

# 醫學影像處理

## Medical Image Processing

莊子肇 副教授  
中山電機系

# 基礎影像處理

- Filtering and Enhancement
- Three-dimensional display
- 為什麼只教這幾種？
  - 只需一般數學基礎
  - 與生物物理較無關

# 影像濾波與強化

Filtering and Enhancement

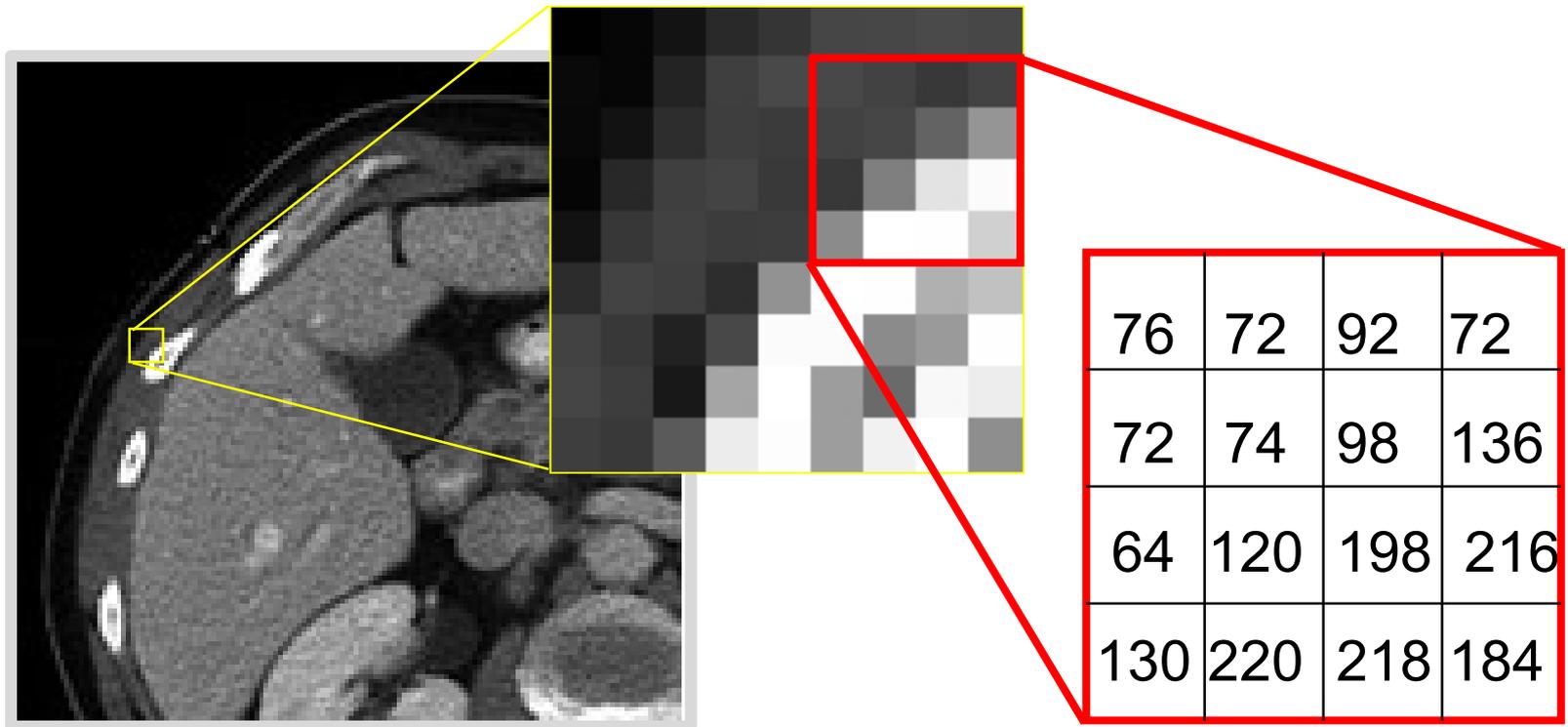
# 影像濾波與強化

- 適用於任何數位影像 (不限醫學)
- 主要用於減低雜訊或凸顯邊緣等
- 考慮入門興趣與程度 ...
- 本次只會提到最簡單的幾項

# 數位影像的基本觀念

- 數位影像由許多點組成
- 稱為 picture element (pixel)
- 每個 pixel 的數值代表亮度
  - 灰階( grayscale)
  - 暫時不考慮色彩

# 傳統數位醫學影像

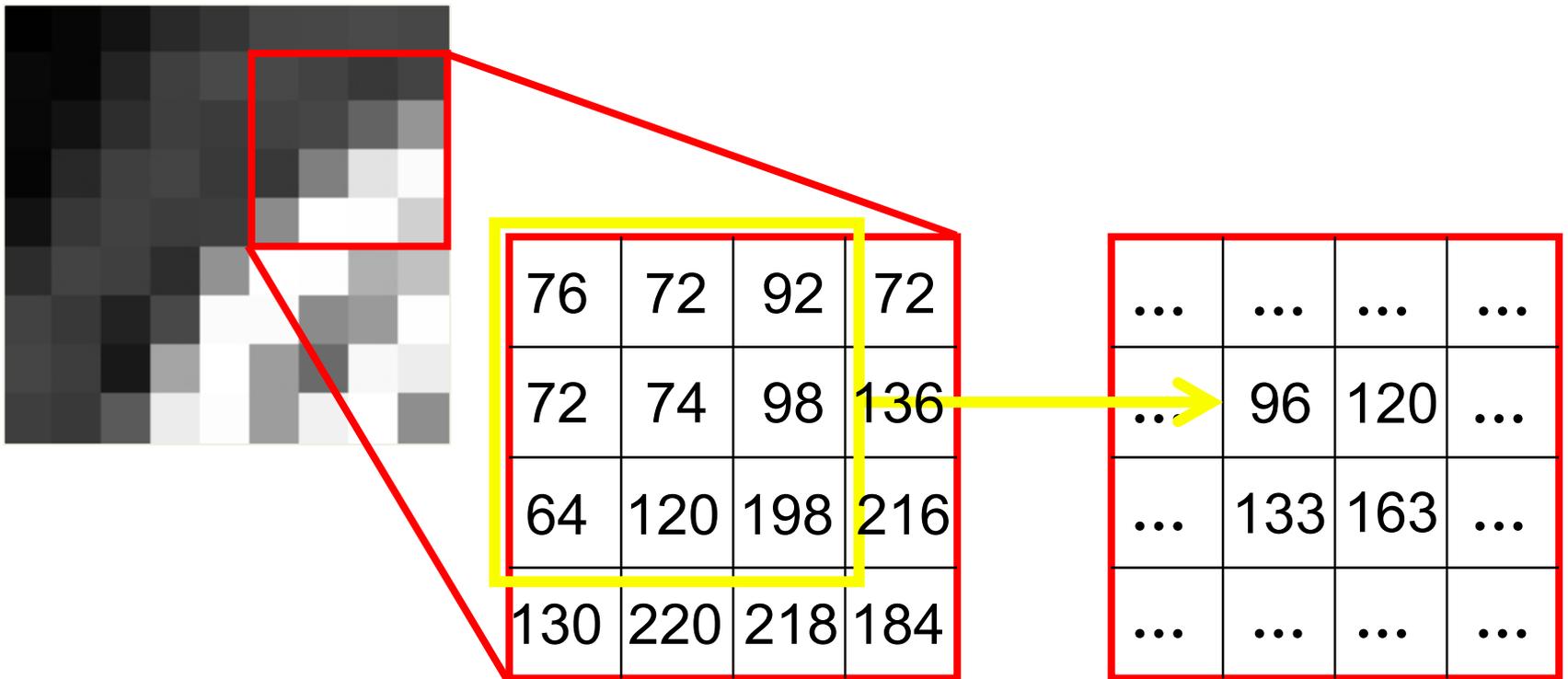


影像由許多不同亮度的 pixels 組成

# 認識影像濾波

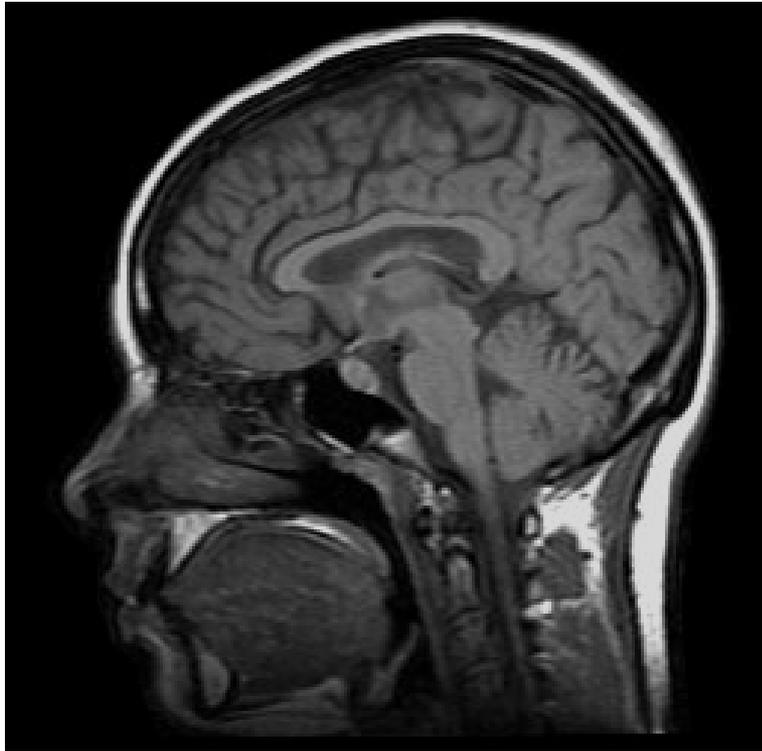
- 先來看一個簡單例子：3×3 averaging filter
- 計算影像的每一 pixel 以及其周圍上下左右共 8 個鄰居的平均值
- 之後存入新影像同位置的 pixel 中
  - 畫個圖說明一下吧 ...

# 先從一個簡單例子說明

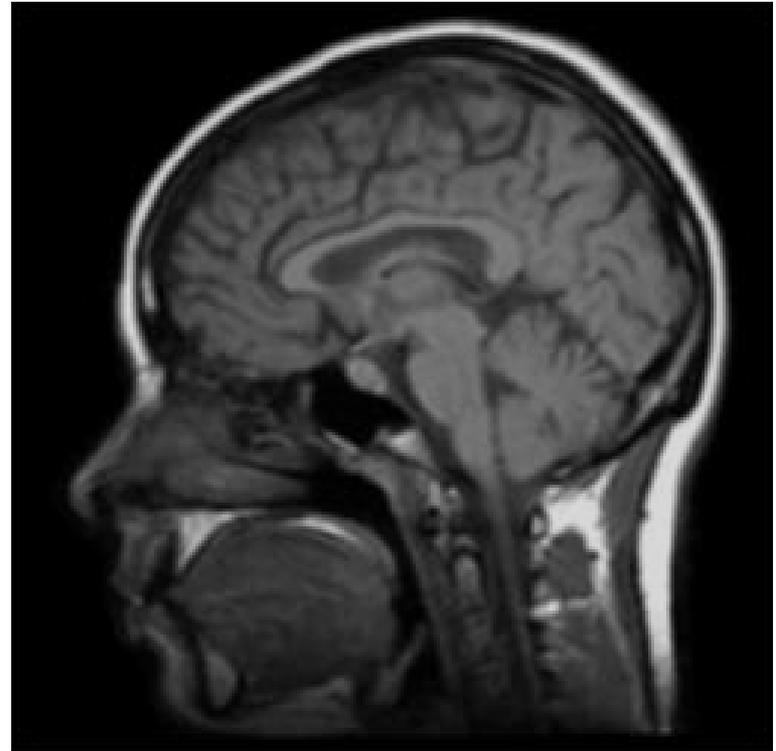


這樣新的影像會有什麼效果？

# Filtering by 3x3 averaging



原始影像



濾波後

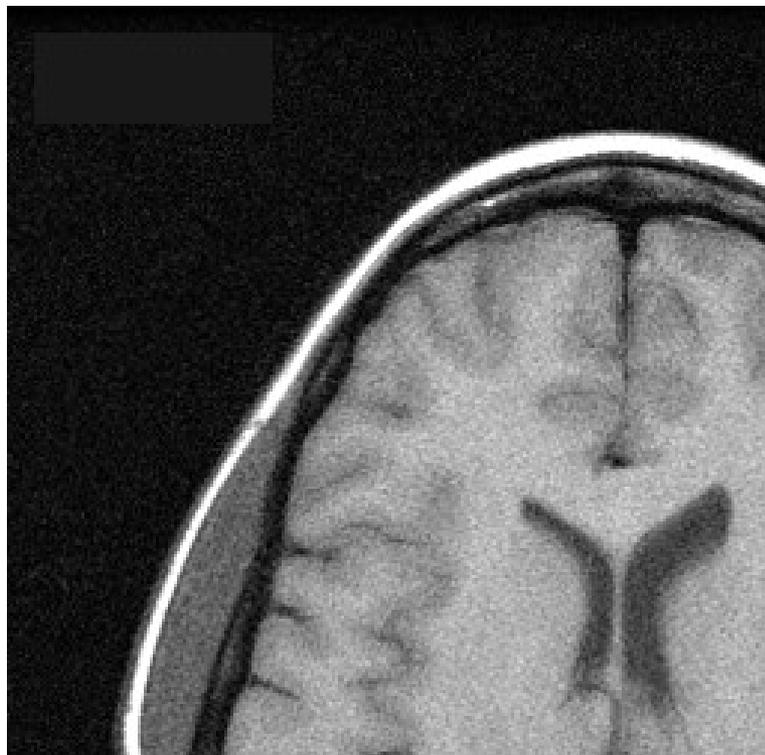
# 3×3 平均的效果

- 鄰近 pixel 數值相近者影響較小
- 亮度變化差距大者趨於一致
- 相鄰器官組織之邊界將模糊化
- Low-pass filtering!

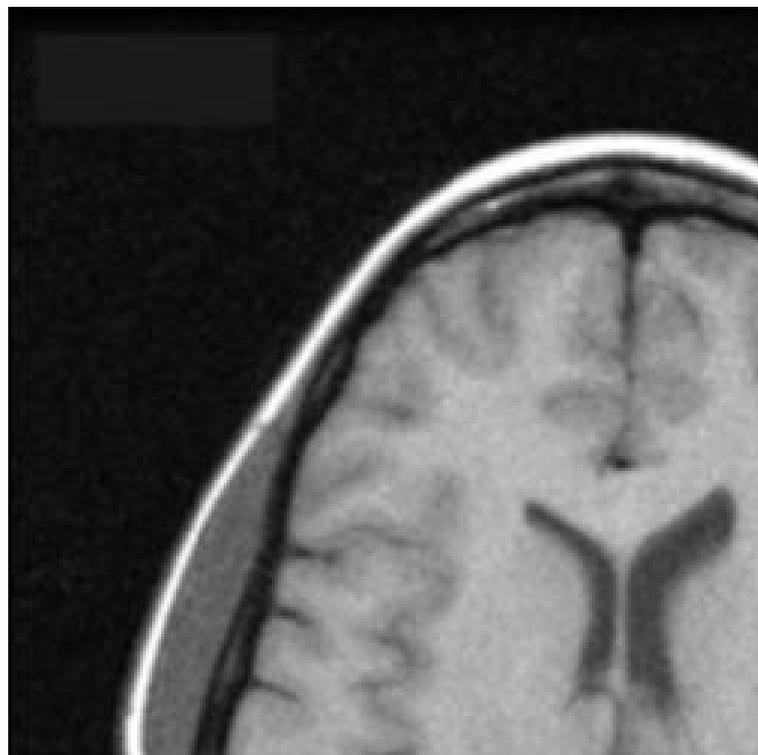
# 為什麼要這樣做？

- 影像必然會有雜訊 (noise)
  - 多數雜訊是 random events
  - 通常與鄰近 pixel 雜訊值無關
- 平均之後有雜訊減低效果

# 3x3 averaging LPF 的比較



原始影像



濾波後

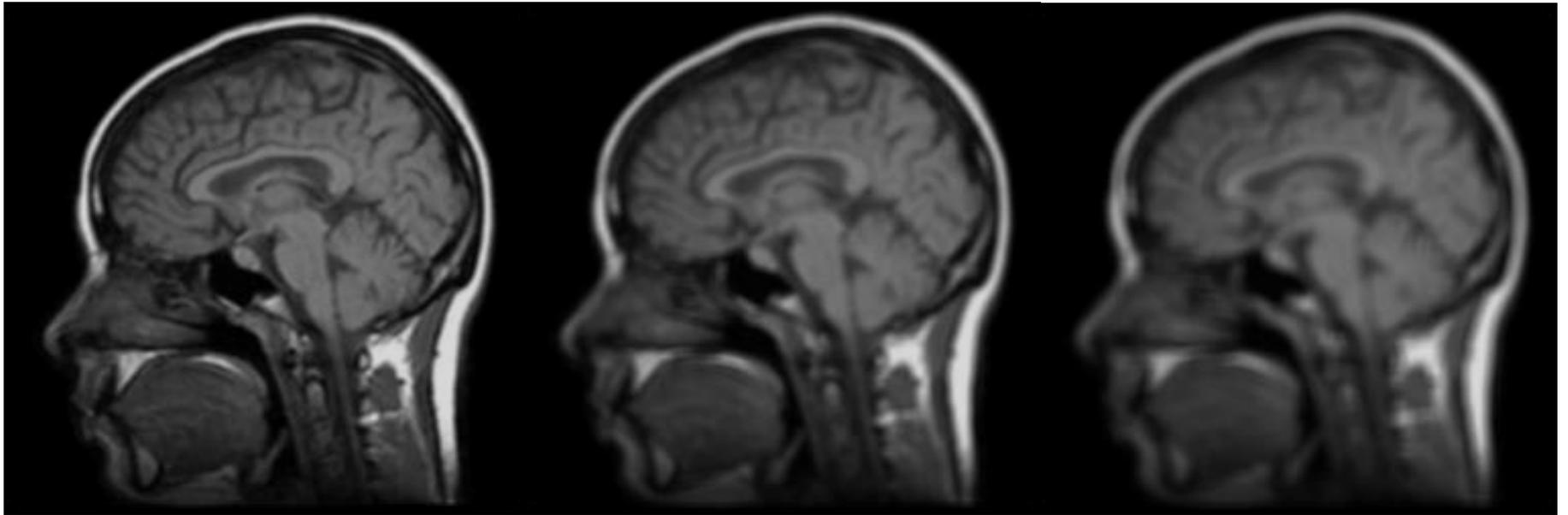
# 觀念延伸

- $5 \times 5$  averaging filter...
- $7 \times 7$  averaging filter...
- 雜訊消除更多
- 模糊現象也越明顯

# 一點點數學 ...

- SNR 正比於 平均次數
  - SNR = signal-to-noise ratio
- $3 \times 3$  averaging : 三倍改進
- $7 \times 7$  averaging : 七倍改進

# 平均值LPF的比較

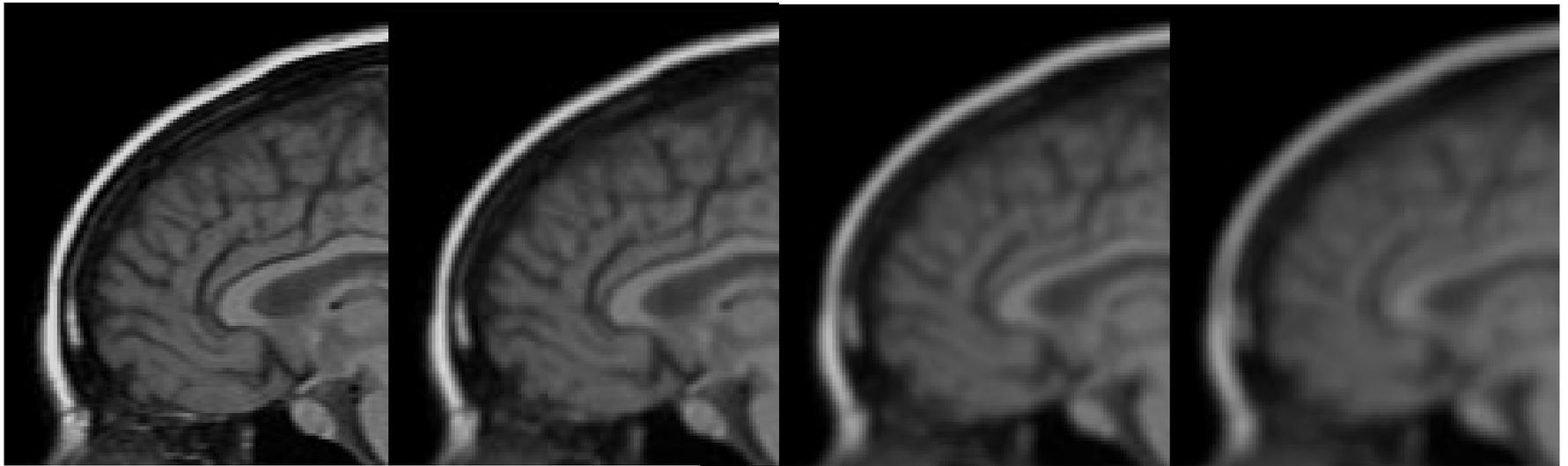


$3 \times 3$

$5 \times 5$

$7 \times 7$

# 平均值LPF的比較（放大）



原始影像

3 × 3

5 × 5

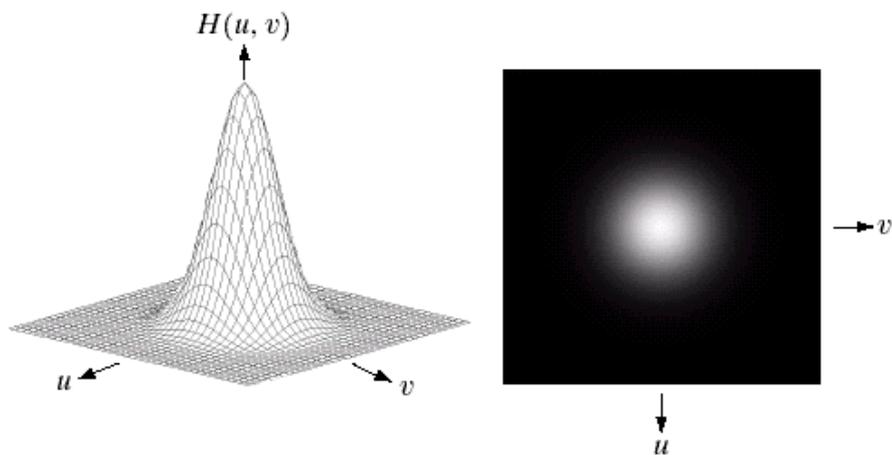
7 × 7

# 繼續延伸 (LPF)

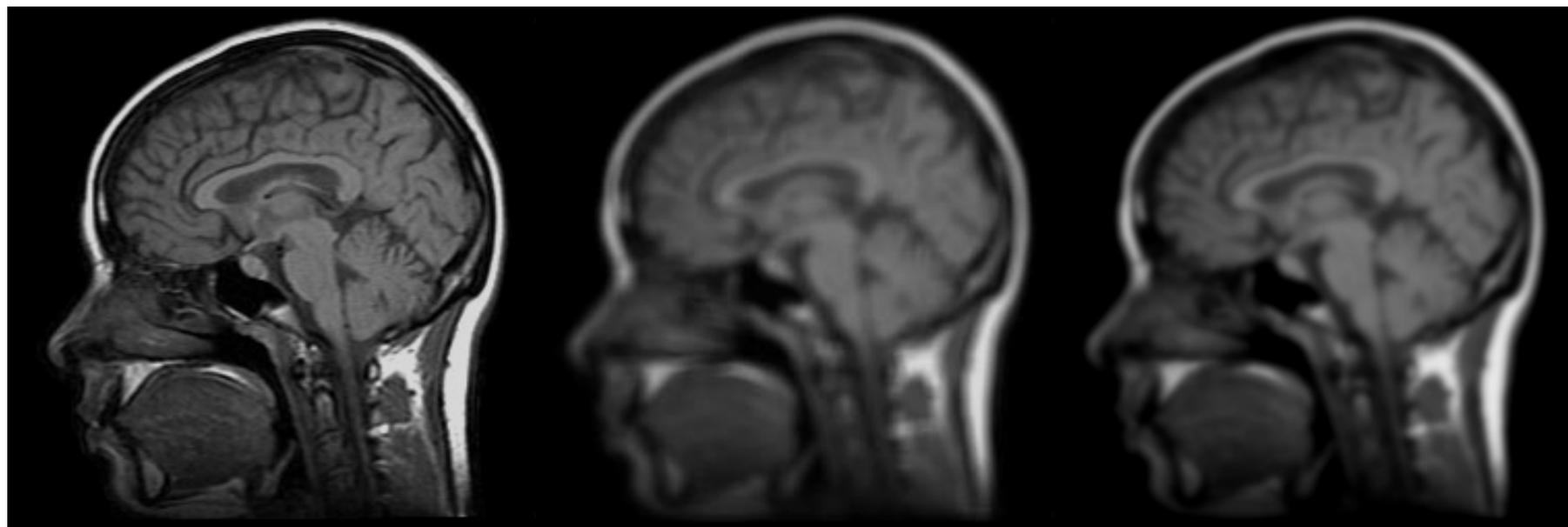
- 距離較遠的 pixels 應屬於不同組織
  - 濾波是為了減低雜訊，而不是為了混淆不同組織
- 賦予鄰近 pixel 不同比重 (愈遠愈小)

