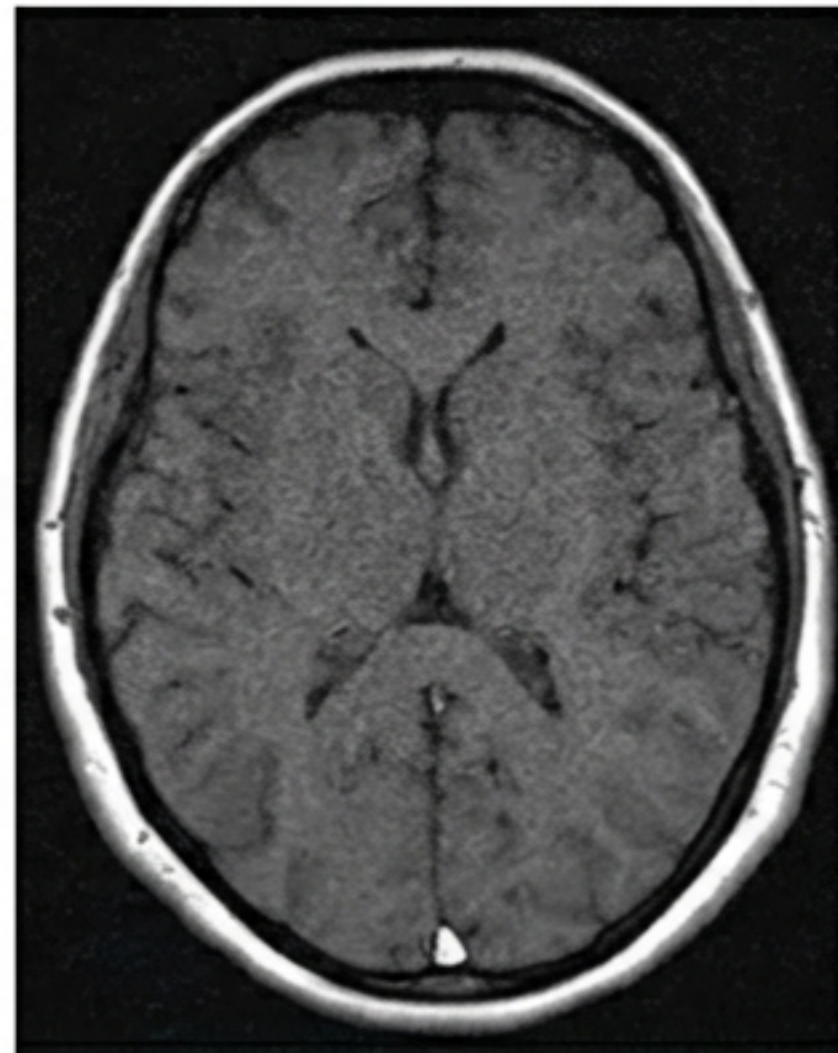
強調此方法適用於需要高解析度、高訊噪比，且對掃描時間不那麼敏感的小範圍掃描。

Bandwidth 130



**High SNR**

Bandwidth 600



**Low SNR**

# rBW 選擇的影響：優點與缺點總覽

## 高接收頻寬 (High rBW)

### 優點 (✓ #28a745)

- 減少化學位移
