

# 透視人體的利器

# 電腦斷層 掃描系統

醫學成像系統能夠以非侵入的方式，  
透視人體組織器官的外觀。  
它的發展使醫療診斷達到新的里程碑，  
進而解開人體的奧秘。

■ 鄭國順



常言道「眼見為憑 (To see is to believe.)」。從我們身體感官系統所直接感受到的訊息最為直接，最容易讓我們信賴，視覺是最佳實例。映入眼簾的不只是一張圖片或影像而已，隨著時間演進，我們大腦可以從圖片或影像的動態變遷，串接成連續的訊息或資訊，讓我們了解身體外在的環境，其生動與變化遠遠勝過語言或文字描述。所以在影像處理這門學問中有句名言：「一張圖片勝過千言萬語 (A picture is more than a thousand words.)」。

在醫學診斷方面也是如此，回想我們生病上醫院看醫師時，若用工程觀點來解析醫師的診斷治療過程，醫師對病情資料的蒐集是首要的步驟。為了顯現人體內部的病變，往往需要仰賴透視人體的利器——醫學成像系統。

### 醫學成像在醫療診斷中的重要性

醫學往往被稱為經驗的科學，經由文字與圖片記錄方式，累積過去所見所聞的經驗與知識，然後才有能力進行診斷、治療，甚至預防。我們可以說西方醫學的基本信念是基於了解造成病變的成因，才可以預防、診斷與治療。

綜合而言，疾病的定義可以從幾個方面來看：第一是病徵，經由病原所產生的單一症狀；第二是症候群，意指由病原所引起的多種症狀；第三是已知病原所特定攻擊的組織器官；第四是指組織器官的外形變化。其中前面三種是可以經由觀察、測量與研究得知；但是第四種則非得由人體外部直接透視觀察不可。過去都是透過人體解剖，才有辦法認識與了解各種組織器官的基本外觀；透過病理切片的觀察得以明白細胞組織的病變。因此長久以來，人類一直有夢想，希望能夠以非侵入方式透視人體解剖結構，醫學成像系統正是實現夢想的工具。

### 電腦斷層掃描的原理

電腦斷層掃描系統 (computed tomography或computerized tomography，簡稱CT) 一九七二年由郝殷斯費 (Godfrey Newbold Hounsfield, 1919-) 發明問市以來，在醫學臨床診斷上一直扮演著舉足輕重的角色，雖然X-光有輻射危險之虞，但是此系統可以讓醫護人員以非侵入

方式，透視人體各部分器官的形態變化，對於病變的診斷有很大助益，突破傳統解剖等醫療技術。

這項劃時代重大發明讓郝殷斯費與建立電腦斷層掃描系統的線積分基礎的物理學家柯馬克 (Alan Cormack, 1924-1998)，共同分享一九七九年諾貝爾生理或醫學獎，這對沒有受過傳統大學教育的郝殷斯費及物理學家柯馬克是極大的殊榮。不過其中有關線積分數學理論基礎，其實早在一九一七年就被奧地利數學家拉登 (Johann Radon, 1887-1956) 推演過，因此電腦斷層掃描技術中的物質密度函數沿著直線的線積分也被稱之為拉登變換。

什麼是電腦斷層掃描技術或系統呢？我們可以用簡單一句話來加以說明：「從基本原理的觀點，電腦斷層掃描技術就是測量體表每個角度的能量束通過人體所形成的交互作用量，然後應用電腦系統計算，重建出該橫截面的組織特性影像。」

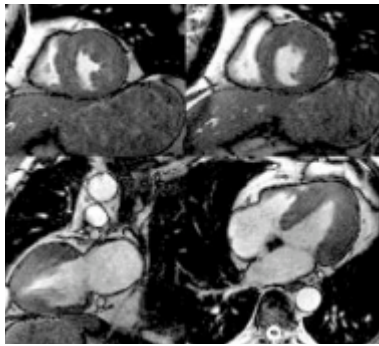
從上面的說明，我們可以清楚地知道，電腦斷層掃描系統的組成可以歸納為以下幾個主要部分：

