

# 從 2D 到 3D 的醫學影像

■ 江青芬

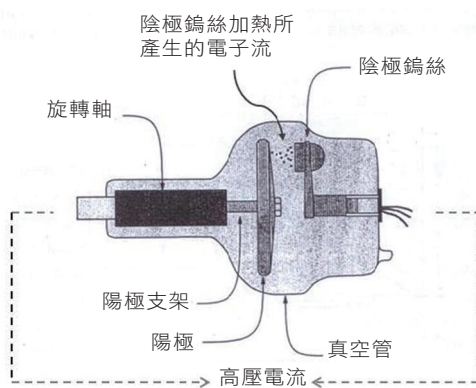
醫學影像可幫助醫生不需開刀便能觀測到病患身體的內部，對於近代醫學的發展有很大的貢獻。而近期拜電腦科技的突飛猛進，讓傳統二維的醫學影像可以進一步以三維立體呈現，使影像的觀測更直覺明確。

## 最早的醫學影像

早在 1895 年，德國物理學家倫琴（Wilhelm Röntgen）在進行陰極射線的實驗時，發現 X 光可穿透人體，並在塗有感光化學劑的紙屏上感光，開啟了醫學影像的紀元。

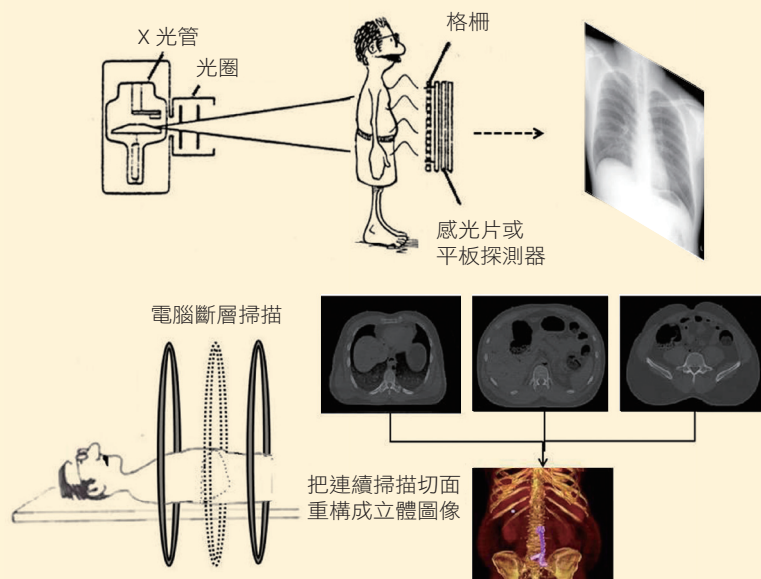
X 光產生於 X 光管，這裝置有一對由鎢合金製成的陰極及陽極。把陰極通電加熱到白熱化後，因為電子有足夠的熱動能而衝出金屬表面，再藉由高電壓使這些電子高速衝向陽極，在撞擊陽極減速時，電子原本的高動能便轉換成 X 光射線。

當 X 光射線照射到人體時，因為身體中不同的組織對 X 光的吸收程度不同，而有不同的穿透程度。像骨頭這類鈣化的硬組織對 X 光的吸收程度比其他軟組織或脂肪組織強，因此 X 光照射到骨頭後，大部分會被吸收，僅極少能穿透而感應到 X 光片上。因為 X 光片是負片，所以接受到的光子越少，呈現的亮度越大，因而看到 X 光片上的骨頭都是白色的。



X 光管的結構

**X 光開啟了透視人體的大門，電腦斷層則進一步顯示人體的立體結構。**



二維 X 光攝影到三維電腦斷層掃描

相反的，像是胸腔部位，當 X 光照射到肺臟時，因肺中的空氣對 X 光的吸收度很小，所以大部分的 X 光得以穿透而感應到 X 光片上，因而呈現黑色。不過現今因為數位科技的發達，X 光膠片已少見，多改用「平板探測器」取代。

傳統的 X 光攝影是把 X 光投射到具有厚度的人體，穿過了在同一路徑下的不同組織，最後得到一平面的投影影像，由於影像喪失了深度的資訊，因此有些器官會呈現重疊的現象。這也是傳統平面 X 光檢查技術的限制，這個限制在電腦斷層掃描發明後獲得了改善。