# 加權平均

- Weighted averaging
- 最常見的方式：採用「與中心 pixel 之距離」的遞減函數做為加權依據
- 高斯函數 (Gaussian averaging)



# LPF 的比較



原始影像

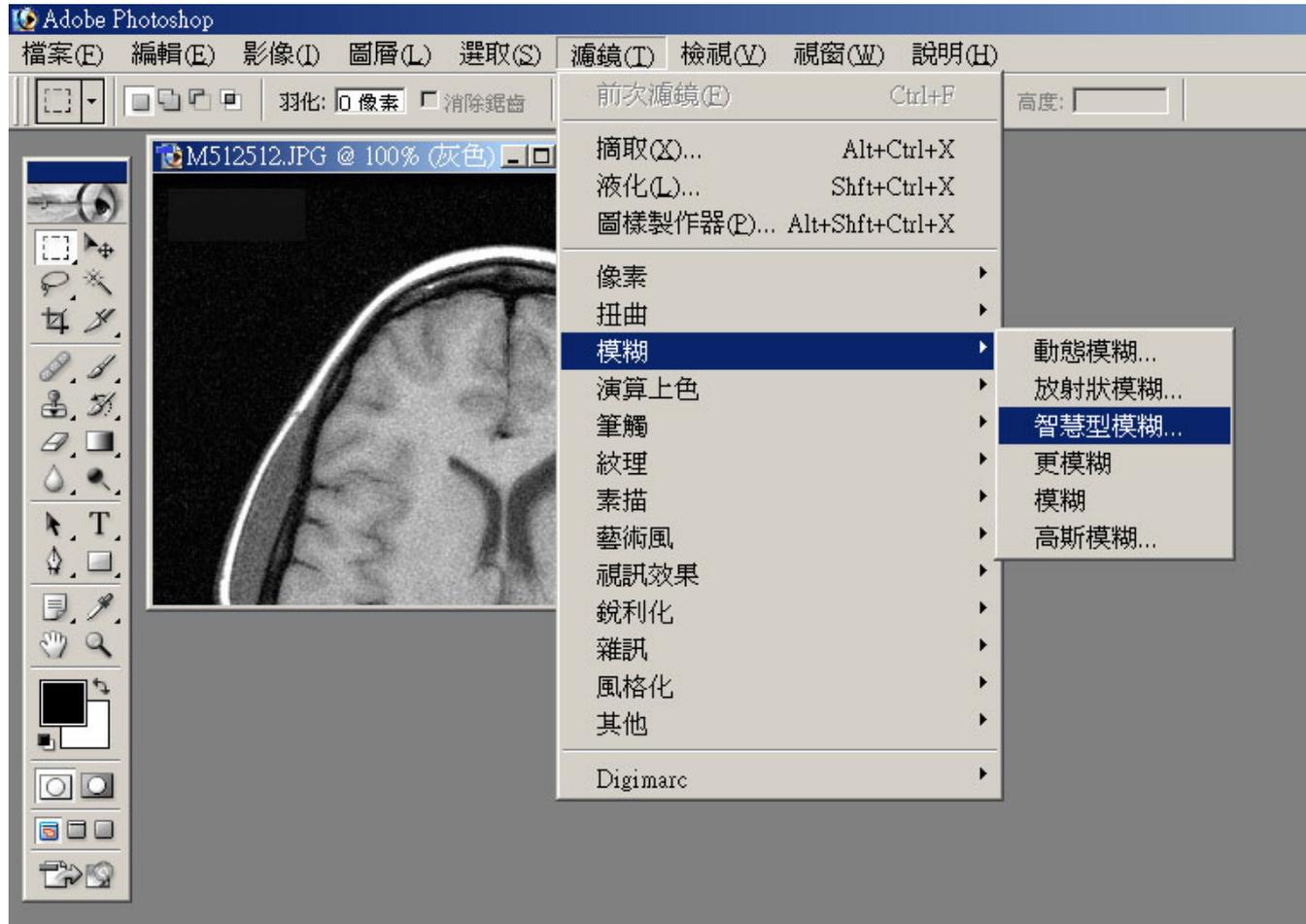
5x5 averaging

5x5 Gaussian

# 稍微打個岔 ...

- Adobe Photoshop (繪圖藝術軟體)
- 濾鏡功能選項
  - 模糊、更模糊、高斯模糊 ...
- 幾乎都脫離不了剛才的範圍

# Adobe Photoshop 的濾鏡選項



有興趣的同學有空再慢慢自己去玩吧!

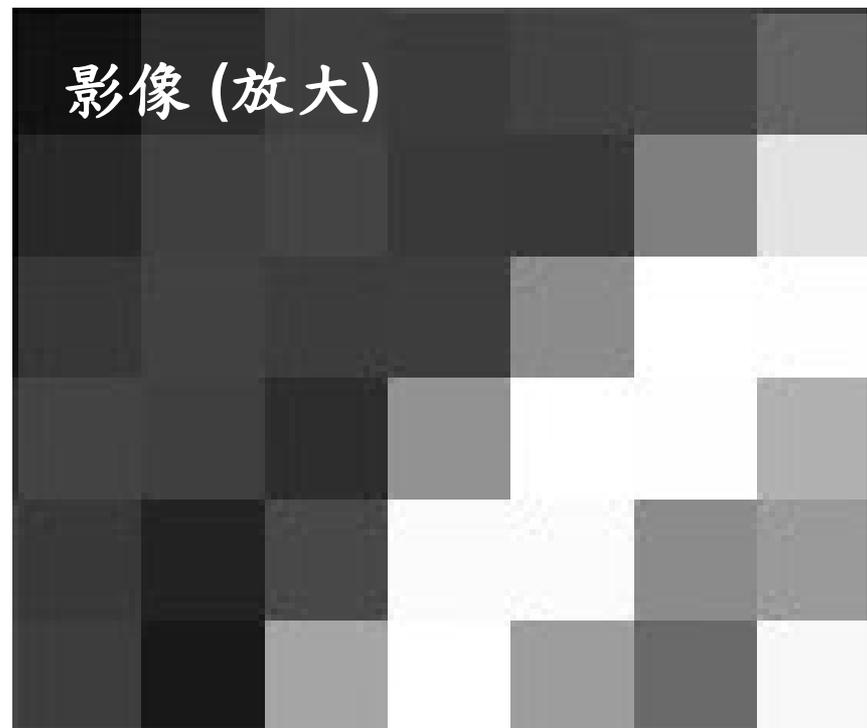
# 上述方式的數學表示法

- 影像與一個 kernel 作 convolution
  - 或稱 mask、operator ...
- Convolution in the image domain
- 底下仔細看 convolution 的運算

# Convolution 運算過程

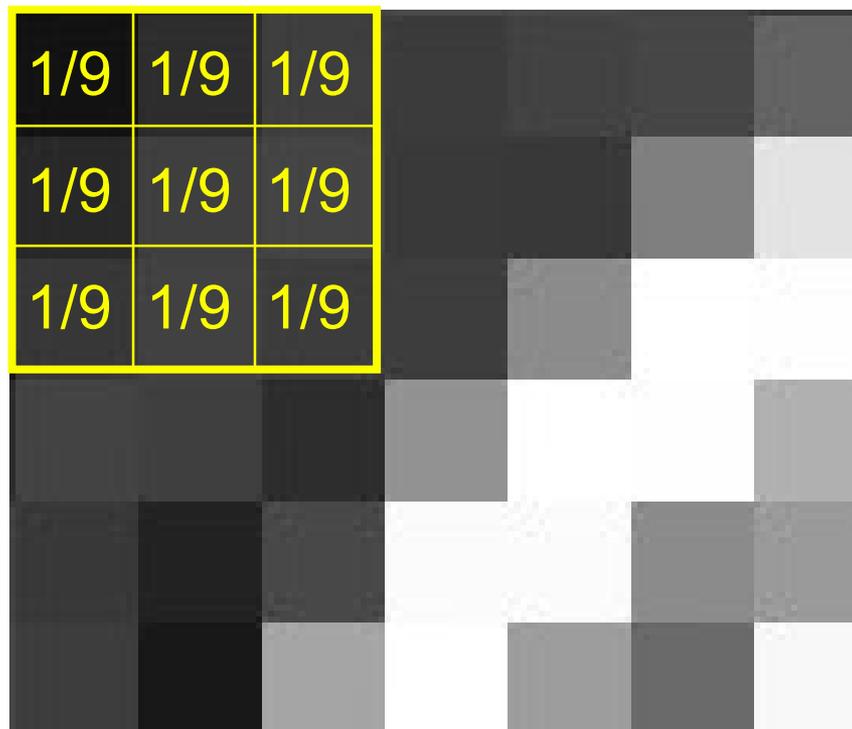
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Kernel



選定一個 kernel 後，把影像拿來 ...

# Convolution 運算過程



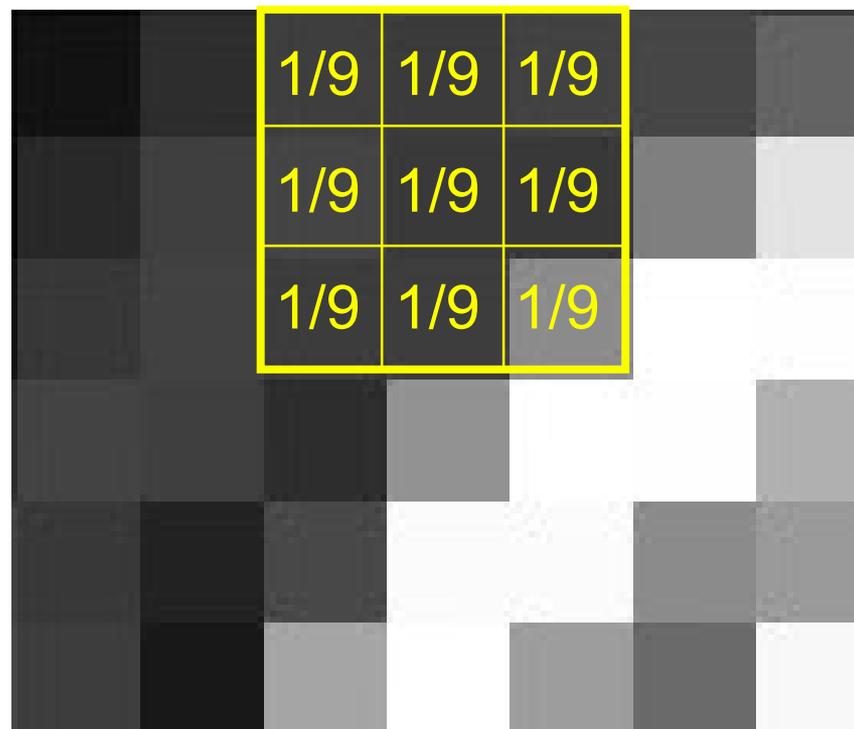
對應的 pixel 數值相乘 然後加總 移到下一格

# Convolution 運算過程



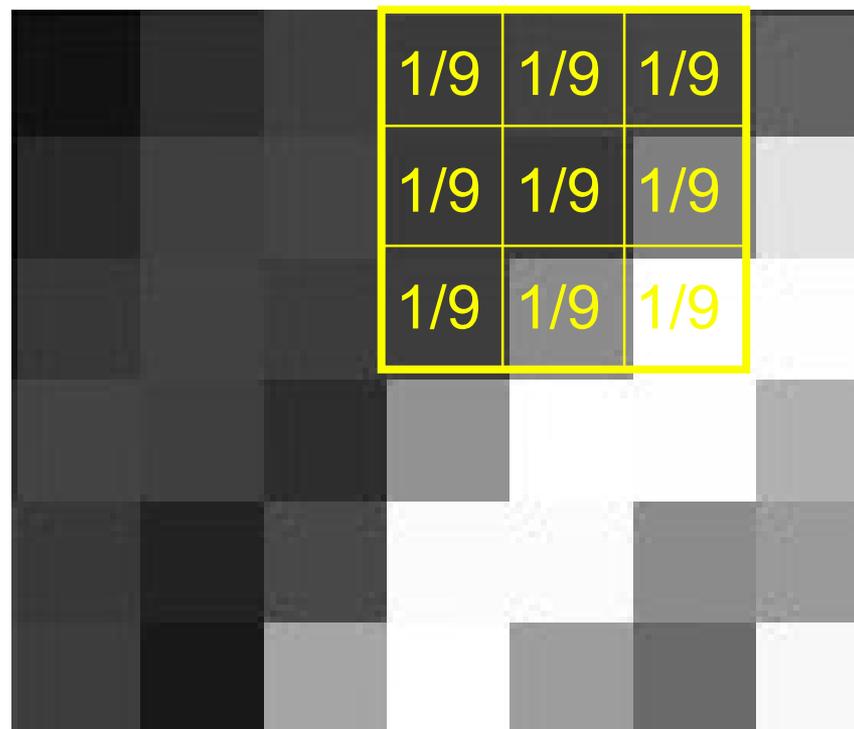
對應的 pixel 數值相乘 然後加總 移到下一格

# Convolution 運算過程



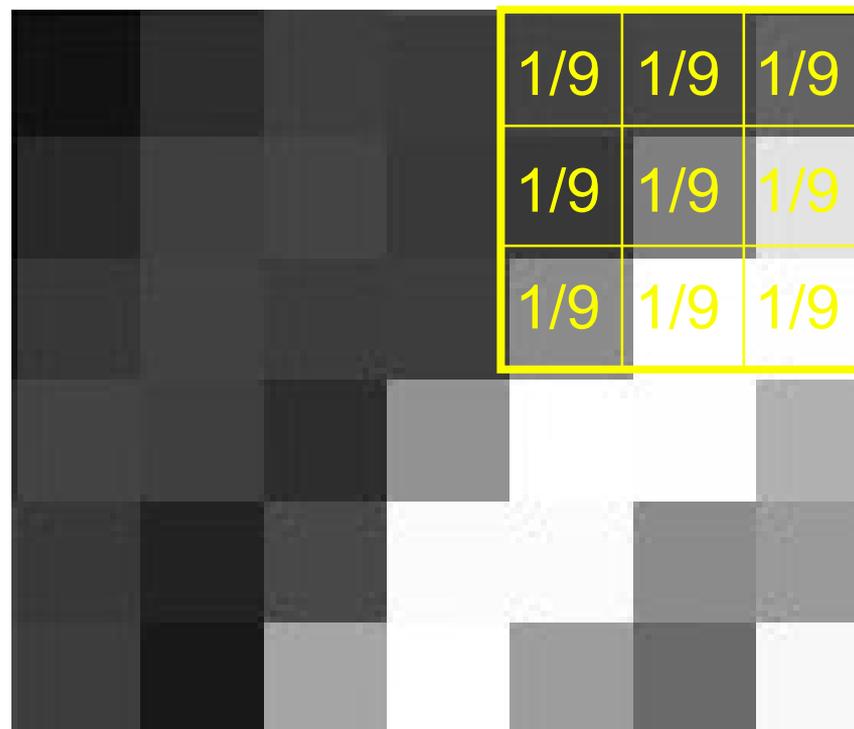
對應的 pixel 數值相乘 然後加總 移到下一格

# Convolution 運算過程



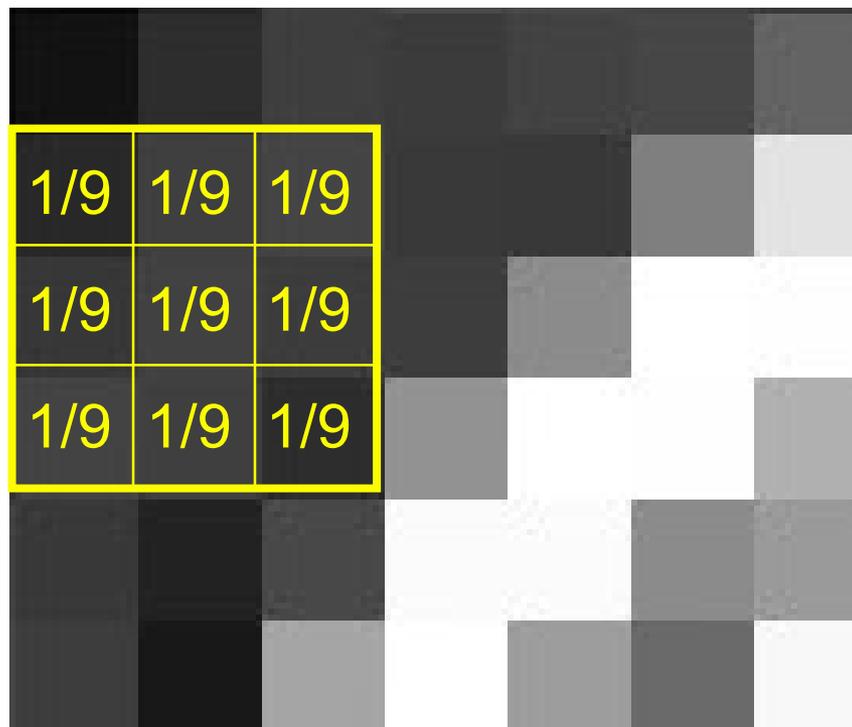
對應的 pixel 數值相乘 然後加總 移到下一格

# Convolution 運算過程



對應的 pixel 數值相乘 然後加總 移到下一格

# Convolution 運算過程



對應的 pixel 數值相乘 然後加總 移到下一格

# Convolution 運算過程



以下以此類推

# 影像濾波的數學表示法

- 影像濾波 = 與一個適當的 kernel 作 convolution 運算
  - $3 \times 3$  averaging kernel ...
  - $7 \times 7$  Gaussian kernel ...

# 一些LPF Kernels

$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$

3x3 average

0	$1/8$	0
$1/8$	$1/2$	$1/8$
0	$1/8$	0

3x3 weighted mean

$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$
$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$
$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$
$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$
$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$	$1/25$

5x5 average

# 再繼續延伸

- 方向選擇性濾波
  - 垂直方向 LPF、水平方向不動
  - $45^{\circ}$  斜角 LPF ...
- 只要變化 mask operator 就可以了

# Directional LPF kernels

0	1/3	0
0	1/3	0
0	1/3	0

 = 

1/3
1/3
1/3

3×3 vertical average

1/3	0	0
0	1/3	0
0	0	1/3

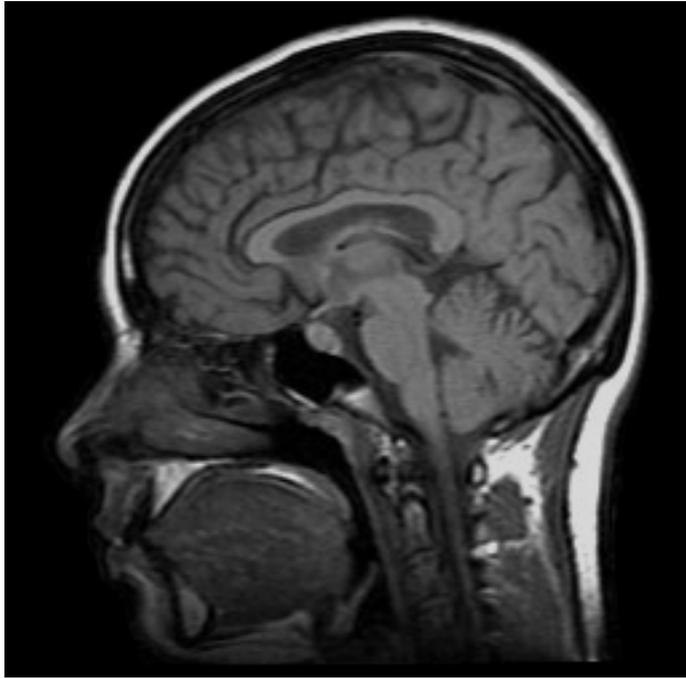
3×3 oblique average

1/64 ×

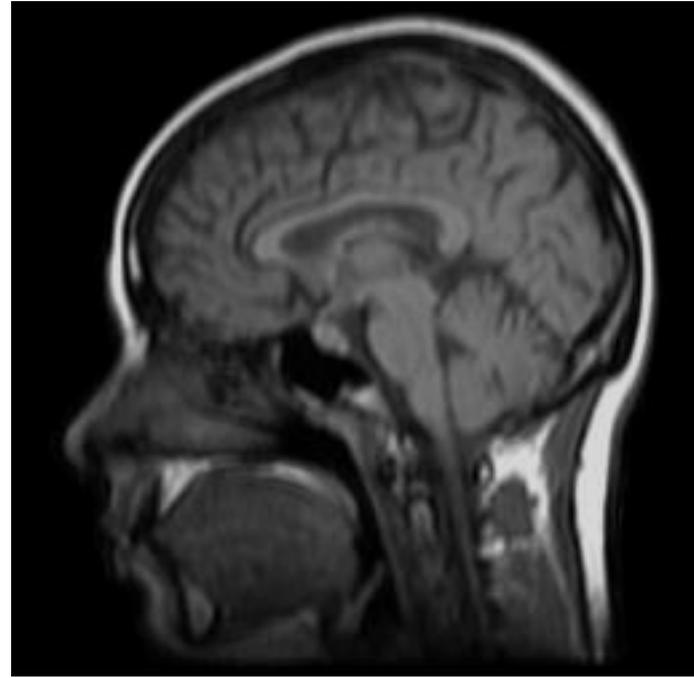
1	6	15	20	15	6	1
---	---	----	----	----	---	---