第一個主要部分是能量源，一般電腦斷層掃描系統是使用X-光源做為能量源，使用不同能量源可以讓我們透視人體組織的不同特性，所以有不同的電腦斷層掃描系統成像類別。

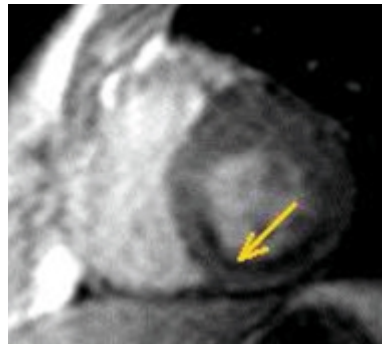
使用放射線同位素，注射到所要重建影像的部位，如同X-光電腦斷層掃描系統一般，我們可以重建出人體



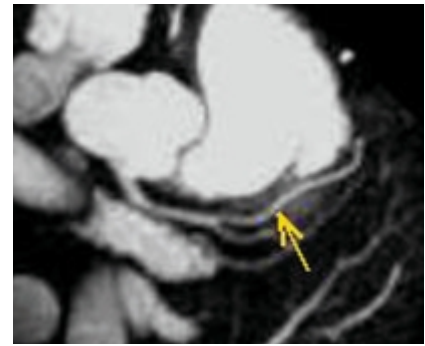
磁共振影系統所顯示的脊椎影像，是人體腹部縱切面影像，各種器官可以清楚顯現。



a 心臟收縮功能評估

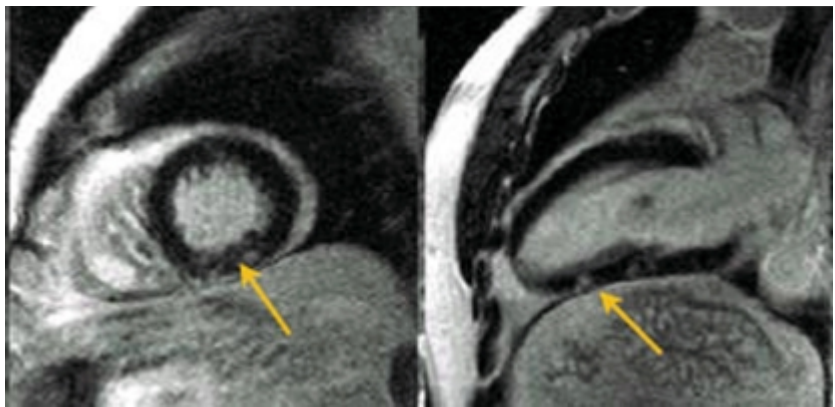


b 心肌灌注造影評估微血管循環



c 冠狀動脈造影診斷其狹窄與否

**心臟磁共振造影健康檢查** 心臟血管疾病一向是國人健康的隱形殺手，僅次於癌症及腦血管疾病，成為第三位死亡原因。因冠狀動脈阻塞，引發急性心肌梗塞時，病人往往可能在數分鐘內致命。即使因搶救得宜，挽回了生命，但其心臟機能與生活品質也會大受影響。而坊間的一般健檢項目中，相關的健檢並不完全，大多僅限於理學檢查及靜態心電圖。案例中的高血壓、高血脂等慢性病患者，除了應注意飲食外，定期做心臟健檢更有其必要。而非侵入性的磁共振造影檢查同時能診斷冠狀動脈狹窄程度及位置，還可評估心臟收縮功能（特別是左心室功能，包括心輸出量與心壁運動、心肌厚度、肌肉量），提供其他工具無可比擬的診斷優勢，檢查約需40分鐘。



d 微小心肌壞死

<http://www.vghnpe.gov.tw/~vgh-hr/heart-health.htm>

內部同位素的分布狀況，進而了解各種血流或新陳代謝等功能的影像，這就是目前臨床上所謂的單光子放射電腦斷層掃描系統或正子放射電腦斷層掃描系統（positron emission tomography，簡稱PET）。使用靜磁場與射頻磁場作為成像的能量源，我們可以建立磁共振造影系統（magnetic resonance imaging，簡稱MRI）；前面所說明的幾種系統在臨床治療上經常使用。