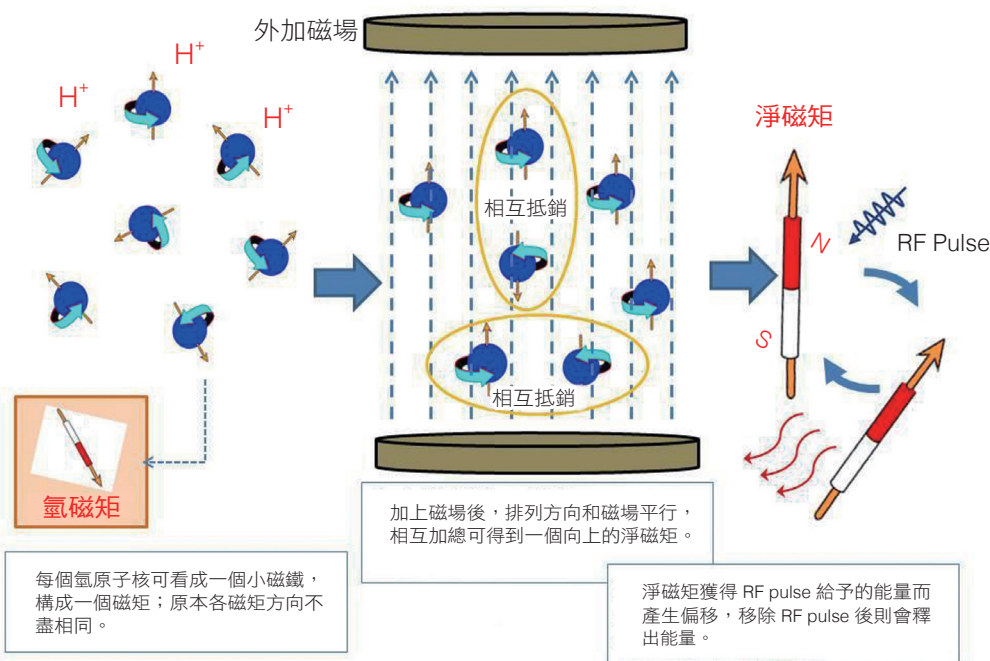
## 電腦斷層掃描的崛起

電腦斷層掃描 (computerized tomography，簡稱 CT) 是由英國物理學家柯馬克 (Alan Cormack) 先提出開發理論，再由英國工程師郝殷斯費 (Godfrey Hounsfield) 實現了

第一台電腦斷層掃描儀。1979 年諾貝爾生理醫學獎就是頒發給這兩位非醫學背景的電腦斷層技術開發者，藉以肯定這一發明對臨床醫學的偉大貢獻。

電腦斷層系統的照射光源也是 X 光，但不同於傳統的 X 光攝影，它對人體的照射面是一片片連續的橫切面，而每一個切面會有一個 1 到 10 公分左右的固定厚度，因此是一個立體的切面。系統中的電腦會把每個切面劃分成數個等體積的格子，就如同魔術方塊的小方格一樣，叫做體素 (voxel)。

在掃描過程中，患者平躺在檢查台上，檢查台會慢慢移動到電腦斷層機台的圓形隧道內，而包覆隧道的圓弧內，包含著可一起旋轉的多組 X 光發射器與接收器，可從不同角度掃描檢查部位。當這些接收器接受到各個角度的訊號時，電腦會利用數學運算，把每一個體素內所接收到 X 光的強度累加起來，並回推出該體素的 X 光亮度值，而建構出該切面的平面影像。



核磁造影利用外加磁場對體內氫原子核做功，再讓它釋放能量來成像。

因此，電腦斷層掃描之所以得名，就是針對檢查部位做連續的人體軸向掃描，醫師便可以藉由這些連續的切面影像，判定人體內部病灶的部位與形態。

然而，要從這些二維切面影像評估三維的病灶資訊，仍有一定的困難度。因此現代的電腦斷層掃描系統都配備有電腦軟體，利用影像處理與電腦繪圖的技術，把這些包含深度資訊的連續切面影像重構成立體的圖像，醫師可更直觀地從不同的角度觀測人體結構與病灶的相對位置，使診斷更精準。

儘管電腦斷層掃描克服了傳統 X 光攝影缺乏人體深度資訊的限制，但是仍無法克服 X 光在軟組織區隔度的限制。醫學磁共振造影系統的開發，則是突破這項限制的一道曙光。

## 磁共振造影的突破

磁共振造影技術的開發也是醫學檢驗發展上的重大進步，而把這技術引進醫學的美國化學家羅特堡（Paul C. Lauterbur）與英國物理學家曼斯菲爾爵士（Sir Peter Mansfield），也在 2003 年獲得諾貝爾生理醫學獎。

