

几种磁共振成像技术的相关性

王 颖

(天津医科大学 天津 300070)

摘 要 本文从理论上对磁共振成像的三种最基本的成像技术进行研究,得到在一定条件下它们之间的相关性,这对磁共振成像的临床工作及其理论研究都有一定的参考价值。

关键词 磁共振成像 相关性 成像技术

前言

“部分饱和”技术、“反转恢复”技术和“自旋回波”技术,是磁共振成像中获得质子密度图像、 T_1 图像和 T_2 图像的三种不同的方法^[1~3],但它们之间必然存在某些特殊的联系,而相应技术参数 T_R 、 T_1 和 T_E 数值的选取又是获得图像是否清晰的关键^[4],基于以上原因,笔者从理论上推导出三个技术参数的最佳值的数学表达式 $(T_R)_{max}$ 、 $(T_1)_{max}$ 和 $(T_E)_{max}$,以及它们使得物体上 A、B 两个不同组织之间具有最大的对比度的数学表达式 $(\Delta I_R)_{max}$ 、 $(\Delta I_1)_{max}$ 和 $(\Delta I_E)_{max}$,以此为基础,从理论上进行比较。这项工作的完成将有助于磁共振成像的临床工作及其理论教学,并且为进一步的理论研究提供必不可少的理论基础。

1 “自旋回波”技术

1.1 获得的单位体积的信号强度表达式^[2~3]

$$I = k\rho \left(1 - e^{-\frac{T_R - T_1}{T_1}} + e^{-\frac{T_R}{T_1}} \right) e^{-\frac{T_E}{T_2}}$$

其中, k 比例系数; ρ 组织的质子密度; T_R 两个相邻周期的重复时间; T_1 90° 到 180° 脉冲之间的时间间隔; $T_E = 2T_1$ 。

1.2 技术参数 T_E 值的选取对图像对比度的影响

当 $T_1 = T_R$ 、 $T_1 = T_R$ 时,

$$I = k\rho \left(1 - e^{-\frac{T_R}{T_1}} \right) e^{-\frac{T_E}{T_2}} = k\rho e^{-\frac{T_E}{T_2}}$$

$$\text{对组织 A 而言: } I_A = k\rho_A e^{-\frac{T_E}{T_{2A}}}$$

$$\text{对组织 B 而言: } I_B = k\rho_B e^{-\frac{T_E}{T_{2B}}}$$

其中, ρ_A 、 ρ_B 分别表示组织 A、B 的质子密度, T_{2A} 、 T_{2B} 分别表示组织 A、B 的弛豫时间 T_2 。

故在所获得图像上任意两种不同组织 A、B 之间的对比度为:

$$\Delta I_E = I_B - I_A = k \left(\rho_B e^{-\frac{T_E}{T_{2B}}} - \rho_A e^{-\frac{T_E}{T_{2A}}} \right)$$

(1)使 ΔI_E 最大的 $(T_E)_{max}$ 数学表达式的推导^[5]

$$\frac{d(\Delta I_E)}{dT_E} = k \left[\frac{\rho_A}{T_{2A}} e^{-\frac{T_E}{T_{2A}}} - \frac{\rho_B}{T_{2B}} e^{-\frac{T_E}{T_{2B}}} \right]$$

$$\text{令 } \frac{d(\Delta I_E)}{dT_E} = 0$$

将满足该式的 $T_E = T_{Em}$ 即 $(T_E)_{max}$ 代入上式得:

$$k \left[\frac{\rho_A}{T_{2A}} e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2A}}} - \frac{\rho_B}{T_{2B}} e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2B}}} \right] = 0 \quad (1')$$

$$\text{故 } (T_E)_{max} = T_{Em} = \frac{T_{2A} T_{2B}}{T_{2B} - T_{2A}} \ln \frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}} \quad (1)$$