使用超音波作為能量源，則能建立超音波電腦斷層掃描系統，可以顯示組織的折射率影像，或衰減率影像，這與目前臨床的超音波影像系統並不相同。使用低頻電流（十千至一百千赫茲）作為能量源的電阻抗影像系統（electrical impedance tomography，簡稱EIT），可以建立人體橫截面組織電阻係數影像或介電常數影像。後面兩種醫學成像系統尚在研究實驗階段，較少人知道。

第二個主要部分是組織與能量間交互作用，不同組織應該有不同作用量。如傳統X-光電腦斷層掃描就是X-光子在不同組織的線性衰減係數。磁共振造影系統就是不

同組織內的質子分布量，或不同組織的弛緩時間。第三個主要部分是具有可以測量的裝置與技術，否則上述的交互作用無法顯現。第四個主要部分就是有控制方程式與其影像重建演算法。

目前電腦斷層掃描系統所使用的影像重建演算法——濾波反投射法是應用傅氏截面定理，把從體表所測量到的數據，加以計算而得體內橫截面的組織特性資料。

## 磁共振造影技術

磁共振造影早期稱為核磁共振造影（nuclear magnetic resonance imaging，NMRI），為了避免與核子輻射產生混淆，造成誤解，才轉變成現有的名稱。這是目前最為昂貴的醫學成像系統，但是不僅不像X-光電腦斷層掃描一樣，沒有輻射傷害的問題，而且可以掃描任何方向的截面，同時也可以獲得解剖與功能影像，是目前神經認知科學有關腦功能研究的利器。

磁共振造影與電腦斷層掃描的空間解析度差不多，但是電腦斷層掃描對骨骼等硬組織有較佳解析能力，磁共振造影則對臟器等軟組織有很好解析能力。不同醫學影像系統彼此間有互補作用，並不會如同個人電腦般，有被淘汰之虞。

## 磁共振造影簡史

一九二四年奧地利物理學家鮑立（Wolfgang Pauli，1900-1958）首先提出原子中的電子有自旋現象，可以產生磁場的學說，而獲得一九四五年諾貝爾物理獎。其後美國物理學家拉比（I. I. Rabi，1898-1988），在一九三七年也確實驗證原子核的角動量，而在一九四四年獲頒諾貝爾物理獎，拉比並創造了核磁共振這個名詞。一九四六年薄賽爾（Edward Purcell，1912-1997）與布洛赫（Felix Bloch，1905-1983）因發現在外加磁場下，所有物質只要有奇數個質子或中子皆可以形成共振現象，能發射特定射頻信號，而在西元一九五二年榮獲諾貝爾物理獎。這項發現早期應用在化學物質的檢測上。

一九七一年美國物理學家達馬迪安（R. Damadian）利用核磁共振方法鑑別出老鼠腫瘤具有與正常組織不同的弛緩時間，而建立病變組織的磁共振造影成像基礎。一九七三年美國化學家勞特伯（P. Lauterbur）提出核磁共振造影在液體中成像的方法和英國物理學家曼斯菲爾德（Peter Mansfield）建立核磁共振造影在固體中的成像原