- 更短的最小 TE/TR
- 更短的 Echo Spacing
- 減少磁化率/金屬/扭曲假影

### 缺點 (✗ #dc3545)

- 較低的訊噪比 (SNR)
- 更大的最小 FOV
- 更多雜訊

## 低接收頻寬 (Low rBW)

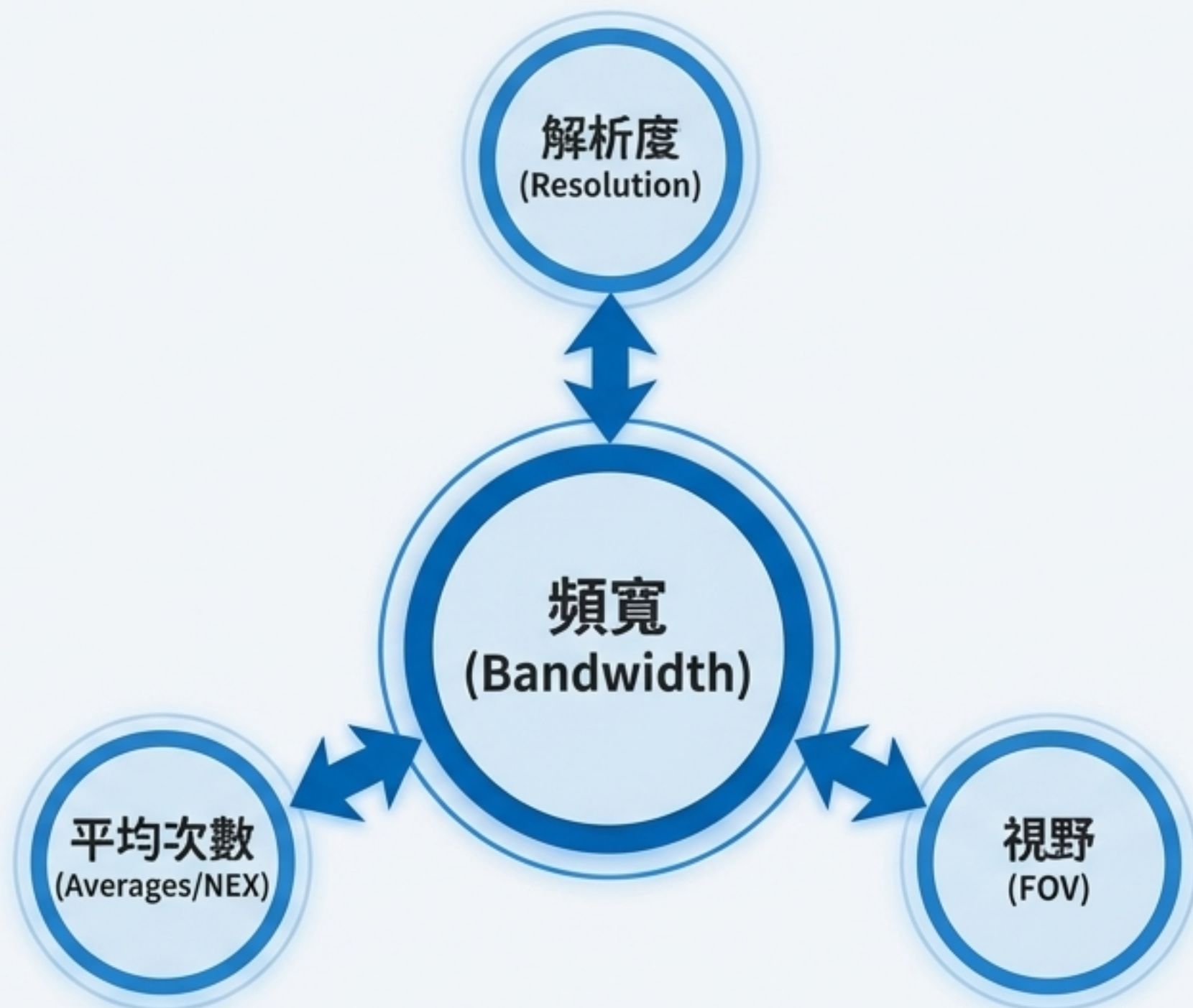
### 優點 (✓ #28a745)