(2)图像上任意两种不同组织之间的最大对比度当 $T_E = (T_E)_{max}$ 时,

$$\begin{aligned} \Delta I_E &= (\Delta I_E)_{max} = k \left(\rho_B e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2B}}} - \rho_A e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2A}}} \right) \\ &= k \left[\rho_B e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2B}}} - \frac{T_{2A}}{T_{2A}} \rho_A e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2A}}} \right] \end{aligned}$$

利用等式(1')对上式进行变换得

$$\begin{aligned} (\Delta I_E)_{max} &= k \left[\rho_B e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2B}}} - \frac{T_{2A}}{T_{2A}} \rho_B e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2B}}} \right] \\ &= k \left[1 - \frac{T_{2A}}{T_{2B}} \right] \rho_B e^{-\frac{T_{Em}}{T_{2B}}} \end{aligned}$$

将 T_{Em} 即 $(T_E)_{max} = \frac{T_{2A} T_{2B}}{T_{2B} - T_{2A}} \ln \frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}}$ 代入上式中得:

$$(\Delta I_E)_{max} = k \left[1 - \frac{T_{2A}}{T_{2B}} \right] \rho_B e^{-\frac{T_{2A}}{T_{2B} - T_{2A}} \ln \frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}}}$$

利用数学变换:

$$\begin{aligned} e^{-\frac{T_{2A}}{T_{2B} - T_{2A}} \ln \frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}}} &= \left(e^{\ln \frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}}} \right)^{-\frac{T_{2A}}{T_{2B} - T_{2A}}} \\ &= \left[\frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}} \right]^{-\frac{T_{2A}}{T_{2B} - T_{2A}}} \end{aligned}$$

$$\text{得 } (\Delta I_E)_{max} = k \frac{T_{2B} - T_{2A}}{T_{2B}} \rho_B \left[\frac{\rho_A T_{2B}}{\rho_B T_{2A}} \right]^{\frac{T_{2A}}{T_{2A} - T_{2B}}} \quad (2)$$

2 “部分饱和”技术

2.1 获得的单位体积的信号强度表达式

$$I = k\rho \left(1 - e^{-\frac{T_R}{T_1}} \right)$$

其中, T_R : 两个相邻周期的重复时间

2.2 技术参数 T_R 值的选取对图像对比度的影响:

$$\text{对组织 A 而言: } I_A = k\rho_A \left(1 - e^{-\frac{T_R}{T_{1A}}} \right)$$

$$\text{对组织 B 而言: } I_B = k\rho_B \left(1 - e^{-\frac{T_R}{T_{1B}}} \right)$$

其中, T_{1A} 、 T_{1B} 分别表示组织 A、B 的弛豫时间 T_1 。

故在所获得图像上任意两种不同组织 A、B 之间的对比度为

$$\Delta I_R = I_B - I_A = k \left[\rho_B \left(1 - e^{-\frac{T_E}{T_{1B}}} \right) - \rho_A \left(1 - e^{-\frac{T_E}{T_{1A}}} \right) \right]$$

用完全类似于“自旋回波”技术中的推导过程可以得到:

(1) 使 ΔI_R 最大的 $(T_R)_{max}$ 的数学表达式

$$(T_R)_{max} = \frac{T_{1A} T_{1B}}{T_{1B} - T_{1A}} \ln \frac{\rho_A T_{1B}}{\rho_B T_{1A}} \quad (3)$$

(2) 图像上任意两种不同组织之间的最大对比度

当 $T_R = (T_R)_{max}$ 时,

$$(\Delta I_R)_{max} = k \left[\rho_B - \rho_A + \frac{T_{1A} - T_{1B}}{T_{1B}} \rho_B \left(\frac{\rho_A T_{1B}}{\rho_B T_{1A}} \right)^{\frac{T_{1A}}{T_{1B} - T_{1A}}} \right] \quad (4)$$

3 “反转恢复”技术

3.1 获得的单位体积的信号强度表达式

$$I = k \rho \left[1 - \left(2 - e^{-\frac{T_R'}{T_1}} \right) e^{-\frac{T_1}{T_1}} \right]$$

