

k-t BLAST

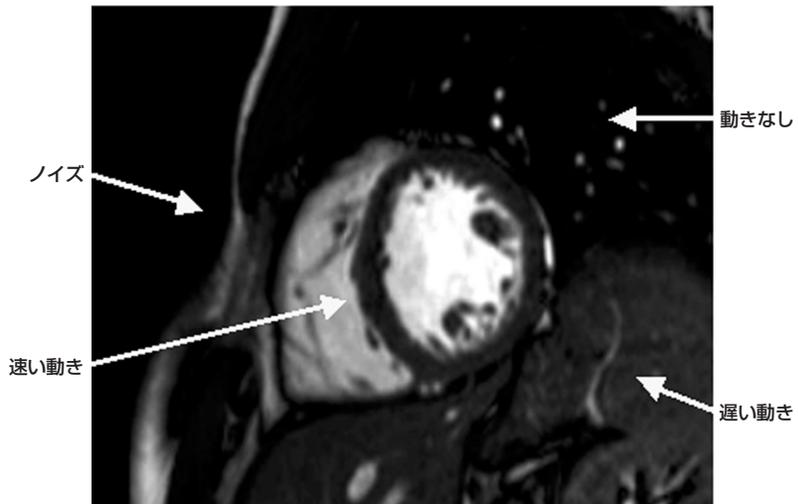
Marc Van
Cauteren
鈴木由里子

⇒ k-t space Broad-use Linear Acquisition
Speed-up Technique

- ① ダイナミックスキャンを大幅にスピードアップさせる技術
- ② ダイナミックスキャンの連続した画像間、および一画像内のボクセル間の類似性を利用して、収集するデータ量を減少させる
- ③ シングルコイルも含めすべてのコイルで時間短縮が可能
- ④ 現時点において既に8倍速まで実現

k-t BLAST¹⁾は、ダイナミックスキャンを大幅にスピードアップさせる技術として開発された。どのようにこの手法は可能になるのだろうか？ 心臓のシネ撮像を例にとってみてみよう。心臓のシネ画像には基本的にノイズのみの領域、ほとんど動きのない領域、動きの遅い領域、そして動きの速い領域が存在している。

図1 心臓のシネ画像



- 1) Tsao J, Boesiger P, Prussman KP: k-t BLAST and k-t SENSE: dynamic MRI with high frame rate exploiting spatiotemporal correlations. Magn Reson Med, 2003.
- 2) マルク ヴァン カウテレン, 小原 真, 曹子 明 (Tsao J), Kozerke S: k-t BLAST と k-t SENSE - 単一コイルにも応用可能な高速化のストラテジー - 超高速ダイナミック撮像の新しい潮流. Innervation, 2003.

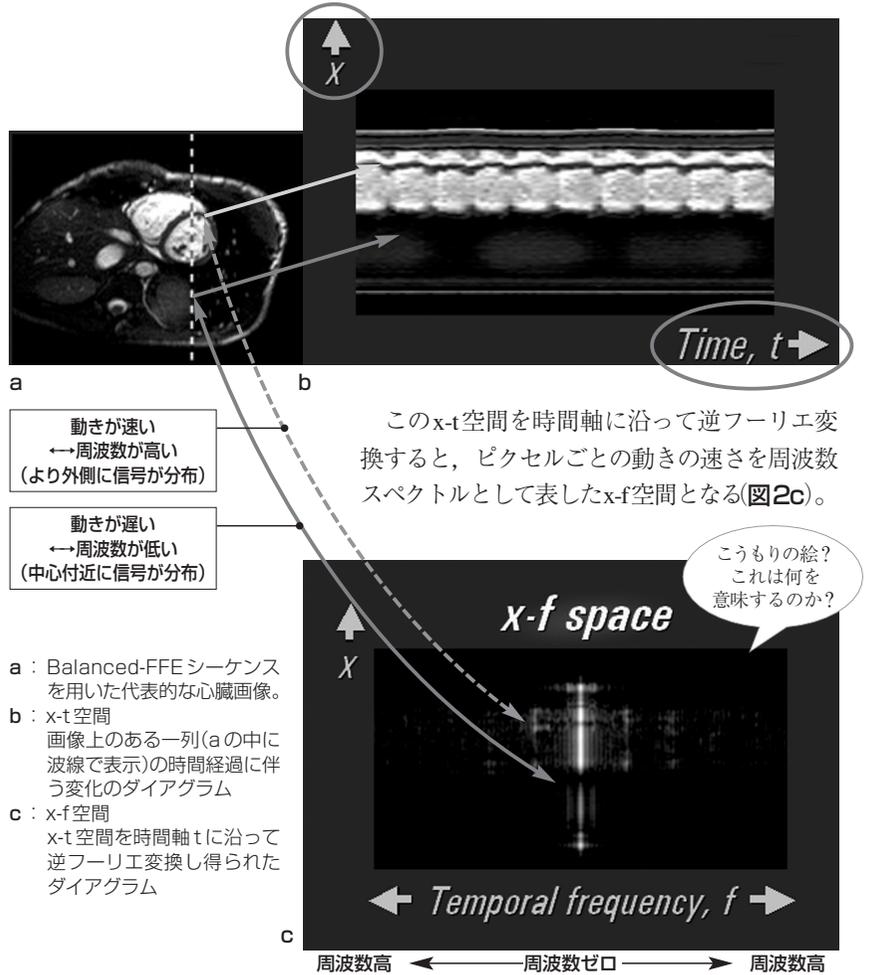
動きのない領域のデータを続けて細かく収集する必要がないことは明らかである。また、動きの遅い領域のピクセルに対しては、速い動きの領域のピクセルに対してよりも遅い周期でデータを収集すればよい。

