

磁共振成像基本原理

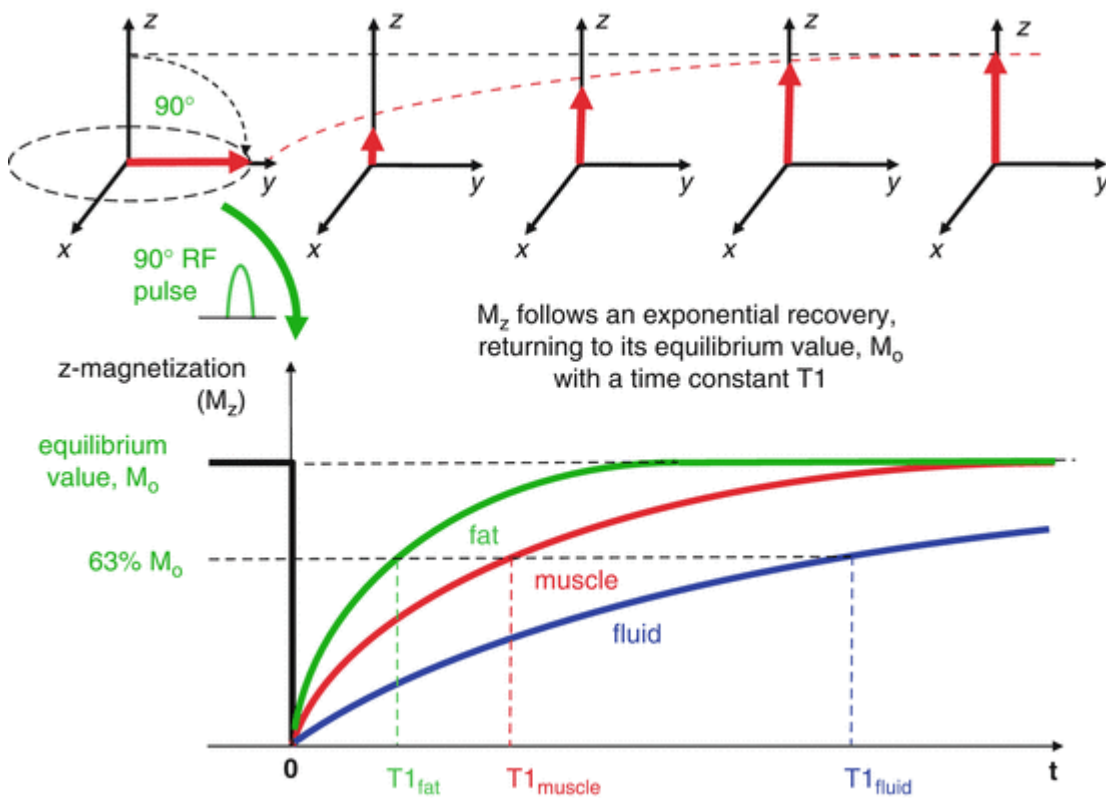
Alex / 2020-10-06 / free_learner@163.com / AlexBrain.cn

更新于2023-09-07，主要是文字排版上的更新，内容基本保持不变。

尝试总结一下常见的磁共振脑成像模态（T1-weighted/BOLD/Diffusion-weighted）的基本原理。这里所谓“原理”只是自己的一个简化的粗糙的甚至是错误的理解，并非真正的原理。