- 更高的訊噪比 (SNR)
- 更小的最小 FOV
- 更少雜訊

### 缺點 (✗ #dc3545)

- 更多化學位移
- 更長的最小 TE/TR
- 更長的 Echo Spacing
- 更多磁化率/金屬/扭曲假影

# 如何在提升頻寬時 維持訊噪比？



## 核心挑戰

我們希望獲得高頻寬帶來的好處（例如：縮短掃描時間、減少假影），但如何有效彌補其最主要的缺點—訊噪比 (SNR) 的損失？

## 關鍵概念

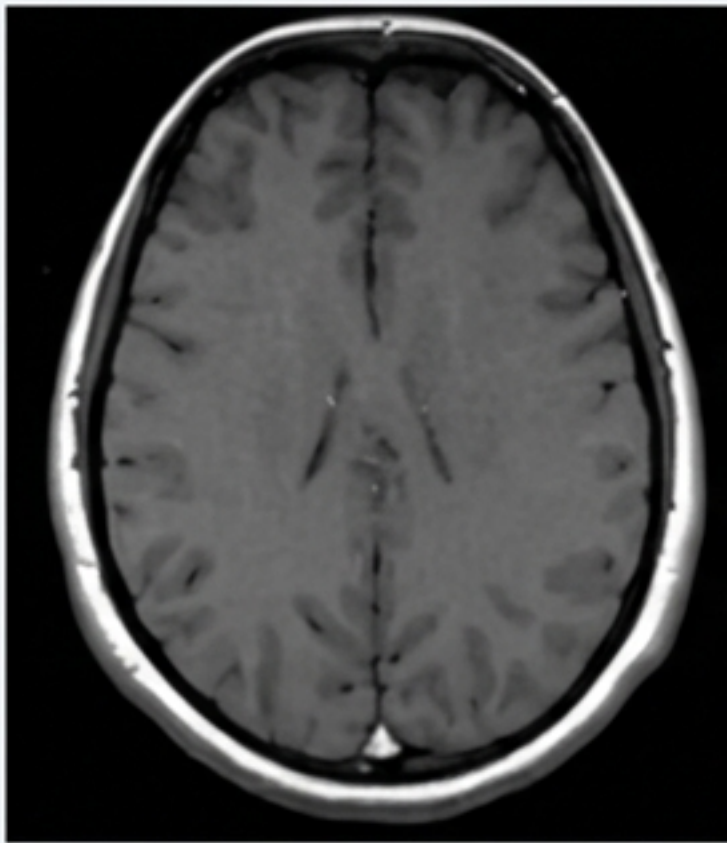
頻寬並非獨立參數。要精通頻寬操作，必須了解它與其他參數之間的連動關係。

## 接下來的內容預告

我們將探討三種實用策略，讓您在操作台上能夠自信地調整頻寬，同時兼顧影像品質。

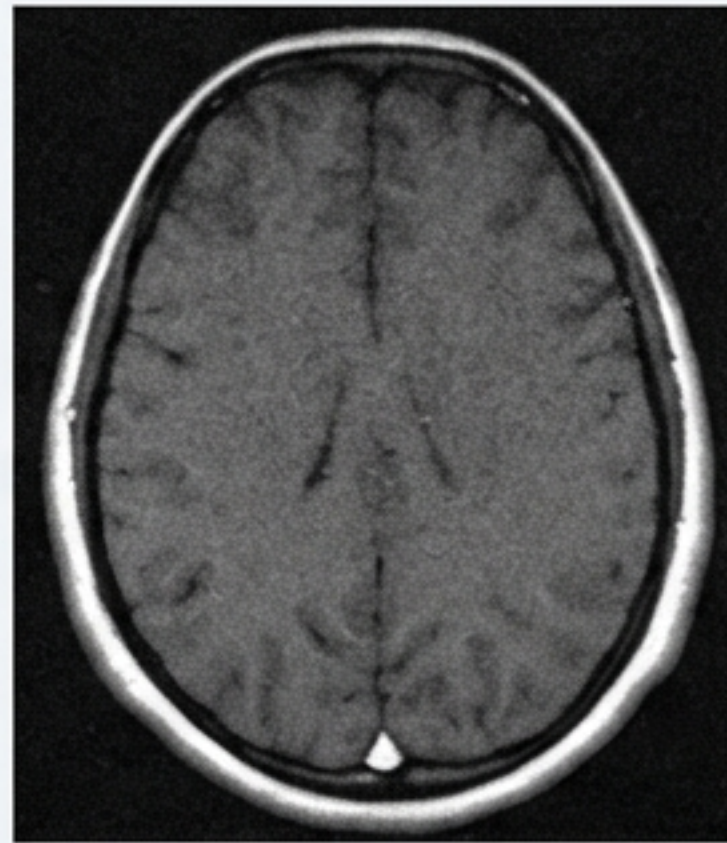