1×7 horizontal Gaussian average

# 5 × 5 垂直濾波

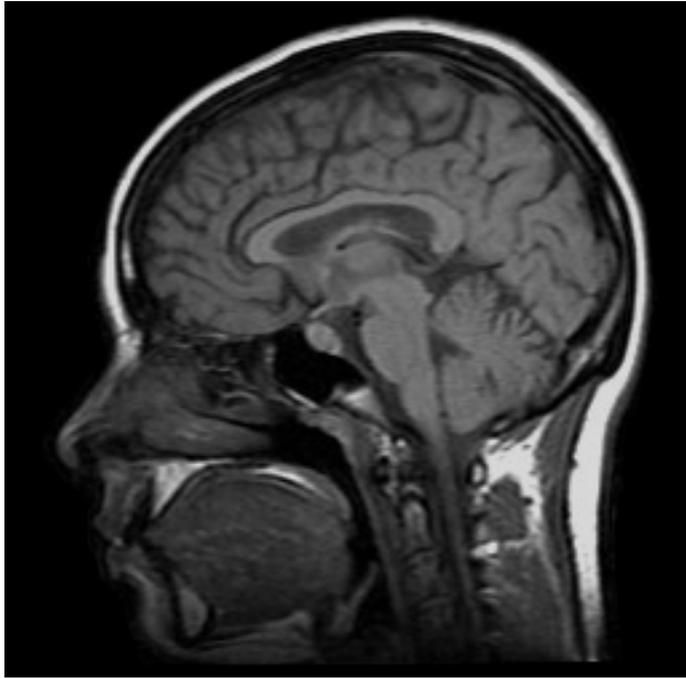


原始影像

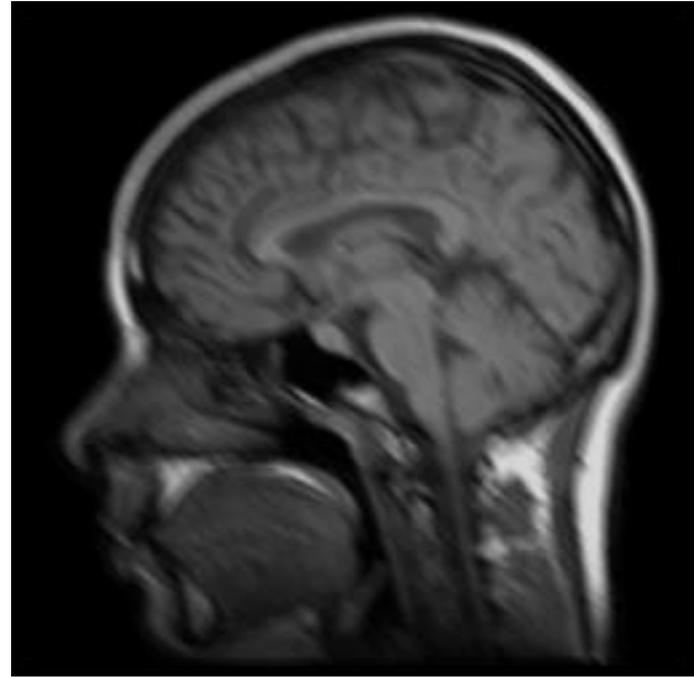


濾波後

# 5 × 5 斜向濾波



原始影像

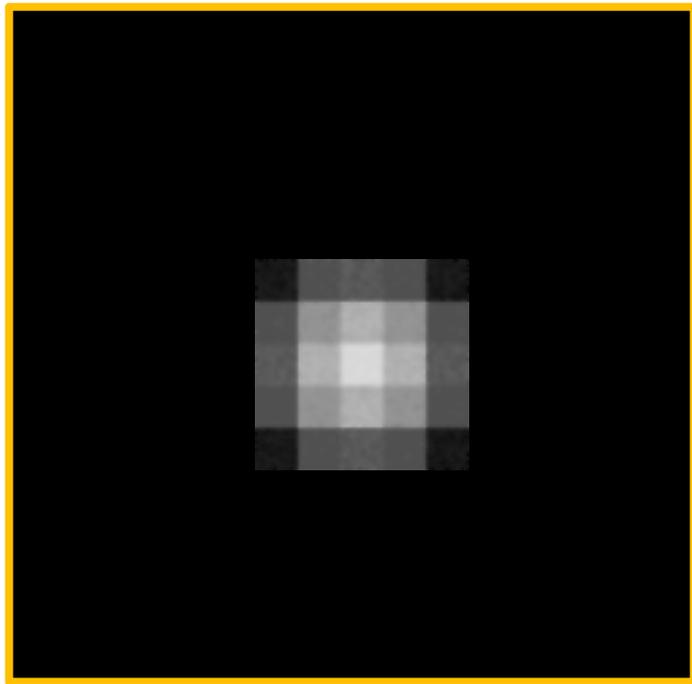


濾波後

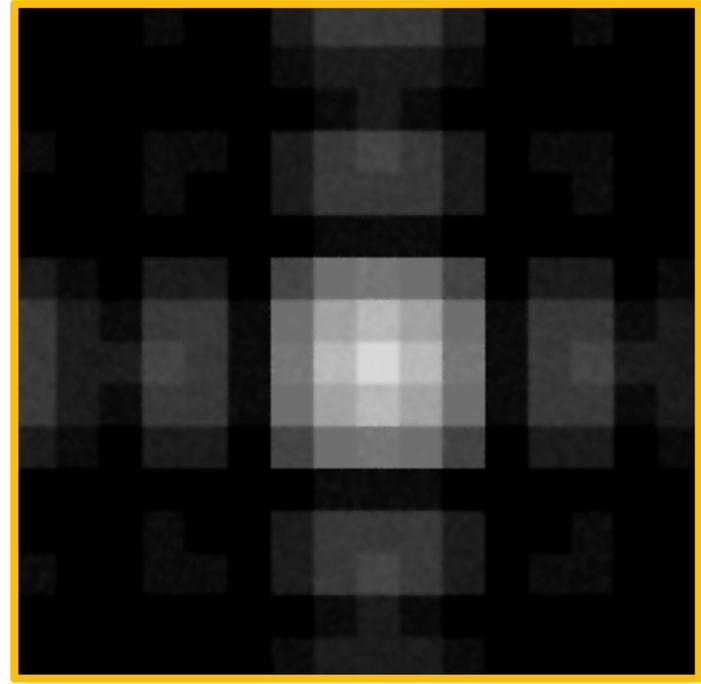
# 用 Mask 的濾波方式 ...

- 稱為 FIR filters
  - Finite impulse response
  - 2D convolution in spatial domain
- Infinite impulse response (IIR) filter 呢？

# FIR和IIR的impulse response



FIR:只延伸到有限距離

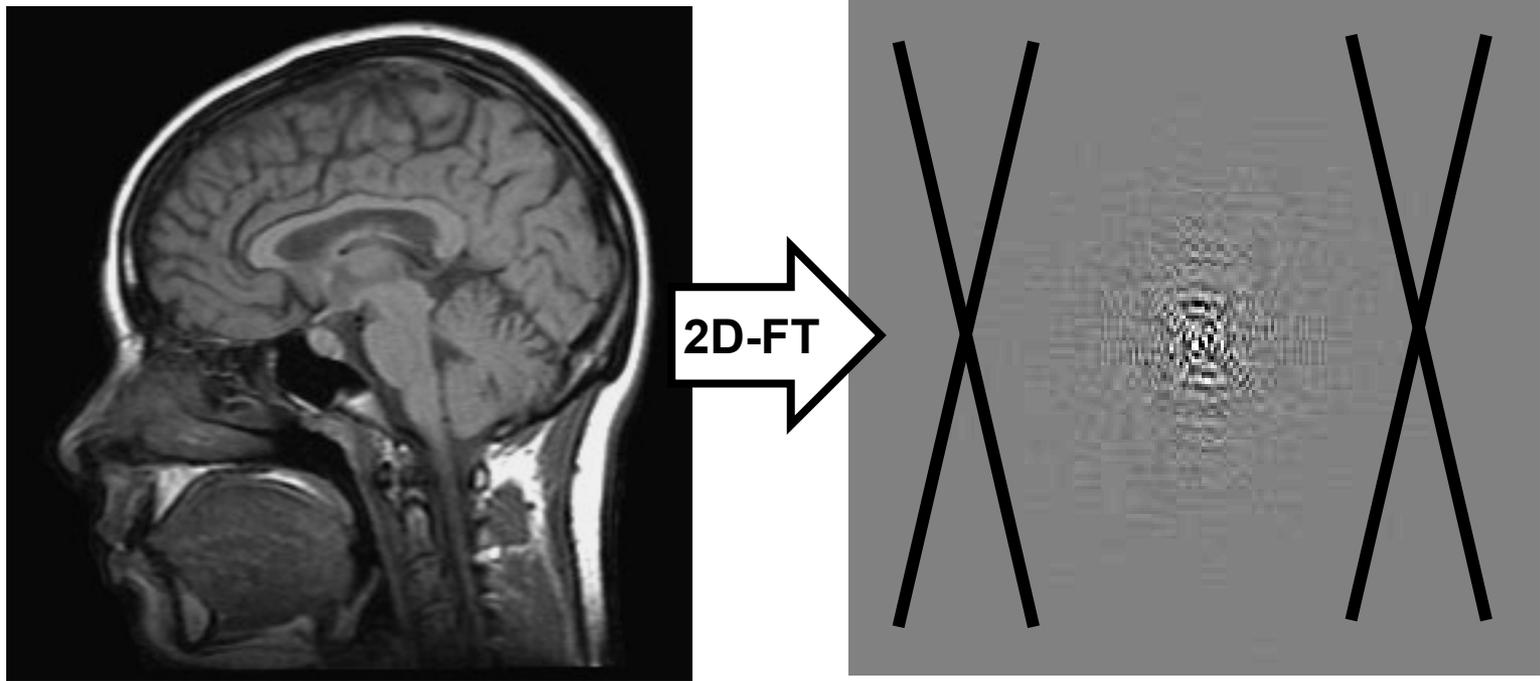


IIR:延伸到影像邊界

# IIR Filter 的濾波方式

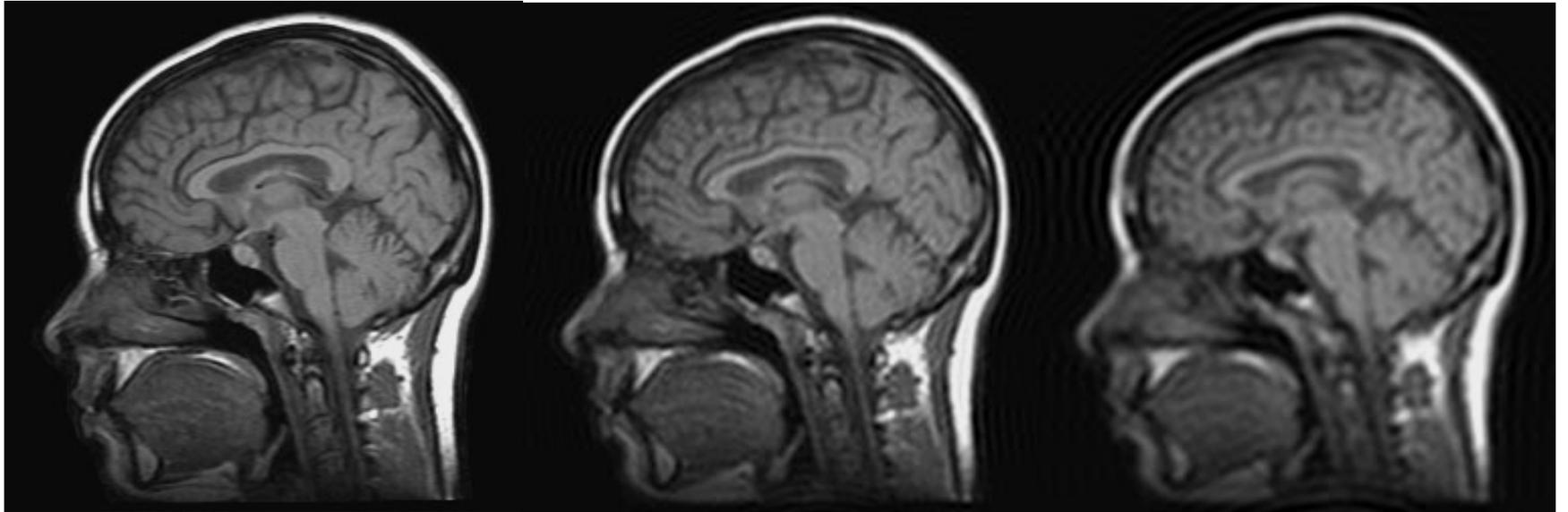
- 影像經 2D Fourier transform 轉至頻域
- 在頻域中直接砍掉或減少部份成份
- 再將修改過的頻譜轉回影像
- Filtering in the frequency domain

# IIR Low-Pass Filter



砍掉越多就越模糊

# IIR Filters



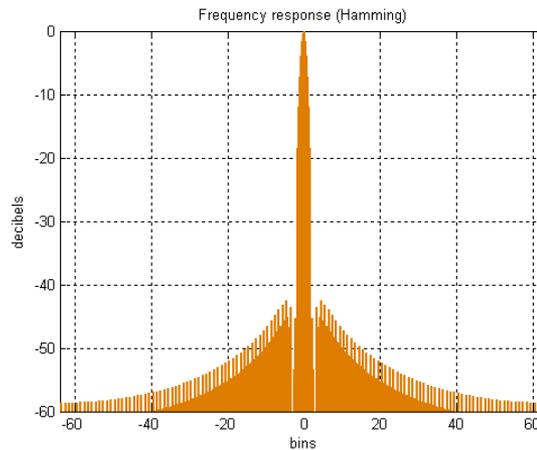
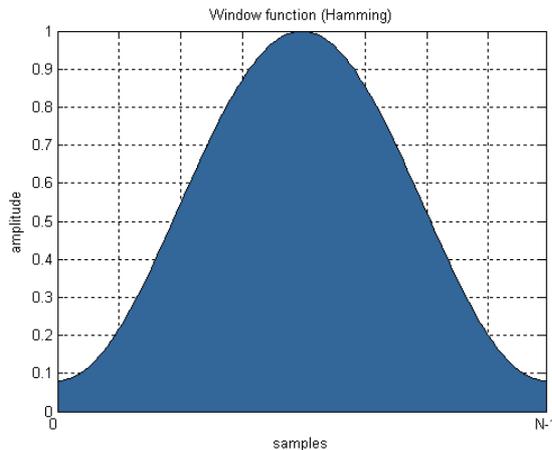
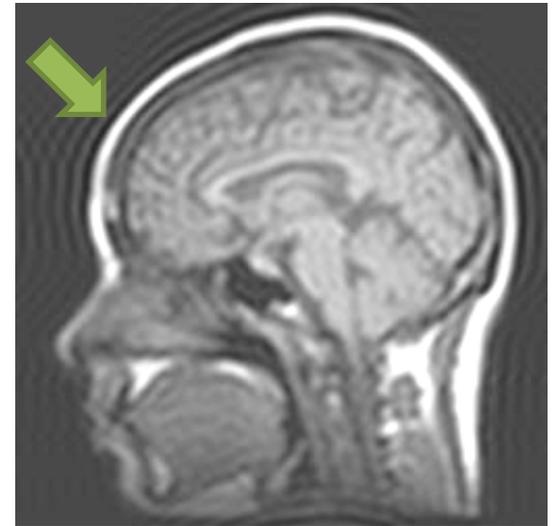
原始影像

IIR 濾一點

IIR 濾很兇

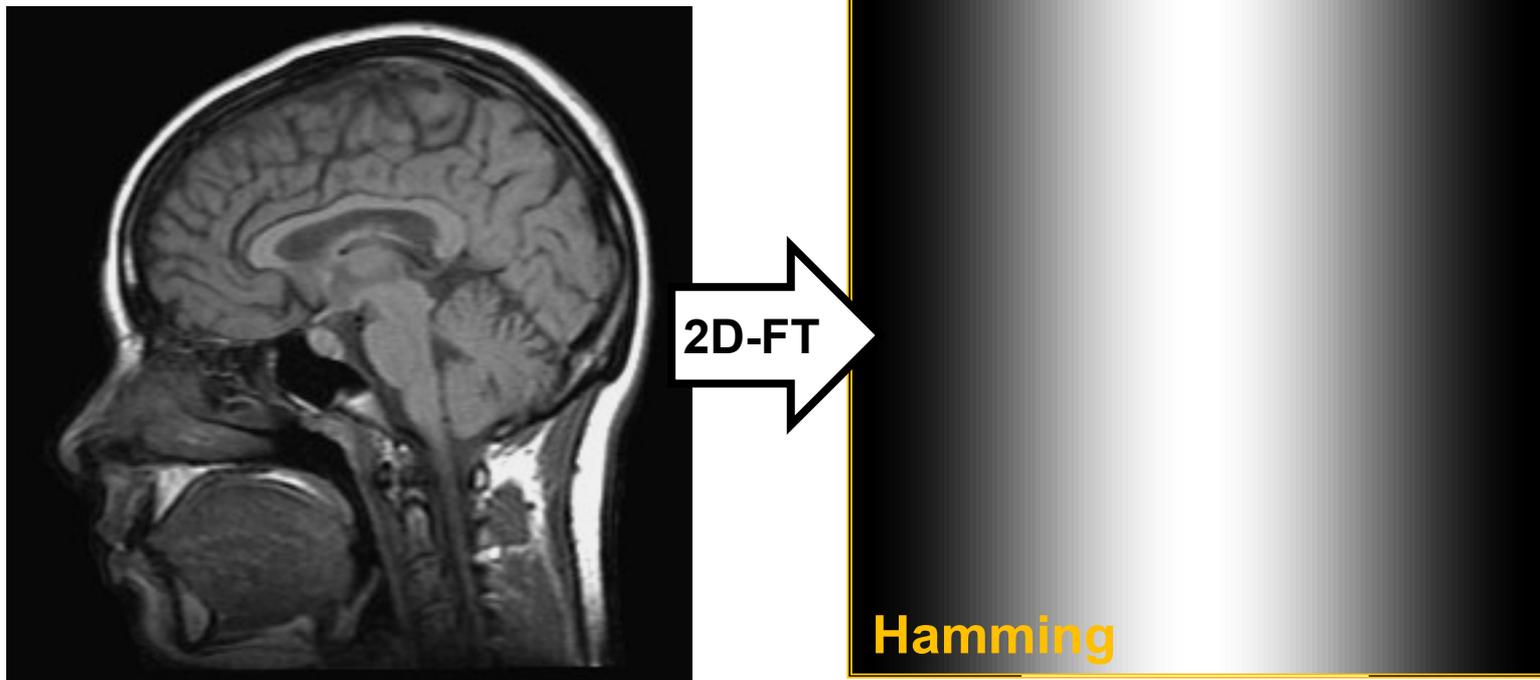
# 波紋的出現

- Gibbs (ringing) phenomenon
- 可用 windowing 減少
- 典型例：Hamming window  
–  $0.54 + 0.46 * \cos(u)$



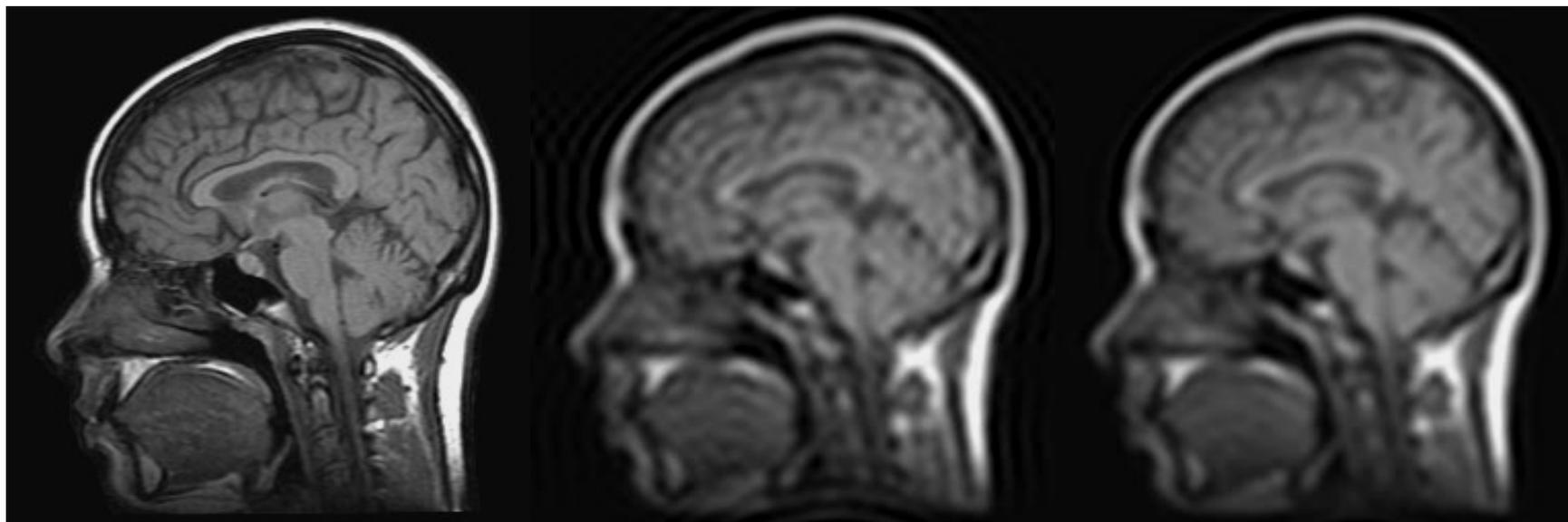
Hamming window  
(from *Wikipedia*)

# Windowing 減少 ringing



乘上逐步遞減函數 而不是冒然砍掉數據

# Windowing for IIR Filters



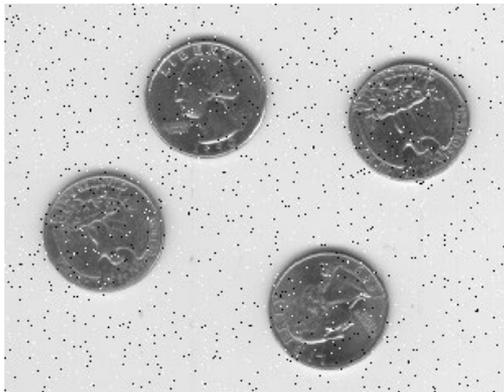
原始影像

Rectangular IIR

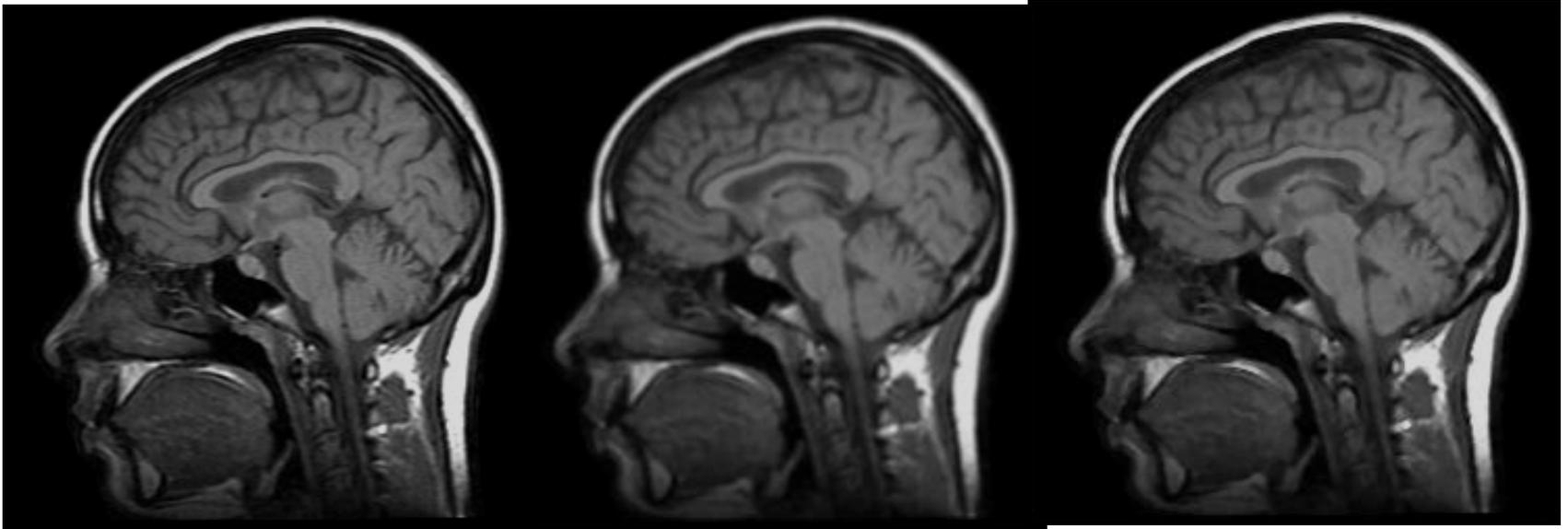
Hamming

# 非線性濾波器

- 例：中位數濾波器 (median filter)
  - $3 \times 3$  或  $7 \times 7$  的中位數
  - LPF 但保持邊界清晰度
  - 不受單一數值過大的影響
  - Useful for “pepper and salt noise”



