

王仪生
译

了解
MRI

磁共振成像基本原理

北京师范大学出版社

R 577
79

了解 MRI

——磁共振成像基本原理

(美)J. H. Newhouse*

J. I. Wiener**

王仪生*** 译

Little, Brown and Company

Boston/Toronto/London

1991, 第二版

北京师范大学出版社

* 美国纽约哥伦比亚大学内科和外科学院放射学教授

** 美国迈阿密大学医学院放射学临床助教授

*** 北京医科大学第一医院

(京)新登字 160 号

DUSE 55 15

了解MRI
——磁共振成像基本原理
王仪生 译

•

北京师范大学出版社出版发行
全国新华书店经销
北京北苑印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.625 字数: 100千

1993年6月第1版 1993年6月第1次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7-303-02420-4/O·168

定 价: 3.00元

作者前言

这本小册子是一个尝试,是为了解释磁共振成像技术涉及到的某些物理学过程。我们俩人都是放射科医生,都没有学习过高等数学和高深的物理学。我们也有许多从事磁共振成像的放射科大夫和其他工作人员共有的体验:对磁共振成像原理的解释不是太短难以满足我们的好奇心,就是太高深的数学或者一些专门的物理学名词术语,我们难以明了。因此,我们试图写一本设想我们当初开始学习磁共振技术时所希望要的那种书。

我们假设读者们都是在磁共振时代以前培养的放射科医生,对于他们学习过的物理学有一些基本概念,但是大部分内容忘记了。因为读者可能不熟悉许多物理学名词,我们尽量避免,对于必须的名词则加以解释。最后,我们假定读者愿意掌握的有关磁共振知识是在一定的范围以内的。

特别需要提到的是,我们提到的某些磁共振术的最基本的原理并且加以解释,这些都是与磁共振成像设备的操作运行有关。在读过本书以后,读者将会明了磁共振影像的本质是什么;了解操作磁共振机器时需要调整的一些主要参数;读者将对机器的运行和基本物理原理有足够的熟悉,能自己变化影像技术和机器的运行。

在叙述物理现象时,我们本来是可以经典的力学模式和量子模式两种理论中加以选择的。虽然用量子理论解释某些现象可能更正确,不会有任何的牵强附会,但是因为用经典

力学模式也同样能很好地解释本书中提出的一些概念,考虑到大多数读者可能对于后者比较容易理解,因此我们选择了经典的物理学模式。

J. H. Newhouse

J. I. Wiener

引言

在开始讨论磁共振扫描技术的基本原理之前,先介绍一下这项成像技术的主要过程可能是有益的.

图 1-1 极其简单地说明了成像过程:被检查的身体部位被置于一个强磁场中,从邻近的天线向身体发射短的射频脉冲.以上这两种因素作用使身体组织发射出自身的射频信号.信号被天线检出并输入计算机,后者根据信号中包含的信息产生图像.

我们准备对这一成像过程的所有步骤都作详细介绍,而是重点讨论在身体内部发生的基本现象,这些现象如何被记录并被转变为图像,如何被磁共振操作人员所了解和控制.

我们假定读者缺乏有关物理学或磁共振的基础知识,因此首先讨论一些基本概念,这些概念可能不能立刻联系到成像过程,但是对于以后讲述的内容至关重要,这些概念中首先是向量(Vector).

目 录

引 言.....	(1)
第一章 向量.....	(1)
第二章 磁体和磁场.....	(6)
第三章 电磁感应和电磁波	(17)
第四章 组织的磁化	(24)
第五章 组织吸收和发射射频能量	(30)
第六章 图像对比 弛豫过程和脉冲序列	(38)
第七章 组建图像	(90)
第八章 小翻转角和梯度回波.....	(110)
第九章 血流.....	(120)
第十章 信噪比.....	(131)

第一章 向 量

向量是一个数学上的名词,代表某种物理现象,在磁共振成像中经常使用,因此必须懂得其中的含义.

向量代表一种数量值和方向.例如,物理学中的力就是一种向量.图 1-1 中,直箭代表力,作用在一个立方体上.用直箭代表一个向量是一般的习惯.箭头指示方向,力的大小量值与直箭的长短成比例.图 1-2 表示另一个力,量值是图 1-1 中力的 2 倍,但是从另外一个方向作用于物体.

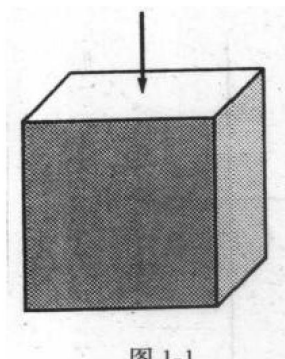


图 1-1

简单向量.
直箭代表
方向向下,
作用于立
方体上的
力,直箭长
度表示力
的幅值,箭
头方向表
示力的作
用方向.

