

各種同期を理解しよう！ 同期撮像を学ぶ～臨床編～

座長 国立病院機構仙台医療センター 放射線科 立石 敏樹 (Toshiki Tateishi)

今回の東北放射線医療技術学術大会テクニカルミーティングMRI分野は、昨年につづき各種同期技術を探り上げました。昨年は、肝臓を中心とした呼吸同期技術と血管系を中心とした心電同期技術について解説しました。私が担当する2年間で、呼吸同期、心電同期などのコンビネーションにより動いているものを的確に捉える技術を身につけることを目標に進めてまいりましたので、今年のテクニカルミーティングは、臨床編として、腹部や心臓の撮像法について取り上げました。

今年は、同期技術を利用した際に、目的部位に対して、「動きを止めて?」「動きを合せて?」「早いスピードで?」といったテーマで、3人の演者をお願いしました。昨年、基礎編で解説した呼吸センサーを利用した呼吸同期法 (Respiratory Triggering)、ナビゲーターエコーを用いた横隔膜同期 (Navigator echo) 法を使って2Dや3Dでどう使い分けするか? という内容でかつの厚生病院の川又渉氏に解説していただき、特にK-space上の埋め方によりアーチファクトがどう変わってくるかを中心に解説していただきました。

また、腹部領域で1.5T装置と3T装置での同期技術の使い分けについて秋田大学医学部附属病院の水戸寿々子氏に解説していただきました。呼吸同期技術については、磁場の違いでは変えておらず、3T装置では、高分解能化、撮像時間の短縮の方向でプロトコールを組んでいるということでした。ただし、体内金属や大量の腹水があるときは注意が必要とのことでした。また、両演者より、腹部領域の高速撮像ということで、フィリップス社の Multi Vane、GE 社の

PROPELLERの特徴にも解説していただきました。

心臓領域は、仙台医療センターの三浦洋亮氏に呼吸同期のNavigatorの位置、gating windowの幅、呼吸位相についての最適な選択法、心電同期については、心位相の最適位置について解説いただきました。心臓領域については、時間の都合もあり冠動脈(MRCA)だけで物足りない部分もあったかと思います。今後、何かの機会に解説させていただければと思います。

会場からは、心臓のねじれ (twist) についての質問があり、冠動脈径への影響についてであった。現在の MRCA の分解能を考えると 1.5mm スライスデータのデータであるため、冠動脈の血管系を 3mm とすると狭窄があるかないかの判断しかできないと考えます。今後、s/n が高く高分解能の撮像ができることを切に願います。

近年、MRI 装置の高性能化や高磁場化により、機能検査や同期技術を使用した検査が増えてきています。各種同期技術を上手に使うことにより、アーチファクト低減や撮像時間の短縮等により、よりよい撮像が可能となります。そのためには、生理学的な知識も必要となり、病態や患者の状態によりシーケンスの工夫が必要です。呼吸と循環は、密接な関係にあり、呼吸を整えることで心拍も安定してきます。したがって、各種同期技術をうまく使いこなすためには、MR のシーケンスだけでなく医療人としての幅広い知識を身につけることが大切です。今回のテクニカルミーティングが、今後、臨床に活かせる一考察となれば幸いです。

最後になりますが、2年間どうもありがとうございました。

各種同期技術を理解しよう

かつの厚生病院 ○川又 渉 (Kawamata Wataru)

【はじめに】

同期撮像の第2回目という事で、今回は臨床編として、主に腹部領域の一般的な撮像に関しての同期法および3D撮像の留意点について解説する。当院で使用しているフィリップス装置の用語を用いた。

【同期法について】

腹部の撮像では、「動きを止めて」息止めで撮像する、「動きに合わせて」呼吸に合わせた同期を用いる。あるいは「早いスピードで」高速で撮像することが求められる。同期を用いる撮像には、呼吸同期と横隔膜同期が挙げられるが、横隔膜同期の方が精度は高い。しかし、撮像時間が呼吸同期の倍以上となる場合もあるので注意が必要である。

シーケンスは、スピンエコー法(SE)やターボSE法(TSE)、グラディエントエコー法であるフィールドエコー法(FFE)やターボFE法(TFE)などがあるが、SE法は一般的ではない。TSE法は、T1強調撮像時に実際のTRが延長してしまうので、T2強調撮像等TRの長い撮像にしか向かない。(Fig.1) また、TFE法は、実際のTR=Shot Duration (ターボファクターの数に設定TRを乗じた時間)となる為、呼吸の間隔に応じた設定が必要となる。(Fig.2)

【3D撮像の留意点】

一般的には2Dで撮像されるが、3Dで撮像することも少ない。3Dで撮像した場合、2Dに比較して面内の位相方向にアーチファクトを見かけることがある。3Dでは、k-spaceの