# Mean vs. Median filter



原始影像

$3 \times 3$  Mean

$3 \times 3$  Median

# 非線性濾波器

- 例：適應性 (adaptive) 濾波器
  - 根據邊界對比局部調整 kernel
  - 或限制 kernel 在特定部份的作用
- 其他變化不勝枚舉！

# Edge enhancement

- High pass filter 的觀念就是了
- 直接從 LPF 變化而來
- 把相加 (平均) 改為相減
  - 只突顯鄰近 pixel 亮度不同處

# Several HPF Kernels

1	-1
---	----

vertical edge finder

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

1	-2	1
-2	4	-2
1	-2	1

3x3 Laplacian kernels

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

3x3 Sobel kernels

# 3 × 3 Laplacian HPF的比較



原始影像

Laplacian

Horizontal only

# Sobel filter (operator)



Grayscale image

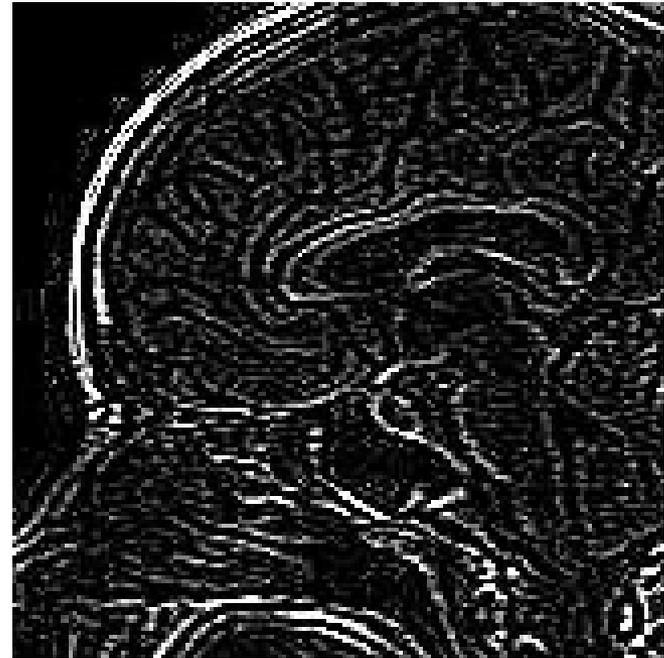
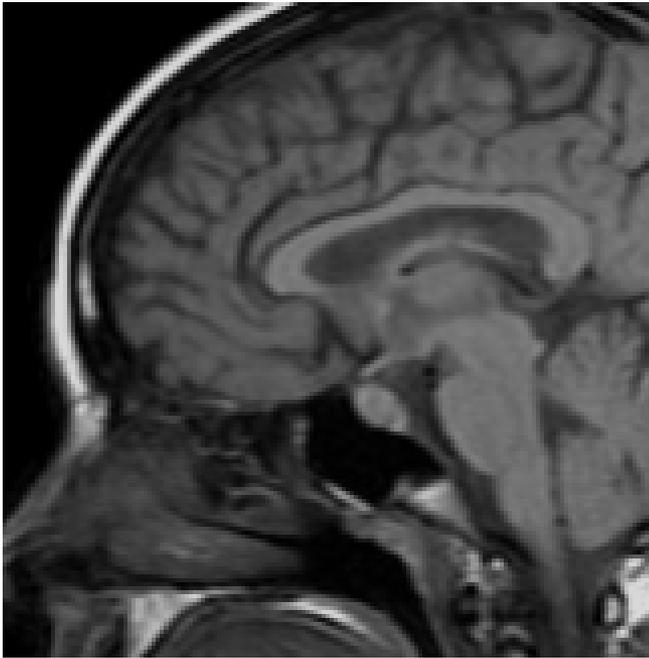


Sobel gradient image

# 繼續連成清楚的邊界線呀！

- 那就沒那麼容易了
  - 邊緣不清楚造成 open contour
  - 雜訊過高造成假性邊緣(false positive)
- Active contouring (snake ...)
  - 計算邊界線的局部曲率

# 邊緣的不確定性

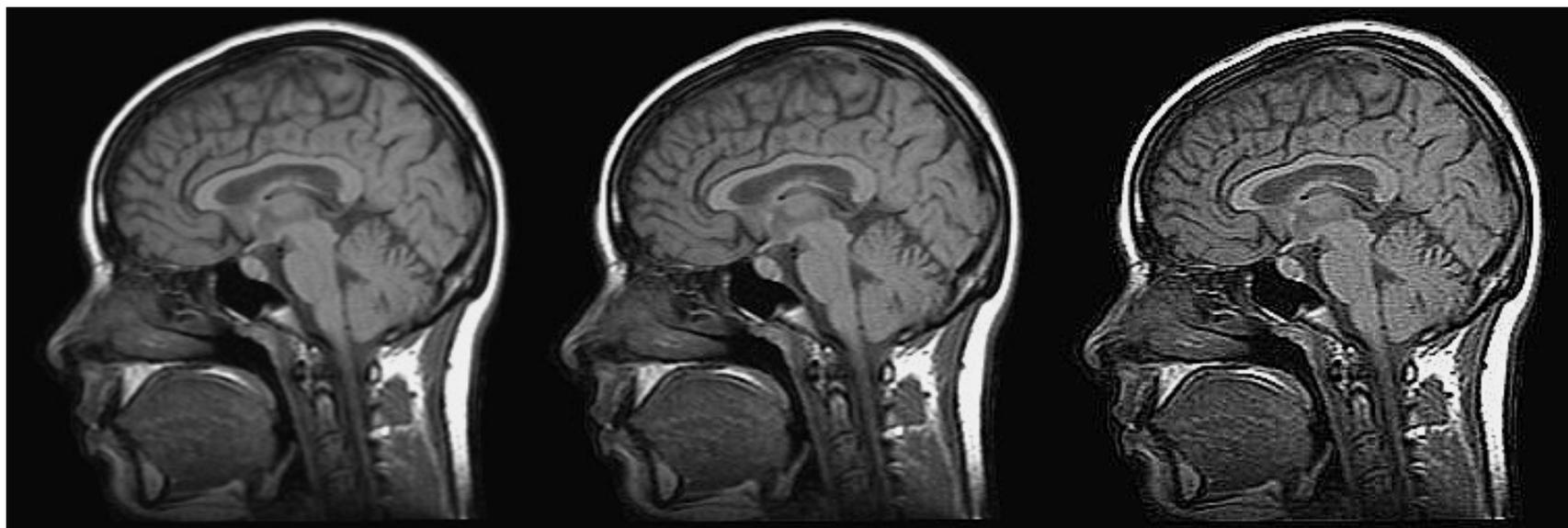


如何界定真實範圍？

# 突顯邊緣但保持對比

- 類似 HPF 但稍微不同
- Image sharpening (銳利化)
- (影像 - LPF) + 影像
- (影像 - LPF)  $\times$  C + 影像

# Sharpening filter 的比較



原始影像

Sharpened

不要太誇張

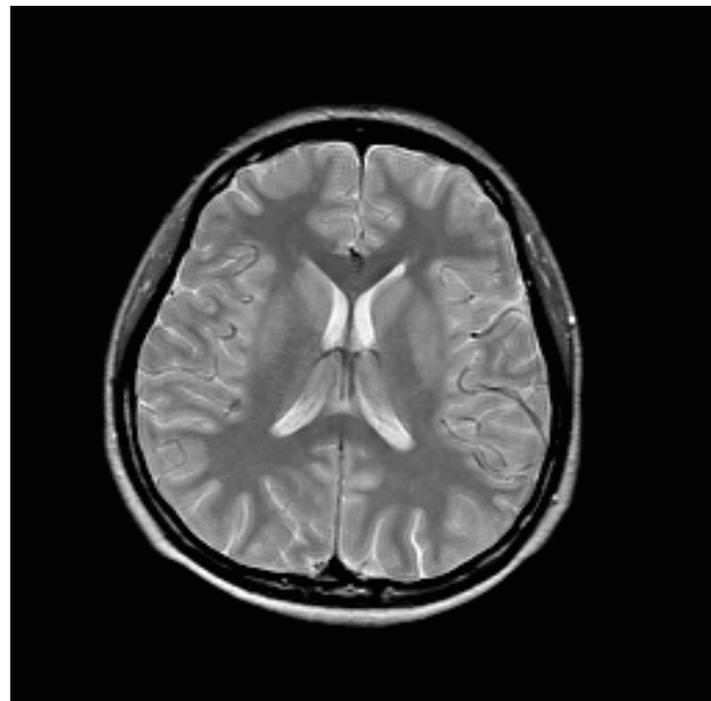
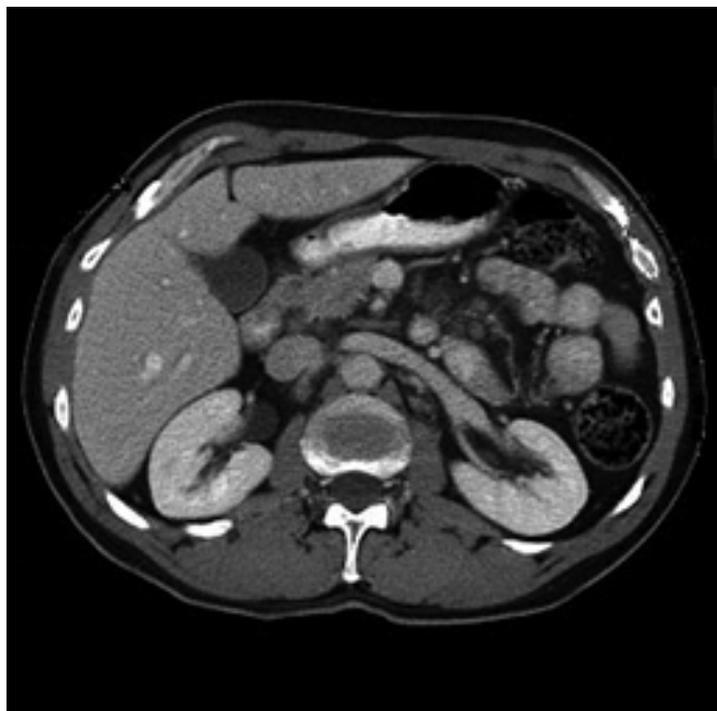
# 已經教了 LPF 和 HPF 了

- 那還需要教 BPF 嗎？
- 只是低通與高通的延伸而已
- 變化 mask operator 也可以
- 利用 Fourier domain 也可以

# 重要觀念

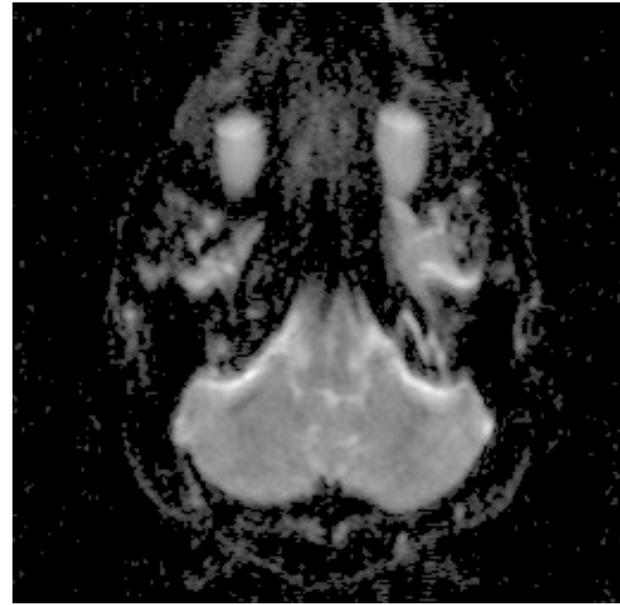
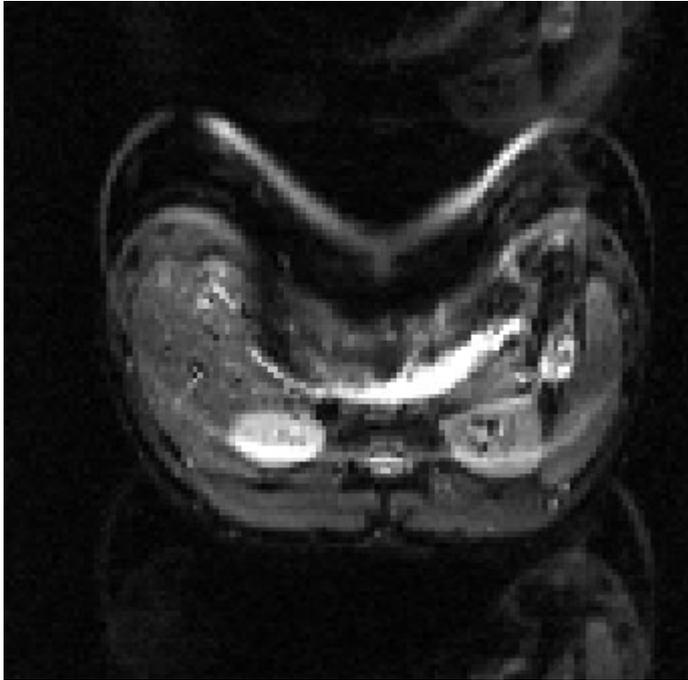
- 各種濾波方式都是後處理
  - Image post-processing
- 後處理只能 refine 影像
- 不能 create information

# 典型的高品質醫學影像



隨便濾波隨便漂亮

# 低品質醫學影像



你慢慢濾波吧！我要先下課了～

# Filter & Enhancement

- 工程上絕對有非常多的發展空間
  - Wiener, constrained, ...
- 但醫學上瓶頸很少出現在濾波方面
- 過多的後處理沒有人會相信

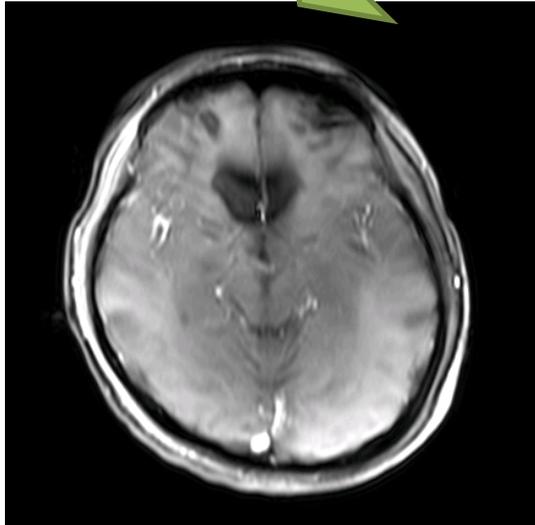
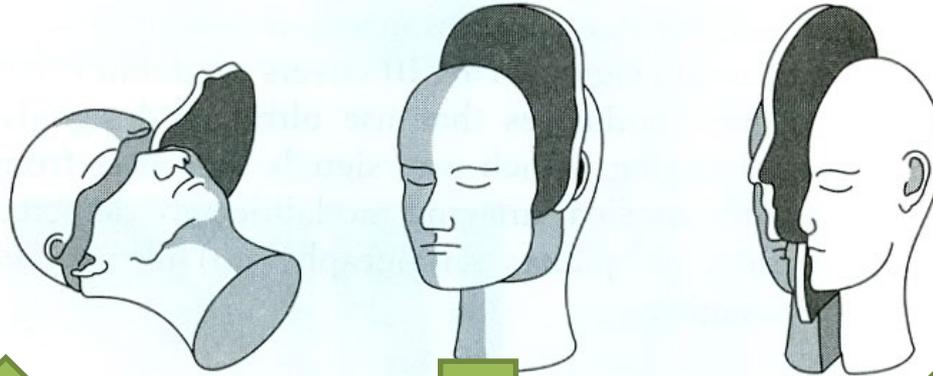
# 三維影像顯示

3D display and render

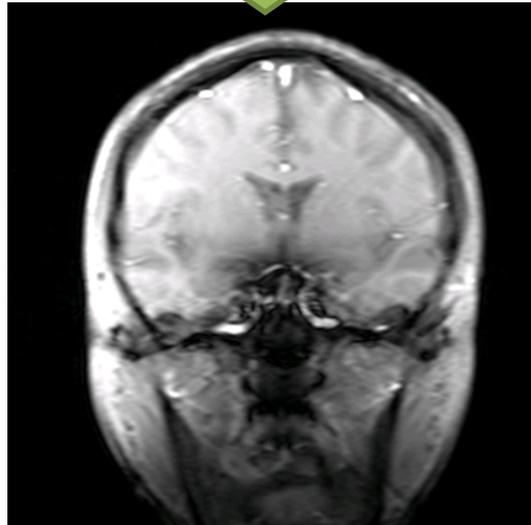
# 二維醫學影像

- 醫學影像的訊號都是來自於三度空間，但以二維的方式顯示
  - X光：投影
  - 電腦斷層、核醫、超音波、磁共振造影：有厚度的切片

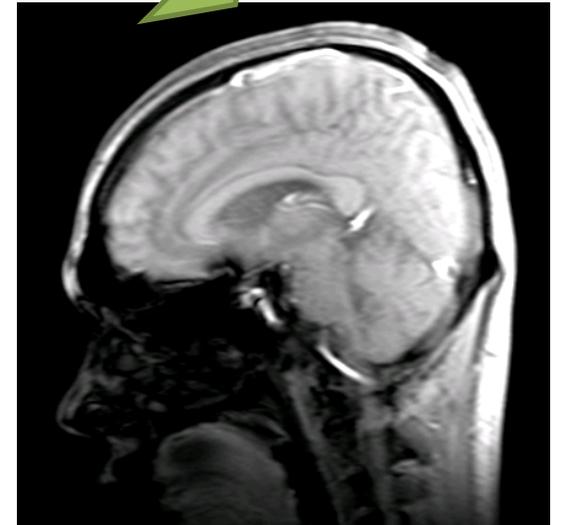
# Slice orientation



Axial



Coronal

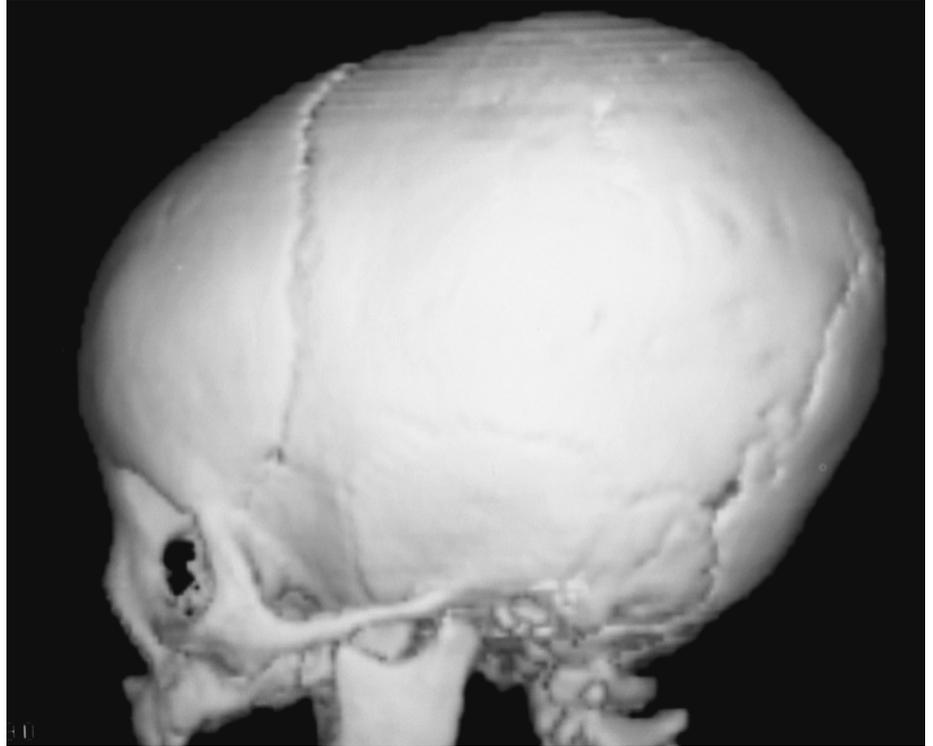


Sagittal

# 三維影像顯示

- 由三維數據顯示成立體影像
- 選擇呈現器官組織，輔助視覺效果
- 協助手術或放射治療計畫

# 三維影像顯示

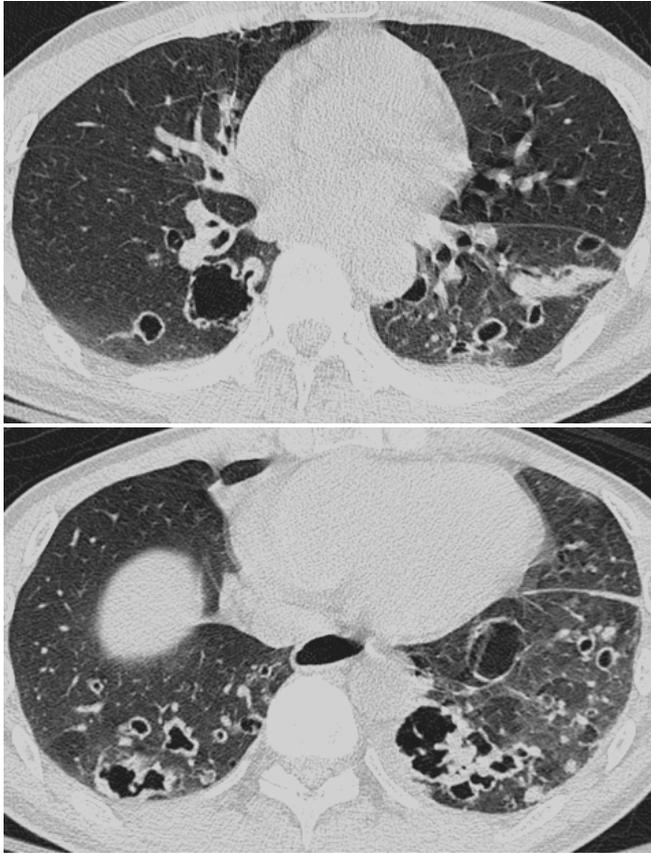


更直接的visualization

# 很快帶過一些 ...

- Multi-planar reformatting
- Maximum intensity projection
- Volume/surface rendering
- Coordinate transformation ...

# Multi-planar reformatting



Original axial images

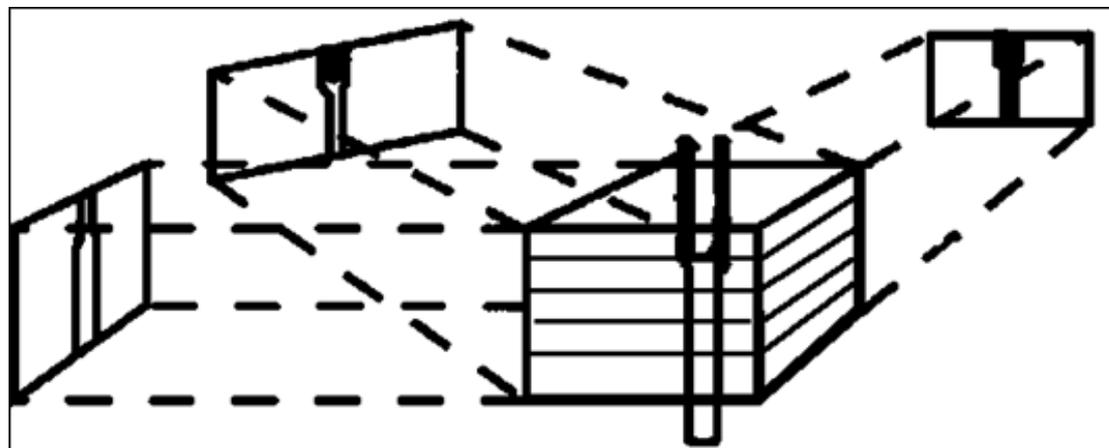
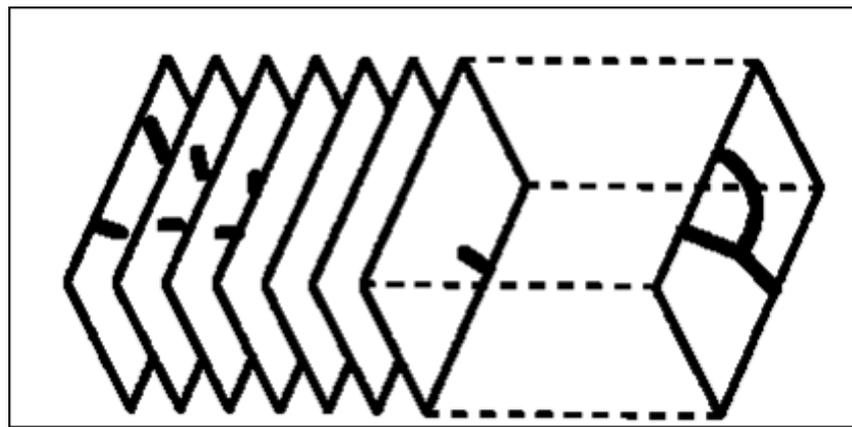