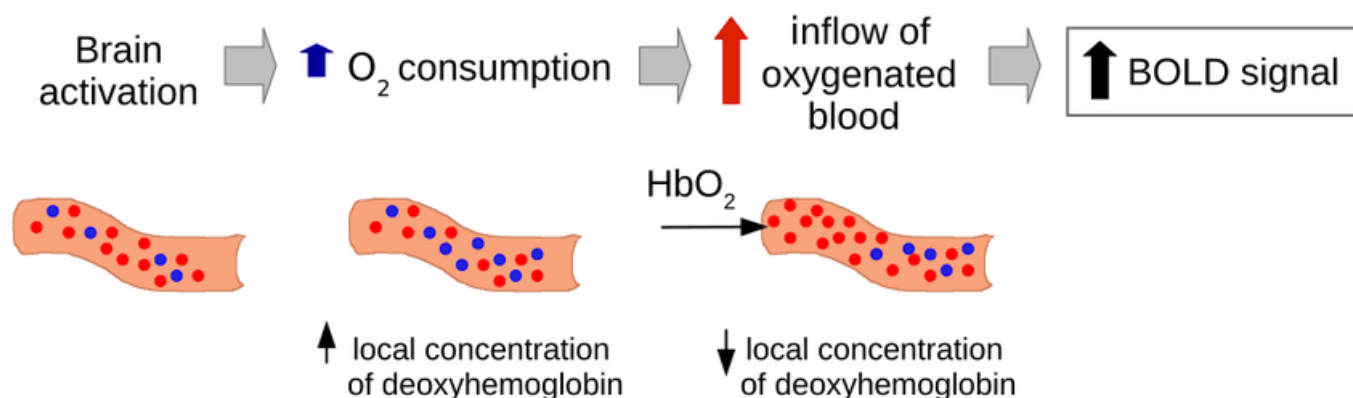
一、T1加权像

T1加权像（T1-weighted）是常用的结构像，T1表示一个时间常数，大脑不同组织的T1不同，因此T1加权像就是通过测量T1的差异来反映不同的组织。那么什么是T1呢？将一个物体放入外界磁场中（比如，磁共振机器的主磁体），该物体将受到一个磁矩（magnetic moment），磁矩的方向沿着外界磁场的方向，就好像将一个物体放入重力场，该物体会受到一个重力作用；当对物体施加一定频率的电磁波（能量），物体磁矩会偏转到垂直于外界磁场的方向，停止施加电磁波，磁矩会逐渐恢复到原来的方向，这个恢复的快慢用时间常数T1来度量。如下图所示（图片来源于网络），z轴表示外界主磁场的方向，红色箭头表示磁矩（ M_0 ）的大小和方向，可以看到不同组织（fat/fluid）恢复到初始状态的快慢不同：



二、BOLD功能像

BOLD (Blood-Oxygenation-Level-Dependent) 是常用的功能像 (functional MRI) 的成像机制，也就是说BOLD反映的是大脑活动的动态变化。BOLD是如何将大脑动态活动与磁共振信号联系起来呢？大脑的神经活动需要能量和氧气，能量和氧气通过血管输送到大脑不同位置，当大脑某个区域的活动增加，输送到该区域的能量和氧气也增加，结果是该脑区附近的（毛细）血管的含氧血红蛋白增加，即血液的氧化水平增加 (Blood-Oxygenation-Level)，这使得该脑区附近的磁场增加，因此测量到的磁共振信号增加，即局部脑活动增加，局部的图像信号就增加。如下图所示（图片来源于网络）：



三、弥散加权像

大脑里有大量的水分子存在，水分子并非静止不动，而是会进行弥散运动 (diffusion)，由于大脑存在不同的组织结构（比如细胞壁），水分子弥散运动受到不同程度的限制，反过来，水分子弥散运动的情况也说明了周围的大脑组织结构。如果水分子弥散距离大，说明周围没有什么限制（比如脑室），如果水分子在一个方向上弥散距离大，其它方向弥散距离小，说明可能是管状结构（比如白质纤维束）。那么如何测量大脑不同位置水分子的弥散距离呢？假设连续施加两个效果相反的磁场梯度，如果水分子没有弥散运动，那么信号没有变化；如果水分子存在弥散运动，那么这两个磁场梯度的效果不能抵消（因为有一部分水分子已经跑掉了），会使得信号降低；水分子弥散距离越大，信号降低越明显。如下图所示（图片来源于网络），G表示磁场梯度，矩形框中的小球表示水分子在磁场梯度施加前后的状态，如果水分子没有弥散，那么两个磁场梯度以后，水分子的状态（相位）回到初始状态；如果水分子改变了位置，那么水分子状态也发生了变化，反映在信号上就是信号减弱了。

