

# 浮光掠影—磁振造影卅六載

## The Rapid Progress of MRI—A Glance over 36 Years

陳慶年、甘魯生

Ching-Nien Chen, Lou-sing Kan

磁振造影 (成像) 是一種非侵入性也不含強輻射波的安全造影法，另一優點是可取任何角度或切面來造影，不像其他造影法受到我們人體形狀之限制，雖然價格昂貴，但瑕不掩瑜，自發明以來至今卅多年已有了長足的發展。磁振造影也深植人心，是受到大眾信賴的診斷工具，甚至也開始應用到疾病預防上。本文簡明的指出磁振造影的原理，它和坊間 X 光及超音波造影的區隔，然後就其組成要件：造影方法、磁場、線圈以及最新應用略加敘述，以達到推廣之目的。

Magnetic resonance imaging (MRI) is a non-invasive imaging method which does not involve radiation. Unlike other imaging modalities which are restricted by the shape and geometry of the human body and the instruments, MRI can achieve any desired orientation of sectional views. The research and development efforts put in this field over more than three decades have proven that the invaluable wealth of information derived from MRI far compensated for its cost. It is now a widely accepted and trusted diagnostic modality and is trotting on its way to the field of preventive medical practice. Here we give, in layman's language, a brief introduction about its basic principles, major components, magnetic field, probes, and how it differs from X-ray CT and ultrasound devices. The article is targeted to the general public.

### 一、磁振成像原理及步驟

子曰：「三十而立」，磁振造影 (像) 的技術由 1973 年第一篇研究報告問世至今<sup>(1)</sup> 已卅六年，用這句話來形容發展至今日的磁振造影還是最恰當不過了。磁振造影由當年在實驗室中以小水管、小蚌殼或水果為觀察對象，發展至今日成為臨床不可或缺的診斷技術，奠定了它在醫界的地位，更已成了家喻戶曉的名詞。

目前能透視人體組織的有 X 光及超音波，超音波造影的原理是利用音波在通過身體不同組織時

送回來的反射波也不一樣，收集反射波再利用影像處理的技術顯示影像，其作用如聲納，X 光則因不同組織的穿透度之不同而成像。不過，人體的軟組織對 X 光而言幾乎是透明的，因此可輔以 X 光吸收劑，不過像的品質仍取決於穿透的程度。

磁共振造影則提供了第三種方法，它的發生端賴能自旋而帶有磁矩的原子核 (自然界元素的原子核大多數能自旋，有磁矩，與生物體有關的就有氫原子、碳 13 同位素原子、氮原子、氮 15 同位素原子、鈉原子、磷原子等，以氫原子數量最多，靈敏度最高，沒有磁矩的則有碳原子及氧原子)。磁矩

在磁場影響下產生能量差，此能量差可在共振情況下吸收或釋出電磁波而產生信號，因此這種造影方法和上述的 X 光及超音波完全不同，電磁波能自由穿過人類的身體，所以可以由任何角度或切面來造影，這是其他造影難以望其項背的。

由於產生的能量差相當微小，所以在應用上和超音波一樣是相對安全，但是在造影時操作者可以給予適當控制來達到特殊的目的。其診斷的程序為：

置被測物入磁場中 → 造影之脈衝串處理 →  
收集數據 → 處理數據 → 呈現影像 (1)

磁場是一直開啟的，不像 X 光機或超音波儀是要使用時才開機。另外，磁振造影是將被診斷(或實驗)的人體(或動物、物品)放入磁場中，由另一短暫或脈動式的磁場激發了人體水分或脂肪中的氫原子核之後再接收訊號，處理之後收集和運算數據，最後呈現影像，所涉及的硬體(如靜磁場、磁坡及激發用磁場發生器、各項控制及安全、數據處理系統等)及軟體(成像方式、激發用磁場脈衝串、數據處理法等)可依所需來設計，尤其後者更是不斷有新的、更有效的和更複雜的改進及發明，將磁振造影的應用推向日新月異的境界。

目前最常用的造影法類屬「傅立葉轉換式(Fourier transform)」的範疇<sup>(2)</sup>。利用各種脈衝串式的激發磁場(即式 1 中之「造影之脈衝串處理」)，這些雷同核磁共振磁譜儀的技術配上線性磁坡來定位的應用，可以說是千變萬化而不為過，成像範圍可大可小，分辨力亦可高至數十奈米，視需要和時間等實質條件而定。

## 二、訊號源

就收集的訊號性質來說，其中最簡單的是「自旋密度 (spin density)」造影法。它的脈衝串就是在激發後立即收集訊號，於是人體中含大量氫原子的水分子或脂肪分子多的器官訊號強，由於磁波能穿透骨骼組織(而 X 光不能)，所以大腦、脊椎及骨