Coronal reformatting

# 最大亮度投影

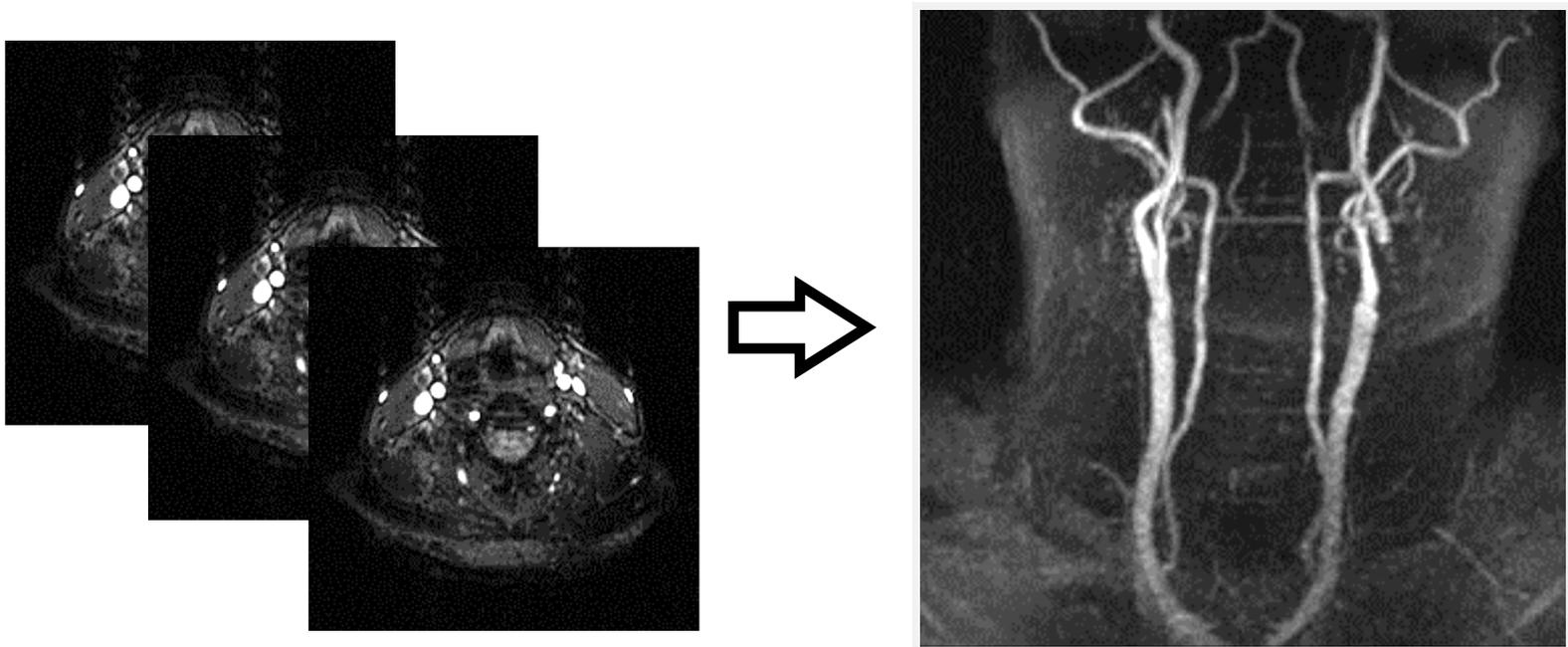
- Maximum intensity projection
- 凸顯高亮度組織 (例如顯影劑)
- 常用於 CT 或 MRI 的血管攝影
- 運算快，但缺乏 depth information

# Maximum Intensity Projection (MIP)



任何角度皆可做投影，只需要計算直線座標

# Example: MR Angiogram

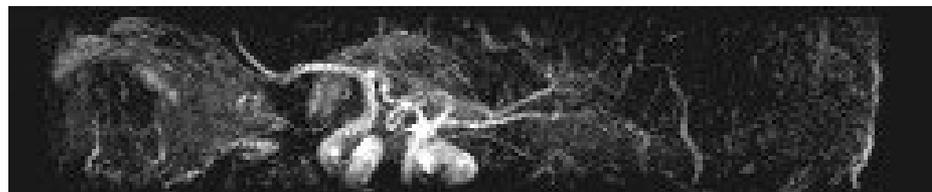


利用亮血流來做血管攝影

# 顱內的MRI血管攝影

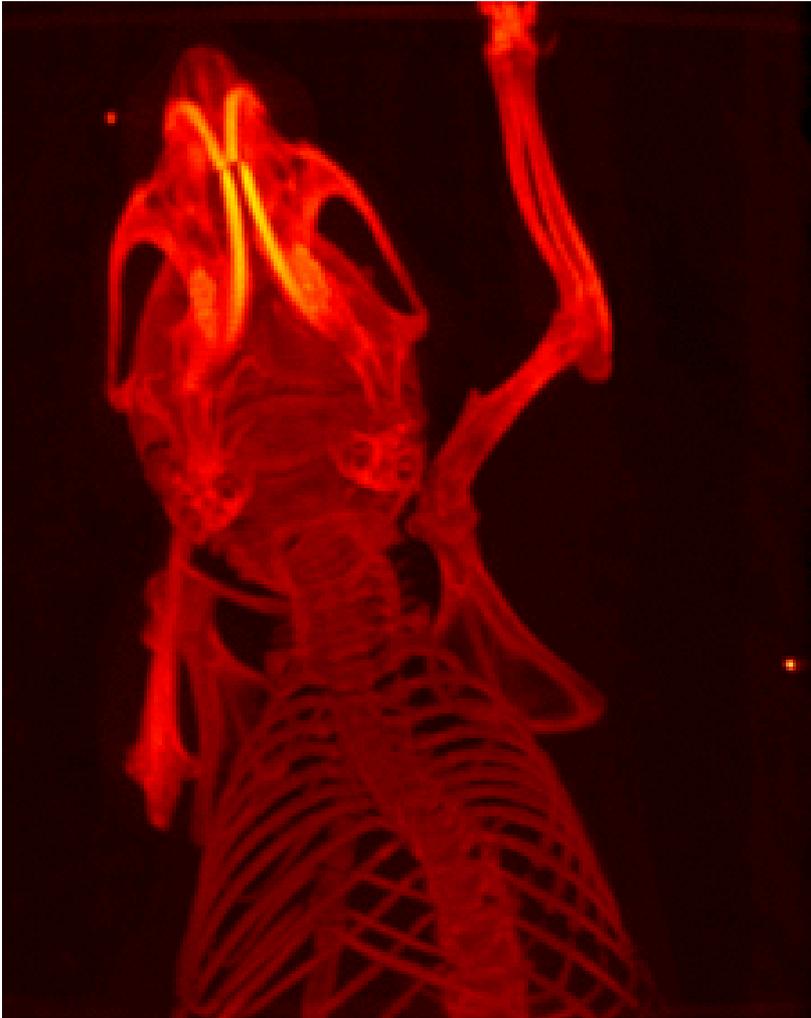


上視圖



側視圖

# 從各個角度投影：來個動畫吧

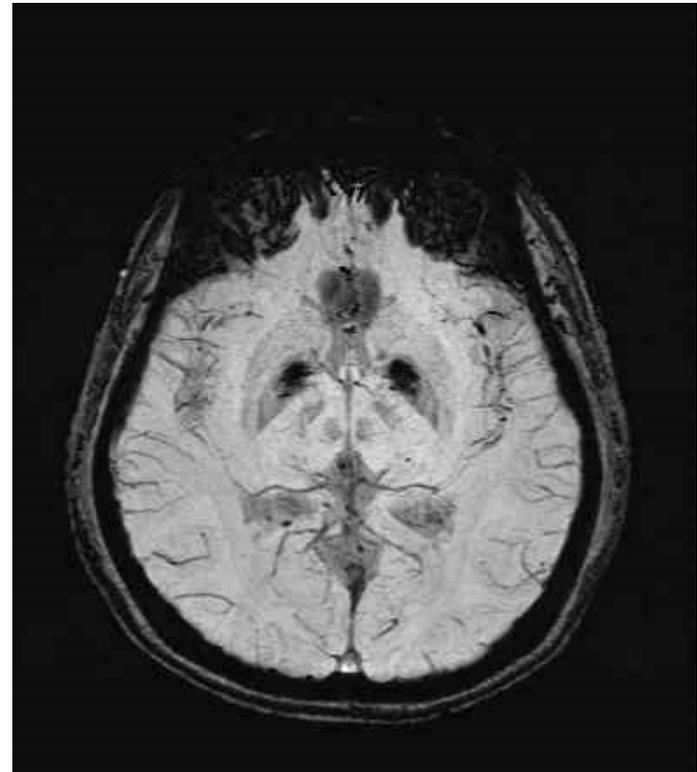
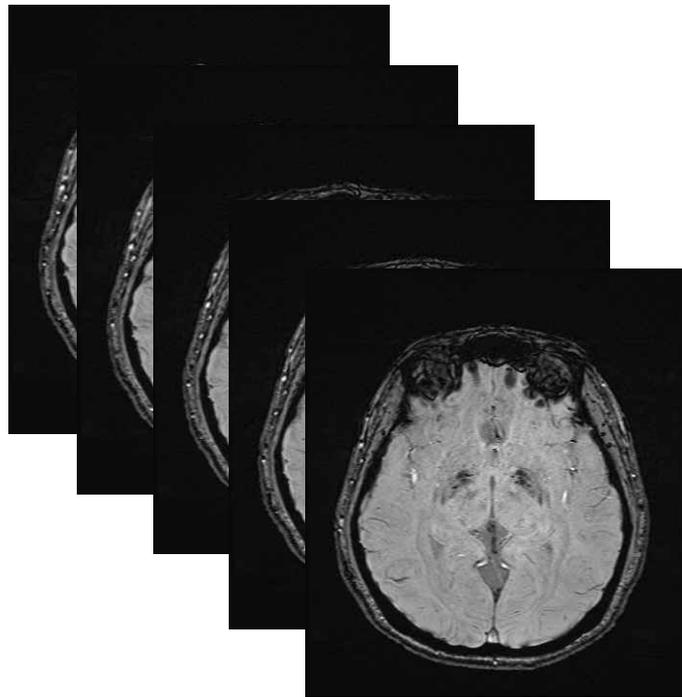


MIP of a mouse (CT)

Courtesy of <http://www.spect-ct.com/>

# 那可以針對最小亮度投影嗎？

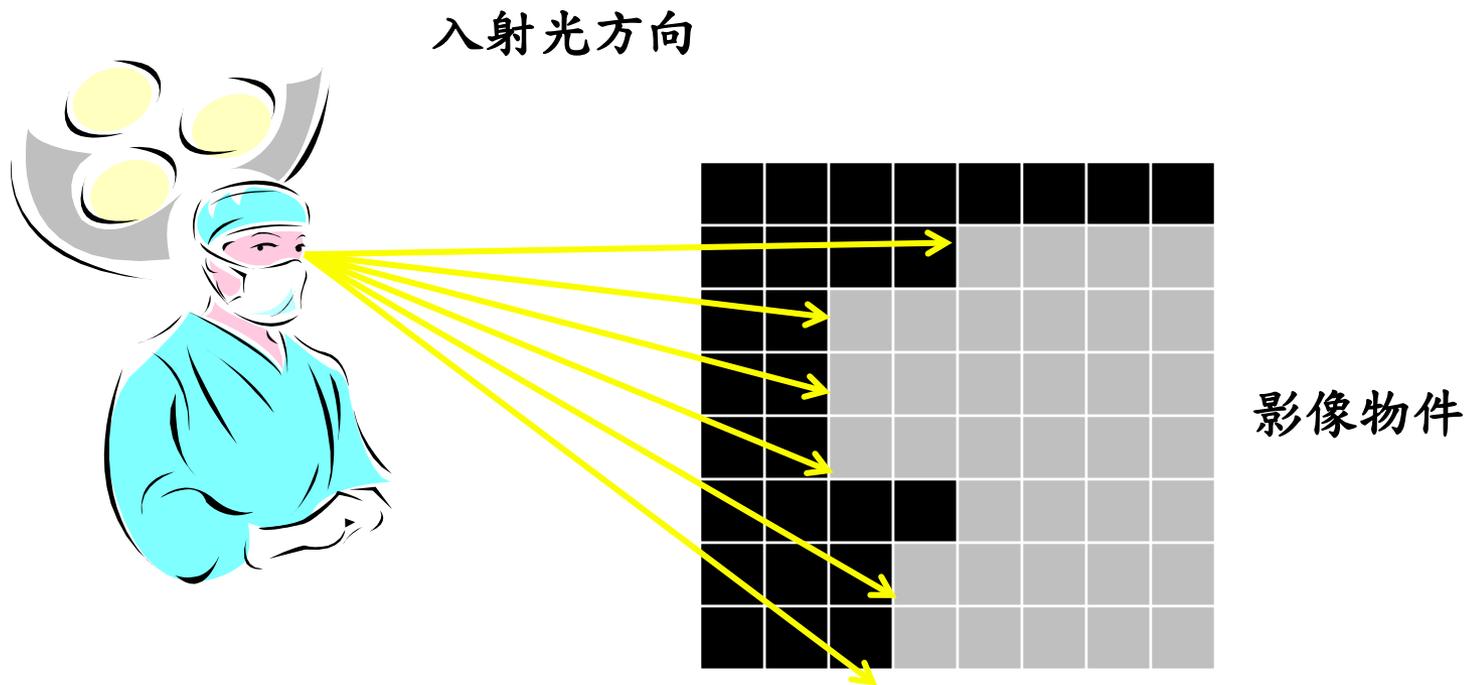
- Minimum intensity projection (mIP) of susceptibility-weighted imaging (SWI)



# 3D Rendering

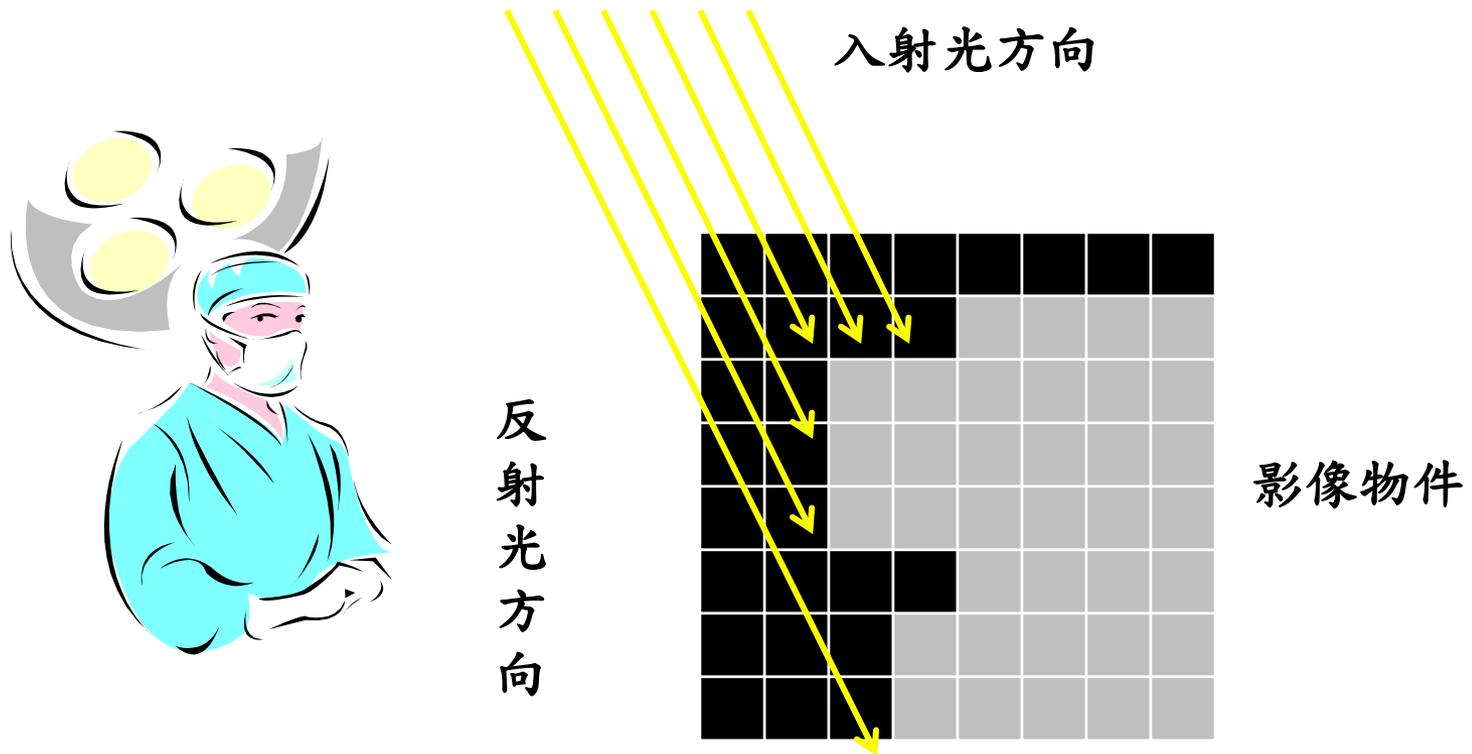
- 決定物體邊緣位在何處
- Shaded surface display
  - 打光的方法

# Volume rendering: Ray Casting



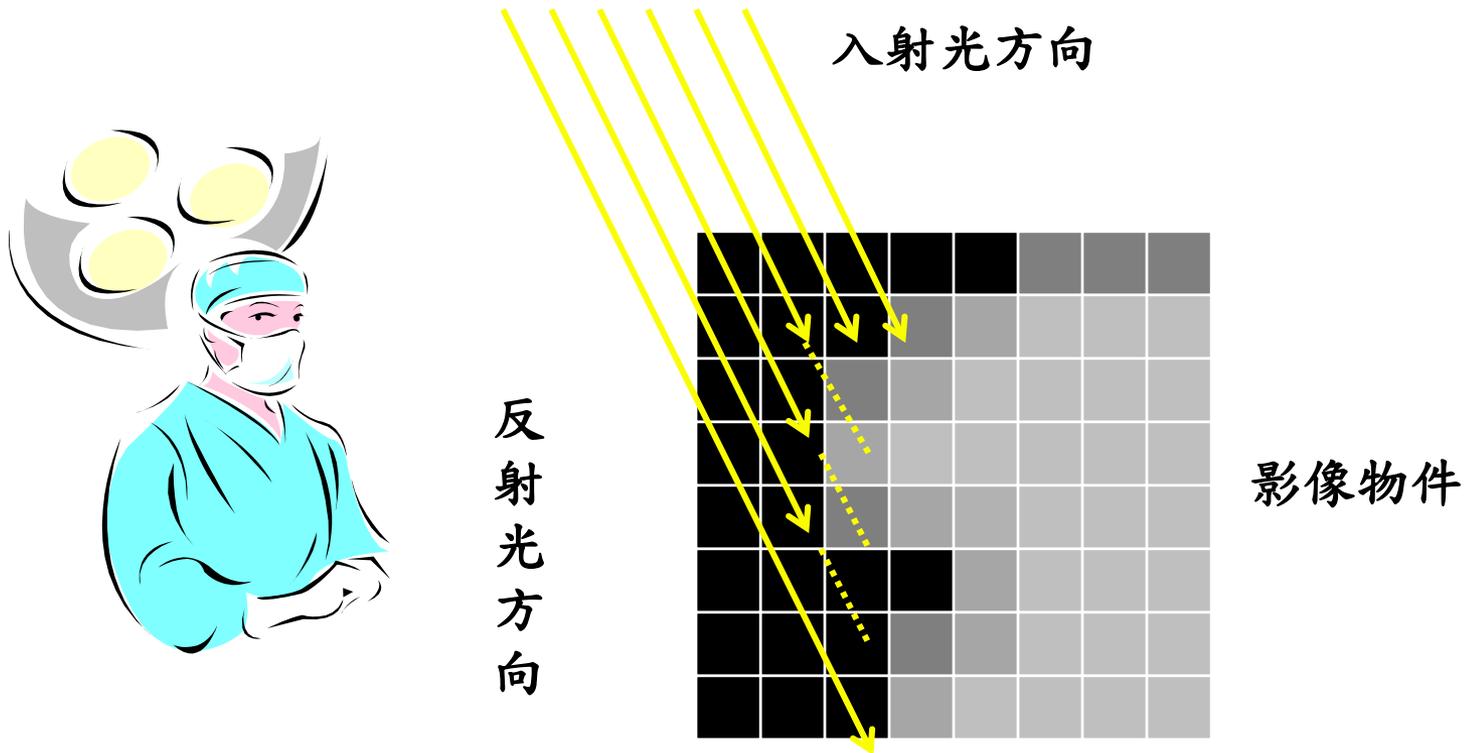
計算入射光線被物體阻擋的情形

# Volume rendering: Ray Tracing



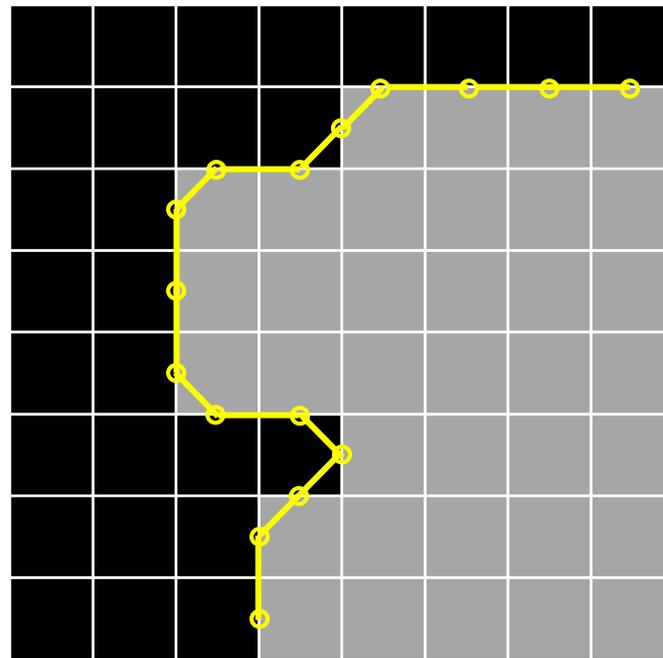
計算反射光線的強度與陰影

# 影像物件難以定義時



根據 pixel 的亮度來決定入射光線的穿透程度

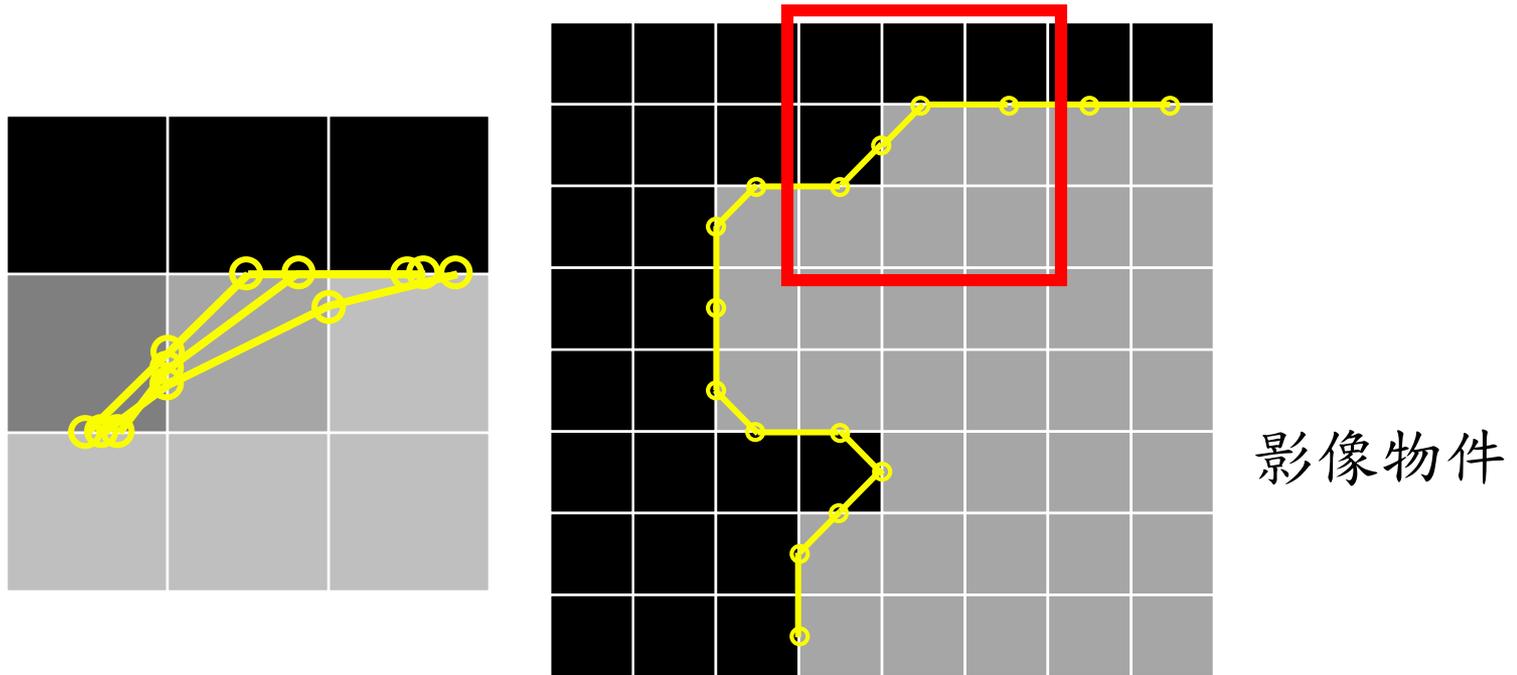
# Surface rendering: Marching cube



影像物件

物體邊緣一定在亮暗交接處

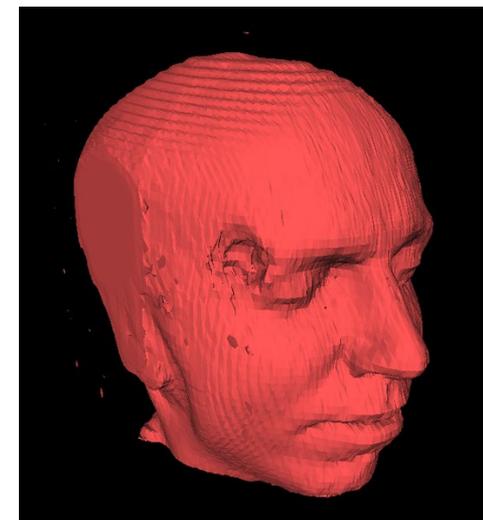
# 影像物件難以定義時



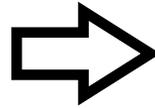
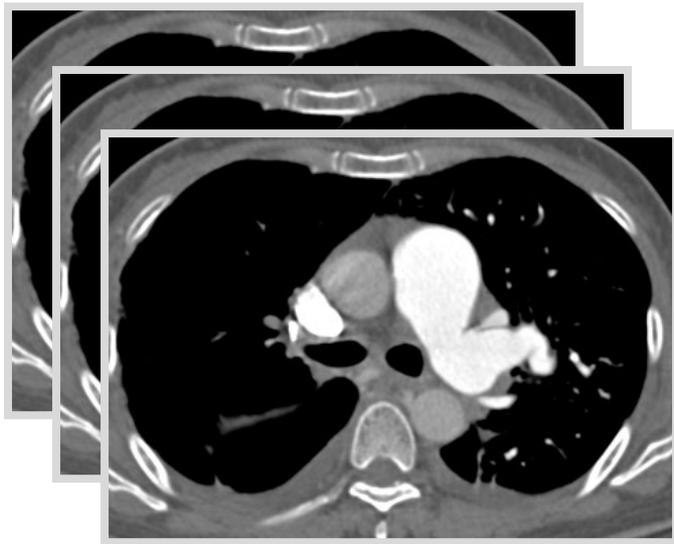
根據鄰近pixel亮暗來決定物體邊緣所在位置