理，真正建立現今磁共振造影成像技術，在二〇〇三年分享諾貝爾生理或醫學獎榮耀。

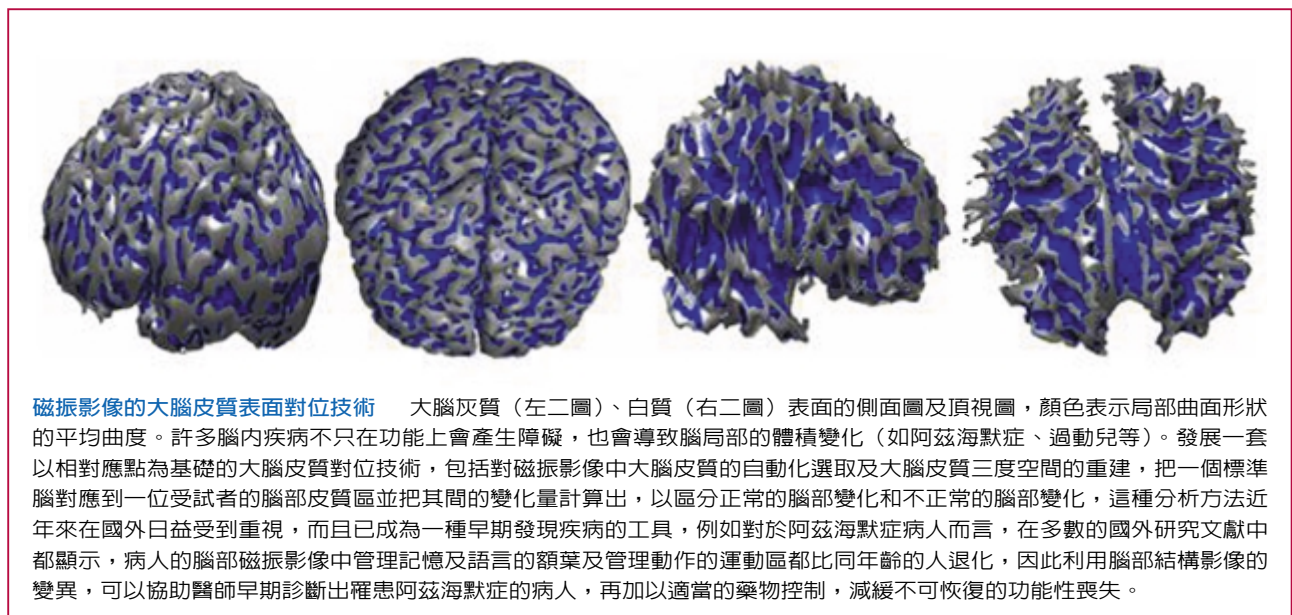
## 磁共振造影成像原理

現在我們知道在外加一靜磁場時，原子核的淨磁矩會以特定角度繞著此靜磁場做旋進運動。旋進頻率，稱為拉莫頻率，與原子核種類特性有關，也與靜磁場強度成正比。

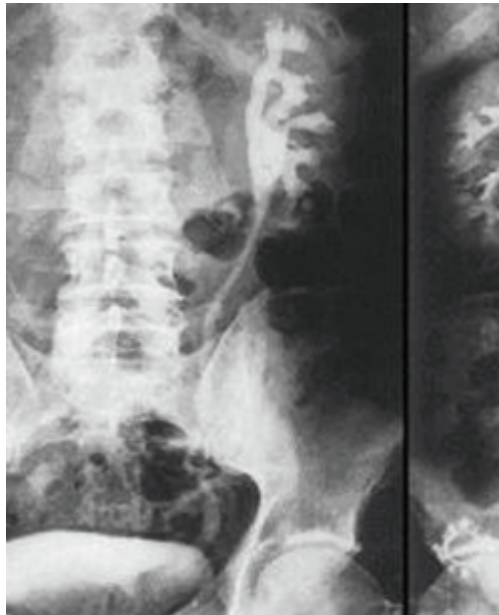
當淨磁矩繞著磁場做旋進運動時，若加入此原子核的拉莫頻率的射頻電磁場，則在低能階的平行狀態淨磁矩因吸收能量而轉變成高能階的反平行狀態；把此射頻電磁場切斷時，原子核會逐漸釋放能量而恢復原來狀態，此一過程就稱為弛緩時間。這個時間有兩個分量，一則沿著靜磁場方向稱為自旋—晶格弛緩或T1弛緩，另一則在靜磁場垂直面方向稱為自旋—自旋弛緩或T2弛緩。不同組織或病變組織具有不同的T1和T2弛緩時間，以及質子密度，這些就是磁共振造影成像參數。