骼(如關節)內部的磁振造影比 X 光及超音波為優，這特點也引起了人們對於磁振造影的興趣，雖然磁振造影造價及使用較昂貴，但瑕不掩瑜，以致能蓬勃發展至今。

「弛豫時間常數 (relaxation time)」是第二類訊號。弛豫時間常數有兩種，一為自旋-晶格弛豫時間常數 (spin-lattice relaxation time)，另一為自旋-自旋弛豫時間常數 (spin-spin relaxation time)，因此造影的方法至少有三種。弛豫時間常數是磁矩被激發後恢復到原先狀態的時間常數，它和原子核與其周圍的分子相互作用而定，也就是說和所在的環境有密切的關係，因此形成重要的反差效果及辨識的功用，而且在不同時間點取訊號會有截然不同的結果。以放煙火作為一個比喻，假設煙火材料 A 比煙火材料 B 來得明亮，但燃燒速度卻比 B 材料快，也就是維持明亮的時間較短，如果將這兩種材料同時點燃後立刻照像，此時所現之影像自然是 A 比 B 明亮(訊號強)。如果等到 A 熄滅後，但 B 仍留有餘燼時照像，所產生的結果就是 B 要比 A 明亮了，換句話說，原本明亮的反而變暗，於是在影像的反差上，磁振造影有黑白倒轉的能耐，端視採集資料的「脈衝串」(式 1)為何，因此大大地增加了它的可塑性及應用度。比如說癌症細胞液的弛豫時間常數較長，但水的成分和正常細胞差不多。由自旋密度造影或許也能看出兩者之不同，但如佐以弛豫時間常數造影就更一目了然，而且能清楚的定出腫瘤的界線，這對病灶範圍的界定及切除手術是極重要的。

「擴散效應」是第三類訊號，它作為辨認病兆參數的研究是在 1985 年開始發展的<sup>(3)</sup>。道理在於物質分子(例如體內的水)在絕對零度以上的溫度是不停在動(即擴散)的，而正常和病體細胞因其化學或物理結構的不同，而使附近水分子的活動受到影響，這現象會反應在可測知的擴散係數上。相較於本已是弱現象的核磁共振來說，「擴散效應」是更弱的。但經過廿多年的研究和發展已斐然有成，尤其在腦神經束的觀察上更是重要。另外，如「流動效應」也是一類訊號，相對於人體的當然就是血流，它和前三類配合使用，可針對血管系統的疾病如腦中風、心血管病等有診斷之用。

### 三、主(靜)磁場的演化

前面提到磁矩置入磁場中才有能量差，才有造影之基本條件，磁場愈大，能量差也愈大，訊號也就愈強。訊號的強弱與造影採樣時間和採樣體積(範圍)息息相關，訊號強則取樣時間短，或者是取樣的範圍小，於是使診斷更加迅速(時間 = 金錢)或診斷更為精確，造福病患，因此增加磁場強度是研究者不遺餘力的目標。一九八零年代初推出的磁共振造影儀多用電磁鐵，也就是線圈通上直流電，產生磁場，由於消耗電流會產生熱，散熱的裝置也很龐大，受場地周圍溫度變化之影響，磁場較不穩定，均勻度較差。也有廠家引用永久磁鐵，較為經濟且彌補了電磁場的缺點。但體積龐大，重量也驚人，所以磁場強度都不超過 0.5 T (1 T = 10000 高斯，地球本身也有磁場，大約 1 高斯強度)。之後由於核磁共振在生命科學上的成果帶動了造影用超導磁場的發展，所以第一個以超導磁場的儀器把磁場增到 0.5 T，台中榮總在多年前引進第一部，1993 年台北榮總引進了第一部 1.5 T (現在已有四部)、1999 年正式啟用了 3 T 磁共振造影系統，目前國內其他各級醫院多有磁共振造影儀之設備，用於服務病患或成立健檢中心。

目前商品化的人體磁共振造影儀最高的磁場強度為 7 T，它的磁場開口為 90 公分，有 3.4 米長、34 噸重，所費不貲，不過全球只有十餘所醫學中心及研究機構擁有。它的圖片及資料讀者皆可在廠商網站(如 <http://cfmm.robarts.ca/7t> 即為一例)中自行瀏覽，在此無庸贅述。

(超)高磁場的好處在前文已經提及，讀者若有興趣可在下列網站 <http://www.flickr.com/photos/sirfreakman/3166706871/sizes/o/> 分享一張黃瓜橫切面造影。黃瓜並未切開，但其影像已達照片的品質，所以說高磁場能增進造影的解析度，在橫切面可達 40 微米，切片的厚度也可以達 0.5 毫米，可以建構高解析度的 3D 影像。

目前使用 7 T 磁共振造影儀的研究結果發表得很多，以下舉一個研究人腦海馬組織的活體研究<sup>(4)</sup>為例。海馬是位於大腦側腦室下角底部一彎曲隆起物，連接側腦室的角狀結構，它含有灰質但被白質

的腦室包裹，是形成、儲存和處理記憶之所在。在 7 T 的磁場強度下，以自旋密度及弛豫時間造影，不但描繪出海馬組織中的微血管，也驗出組織中角狀突出物 (cornu，一種癌的先驅物)，全部診斷時間為 23 分鐘，因此 7 T 磁共振造影儀的高靈敏度及高解析度皆有利於臨床診斷及健康檢查，這是顯而易見的。