# 三維重建

- Volume rendering
  - Ray casting algorithm
  - Ray tracing algorithm
  - 受限於醫學影像解析度
  
- Surface rendering
  - Marching cube algorithm

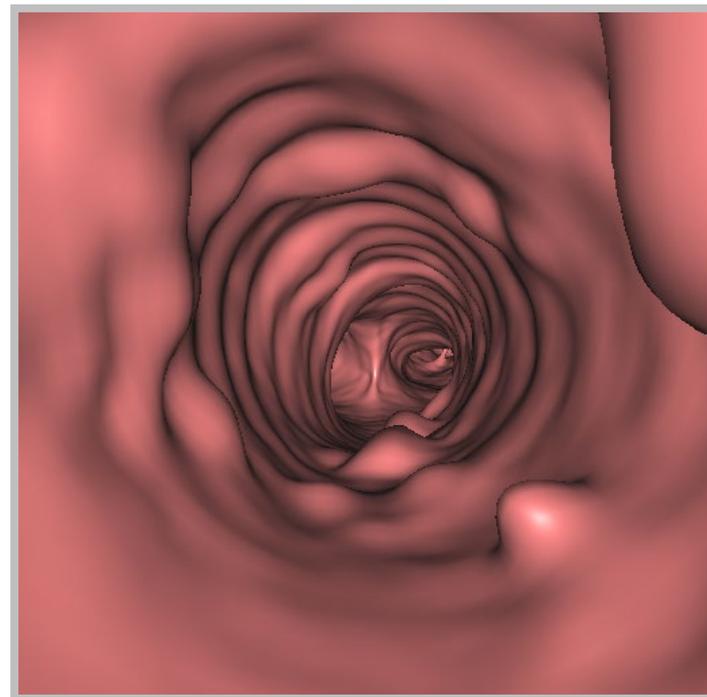
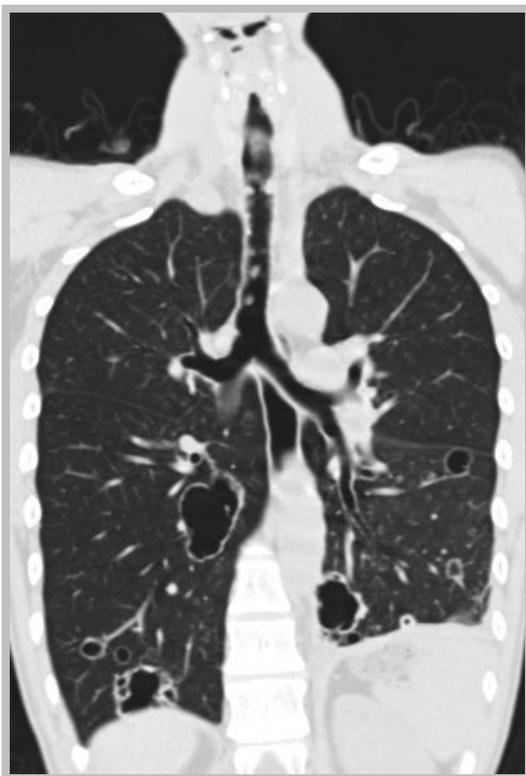


不過打光的方式是一樣的



心臟的三維立體顯示

# 更多應用：虛擬內視鏡

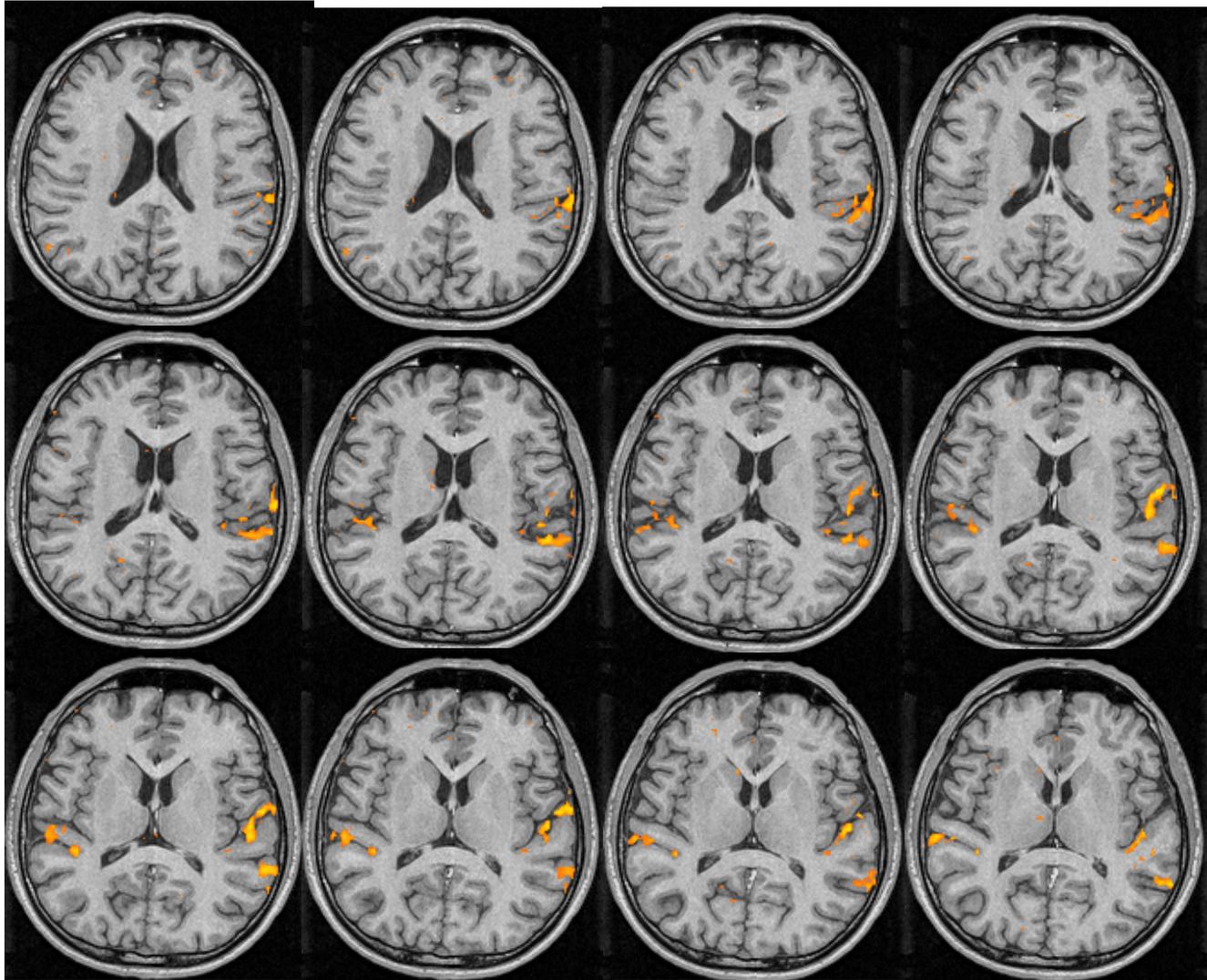


Virtual Endoscope

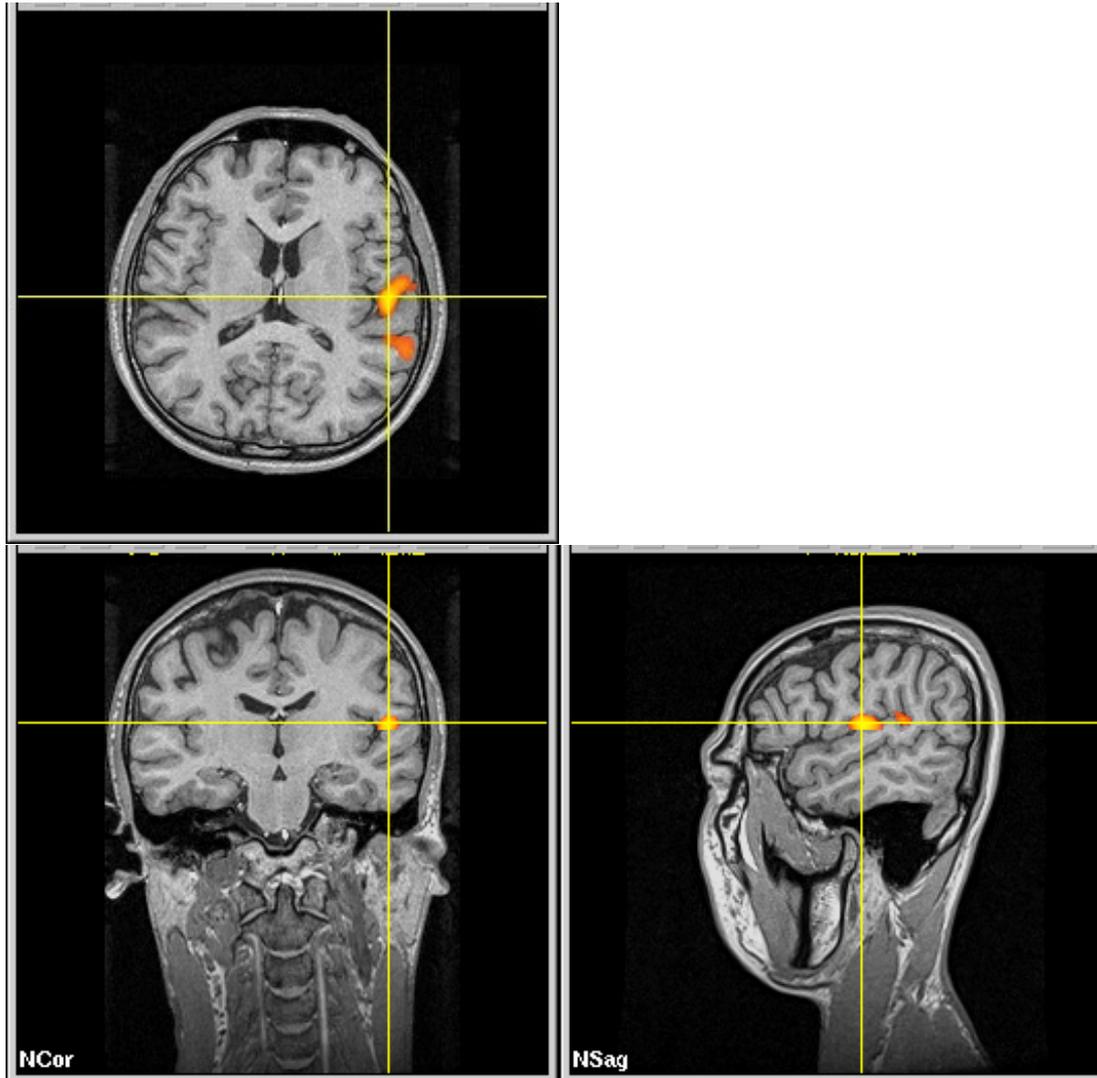
# 再看個例子

- 順便解釋三維影像顯示的應用
- 略微誇張一些就是了

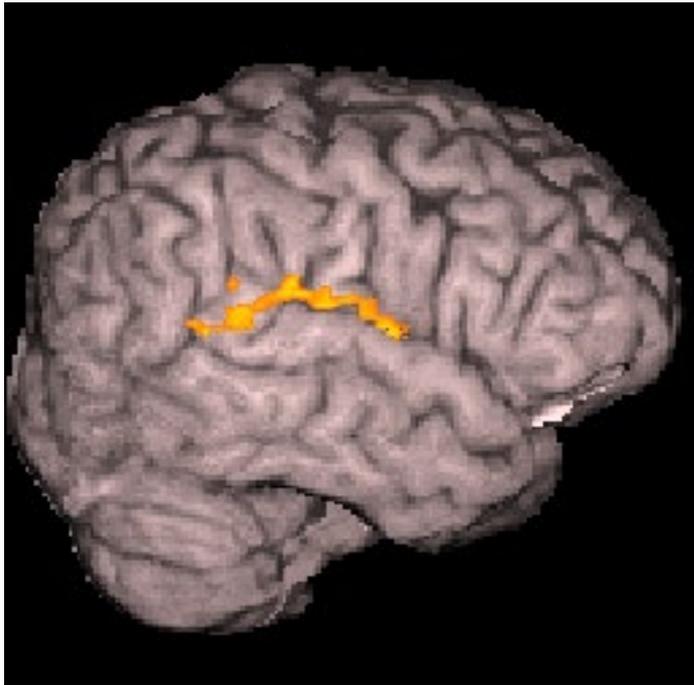
# 原始的二維影像(MRI)



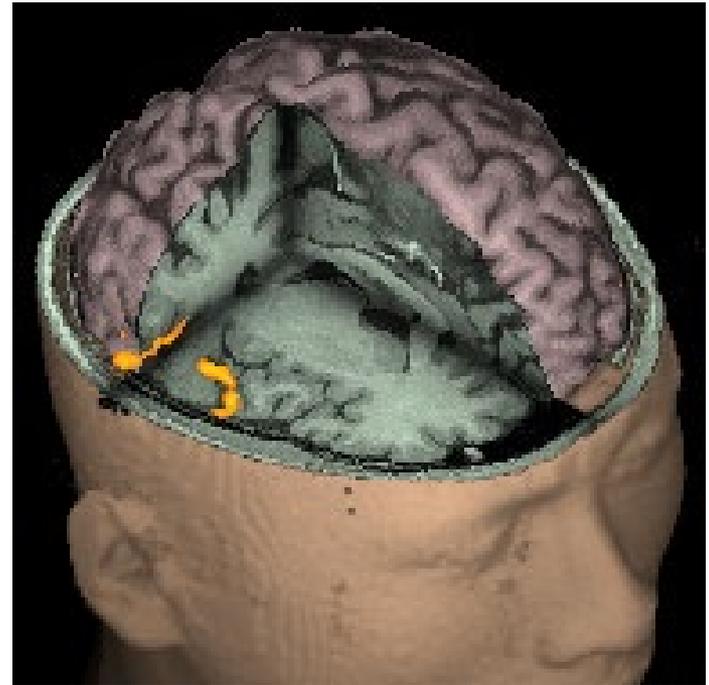
當然可以重組出任何切面



也因此可以顯示出surface



腦部軟膜表面



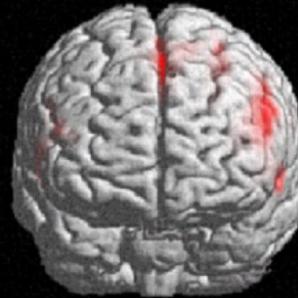
頭部表面切割

# 各種角度都可以看

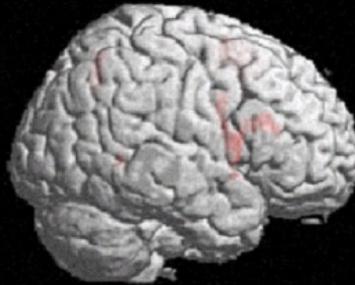
Posterior



Anterior



Right



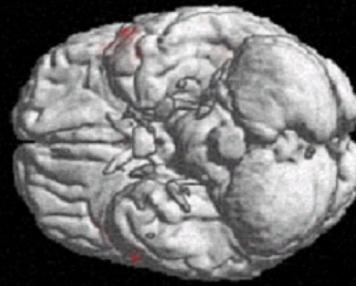
Left



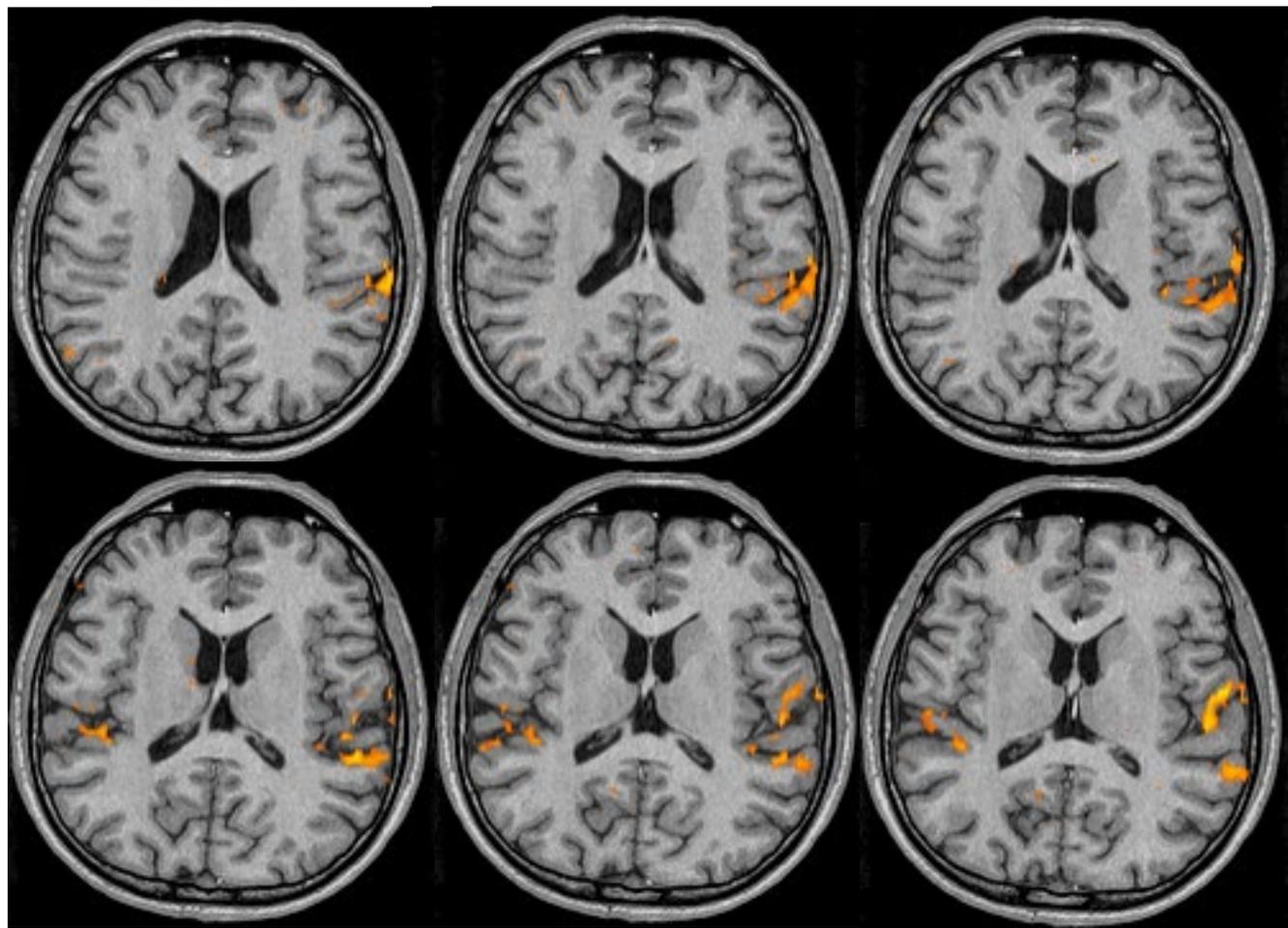
Up



Down

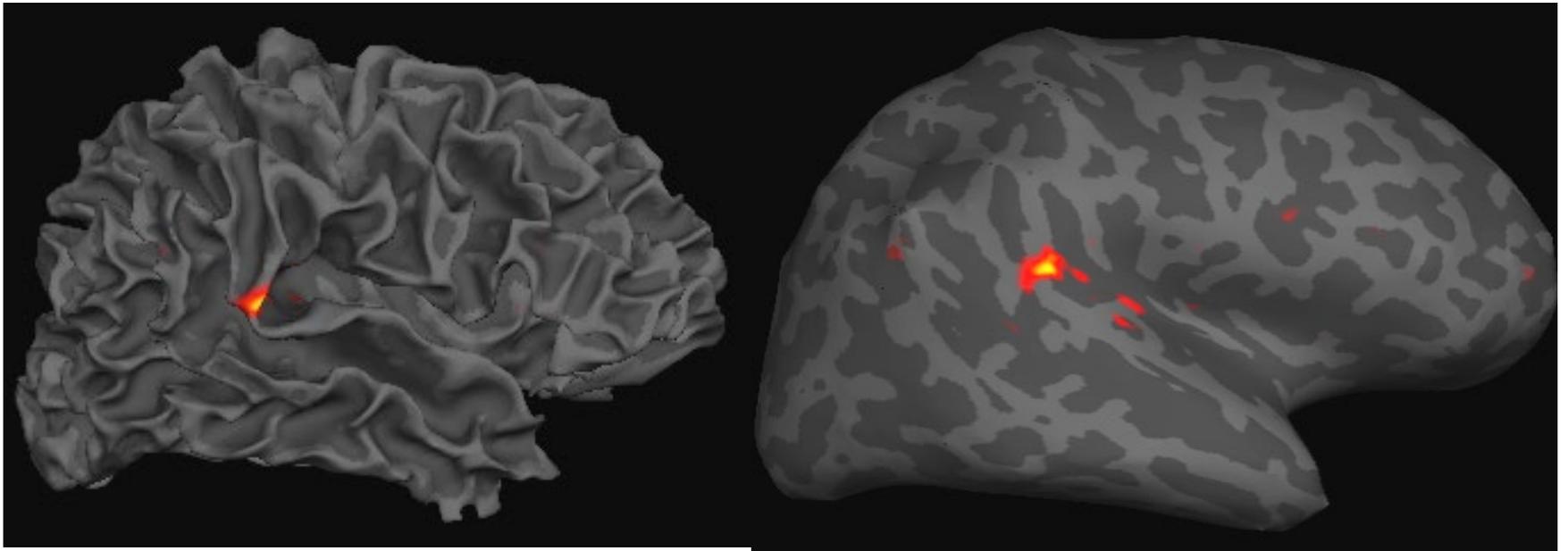


只要影像品質能夠明確定義邊緣



甚至可以把大腦皮質攤平來看！

# Cortical surface and inflation



Cortical surface

Cortical inflation

# Cortical Inflation

- 將綳摺完全吹平
- 凸處(gyrus)與凹處(sulcus)分別顯示
- 顯示內部訊息
  - 進一步定位解剖座標

# 進階影像處理技術

Advanced topics

# 醫學影像處理

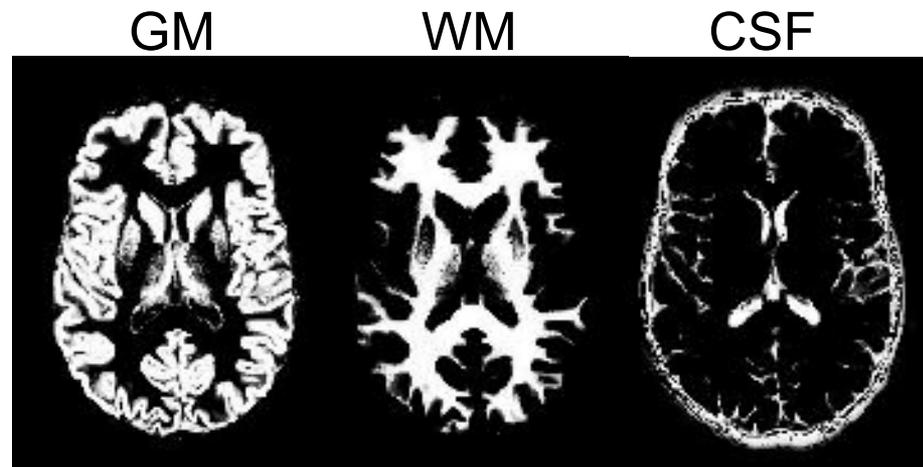
- 保證還有一堆沒教到的！
- Image segmentation
- Image registration