向量不仅用于物理学中的力,也用于磁场,在本书中向量基本用于描述磁场.记住:向量习惯用直箭表示,箭长代表量值,箭头指示方向.

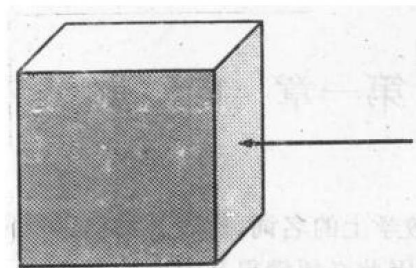


图 1-2

图 1-2
另一向量。
直箭长度
是图 1-1
中的 2 倍，
因而代表
的力也是 2
倍，力的方
向向左。

我们用三维坐标系来表示空间内指向任何方向的一种向量。图 1-3 就是这样的坐标系，科学家用来描述磁共振的物理现象。坐标系中， z 方向是本书页平面垂直轴， x 方向是书页平面的水平轴， y 轴是与书页平面相垂直的轴。 x 轴与 y 轴所在的平面与 z 轴垂直，叫 xy 平面或横断平面。

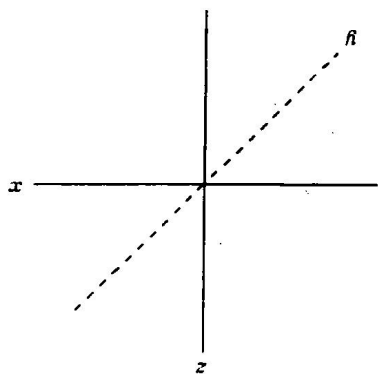


图 1-3

图 1-3 三维坐标系。这些坐标轴在描述磁场时经常用到。根据习惯， z 轴代表磁共振机主磁场方向， x 和 y 轴所在平面（横向平面）与 z 轴相互垂直。

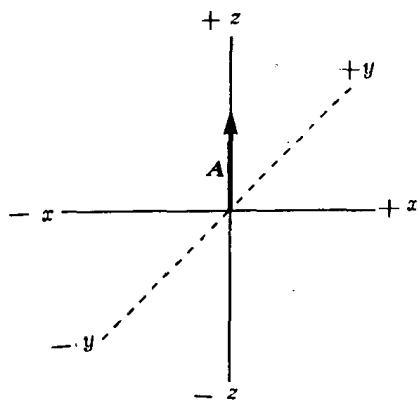


图 1-4

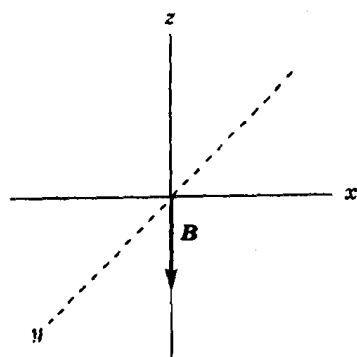
图 1-4 在三维坐标系中的向量 A , 方向是正 z 轴, 量值由直箭的长度表示.

一个向量的量值和方向可用这种坐标系表示, 见图 1-4, 向量 A 指向正 z 轴方向, 向量值直接与直箭长度成正比. 在图 1-5 中, 另一个向量也在 z 轴上, 但方向是与负 z 轴方向一致, 绝对值与直箭长度成比例.

在图 1-6 中, 向量 M 不是直接沿任何一根轴, 但仍可用坐标系表示: 向量的方向用箭头方向表示, 量值(M)用箭的长度表示, 向量 M 与 z^* 轴之间的夹角 θ .

向量 M 可以被分解, 如图 1-6 所示, 在 x 方向上有一个分向量, 在 z 轴上也有一个分向量(见图 1-6 M_x 和 M_z), 但是在 y 轴上没有分向量. 向量能够被分解成各个分向量是一个重要的概念. 在上述情况下, 两个分向量相加, 即沿 x 轴和沿 z 轴的分向量相加等于原先的向量, 原先的向量和它分解的分向

* 原书中 x , 译者以为是 z



另一向量 B 也位于 z 轴, 但是负方向.

图 1-5

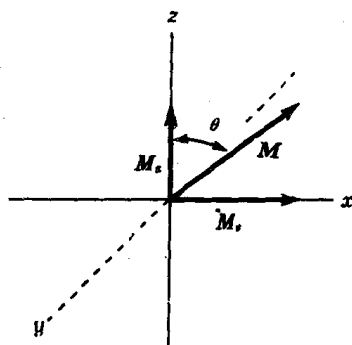


图 1-6

向量 M 位于 x 和 z 轴之间的平面上, 方向与 z 轴不同, 之间的夹角为 θ . 这个向量可以分解为 M_z 和 M_x 两个成份, 分别位于 z 轴和 x 轴上. 这两个分向量之和即为向量 M . 任何用向量 M 描述的实体都可以用另一种方法即同时用 M_z 和 M_x 两个分向量表示.