其中, T_R' : 两个相邻周期的重复时间

T_1 : 180° 到 90° 脉冲之间的时间间隔

3.2 技术参数值的选取对图像对比度的影响

当 $T_R' = T_1$ 时, $I = k \rho \left(1 - 2e^{-\frac{T_1}{T_1}} \right)$

对组织 A 而言: $I_A = k \rho_A \left(1 - 2e^{-\frac{T_1}{T_{1A}}} \right)$

对组织 B 而言: $I_B = k \rho_B \left(1 - 2e^{-\frac{T_1}{T_{1B}}} \right)$

用完全类似于“自旋回波”技术中的推导方法可以得到

(1) 使 ΔI_I 最大的 $(T_I)_{max}$ 的数学表达式

$$(T_I)_{max} = \frac{T_{1A} T_{1B}}{T_{1B} - T_{1A}} \ln \frac{\rho_A T_{1B}}{\rho_B T_{1A}} \quad (5)$$

(2) 图像上任意两种不同组织之间的最大对比度:

当 $T_I = (T_I)_{max}$ 时,

$$(\Delta I_I)_{max} = k \left[\rho_B - \rho_A + 2 \frac{T_{1A} - T_{1B}}{T_{1B}} \rho_B \left(\frac{\rho_A T_{1B}}{\rho_B T_{1A}} \right)^{\frac{T_{1A}}{T_{1B} - T_{1A}}} \right] \quad (6)$$

4 结果与讨论

4.1 比较公式(1)、(3)、(5)可得到如下结论

(1) 由于 $(T_R)_{max}$ 和 $(T_I)_{max}$ 的数学表达式完全一样, 所以它们存在同一性。

(2) $(T_R)_{max}$ 、 $(T_I)_{max}$ 和 $(T_E)_{max}$ 的数学表达式不完全一样, 但形式上完全相同 (如果将弛豫时间 T_1 、 T_2 的下角标去掉, 它们就完全相同了), 所以它们存在对称性。

4.2 比较公式(2)、(4)、(6)可以看出

(1) 每次成像前, 为获得图像上任两种不同组织之间具有最大的对比度, 技术参数 T_E 、 T_R 和 T_I 应选取公式(1)、(3)、(5)给出的 $(T_E)_{max}$ 、 $(T_R)_{max}$ 和 $(T_I)_{max}$ 的数值。值得注意的是, (1)、(3)、(5) 给出的 $(T_E)_{max}$ 、 $(T_R)_{max}$ 和 $(T_I)_{max}$ 的数值只是对磁共振成像的三种最基本技术参数提出的理论值。实际工作中, 要针对具体情况, 在所给出的理论参考值附近进行相应的调整。

(2) $(\Delta I_I)_{max}$ 比 $(\Delta I_R)_{max}$ 大 $k \frac{T_{1A} - T_{1B}}{T_{1B}}$

$\rho \left(\frac{\rho_A T_{1B}}{\rho_B T_{1A}} \right)^{\frac{T_{1A}}{T_{1B} - T_{1A}}}$, 所以在图像上任意两种

不同组织之间的最大对比度方面, “反转恢复”技术优于“部分饱和”技术。

参考文献

- 1 朱小平主编. 核磁共振成像入门 (M), 上海: 同济大学出版社, 1997
- 2 张泽宝主编. 医学影像物理学 (M), 北京: 人民卫生出版社, 2000
- 3 康立丽主编. MRI原理、技术与质量保证 (M), 北京: 科学出版社, 2004
- 4 Hausser K H. NMR in Medicine and Biology (M), Berlin: Springer-Verlag, 2000
- 5 毛宗秀主编. 高等数学 (M), 北京: 人民卫生出版社, 2000

The relevance among several magnetic resonance imaging technologies

Wang Ying

(Tianjin Medical University, Tianjin 300070)

Abstract Three kinds of most basic Magnetic resonance imaging technology have been researched theoretically in this article, under the given conditions the relevance among them has been obtained, these results have a certain reference value both for the Magnetic resonance imaging clinical work and fundamental research

Key word Magnetic resonance imaging Relevance Imaging technology