# 組織辨識分割：Segmentation

- 根據不同組織的亮度或其他特徵進行分類



Given Image



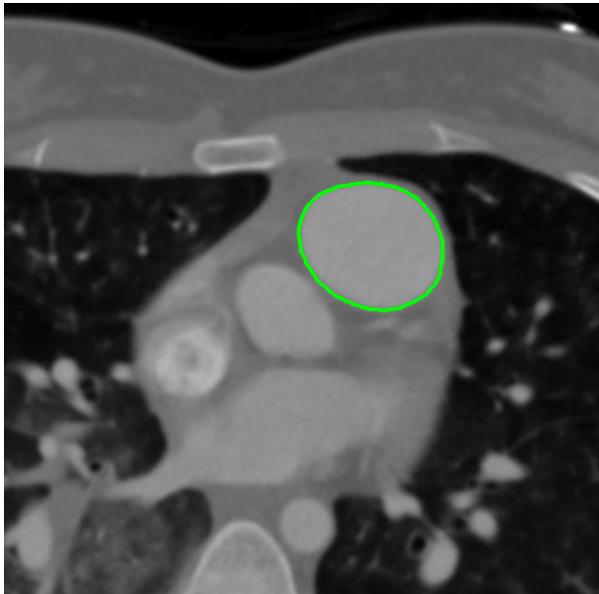
Segmented Image

# 什麼時候需要影像分割？

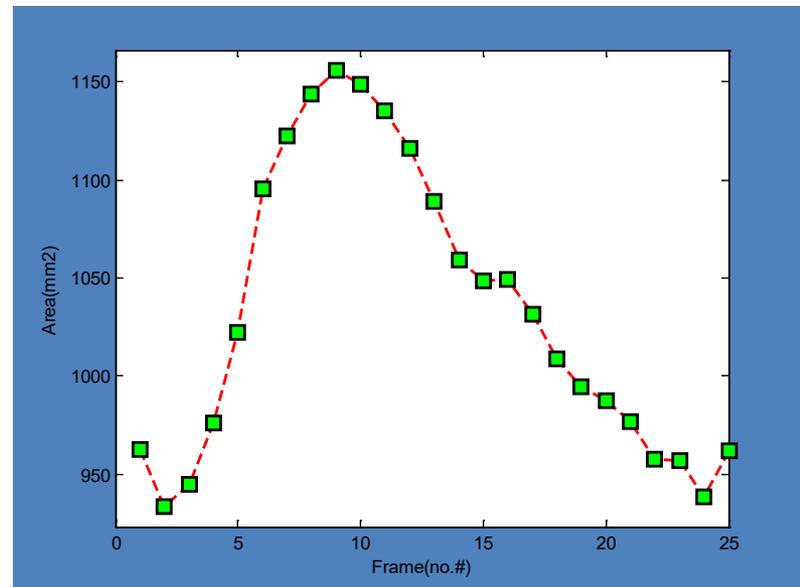
- 針對特定組織/器官，量測生理特徵
  - 神經疾病中灰白質體積的變化
  - 大腦皮質厚度量測
  - 動脈彈性評估
  - 肝臟體積與放射治療計畫

# 動脈彈性評估

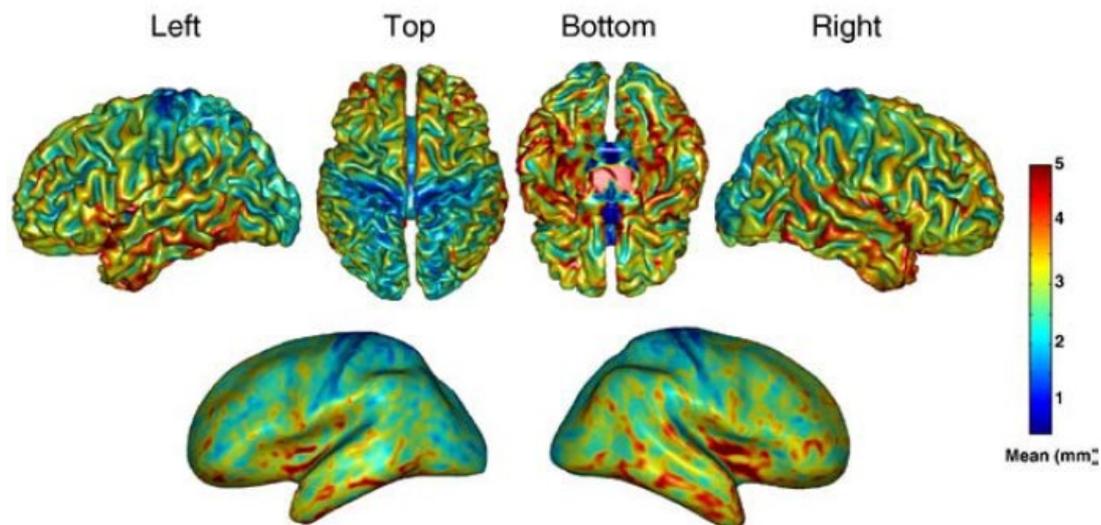
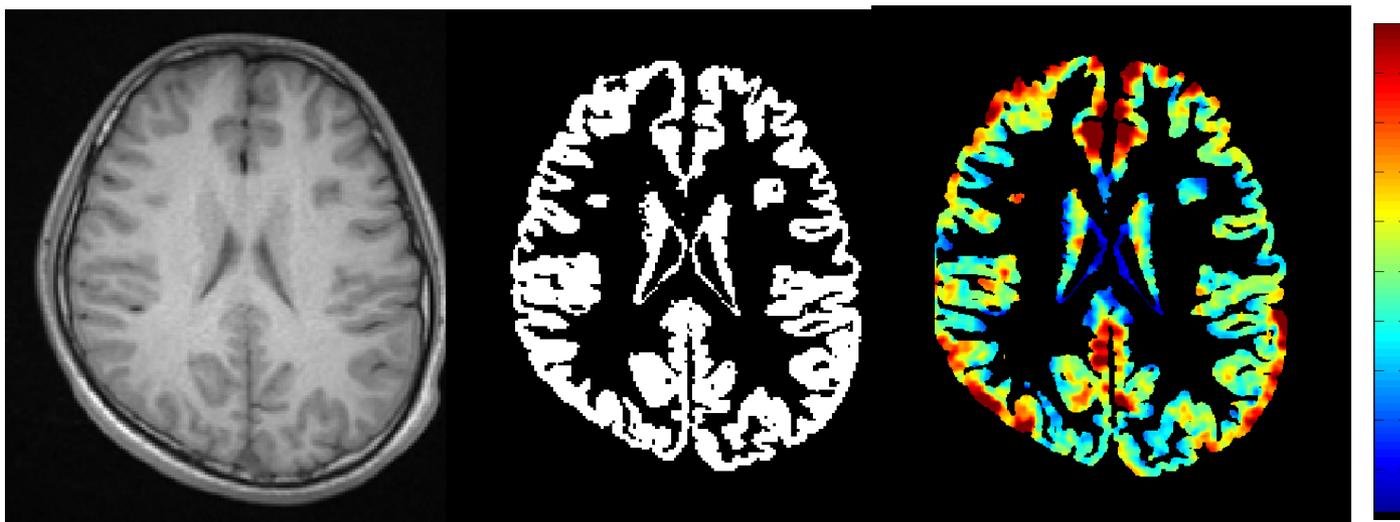
- 血壓隨心律變動，動脈也會跟著擴張收縮
- 健康血管彈性好，體積變化大



CT：肺動脈



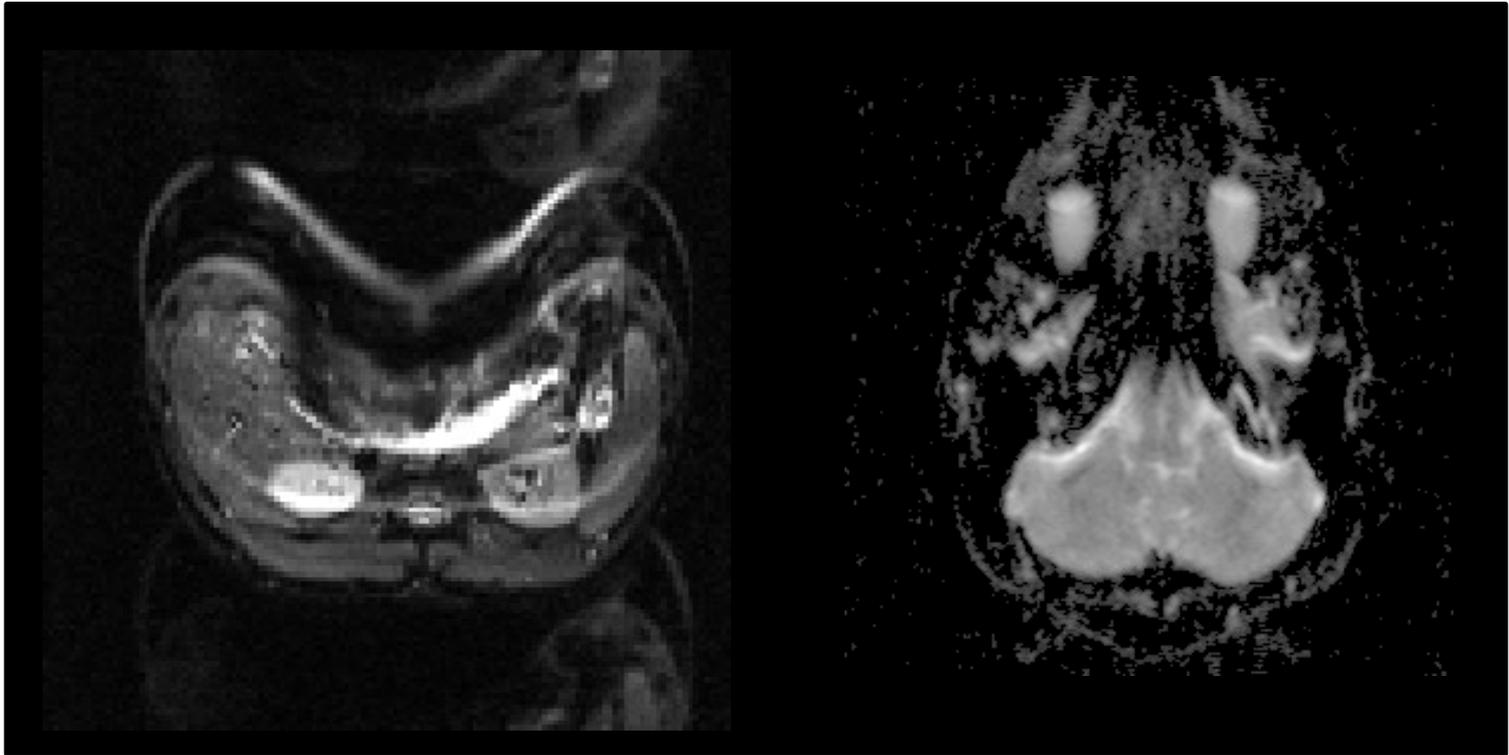
# 大腦皮質厚度量測



# 醫學影像分割

- 當然可以使用手動圈選
  - 3D volume可能包含數十到上百張影像
  - Labor work
- 全自動/半自動技術
  - 優點：大幅縮短時間、避免主觀影響
  - 根據不同影像品質與組織特性調整：難

# 你告訴我怎麼分割？



就算算出結果我也不敢相信！

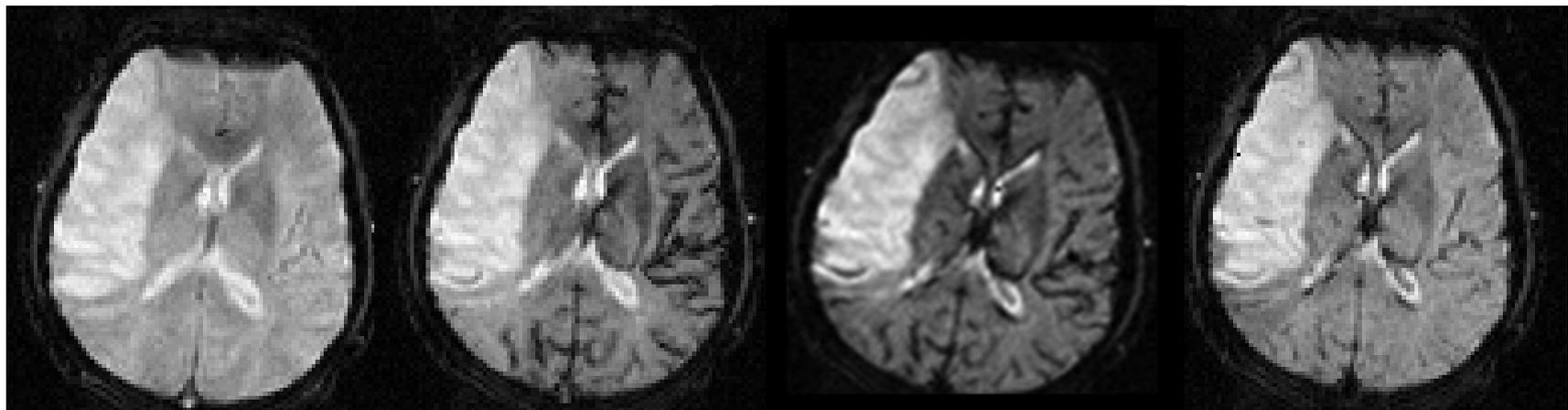
# 影像定位/對位：Registration

- 將不同（但近似）的影像轉換至相同的位置
  - 型態近似
  - 特徵近似
- 為何需要影像定位？
  - 受試者在掃描過程中的移動
  - 不同影像系統之間的對照（CT + PET）

# 什麼時候需要影像對位？

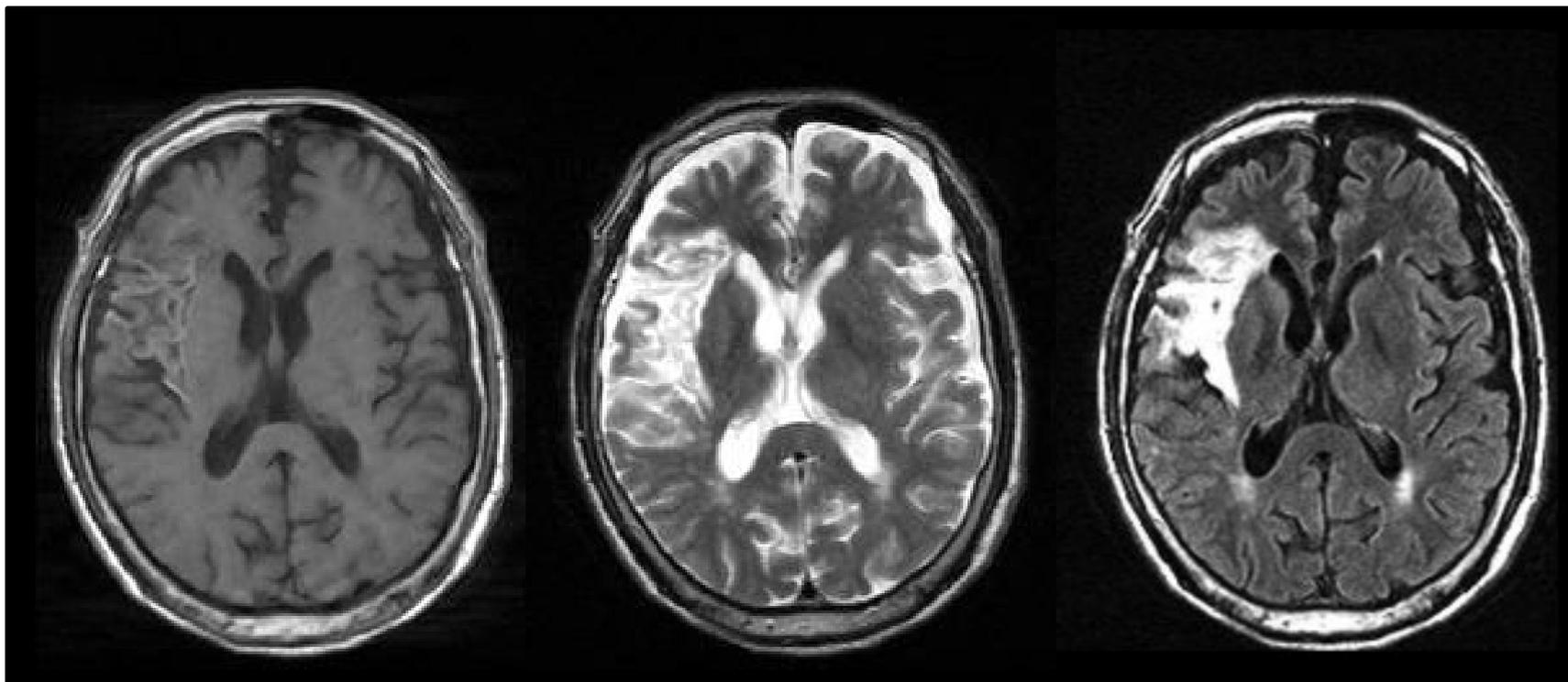
- 同一受試者，不同時間的成像
  - Motion correction
- 同一受試者，不同影像系統
- 同一成像方法，不同受試者

# 影像定位範例：MRI連續取像



動態顯影劑的注射追蹤

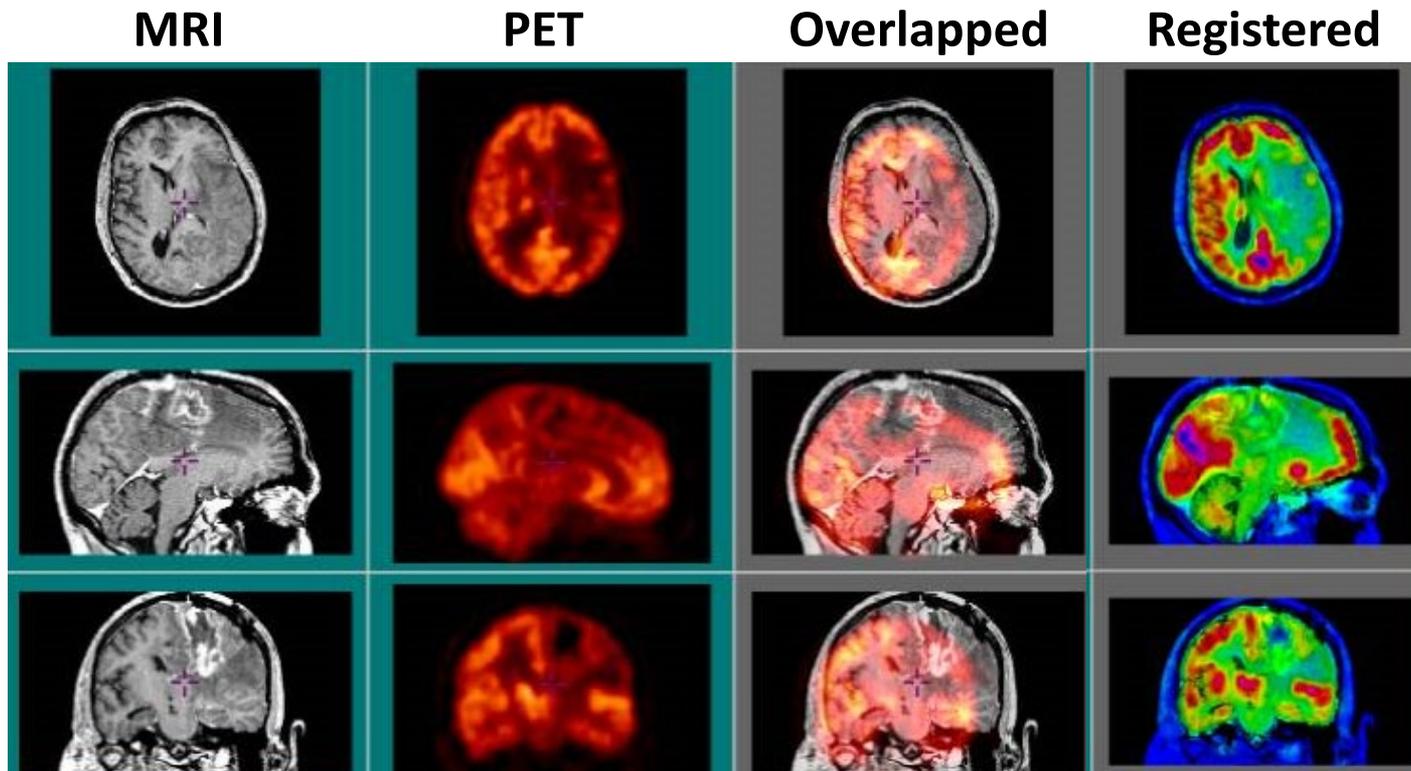
# 同一位置的不同對比



# 什麼時候需要對位？

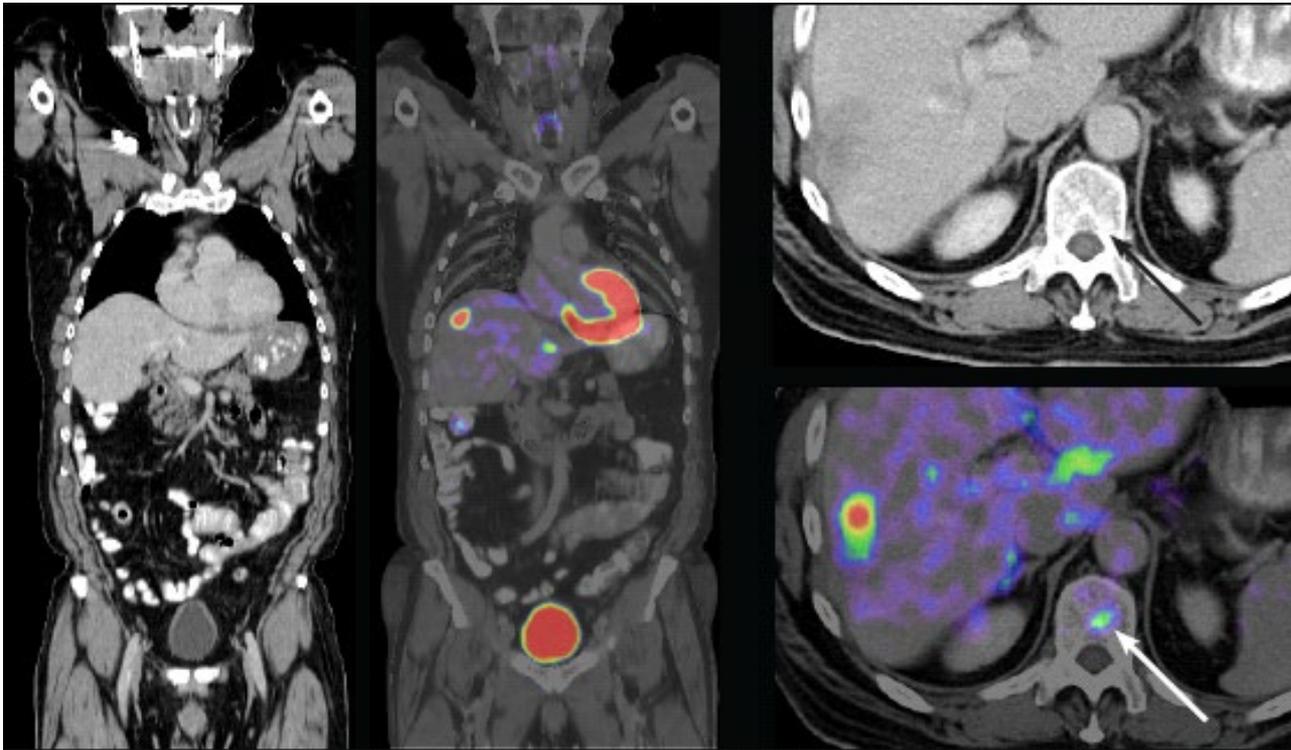
- 同一受試者，不同時間的成像
- 同一受試者，不同影像系統
  - Image fusion
- 同一成像方法，不同受試者