磁共振造影對不同軟組織有高度的區隔性，不僅可以顯示組織的結構，更可以顯示其功能，是相當有鑑別優勢的醫學影像系統。

磁振造影機台在外觀上雖然和電腦斷層掃描儀類似，都有一個置入患者的圓形隧道，不同的是它裡面是一個均勻強大的磁場，因此它並不是以電磁波光源照射來成像，而是以擷取身體內部的氫原子核在磁場作用下所產生的訊號來成像。

我們身體重量的百分之六十到七十是水，而每一個水分子各帶有兩個氫原子。因氫原子只帶一個電子，所以當它失去唯一的電子而成為帶正電的氫離子時，就是氫原子核，它也像是一個帶電的小陀螺或小磁鐵，帶有磁矩。

這些小磁鐵原本沒有一定的排列方向，因此磁性會互相抵銷。但若透過一個比地球磁場強上3萬倍的磁場，會使這些原本方向紊亂的小磁鐵在自轉的同時，並如同陀螺般地繞磁場方向旋轉，這一現象稱為旋進（precession）。這些小磁鐵的磁矩會加總，而產生一平行於外加磁場的淨磁矩。這時再利用頻率與旋進頻率相近的無線電波脈衝（RF脈衝）與它共振給予能量，使得淨磁矩的方向偏移。移除這無線電波脈衝後，偏移的淨磁矩會回復到原來的方向並釋出能量，磁振造影就是量測這淨磁矩回復的過程來成像。

在外加磁場方向再加上一隨距離增強或減弱的磁場（稱為梯度磁場），會讓只有一定厚度的切面內的小磁鐵因磁場正確而能與RF脈衝共振產生偏移訊號，可用來決定所要觀測的人體切面。因此，磁振造影並不限於軸向切面的掃描，還可以有縱向、斜向等多方向的掃描功能。切面選定後，還需依序在切平面的二個方向施加另外的梯度磁場，造成不同的頻率與相位，才能得出切面的影像。

從上述的說明可知，磁振造影並不會產生輻射，因此無輻射傷害的缺點。除了具有多方向掃描的優點外，還有高對比的解像力，對人體不同軟組織的辨識性較其他醫學影像佳。又因為它是三度空間的掃描，除了可以提供空間的結構資訊外，也可重構三維立體影像。此外，還可藉由不同外加磁場波序的設計，凸顯特定組織的影像，以利鑑別診斷，因此是現代醫學不可或缺的诊断工具。

## 超音波的優勢

超音波是一種音波，因為頻率超過人類耳朵所能感覺到的上限——20K赫茲，所以稱為超音波。這種波屬於機械波的一種，和X光不同，它需要有媒介來傳導。此外，超音波屬於縱向波，也就是波的前進方向與振盪方向相同，這和屬於橫向波的水波不同。

藉由超音波的反射來探測阻礙物的技術，源起於英國鐵達尼客輪碰撞到隱藏的冰山而沉沒的事件。早期曾廣泛應用在軍事上，如潛艇的偵察與導航，直到第二次世界大戰期間，才運用在醫學研究上。

除了波的屬性不同外，以超音波掃描所得的數據特性，也和X光不同。X光造影是以偵測光穿透人體的訊號來成像，超音波則是量測其遇到阻礙物時的反射波來成像。由於人體中不同的組織對超音波的反射係數不同，透過其在行進路徑中遇到不同的組織，所得到不同強度的反射波來成像。

超音波是由以壓電材料製成的晶體所產生，當對晶體施予壓力時，晶體會產生機械性的振盪而釋出超音波。



超音波影像因為安全、體積小、較為便宜，是臨床上廣泛使用的醫學影像系統。

最早的醫用超音波，在超音波探頭內僅有一組發射晶體及接收器，因此只能獲得反射波振幅變化的一維訊號。後來把晶體組成一維陣列，提供不同方向或直線的掃描，建構出傳統二維的超音波影像。透過探頭的旋轉或平移，可以觀測到不同切面的影像，再透過電腦軟體，就可把這些切面重構成立體的影像。

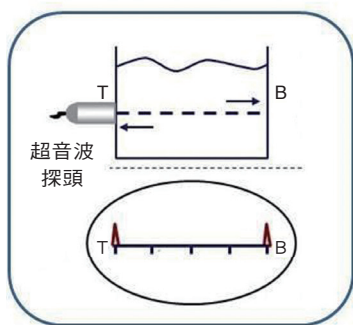
在西元 2000 年，因超音波發射晶體可進一步製成二維的陣列，使得超音波可以做即時的三維掃描，直接立體成像，更方便醫師觀測診斷。