(超)高磁場的好處並不止於此，除氫原子核外，其他不太靈敏(如磷原子核)或自然豐量較少的(如碳 13 同位素)也有造影的機會，這等於又開了許多面研究發展的窗子。由於實驗時間縮短，功能造影的應用將大為增加。

### 四、激發磁場及探頭

無線電頻率激發磁場 (rf field，相對於靜磁場，這是一個變動的磁場)的啟動及接收是藉由探頭 (probe) 線圈來完成。基於製作及操作的難易考量，啟動及接收探頭可以合併，也可以分開，以往被測物須被線圈包裹，因此線圈形狀均為圓桶狀，但身體並不是一規則圓形，各器官分布在各處，於是有一般常用的馬鞍型線圈 (saddle coil)。表面線圈 (surface coil) 等的產生將偵測範圍向前推了一大步，顧名思義，表面線圈是平面的，可貼在被測的部位(如眼睛)擷取數據，更進一步將表面線圈製成特殊的形狀，如乳房線圈，這些探頭的設計也是五花八門，各顯神通。

過去十餘年線圈設計大都針對超高磁場而來，比如說相矩陣 (phase array) 線圈，有一 2 發射頻道暨 24 相 (phase) 矩陣接收頻道線圈可平行接收訊號，利用在肺的造影上<sup>(5)</sup>。肺由肺泡組成，中間大都是空氣，水和脂肪都很少，換句話說，肺的磁共振造影靈敏度小，所以看肺時，給病人吸入過極化氦氣 (hyperpolarized helium)，它是一種反差增強劑，以增強訊號。但困難的是病人在作磁共振造影時不能不行呼吸作用，肺會隨著呼吸產生運動，影響了造影的準確性。這種多相矩陣線圈可平行接收多種訊號，能在 13 秒內完成一次造影，所以只要病患憋住一口氣的時間就行了，於是這新的線圈解決了肺造影的障礙。

由上述例子可以看出，線圈的形狀及功能端視不同的標的和要求而定，在此前題下，每一磁振造影設施或數個聯合起來應有設計及製造線圈的人才及設備，這才能應付各種需要，並確保接收訊號和最終影像的品質。

## 五、前景

磁振造影在診斷上已經普及全身器官，包括血管造影，另外也擴及至保健上。比如台中榮總在2005年成立了磁振造影健檢中心，從頭頸部至骨盆腔全身各部位高解析度的剖面影像，分析有無癌症及腦血管疾病，建立民眾偵查疾病預防觀念，因此在診斷及保健方面，磁振造影無庸置疑是非常成熟的技術，所以最近的發展是在功能性磁振造影 (functional mri)，也可以說是即時磁振造影。

神經細胞活化時會消耗氧氣，其附近的血流會增加以補充消耗掉的氧氣，功能性磁振造影是用來量測神經元活動所引發的血液變化，藉由偵測到變化的部位來判斷哪些腦區在這個過程中有信號的變化，因而可以找出是哪些腦區在執行這些思考、動作或經歷，因此磁振造影可以研究到我們感知外在世界的五官和自發性運作的心智範疇，期望能揭開人類腦中樞之意識及心智活動其腦網路 (large-scale neural network) 之奧秘。

磁振造影技術發展至今已經相當穩定成熟，但無疑的會一直快速進步下去，這需要各種行業的合作和努力，比如材料學家將研發出更高磁場的材料，物理學家設計更穩定的磁場或在產生磁訊號的理論和接收上有突破性發展，化學家找尋更有效的反差劑或成像參數和方法，工程師可設計更好的線

圈，電子行業能有越來越好而廉價的數據處理和顯像系統，諸如此類，醫師及健康事業工作者除了站在第一線來保護大眾的健康外，更能將所得資料回饋給上述的專業人士，共同維護人們的健康和生活品質。

## 參考文獻

1. P. C. Lauterbur, *et al.*, *Nature*, **242**, 190 (1973).
2. A. Kumar, D. Welti, and R. R. Ernst, *J. Mag. Reson.*, **18**, 69 (1975).
3. C. R. Acad, *Sci. Paris*, **301**, 1109 (1985). and *Radiology*, **161** (2), 401 (1986).
4. *J. Magn. Reson. Imaging*, **28**, 1266 (2008).
5. <http://www.med.nyu.edu/radiology/news/radiata/2006/coil2.html>



陳慶年女士為美國紐約大學石溪分校化學博士，曾任美國國家健康總署磁振造影中心高級研究員。

Ching-Nien Chen received her Ph.D. in chemistry from the State University of New York at Stony Brook, USA. She was a senior scientist at the National Institutes of Health in Bethesda, USA.



甘魯生先生為美國杜肯大學化學博士，現任大同大學生物工程系講座教授暨中央研究院化學研究所合聘研究員。

Lou-sing Kan received his Ph.D. in chemistry from Duquesne University, USA. He is currently a chair professor in the Department of Bioengineering at Tatung University and an adjunct research fellow at the Institute of Chemistry, Academia Sinica.