# 策略一：用解析度換取時間與訊號

**原理：**頻寬和解析度都使用讀出梯度。同時提高兩者會使梯度負擔過重，導致 SNR 急劇下降。因此，可以透過「適度降低解析度」來補償因「提高頻寬」而損失的訊號。



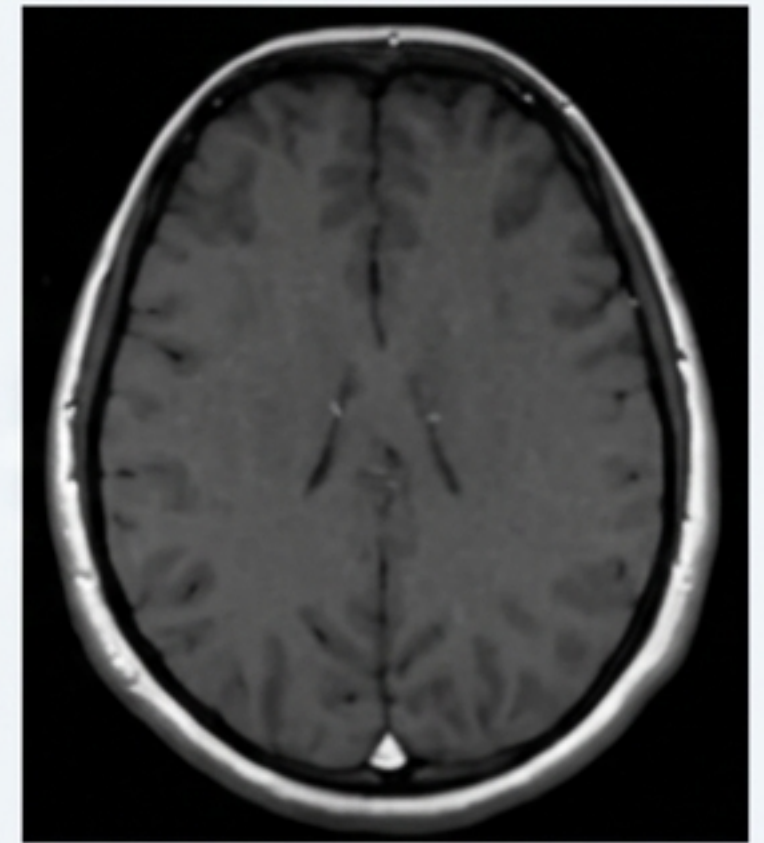
Bandwidth 130  
**Matrix 320x320**  
Scan time 3.50 minutes  
**High SNR**

步驟 1：  
提高 rBW  
(至 500)



Bandwidth 500  
**Matrix 320x320**  
Scan time 2.40 minutes  
**Low SNR**

步驟 2：  
降低 Matrix  
(至 256x256)