超音波機器體積小、移動方便，比其他的醫學影像系統便宜許多。更重要的是

它的安全性高，掃描本身不會有副作用，因此廣泛運用在各科的臨床診斷上，尤其是孕婦的產檢。

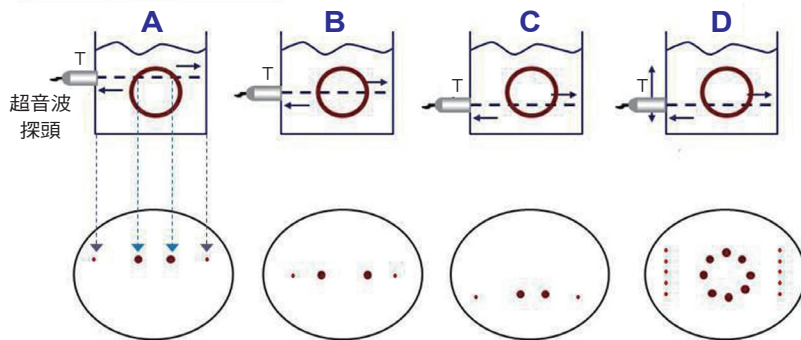
## 核子醫學影像

相較於其他醫學影像診斷技術，核子醫學算是一門新興的專科。在攝影檢查前，病患需先施打或口服放射性追蹤劑——一種以放射性同位素製成，具安全性且可被人體代謝的低放射性藥劑。同位素就是周期表中，具有相同原子序，質子數與電子數相同，但原子核中的中子數不同，導致質量數相異的元素。部分同位素因不穩定，容易衰變而產生伽馬 ( $\gamma$ ) 射線，因此具有放射性。



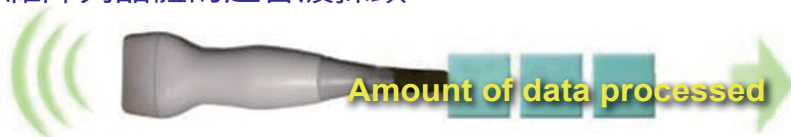
左圖：顯示一維的超音波反射波的偵測，因為有兩個介面，所以偵測到兩個反射波。

下圖：是探頭經過 ABC 三個位置連續掃描。每一發射波因經過四個介面而得到四個反射波，強度轉以亮點明暗顯示，外側較弱，內側較強，最後把連續掃描的亮點組合，可得到一個二維的影像 D。

