

孔令圻

人们几乎都做过X光透视检查，许多人被拍摄过X光照片。影像学的诊断方法对医生的帮助实在太大了。多年来，为了使拍摄的图像质量更好，诊断更准确，医生、科学家和工程师们做了持续不断的努力，取得了很大的成绩。现在超声波照像机、 γ 射线照像机相继问世，但成就最大、效果最好的要算计算机控制的X射线断层扫描照像机（简称X-CT）。由于这项技术在肿瘤诊断中的突出贡献，这项技术的创立者荣获了诺贝尔奖金。但是就在X-CT还没有广泛普及的时候，一种在肿瘤早期诊断方面性能更为优越的新型成像设备——核磁共振成像装置走出了实验室，进入了临床诊断的试用阶段。

早在1971年，达玛尼亚(R. Damadian)就根据肿瘤核磁共振讯号的异常现象提出了将核磁共振方法用于肿瘤诊断的可能性。1973年兰特堡尔(P. Lauterbur)发表了核磁共振成像的文章，于是用核磁共振成像的方法进行肿瘤诊断便引起了世界各国科学界和医学界的广泛重视，短短十年，特别是最近三年发展极为迅速。目前国外已有十几家公司做出了产品，许多大的医疗单位安装了这种设备，数以千计的病人和志愿受检者作了检查。国外有人估计到1985年世界上将有五亿美元核磁共振成像装置的交易额。核磁共振成像技术发展如此迅速的根本原因是在肿瘤的早期诊断方面与X-CT相比有许多突出的优点。为了把这些优点阐述得更加清楚，我们先把核磁共振成像的基本原理和装置作简单的介绍。

一、核磁共振

人体各脏器组织都含有大量的水及其他一些碳氢化合物，因而含有大量的氢原子。氢的原子核是由一个质子和一个中子组成的。质子不仅有一定的质量，带有一个静电单位的正电荷，而且还有磁性，像一支小小的磁针，我们称它为质子磁矩。另外质子本身在不停地自转，我们称之为自旋。当然近代物理学已经证明用不停地自转来说明自旋是不确切的，但在我们所

讨论的问题的范围内，还可以作这种理解。当没有外部磁场时，这些小磁矩的方向完全是任意的，因而从整体上，即宏观上来看，没有磁性。但是若把人体置于外部磁场 H_0 中，情况就不同了。一支静止的磁针放在磁场中会转向平行于外磁场的方向（例如指南针）。但是对质子磁矩这样一个小磁针来说，却不是这样。它不是转向磁场方向，而是绕磁场方向转动起来。原因是质子磁矩本身

在不停地自转。为了说明这一点，举一个大家都见过的例子。一个高速自转的陀螺倾斜之后，受地球引力的作用，让它倒向地面，但它并不倒向地面，而是绕垂直地面的轴转动起来（图1）。如果没有摩擦力，它会无休止地转动下去。这样一种运动在力学上叫做进动。质子磁矩绕磁场进动的频率 f_0 称为拉摩频率。该频率的大小正比于外磁场强度（ $f_0 = \frac{\gamma}{2\pi} H_0$ ， γ 是常数，叫做

质子的旋磁比）。因为所有的质子磁矩都绕外磁场方向进动，在这个方向都有一个磁矩的分量，而且可以证明平行于外磁场的分量大于反平行于磁场的分量，所以从宏观上看在外磁场方向便出现了一个大的磁矩 M_0 ，也叫磁化矢量。

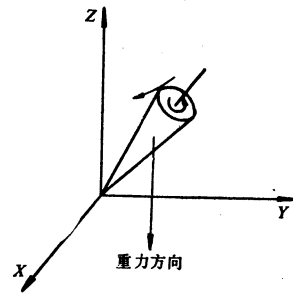


图1 高速自转的陀螺倾斜后并不倒向地面而是Z轴进动

这时我们再沿垂直于 H_0 的方向加一个交变磁场。因为实际上常用的交变磁场的频率处于无线电波的射频范围，我们常称之为射频场。当射频场的频率等于拉摩频率 f_0 时，质子磁矩就会吸收射频场的能量，我们称为共振吸收；在射频场去掉之后，质子磁矩又把所吸收的能量中的一部分以电磁波的形式发射出来，我们称为共振发射。这样一种共振吸收和共振发射的过程就叫核磁共振。经过接收线圈，用电子学的方法加以检测得到的讯号就是核磁共振讯号。