量可以被看成同一件事, 也就是说原始向量代表的现象可以认为是两个分向量共同作用的结果. 反之, 两种原始向量其作

用也可以类似前面提到的分向量,可以用一种向量代表.

让我们再看另一种情形. 图 1-7 中, 向量 M 在所有三个轴上都有分向量. 如前所述, 向量 M 可以看作是 M_x , M_y 和 M_z 三个分向量相加的总和.

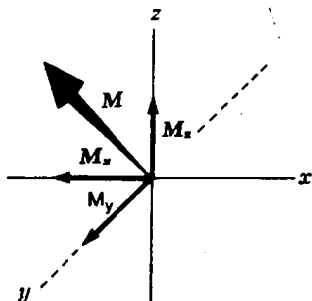


图 1-7

另一向量 M , 在 x 、 y 、 z 三个轴上都有它的分向量. 反之, 这三个分向量相加便得到原始向量 M .

在本书中, 向量经常用于描述磁场, 每一种磁场有特有的幅值和方向. (磁场的幅值就是磁场强度).

第二章 磁体和磁场

磁体产生磁场. 永磁体或在导体中的电流, 或兼有以上两种情况都可以产生磁场. 图 2-1 表示一个简单的永磁体, 有北极和南极, 它产生的磁场用磁力线表示.

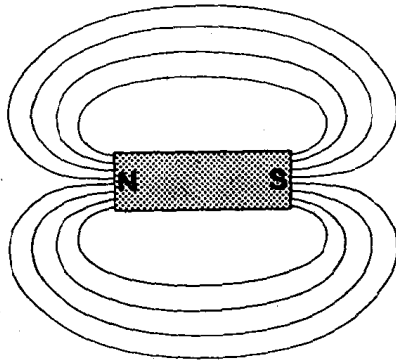


图 2-1

简单磁棒. 由这个磁体产生的磁场用磁力线表示. 空间内任何一点的磁场强度与这些线的密度成比例, 这些磁力线的方向也指示磁场方向.

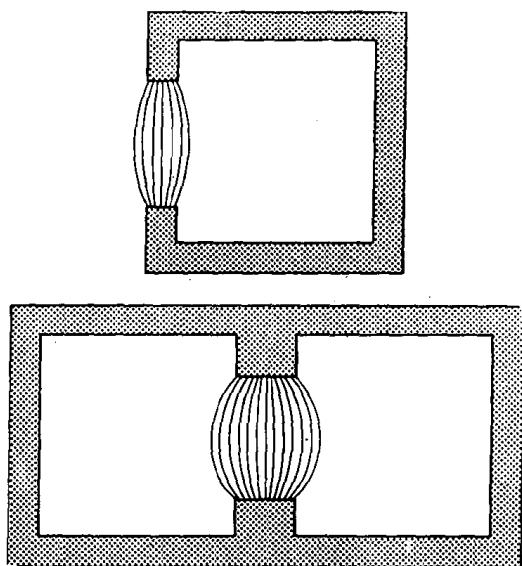


图 2-2

其它形状的永磁体. 任何一点的磁场强度用磁力线的密度表示, 磁力线的方向代表磁场方向.

图 2-2 表示两个简单的永磁体, 如同图 2-1 所示, 磁场用多个线条表示, 磁场强度与线条的密度成比例. 图 2-3 表示一根金属丝, 载有电流, 金属丝中的电流产生磁场, 它的磁力线是环形的. 图 2-4 是一个螺线管线圈, 载有电流, 图中磁场用线圈内和线圈外的磁力线表示.

详细描述各种类型的磁体不属本书的范围. 图 2-2 与当前应用的永磁体相似, 当然, 其它形状的永磁体也可以用来产生图像. 图 2-4 是常见的一种电磁体, 磁场是由电流产生的而不是由永磁体产生的. 电磁体线圈中央可以是空气, 也可以有

铁芯,如同图 2-5 所示. 电磁体的金属线圈可以处于室温之下,这叫做阻抗磁体 *resistive magnet*,或处于超低温下,在足够的低温下(通过某种方法可以得到超低温),对电流线圈没有电阻.

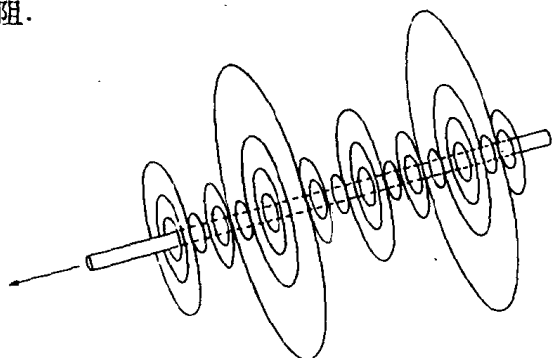


图 2-3

一根直金属丝载有电流,电流方向如箭头所示. 围绕金属丝的圆环代表电流产生的磁场(磁力线).