これをどのように科学的に表すことができるだろうか？

x-t空間 ↔ x-f空間

画像上のある一列を取り出し、その**ピクセル列の時間変化**を表すと図2bのようなx-t空間が得られる。

図2 ピクセル列の時間変化

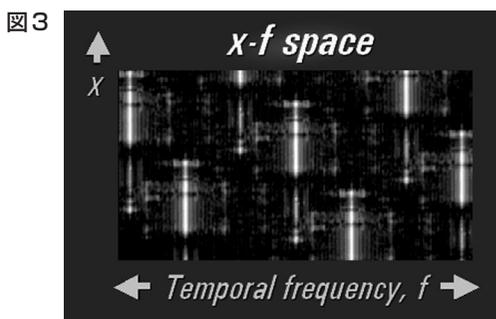


- a : Balanced-FFE シーケンスを用いた代表的な心臓画像。
- b : x-t空間
画像上のある一列(aの中に波線で表示)の時間経過に伴う変化のダイアグラム
- c : x-f空間
x-t空間を時間軸tに沿って逆フーリエ変換し得られたダイアグラム

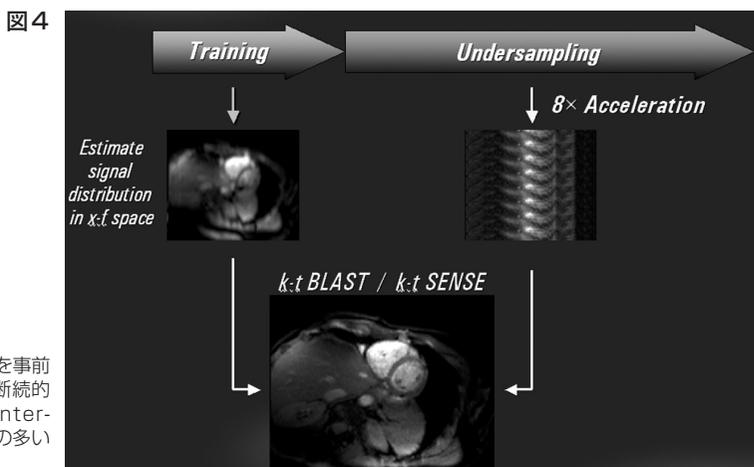
図2のx-t空間とx-f空間はお互いをフーリエ変換、逆フーリエ変換することによって得られる関係にある。つまり、x-t空間とx-f空間はまったく同じ情報をもつ空間である。このことに留意して各空間をみると、まったく同じ情報をもつ2空間であるにも関わらず、**x-f空間ではx-t空間と比較して情報がよりコンパクトに収められていること**、およびx-f空間の**中心に高信号スペクトルが存在していることがわかる**。この中心の高信号スペクトルは**ゼロ周波数**、つまり動きをもっていないことを示しており、他の周波数成分の信号と比べて最も高い信号強度をもっている。つまり、高周波成分(速い動き)をもつピクセルにおいても、低周波成分(遅い動き)をもつピクセルにおいても最も優位な信号は動きをもっていない信号成分であり、それらは時間経過に伴って変化をしないため頻繁に収集する必要はないのである。