大量的质子磁矩在外磁场中达到平衡状态之后，若受到扰动，偏离了平衡状态，一般来讲，它分两步恢复到平衡状态。第一步是在质子之间先达到平衡，这个过程叫自旋-自旋弛豫过程。在质子之间恢复平衡

所需要的时间,通常用 T_2 表示,称作自旋-自旋弛豫时间。第二步是整个质子磁矩系统与周围环境之间恢复到平衡状态,这个过程叫自旋-晶格弛豫过程。完成这个过程所需要的时间通常用 T_1 表示,称作自旋-晶格弛豫时间。一般情况下 $T_1 > T_2$ 。核磁共振讯号的大小首先决定于参加共振的质子的多少;在某些特定的条件下,还与 T_1 或 T_2 密切相关。

二、核磁共振成像

核磁共振的讯号大小取决于参与共振的质子的密度,在一定的实验条件下与 T_1 或 T_2 还密切相关,同时人体各脏器组织中水的密度、 T_1 及 T_2 值存在明显的差别。癌瘤中的水的密度 T_1 、 T_2 值与周围正常组织也不相同。利用这些差异性,就有可能形成人体断层图像。但是,简单的核磁共振还无法形成图像。因为在均匀磁场中,人体内的质子都以同一频率同时参与共振,所得信号是全部质子的平均讯息。为了形成图像必须建立起参与共振的一部分质子的核磁共振讯号与这部分质子的空间位置一一对应的关系,也即要得到每位置上的质子密度。为此人们设计、试验了许多种方法,用得最广泛、最成功的方法是投影重建图像法。为了说明这种方法的基本思想,我们举一个最简单的例子。假设我们要重建一个密度均匀的矩形剖面图像(图2)。

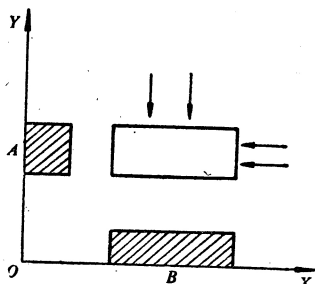


图2 用两个垂直方向的投影 A、B 可以重建密度均匀的矩形剖面

这时只要知道相互垂直的两个特定方向的投影 A 和 B 就够了。如果这个剖面形状复杂,密度分布又不均匀,问题就复杂多了。为了重建这样一个复杂的剖面图像,可能需要几十个甚至上百个投影,再利用

这些投影的数据。经过大量的运算,才能重建出这一复杂的剖面图像。投影重建图像的理论几十年前就提出来了,但是只有在今天,有了速度快、容量大的计算工具之后,这个理论才有了真正的实用价值。

核磁共振成像获得某个方向投影的方法是在原均匀磁场上叠加一个随位置坐标线性变化的磁场,我们称它为梯度场。这样由 $f = \frac{\gamma}{2\pi} H$ 可知,沿梯度方向不同位置有不同的共振频率。若用核磁共振的方法得到共振讯号强度随共振频率变化的谱分布,也就得到了沿这个方向上质子密度随位置变化的分布图,换句话说,得到了人体质子密度在这个方向上的投影(图3)。

改变梯度场的方向就可以得到另一个投影。为了重建出一个人体断层的照片,即建立起不同点质子密度与

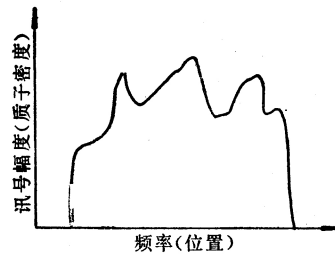


图3 在梯度场存在的条件下用核磁共振方法得到讯号的谱分布便得到了质子密度在梯度方向的投影

位置坐标的一一对应关系,往往需要180个(每度取一个投影)甚至更多的投影数。我们要使用全部投影的数据,通过计算机系统,按照设计好的计算方法和程序算出剖面图像,最后在终端显示装置上显示出来。

在给定的特殊条件下,若核磁共振讯号与 T_1 或 T_2 密切相关,则用同样的投影重建图像技术可以分别得到与 T_1 或 T_2 密切相关的图像。

三、核磁共振成像装置

根据核磁共振成像的原理可以知道,核磁共振成像装置包括三大部分:

1. 磁体系统。它包括三部分:产生均匀磁场的主磁体及电源;为保证磁场均匀性(例如在30cm直径球体内均匀度优于 2×10^{-6})而专门设计的磁场补偿线圈及电源;产生梯度场的 X、Y、Z 三对梯度场线圈及其控制驱动装置。

2. 产生和接收核磁共振讯号的电子学系统,也称作核磁共振谱仪。它包括两部分:产生并发射满足核磁共振成像要求的射频场的发射部分和接收、放大、检测人体发出的核磁共振讯号的接收部分。

3. 控制台及计算机系统。包括数据采集、图像重建和图像显示装置等。这部分的核心是一台高速专用计算器和一套相当复杂的软件系统。

核磁共振成像装置是80年代国外最先进的医疗设备之一(图4)。

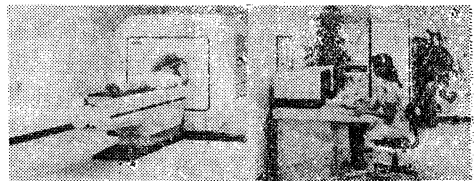


图4 核磁共振成像装置。可以看到磁体、病床、控制台及计算机电子学部件

四、核磁共振成像的特点

核磁共振成像究竟有什么突出的优点使得它可以在癌瘤早期诊断中发挥重要的作用?

1. 它突破了传统的单纯以解剖学为基础的影像学的范畴,其突出表现是可以获得与 T_1 、 T_2 参数密切相关的图像。大量的生物物理实验研究表明:正常组织

与癌瘤的 T_1 或 T_2 值有明显的不同。用密度图像不能发现的肿瘤有可能用 T_1 或 T_2 图像检查出来。另外从 T_1 或 T_2 图像还可以得到许多生化病理方面的讯息, 这些对于癌瘤发展阶段的诊断具有重要的价值。这方面的优点是其他任何成像手段所不能达到的。

2. 它以质子密度和 T_1 或 T_2 的差别作为成像的依据, 因而核磁共振成像得到的图像灰度层次丰富, 密度分辨本领高。例如它可以清晰地区分出脑部的灰质和白质, 能够更有效的检查出肝脏的病变。总之它对软组织成像所达到的清晰程度是 X-CT 所无法相比的 (图 5a)。

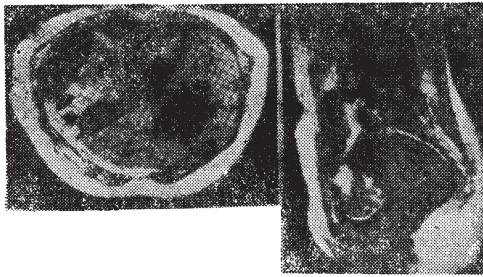


图 5a 腹部核磁共振成像照片



图 5b 头部矢向、横向、冠向核磁共振成像照片

3. 因为梯度场方向是由电子学系统控制的, 原则上可以在任意方位选取断层剖面。典型的剖面有矢向、冠向、横向三种。这给诊断工作带来极大的方便。而 X-CT 受机械结构的限制, 只能取横向断层剖面 (图 5b)。

4. 把做核磁共振成像检查的病人置于较低的恒磁场及射频电磁场中, 不用具有放射性伤害的射线照射, 也不用服用任何放射性药物, 因而对医生、对病人都没有任何放射性伤害。至于几千高斯的磁场对人的健康有无影响的问题, 正在研究之中, 但到现在为止还没发现有任何损害。

当然核磁共振成像也有不足之处。第一, 空间分辨率可达 2mm, 虽然已经优于目前通用的

早期癌瘤的诊断标准, 但与最先进的 X-CT 相比还差若干倍。第二, 成像速度慢。单独一个断层的成像时间为几分钟, 因而对一些活动的组织做检查就比较困难。为了使心脏和肺成像必须采用同步技术。第三, 成像装置附近不能有磁性材料, 特别不能有运动的带磁性材料的物体。这就给工作带来了许多不便。有的病人, 例如装有心脏起搏器的病人, 就不适于做这种检查。采用永久磁体, 可以减小空间漏磁, 但也只能在一定程度上解决这类问题, 并不能从根本上消除这种局限性。

综合考虑核磁共振成像的优缺点, 显然优越性占绝对的优势。正因为如此, 不少专家认为核磁共振成像装置将成为目前可以预见到的最为有效的癌瘤早期诊断的手段。