

11. three point Dixon法

— three point Dixon法の原理と ピットフォール

五十嵐太郎*1, 2 / 吉川 宏起*2

*1 けいゆう病院放射線科 *2 駒澤大学医療健康科学部

ダイナミックレンジの広い組織抑制画像は、診断価値の大きな画像として利用されており、さまざまな方法が提唱されている^{1), 2)}。組織抑制法の一つであるDixon法は、化学シフトにより生じる水と脂肪の位相差を利用した方法で、MRI黎明期に提案された方法である。Dixon法による信号抑制に欠かせないのは磁場不均一の克服であり、さまざまな方法で磁場不均一の改善を試みている。

本稿では、three point Dixon法を中心に、位相による水 - 脂肪分離法、および磁場不均一の改善方法について概説する。

Dixon法^{3), 4)}

水の磁化 M_w と脂肪の磁化 M_f は、励起RFパルス印加直後、もしくはスピンエコーのエコーピークで同一方向にそろった状態となる。その後、 M_w と M_f は、化学シフトの影響により、共鳴周波数や位相に差が生じる。化学シフトにより生じる位相差を利用して脂肪の信号を分離する手法は、1984年、T. Dixonにより提唱されたことからDixon法と呼ばれる。化学シフトにより生じる M_w と M_f の位相差 θ は、

$$\theta = 2\pi \Delta f t \dots\dots\dots (1)$$

と表される。このとき Δf は、水と脂肪の共鳴周波数差(Hz)で、磁気回転比 γ (42.58MHz/T)と化学シフト σ (ppm)と静磁場強度(T)の積で表される。 t は励起RFパルス印加直後、もしくはスピンエコーのエコーピークからの相対時間である。異なる速さで歳差運動を行う水と脂肪の磁化は、時計の長針・短針のように同位相(in-phase)と逆位相(opposed phase, out of phase)を周期的に繰り返す。 M_w と M_f の位相 θ は 2π でin-phase、 π でopposed phaseとなるため、それぞれ式(1)に代入することで、in-phaseおよびopposed phaseとなる時間(TE)を算出することができる。in-phaseの磁化ベクトルは $(M_w + M_f)$ となり、両者の磁化の大きさが信号強度に寄与する。opposed phaseの磁化ベクトルは $(M_w - M_f)$ となり、水と脂

肪の存在比に応じた信号強度で示され、 $M_w = M_f$ となる画素で最も信号が低下する。そのため、opposed phase imageは、画素内に水と脂肪が混在するような腫瘤、および解剖学的構造部位における微量な脂肪の検出に優れる。また、臓器と内臓脂肪の境界の画素は水と脂肪が混在するため、臓器が黒く縁取られるように描出される。この現象は、第2の化学シフトアーチファクト(chemical shift artifact of the second kind)として知られている。

Dixon法では、in-phaseの磁化($M_w + M_f$)とopposed phaseの磁化($M_w - M_f$)で表されることから、両者を加算、減算すると、

$$S_w = S_{in} + S_{out} = (M_w + M_f) + (M_w - M_f) = 2M_w \dots\dots\dots (2)$$

$$S_f = S_{in} - S_{out} = (M_w + M_f) - (M_w - M_f) = 2M_f \dots\dots\dots (3)$$

となり、in-phaseとopposed phaseの画像から水画像(water image)と脂肪画像(fat image)が算出される。しかし、式(2)(3)は、磁場不均一の影響によるphase shiftが考慮されていないため、実際には正確に水と脂肪を分離することができない。

three point Dixon法^{3)~6)}

磁化率効果による磁場不均一は、不確定なものであり、撮像部位により磁化率に応じたphase shift: θ_0 が生じる(図1 a, b)。Dixon法によるin-phase、