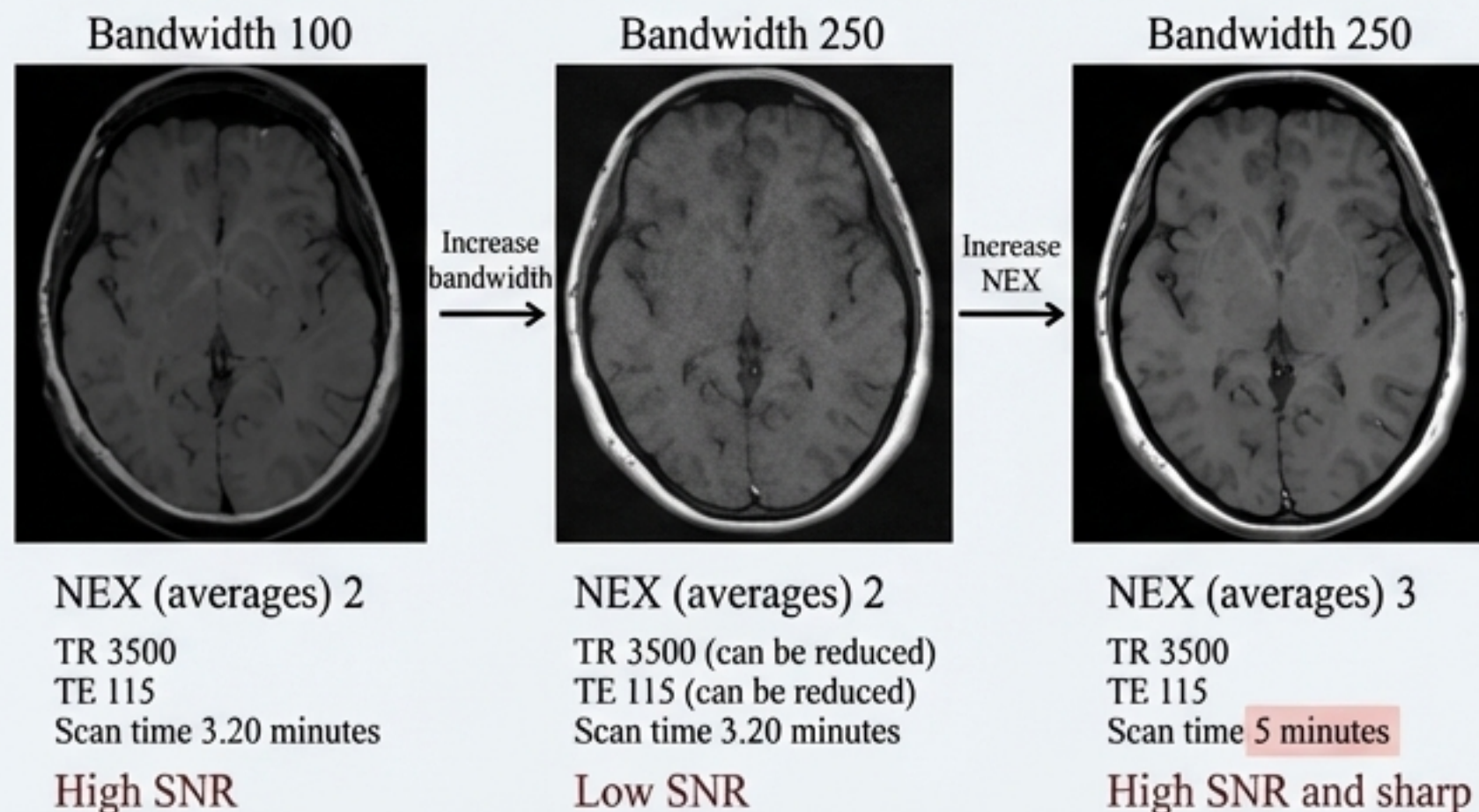


Bandwidth 500  
**Matrix 256x256**  
Scan time 2.10 minutes  
**Optimised SNR**

# 策略二與三：用時間或視野來換取訊號

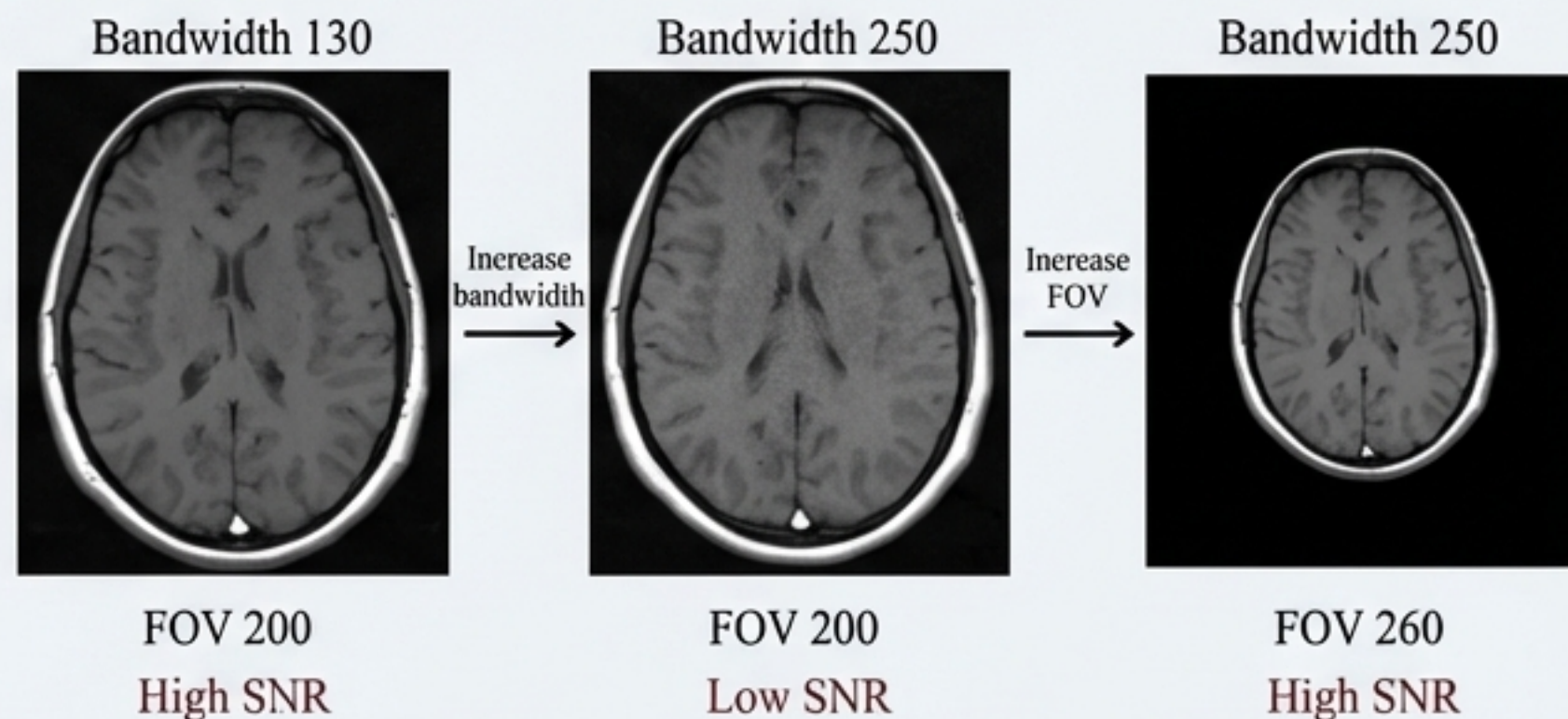
## 策略二：增加平均次數 (NEX)

- **流程**：提高 rBW → 增加 NEX (例如從 2 增加到 3)。
- **結果**：能有效補償 SNR 損失，甚至獲得比原始設定更高品質、更銳利的影像。
- **權衡**：掃描時間會「顯著增加」。這是「時間不為關鍵因素」時的最佳選擇。



## 策略三：增加視野 (FOV)

- **流程**：提高 rBW → 增加 FOV (例如從 200 增加到 260)。
- **原理**：更大的 FOV 意味著更大的像素，能捕捉更多訊號。
- **權衡**：雖然能恢復 SNR，但可能會「降低影像的有效解析度」。不建議用於需要高解析度掃描的部位 (如腦下垂體)。



# MRI 頻寬臨床實戰速查表

臨床目標 (Clinical Goal)	主要頻寬策略 (Primary Bandwidth Strategy)	關鍵權衡/注意事項 (Key Trade-off / Considerations)
縮短掃描時間 (幽閉恐懼症/易動病患)	提高 rBW，並考慮降低 Matrix	可能犧牲部分解析度，但時間 效益高 ✓
減少金屬/磁化率假影	提高 rBW 與 tBW (Fast Mode)	需密切監控 SAR 值 ⚠
提升高解析度影像的訊噪比	降低 rBW	掃描時間增加，假影風險提高 ⚠
掃描小範圍部位 (如 TMJ)	降低 rBW 以縮小最小 FOV	化學位移假影會更明顯 ⚠
降低 SAR 值 (孕婦/新生兒)	選擇 tBW 的 Low SAR 模式	掃描時間較長，對假影敏感 ⚠

智慧地運用頻寬，將參數調整從「猜測」變為「策略」，全面提升您的影像品質與掃描效率。