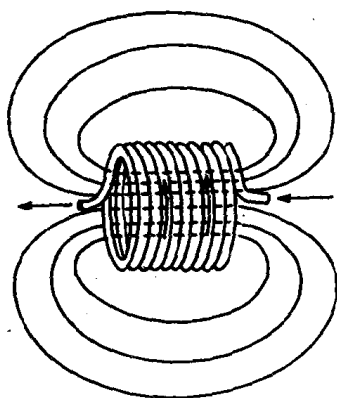


图 2-4

空心的螺线管线圈电磁体. 线圈电流方向有箭头表示,线圈周围曲线(磁力线)代表磁场,注意线圈内的磁力线是大致平行的,彼此距离也大致相等,所以在线圈内的磁场是相对均匀的.

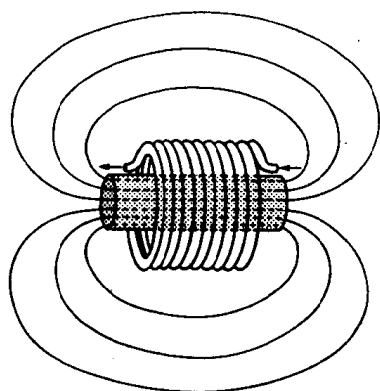


图 2-5

铁心
螺线管
线圈电磁体。
在线圈内
有一根铁
棒,这种磁
体要比空
心磁体的
磁场强的
多。

金属丝能导电而无显著的电阻被叫作超导体(superconductor),今天,临床使用的大部分磁共振机是使用的超导磁体。标准的致冷方法是将磁体线圈浸泡在致冷剂内,内层是液态氦,外层是液态氮,磁体温度接近绝对零度(0°K),后者是出现超导现象必须的条件。

目前正在寻求一种物质,在较高温度下也有超导特性,希望用来制造超导型磁共振机。阻抗式磁体可以应用于临床磁共振成像,造价比超导型低廉,但是磁场强度较低,要消耗大量电流,产生大量热。目前正在建造中的磁共振机大部分不采用阻抗式。

少数磁共振机采用永磁体,优点是运行费用低,但缺点是太重,场强受限制,只能产生中低场强。

现在我们需要讨论由磁体产生的磁场的某些特点。首先请参阅图 1-3, 2-2 和 2-5, 铁心磁体(永磁体或电磁体), 磁场磁力线从北极到南极。空心电磁体如图 2-4 所示没有北极或南极, 磁力线构成一个连续的圈通过线圈中心并绕向磁体四

周. 位于线圈以外的磁场叫边缘磁场(fringe field). 这种磁场对必须在磁体附近工作的人员有潜在的危险, 因为可能影响心动起搏器, 加速其中的含铁物体等等. 采用磁屏蔽设备可以限制边缘磁场.

我们习惯上用磁力线表示磁场. 首先要提到的是磁场强度, 在磁力线比较密集的部位, 磁场较强. (图 2-1 至 2-5) 磁场强度单位是高斯(gauss)或特斯拉(Tesla), 1 特斯拉 = 10 000 高斯. 地球磁场大约为 0.6 高斯, 电冰箱门的磁场约为几百高斯, 最强的玩具磁体产生的磁场可以高达 1 特斯拉(指位于接近磁极的一个小区域内).

为了成像, 磁场必须尽可能均匀; 也就是说被检查人体占有的磁场, 磁场强度尽可能保持不变, 在这个磁场空间内不同位置磁场强度测量相同. 图 2-6 中的平行线代表磁场; 例如代表图 2-4 中线圈中心的磁场. 注意磁力线直而平行. 因为磁场强度与磁力线的密集程度成正比, 所以图 2-6 所示磁场中各部位场强是相等的. 然而这只是一个理想的情况. 迄今为止, 人类还不能制造一种磁体具有绝对均匀的磁场. 真实的磁场更近似图 2-7 中所表示的情况. 在某些部位的磁力线比别处较为靠拢或密集, 因而具有较强的磁场. 对于磁共振成像, 磁场不均匀的情况应该尽可能地加以改善, 其理由下面还要提到. 对于一个高质量的磁体, 其用于成像部分的磁场不均匀的程度应当减少到每百万分之十, 这个成像部分空间的直径是 35~40cm.

所有磁体, 无论设计和制造如何仔细, 产生的磁场总有某种程度的不均匀. 这种不均匀可以用一种叫做“匀场(shimming)”技术加以改进, 但不可能完全消除. 在磁体内放置小块