其次是對所要掃描的切面外加一具有拉莫頻率的磁場梯度，就相當電腦斷層掃描的動作，由於此一線性變化磁場，不同空間位置的相同分量的原子核淨磁矩會產生不同頻率的信號。經過傅氏變換，這個頻率分布就相當於物質的空間分布，這就是磁共振造影成像原理。

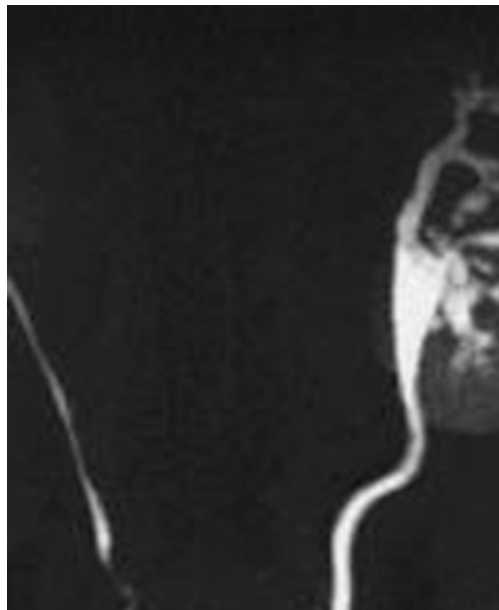
醫學成像技術日新月異，我們從過去醫學結構影像、醫學功能影像，一直進步到醫學分子影像，由巨觀



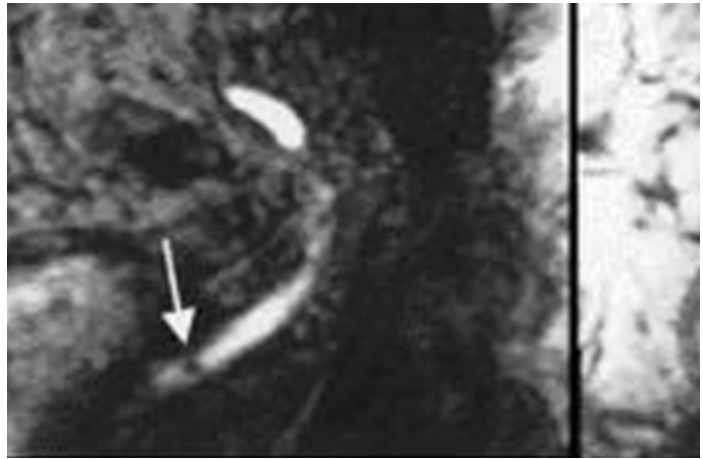
磁共振造影影像提供：台北榮總整合性腦功能研究室 · <http://www.yymc.ntu.edu.tw/~yymc/>



