

1. MRIの技術進歩で変わる臨床の今と未来

2) 体動との闘い

— アーチファクト低減に向けた撮像技術の開発と将来展望

木藤 善浩*1/愛多地康雄*1/林原 勇斗*1/前原 将貴*1/富士原修也*1
 谷口 正洋*1/山田 哲*2/藤永 康成*2/竹丸 輝政*3/丸山 克也*4

*1 信州大学医学部附属病院放射線部 *2 信州大学医学部画像医学教室
 *3 シーメンスヘルスケア(株)カスタマーサービス事業本部
 *4 シーメンスヘルスケア(株)ダイアグノスティックイメージング事業本部 MRリサーチ&コラボレーション部

呼吸アーチファクトについて

呼吸のアーチファクトが位相方向に出現することは既知の事実である。k空間上で、周波数エンコードは位置情報を周波数差として読み取りを行うのに対し、位相エンコードは位相方向の傾斜磁場1回あたりに対して1位相ずつ充填を行う。周波数エンコードを1行埋めるサンプリング時間 T_s は、周波数エンコードマトリックス N_x とサンプリング間隔 ΔT_s の積で得られる〔式(1)〕。 ΔT_s は、受信バンド幅(BW)の逆数〔式(2)〕であるため、BWが256 Hz/pixelで N_x が256である場合の T_s は、1秒で1行埋まる。

$$T_s (s) = N_x \times \Delta T_s (s) \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta T_s (s) = 1/BW \dots\dots\dots (2)$$

一方で、位相エンコードに要する時間は、スピニングエコー(以下、SE)法で考えると1行埋めるのに1TRの時間がかかり、さらに、位相方向のマトリックス(N_y)分の充填時間を要するため、動きに対する位相の位置ズレが起きる。この原理より、位相方向にアーチファクトが多く出現することになる。次に、位相の位置ズレとアーチファクトの出現について考える。周波数空間(k空間)での間隔の広がり、実画像では狭くなる。呼

吸周期が一定である場合に、アーチファクトの出現する間隔 D (pixel)は、式(3)で決定される。

$$D (\text{pixel}) = TR (s) \times N_y \times (\text{加算回数 (NEX)}) / (\text{呼吸周期 } T (s)) \dots\dots\dots (3)$$

これは、遅い呼吸ほど実画像では短い間隔で位相方向にアーチファクトとして出現することを示す。呼吸周期については患者により異なるためコントロールが困難であるが、呼吸周期を利用してk空間内の配列操作でアーチファクトの間隔を実画像の外にする撮像方法がある。この方法は、呼吸の状態をトリガーとし、吸気と呼気のデータを交互にk空間に配列することで意図的に呼吸周期 T (s)を最小にした状態を作成する(図1 a)。これにより、アーチファクトを実画像の外に出現させることが可能となる。そのほかにも、k空間の配列操作で中心部(低周波数成分)に呼気のデータを充填し、コントラストに影響が少ない辺縁部(高周波数成分)に吸気データを充填することでアーチファクトを低減させる方法がある(図1 b)。両者とも撮像時間の延長を抑えた画像取得が可能である。しかし、高速SE法では複雑なk空間の配置になるため、TEが一定の場合のみの撮像に限定される。したがって、多くの撮像シーケンスに汎用性がある呼吸同期

(腹壁同期、横隔膜同期)法が一般的となっている。

上腹部のT1強調画像は、一般的にグラディエントエコー(以下、GRE)法を用いて呼吸停止下で撮像される。しかし、患者の呼吸コントロールが困難で短時間の撮像が必要な場合には、自由呼吸下での撮像となる。この場合、呼吸同期を使用せず呼吸アーチファクトを低減させるテクニックとして、パラレルイメージングの併用と加算回数(NEX)を増加する方法が用いられる。図2に一例を示す。T1-GRE法(VIBE)にパラレルイメージングを併用することで、呼吸アーチファクトが低減する(図2 a~f)。アーチファクトの間隔 D は、式(3)よりパラレルイメージング併用で N_y が減少し狭くなる。その結果、アーチファクトが分散し、図2 c, fのように目立たなくなる。さらに、パラレルイメージングで時間短縮した分加算回数を増加することで、信号雑音比(SNR)を低下させずに、体動からのアーチファクトを少なくすることが可能となる(図2 g, h)。

呼吸同期(腹壁同期、横隔膜同期)法

腹壁の呼吸同期(respiratory trigger: RT)法については、1984年、すでにSE法と併用することで腹部MRIの画