# 不同影像技術的配合



結構資訊 (CT) + 功能訊息 (PET)

# 不同影像技術的配合

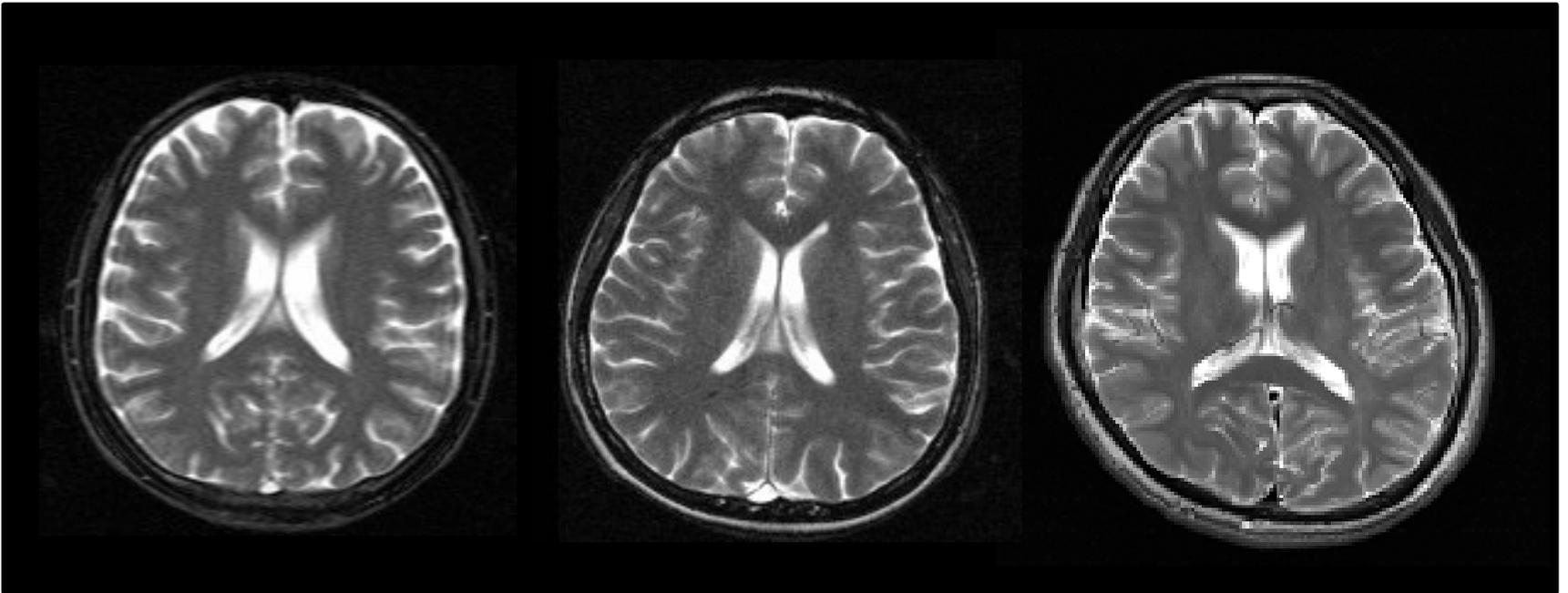


PET/CT scanner 的優勢

# 什麼時候需要對位？

- 同一受試者，不同時間的成像
- 同一受試者，不同影像系統
- 同一成像方法，不同受試者
  - Group analysis

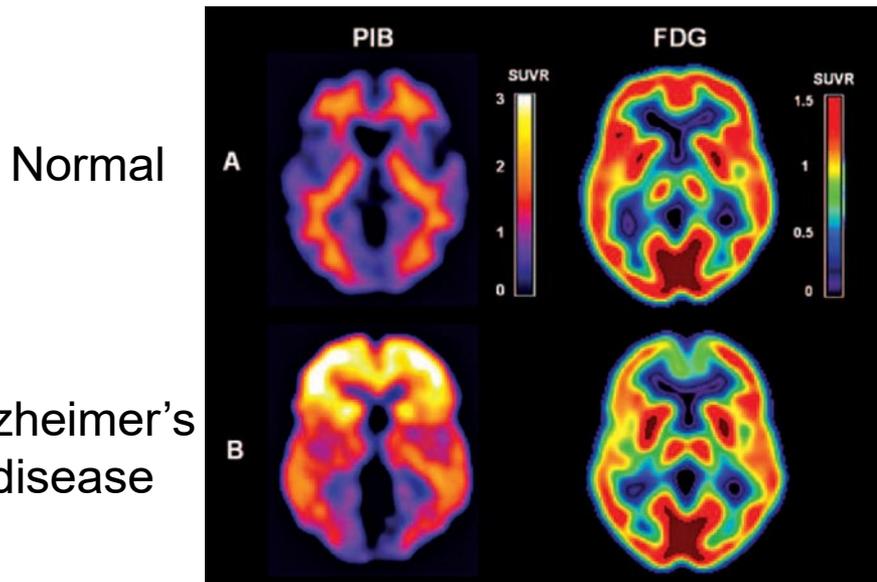
# 不同受試者



Inter-subject comparison 硬是需要不同受試者對位

# 病人 V.S. 正常受試者

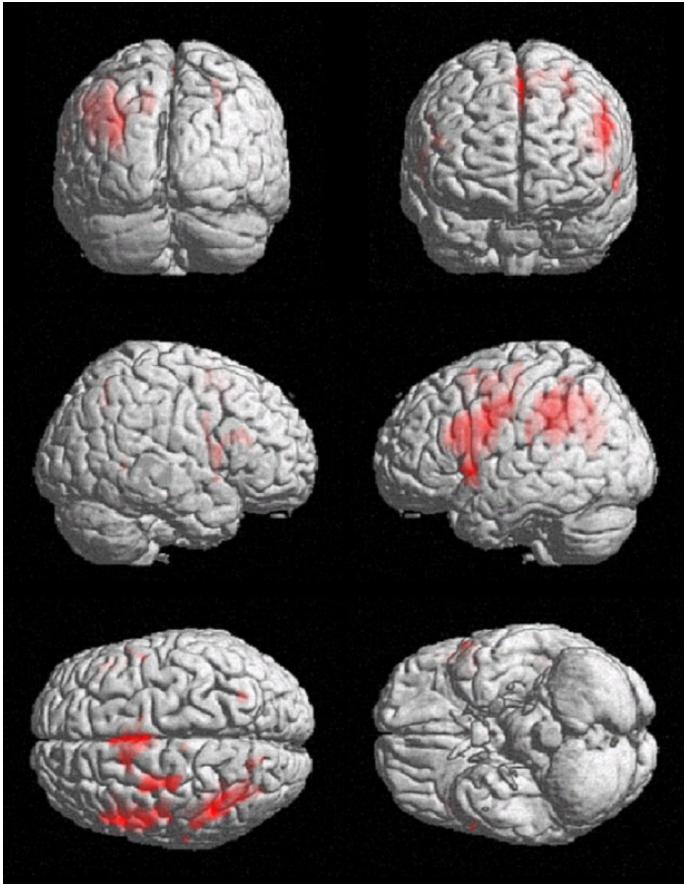
PET



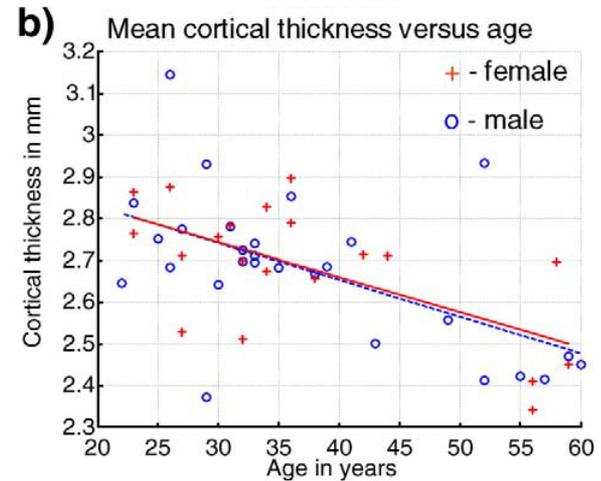
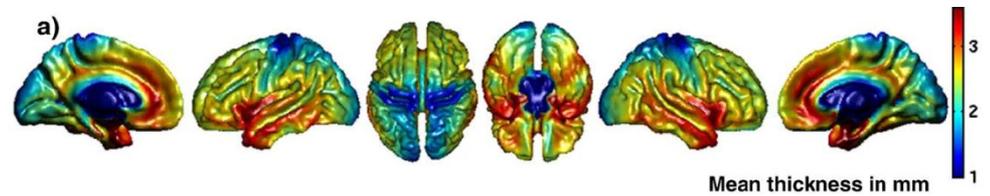
這些漂亮的結果通通需要對位過程 (Normalization)

# 功能/特徵分布圖

fMRI



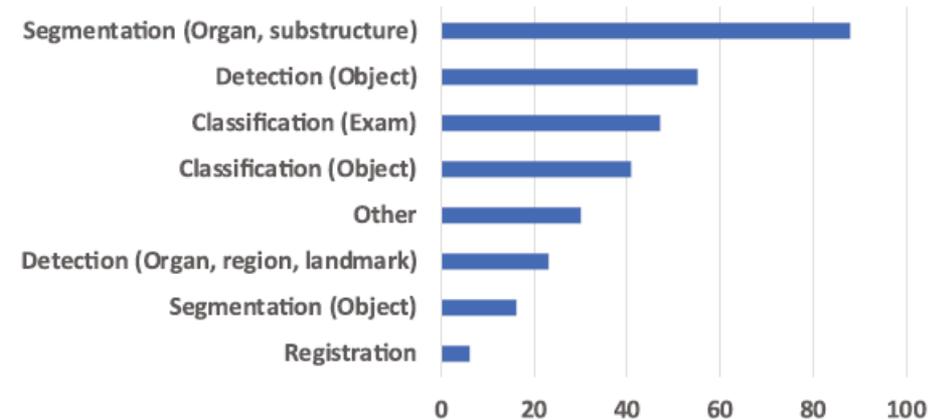
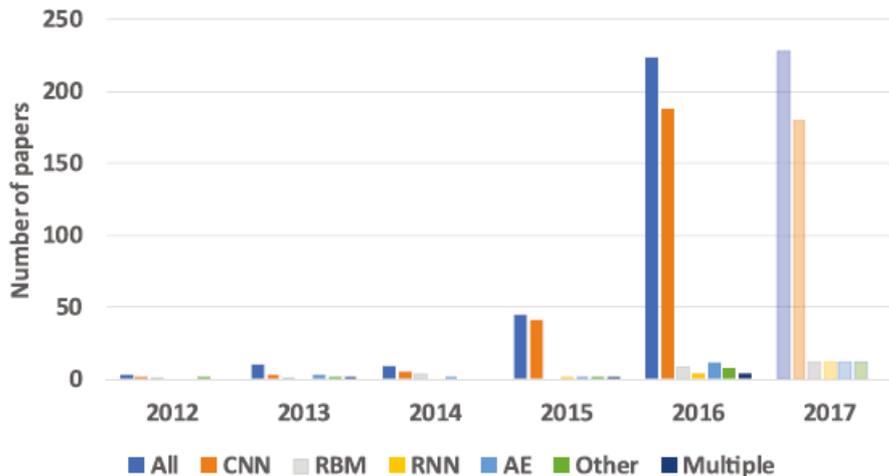
MRI



這些漂亮的結果通通需要對位過程 (Normalization)

# AI也可以運用在醫學影像處理

- Machine learning
- Deep learning



Number of papers in year of publication (left) and task addressed (right).

*Litjens G and et al, "A survey on deep learning in medical image analysis", Medical Image Analysis Dec 2017; 42:60-88.*

# AI辨識糖尿病患者視網膜病變

- 罹患糖尿病20年以上的患者中，超過85%會產生視網膜病變。
- 糖尿病所引起的視網膜病變是目前造成失明的主要原因之一。
- 首例通過FDA審核的AI自動診斷軟體：IDx-DR (2018)

**DIGITAL DIAGNOSTICS**  
AI the right way.

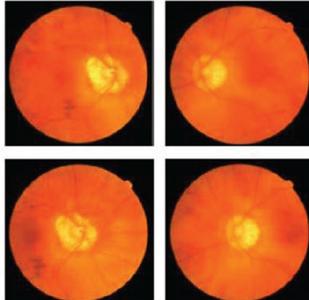
**IDx-DR Analysis Report**

**Negative** for more than mild diabetic retinopathy: Retest in 12 months

**Analysis Details**

First name	Jane
Last Name	Doe
MRN	000000001
Date of birth	01/01/1920
Imaging Datetime	01/01/2020 9:45:15 am
Result Datetime	01/01/2020 9:45:35 am

**Images**



**Analysis result**

**Negative** for more than mild diabetic retinopathy: Retest in 12 months

**Augmented Intelligence Facts**

AI Description	IDxDR ASO-TC
AI Description	Diagnosis
AI Description	Diabetic Retinopathy, relative of macular edema
AI Description	Diabetic eye disease
AI Description	Diagnosis, professional
AI Description	Process, starting
AI Description	Diagnosis (toponym)
AI Description	Diagnosis (ICD-9)

**Disclaimers**

IDx-DR is configured to detect more than mild diabetic retinopathy. A positive result indicates a high risk of moderate non-proliferative diabetic retinopathy, severe non-proliferative diabetic retinopathy, proliferative diabetic retinopathy, and/or center involved diabetic macular edema AS\_21.8

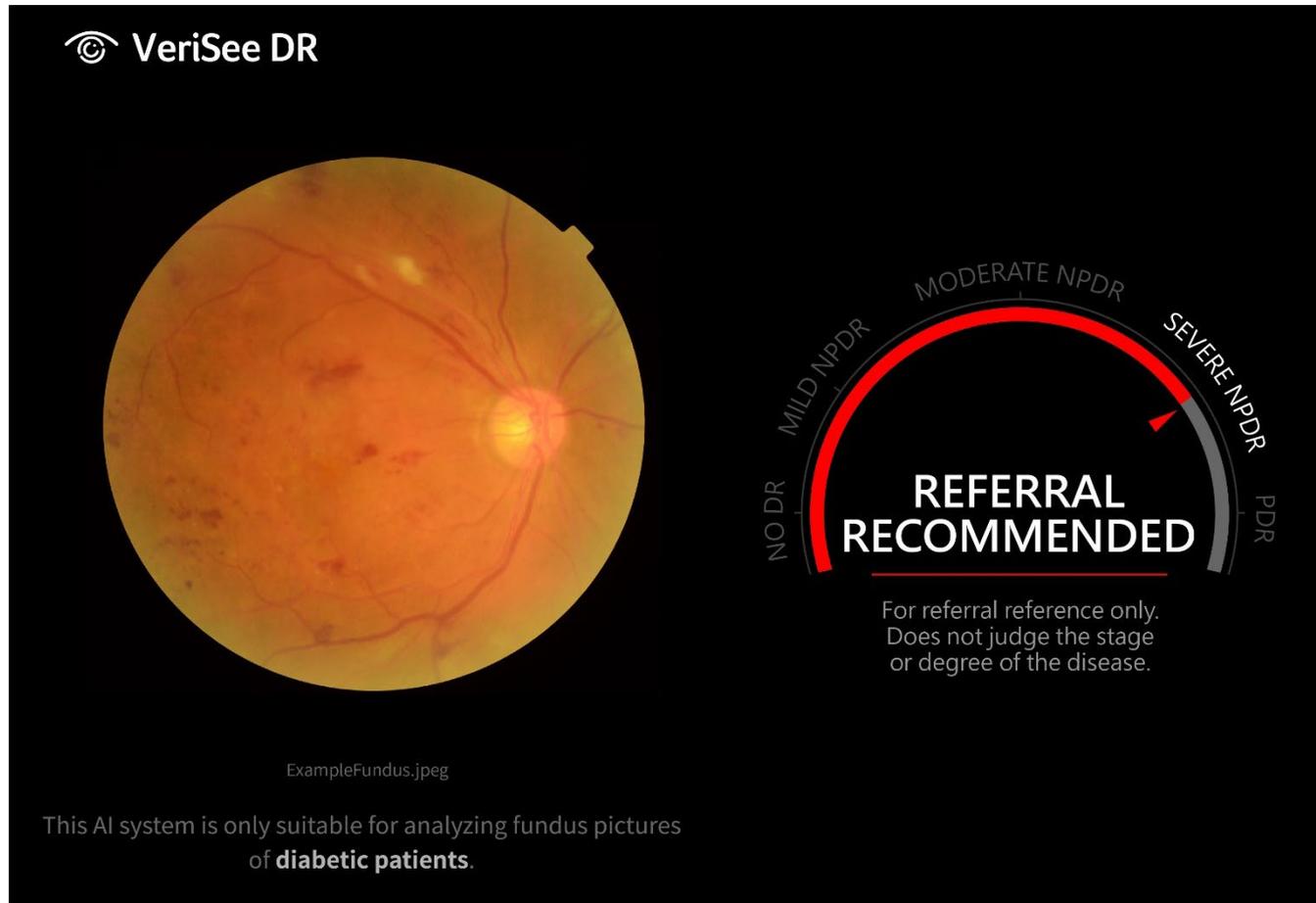
The images in this report are lower quality than the images used by IDx-DR. Image orientation and labeling is for reference only and should not be used for diagnostic purposes.

IDx-DR's analysis result recommendations are based on the AAO preferred practice pattern guidelines.

Michael Abramoff, MD, PhD

An example of a diagnostic report from the IDx-DR. Unlike assistive AIs, autonomous AIs are capable of making medical decisions with no human oversight. Unlike telemedicine exams, in which images must be sent off for human grading, autonomous AIs provide point-of-care diagnoses and triage so that patients can receive their diagnosis and directions for next steps before they leave their primary care appointment.

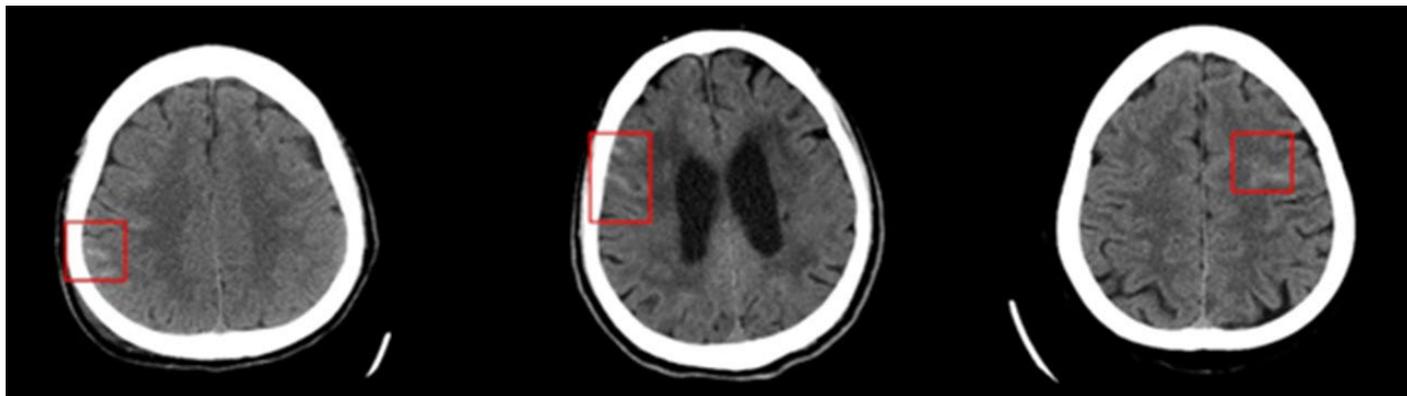
# 台灣也有宏碁視智康(VeriSee DR, 2020)



早期篩檢及時減緩病變

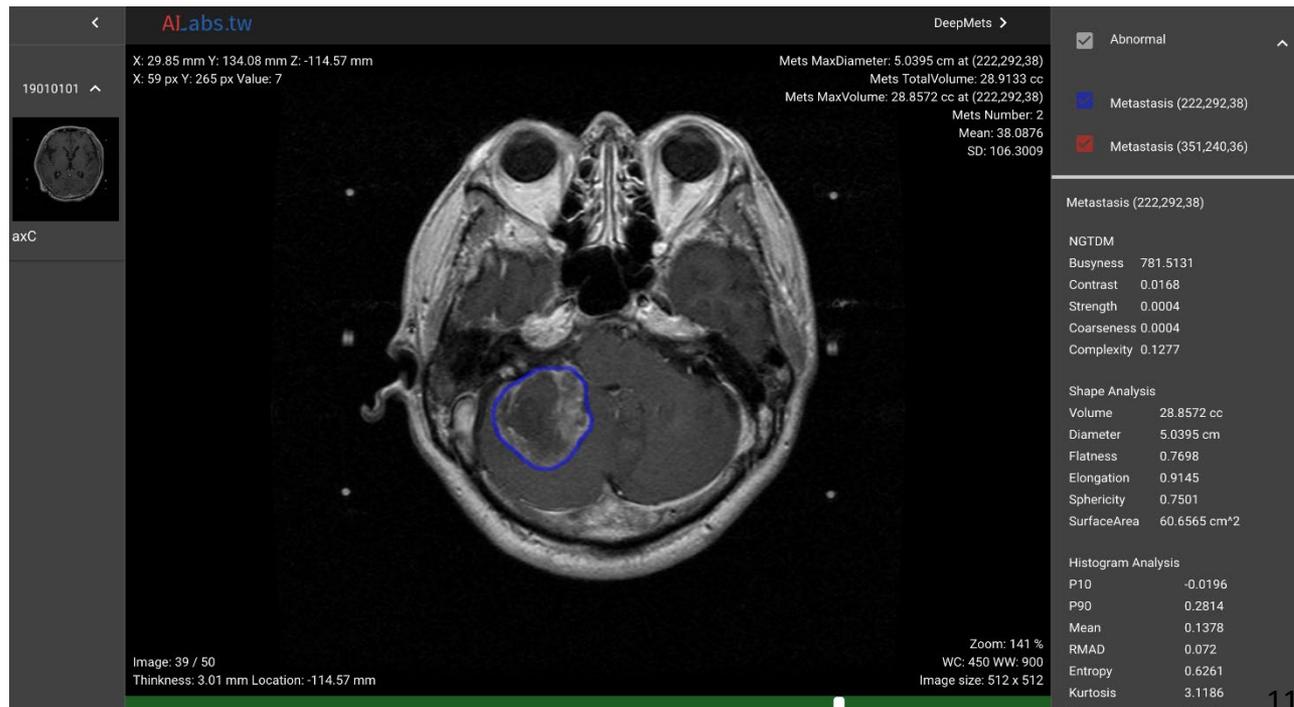
# AI辨識腦出血

- 臺灣醫療AI公司Deep01開發DeepCT「腦出血AI影像判讀系統」，首先取得FDA與臺灣食藥署(TFDA)雙認證(2020)
- 使用電腦斷層掃描影像在30秒內自動判斷疑似出血區域
  - 敏感度與特異性據報超過95%



# AI判讀腦轉移腫瘤

- 台灣AILabs與台北榮總建立腦轉移腫瘤判讀系統DeepMets，上傳影像後，偵測判讀腫瘤的大小及位置，做為治療策略擬定的參考。



# 總結

- 醫學影像處理的目的在於從影像中挖掘更多有用的資訊
  - 需針對影像特性與需求調整方法
  - 個體變異性大，需廣泛驗證可行性
  - 只要能完成目的就是好方法
- 相關課程：「生醫影像研究方法」

# 醫學影像系統：影像處理