靜注泌尿道攝影 (intravenous urography, IVU) 顯示左腎及輸尿管擴張，但造成阻塞的原因不清楚。



3D磁振泌尿道造影 (MRU) 顯示左腎及輸尿管擴張，解析度與IVU相當，但不受腸氣及腸內容物干擾。造成阻塞的原因仍不清楚。



2D磁振泌尿道造影 (MRU)，清楚顯示左側遠端輸尿管低訊號的小結石，是造成阻塞的原因。

**磁振泌尿道造影 (MRU)** 傳統檢查泌尿道系統有很多種方式，各有優缺點。超音波方便、快速、便宜，又沒有輻射性，因此是最佳的第一線工具，但是中段輸尿管因為沒有腎臟或膀胱當作介面，常成為診斷的盲點，另外超音波也不容易把兩側腎臟、輸尿管、及膀胱同時做三度空間的呈像。靜注泌尿道攝影 (intravenous urography, IVU) 可以看到中段輸尿管，也容易把兩側腎臟、輸尿管、及膀胱同時做三度空間的呈像，但是它具有輻射性，且需靜脈注射含碘顯影劑，因此不適用於對顯影劑過敏或腎功能障礙的患者，而對於孕婦及嬰幼兒，也需審慎評估游離輻射所可能造成的傷害。另外，對於腸氣太多、大腸內容物排泄不完全、過度肥胖、及泌尿道嚴重擴張的病人，也因泌尿道被遮蔽，或顯影劑在擴張的泌尿道內被稀釋，而不易做完整的評估。電腦斷層 (computed tomography, CT) 因為是橫切面的影像，所以不會受到腸氣、腸內容物、病患肥胖、及泌尿道嚴重擴張的影響，而能夠輕易地把泌尿道阻塞的程度、位置、甚至阻塞的原因診斷出來。此外，它對鈣化的敏感度非常高，能夠偵測到很小的含鈣泌尿道結石。不過電腦斷層也具有輻射性，可能需要靜脈注射含碘顯影劑，但是不容易將兩側腎臟、輸尿管、及膀胱同時做三度空間的呈像。順行性及逆行性腎盂輸尿管攝影 (Ante-/Retro-grade pyeloureterography, AP或RP)，主要適用在泌尿道阻塞的病患。阻塞的近端因為泌尿道擴張稀釋顯影劑，或因腎功能障礙無法排出足夠的顯影劑，阻塞的遠端則因尿液貯積在近端不易流下，因此不論阻塞的近端或遠端都不易由靜脈泌尿道攝影得到三度空間的立體影像。藉由經皮腎臟造口術在阻塞的近端打入顯影劑，或在內視鏡的幫助下把導管放進輸尿管，在阻塞的遠端打入顯影劑，如此將可了解阻塞的範圍，及其與相鄰泌尿道的立體關係。不過，這種檢查的侵襲性較高。上述的各項檢查，有些無法評估腎功能，有些只能對腎功能做定性分析，真正要對腎功能做定量分析，了解兩側腎臟各分擔多少百分比的腎功能，傳統上主要靠利尿性腎臟閃爍造影術 (diuretic renal scintigraphy, DRS)，這種檢查需要注射放射性同位素，同時因為空間解像度較差，所以不

容易精確定位病灶的解剖位置，也不容易描繪病灶的型態。磁振泌尿道造影 (MRU) 是最近幾年新興的檢查方式，它具備上述各項檢查的優點，可以將兩側腎臟、輸尿管、及膀胱同時做三度空間的呈像，可以了解病灶與相鄰泌尿道的立體關係，藉由橫切面、冠狀切面、矢狀切面、斜切面等多平面組像，以及各種不同的脈衝頻率，可以對病灶的特性做更深入的分析，同時經由動態攝影以及時間-強度曲線，也可以對兩側腎臟的腎功能作定量分析。此外，它不具輻射性，也不需靜脈注射含碘顯影劑，可以說是相當安全的檢查。不過它對鈣化的敏感度較低，檢查費用較昂貴，磁振造影機器數量有限，因此磁振泌尿道造影目前只建議使用在對含碘顯影劑過敏、腎功能障礙、及對游離輻射有顧忌 (如孕婦、嬰幼兒等)，而超音波檢查又無法提供足夠資訊的病友。