図2の破線の矢印は心臓の動きを示している。その1秒間に1心拍の心臓の動きに対応するように、1 Hzに対応する部分に高信号のスペクトルが存在することがみてとれるであろう。もちろん心臓の動きは非常に複雑であるため、そのほかにさまざまな周波数成分も存在している。実線の矢印と曲線は、肝臓が呼吸によってスライス面内を出たり入ったりする動きを示している。この動きは比較的ゆっくりとしていて(1周期3~4秒)、よりゼロ周波数に近い部分に信号があることがわかる。

さらに、 x - f 空間において“空”の領域が多く存在することに気がつくであろう。 k - t BLASTはそれを活用して時間短縮を可能としている。通常のイメージングにおいて k 空間上でアンダーサンプリング(データの間引き)がされた場合、画像上に折り返しアーチファクトが生じる。同様に k - t 空間にてデータを間引いて高速化を図ろうとすると折り返しが x - f 空間上に生じる。



この問題は、分解能の低い、しかし、折り返しのない高速スキャンをトレーニングスキャンとして収集することによって、完全に展開することが可能である。



この図では training scan を事前に行っているが、撮影中に断続的に挿入することもできる(interleave)。→非周期的な動きの多いとき有効。

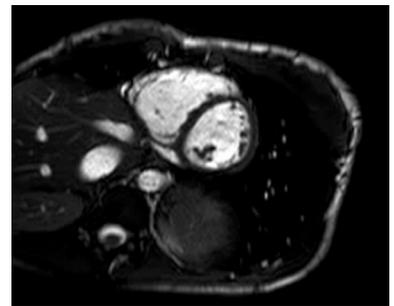
x - f 空間の情報を事前知っておくことによって、8倍速収集による折り返しを完全に取り除くことが可能である。このような方法でアーチファクトのないダイナミック画像が再構成される。

● クリニカルアプリケーションの展望

- ・ 心臓シネの高速化
(非息止め, 非ECG同期も可)
- ・ 整形領域, 消化管領域のリアルタイムシネでのキネマティックスタディ

k-t BLASTの原理より, すべてのダイナミックスキャンにおいて利点が考えられる。現在我々のリサーチサイトにおいて臨床データを集めている初期の段階である。最初にk-t BLASTが適用された領域は循環器領域である。k-t BLASTを使用することによって, 透視撮影のようなスピードで画像の収集が可能である。例として1ダイナミック37msで得られたリアルタイムシネ画像を示す(図5)。

図5 リアルタイムシネ画像

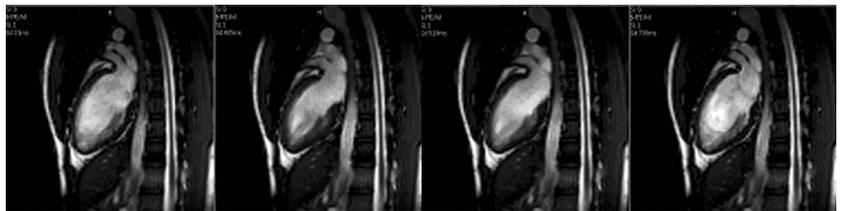


27 frames/sec
1.54 × 2.06mm² pixel size
TR/TE 3.70/1.85ms

また, R-R間を非常に細かく収集した心電ゲートシネ画像を下に示す(図6)。これは128フェーズを15秒の息止めで撮像されたものである。k-t BLASTを使用することにより, 高い空間分解能と高い時間分解能の両方を得ることができる。

図6 心電ゲートシネ画像

128phases
(frames per R-R interval)
1 image every 6.5msec
2.04 × 2.56mm² pixel size
TR/TE 3.2/1.43msec
(画像提供: 倉敷中央病院)



超高速化により事実上動きの影響をなくすことが可能となるこの手法は, 体幹部の他の領域への応用も期待されている。また, 整形領域においても複雑な関節構造のキネマティックスタディが, 高い時間分解能および高い空間分解能で可能となる。それだけではなく, スピードアップと高分解能化が要求されるすべてのアプリケーションにおいて, k-t BLASTの可能性は示唆される。

結論として, k-t BLASTはダイナミックイメージングで収集するデータを選択的に最小限まで減らすという, まったく新しいアプローチを用いた高速化技術である。トレーニングスキャンは, x-f空間に生じるゴーストを取り除くために使用される。このゴーストのないx-f空間をシンプルにフーリエ変換することによってダイナミック画像が作成されている。