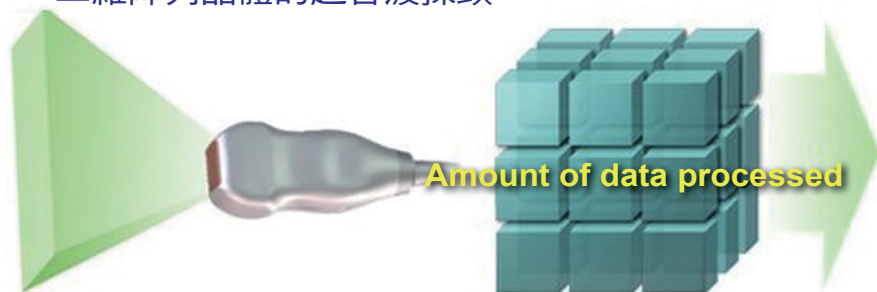


超音波成像原理是透過反射波的不同強度來成像

### 一維陣列晶體的超音波探頭



### 二維陣列晶體的超音波探頭



二維超音波和三維超音波掃描的差異

核子醫學造影就是利用  $\gamma$  閃爍攝影儀偵測放射性追蹤劑在人體內所產生伽馬射線的分布狀況，再結合電腦運算處理而成像，因此冠以「核子」之名。

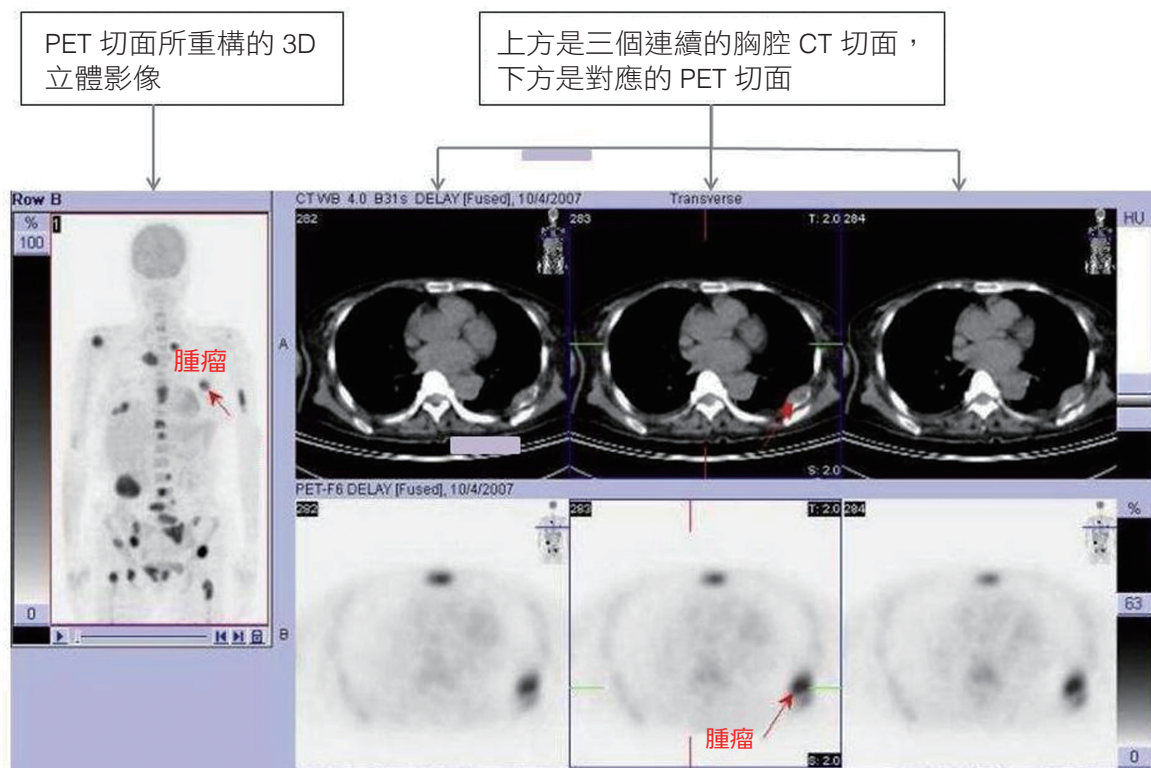
臨床上常用的核子醫學影像系統，有單光子電腦斷層掃描系統（single photon emission CT，簡稱 SPECT）及正子電腦斷層攝影機（positron emission tomography，簡稱 PET），其差異在於產生的光子數目不同，前者衰變只產生一個光子，後者則在衰變過程中產生一對方向相反的光子。

雖然核子醫學影像也稱為電腦斷層攝影，但其影像不似 X 光電腦斷層或磁振造影能清晰顯示身體解剖結構的變化，而是

藉由不同器官組織對特定核醫藥物吸收代謝的差異性，凸顯其在體內分布的不同，來達成對特定疾病的檢查目的。因此，核子醫學檢驗是從生理功能、生化、分子與基因醫學的層面著手。

目前，因為正子斷層掃描在癌症初期的高偵測率，而受到醫界與一般民眾的重視。原理是：以放射性同位素氟-18 標記「去氧葡萄糖」分子，製作成放射性追蹤劑，注射到體內後分布至全身，因為癌細胞對葡萄糖的代謝較一般細胞旺盛，因此追蹤劑會聚集到腫瘤區域，以致產生較強的伽馬射線，易被偵測而顯現在影像上。

**核子醫學影像可以檢查腦、心臟、腎臟等多種器官的功能，其中正子造影更是目前癌症檢測的利器。**



正子斷層掃描影像對應相同位置的 CT 影像

## 發展趨勢

醫學影像的發展迄今已超過一世紀，它的演進有賴於資訊科技的進步及電腦速度的提升，從早期的一維訊號到二維成像，後續的 3D 重構，到現今的即時 3D，不僅讓受過專業訓練的醫事人員可以方便辨識，也使得與病患的溝通可以更直覺化。

醫學影像的新趨勢，是把不同類型的影像整合在同一系統中，可同時掃描，不

僅可以立體顯示，也可以一起顯示解剖結構與生理功能的資訊，讓檢測資訊更完整，以利醫師做快速正確的診斷。

江青芬

義守大學生物醫學工程學系