### 檢查脊髓的利器：核磁共振攝影（MRI）

核磁共振攝影（亦稱磁振造影，magnetic resonance imaging, MRI）是近年來在臨床診斷上相當重要的影像工具。使用這種準確而不必侵入人體的方法為人體內部器官造影，對醫學的診斷、醫療和後續工作都十分重要。核磁共振是指原子核在靜止磁場中，受電磁波激發而產生的共振現象。磁振造影利用磁場原理，經由儀器改變體內氫原子的旋轉排列方向，原子核就會釋放吸收的能量，能量激發後放出電磁波信號，再經由電腦分析組成影像，就是一般看到的 MRI 影像。人體是個充滿水分的有機體，水分子的擴散是三度空間的隨機運動，會受到周圍環境的影響而改變運動速度。如果將人體視為一盆水，用力拍打盆子外緣，裡面的水會泛起一圈圈漣漪，此時如果將手指插入其中，原本呈同心圓的漣漪就會受到破壞。同樣的原理，人體內的水分子含有很多氫原子核，這些氫原子核本身又具有磁場特性，如同一個小小的磁鐵。核磁共振掃描是把人體置於強大且均勻的靜磁場中，再利用特定的射頻無線電波脈衝，激發人體組織內的氫原子核。MRI 對人體不具侵襲性，不會產生游離輻射，可多方向掃描，提供三度空間影像，又有高對比的解像力，是現代醫學不可或缺的診斷工具。它的好處之一是不論使用多少次，都不會像 X 光等傳統檢查方法一樣對病患造成傷害。當體內出現異常組織時，水分子的擴散即受到阻礙，我們就能透過核磁共振掃描所偵測的水分子運動速度差異，精確區別出正常與異常的組織來。早期，七至八成 MRI 檢查都是用在中樞神經系統，例如大腦、脊椎等，尤其是頭頸部構造複雜，相較於 X 光和電腦斷層，能夠多角度掃描的 MRI 更是診斷利器。近年來，MRI 的運用愈來愈廣泛，不僅逐漸應用到骨骼神經系統、腹部及胸腔，也可以用於血管攝影及膽道攝影診斷。目前可經核磁共振掃描檢出的疾病包括多發性硬化症、長期下背痛、惡性腫瘤、中樞神經感染疾病、先天性脊髓畸形、心臟血管疾病、新生兒代謝疾病、老年人退化性疾病、孕婦胎兒影像、腦功能性影像、腦微灌注影像、腦微擴散影像、三度空間重建影像、氫質子化學位移影像、脊椎脂肪抑制影像、腦脊髓液動態影像、腦下腺高解析動態灌注影像、腹部疾病如血管瘤肝癌等動態灌注影像、直腸攝護腺高解析造影、肝膽胰道造影、心肺血管造影、乳房動態灌注影像等軟組織病變。此外，外科醫生還可以利用「磁振造影」科技繪製路線圖，做為動手術的指引。此一科技可以讓醫生在手術前獲得許多有關病人病況的資訊。除了針對人體構造進行診斷，最新發展的功能性磁振造影檢查還可以觀察人體生理變化，例如可用於腦部探索心智功能，如了解過動兒腦內生理異常之處、使用不同語言的腦部變化等；也有人著手研究結合 MRI 和電腦斷層（CT）等其他檢查技術，呈現體內虛擬影像，如果技術純熟，就可以進行虛擬內視鏡檢查。



到微觀，將對人體內部的秘密，從器官、組織、細胞、分子等一一加以解開；更有共軛聚焦顯微鏡、原子力顯微鏡、微正子放射電腦斷層掃描系統、微電腦斷層掃描系統、功能性磁振造影、腦磁圖等新式系統也將廣泛應用在分子醫學與認知科學方面的研究與應用，希望未來能夠積極促進解開人體生理與心理的各種奧秘，對人類身心健全有進一步的具體幫助。

<http://www.cc.nctu.edu.tw/~jcsce/hospital/rms/mri.htm>



正子斷層掃描發現上胸椎、左上臂、左腋淋巴結、縱膈腔、上前腹部、腸系膜淋巴結、右鼠蹊淋巴結、下背部等多處放射性濃聚病灶。

<http://csnm.npscc.gov.tw/csmn/2002/newsset/01038.htm>

鄭國順  
成功大學醫學工程學系