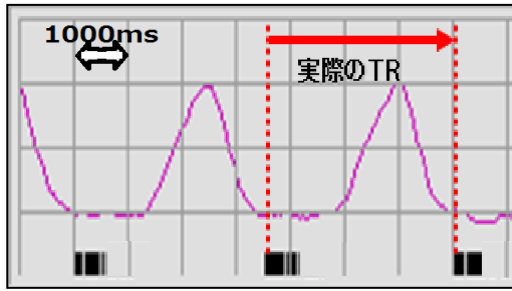
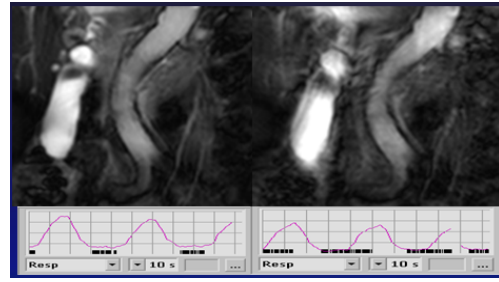


Fig.1 呼吸同期におけるTRの変化



1100ms 2200ms
Fig.2 Shot Durationの違い

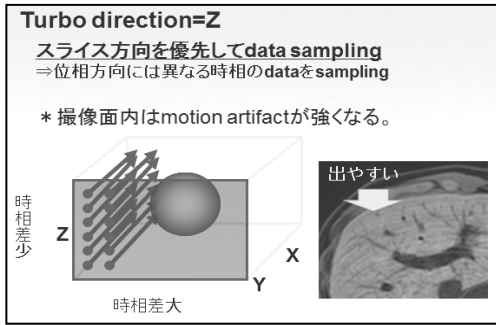


Fig.3 Turbo directionの埋め方

埋め方に特徴があり、位相方向やスライス方向でそれぞれに時相の差が大きいと、アーチファクトが出現しやすい。

Fig.3に、3D撮像においてk-spaceをリニアに設定、埋めていく方向をZ方向(スライス方向)にした時のk-spaceの埋め方、位相方向に見られたアーチファクトの出現画像を提示する。Z方向が先に埋められていくため、Y方向に時相差が生じることがうかがえる。撮像断面の選択に応じた、アーチファクトの出にくい設定を考慮する必要がある。

体動補正技術であるMulti Vane (k-spaceをradialに充填していく技術)を、腹部画像に適用した画像をFig.4に提示する。撮像時間は、パーセントの割合にもよるが、通常同期撮像に比べて大幅に増加するものの、画格的にはブレは少

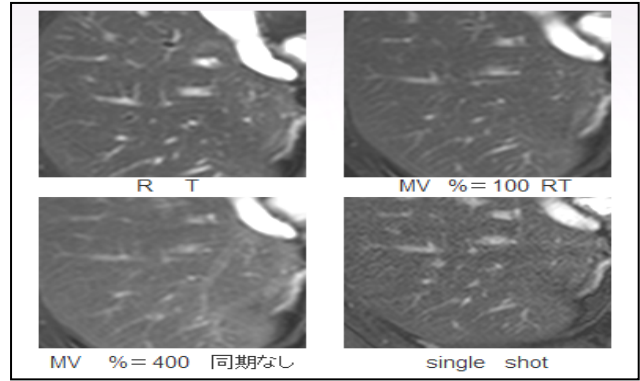


Fig.4 Multi Vaneと同期画像並びにSingle Shot画像

ないように感じる。不規則な呼吸が強すぎる場合には、使用してみることも一考と考えられる。

【結語】

腹部領域、主に肝臓等の撮像には、息止めが可能な場合は息止めで行う方が解像力は高い。しかし、高齢な方等、息止めが出来ない場合は、同期撮像を行う必要がある。呼吸同期と横隔膜同期の詳細は、第1回目に述べられているので割愛させていただくが、対象部位によって、適切なシーケンスを選択する必要がある。実際の呼吸をモニタリングし、ショットの数やTR等、適切な値を用いて検査に当たることが必要である。

各種同期技術を理解しよう

秋田大学医学部附属病院 中央放射線部 水戸寿々子 (Suzuko Mito)

【はじめに】

同期撮像の臨床編として、当院で使用しているGE社製装置の呼吸同期法と、1.5Tと3Tでの磁場強度の違いによる同期法の使い方について解説する。また、3Tで検査を行うには、その特徴を理解した上で撮像方法や条件の最適化を行うことが重要であるため、その特徴も含めながら肝臓T2強調画像、MRCPについて取り上げる。

【呼吸同期方法】

GEの同期撮像では、呼吸同期 (Respiratory Triggering) 法を使用する。この方法では、呼吸センサーとなるペローズを腹部に巻きつけ、吸気の時には伸び、呼気の時には縮むことにより呼吸波形として得ることができる。得られた波形の

Peakを認識して、呼吸の動きが少ない呼気時に撮像する。撮像プランを立てる際に、初めに現在の呼吸数をup dateすると、「Resp.Rate.」に呼吸数が入力され、実効TRが自動的に決定される。次に全スライスのデータ収集に必要な呼吸数「# Resp.intervals」を入力する。呼吸数は患者ごとに異なるため、1呼吸で撮像可能なスライス数も異なり、場合によっては数回の呼吸に分けてデータ収集しなければならない。Fig.1に設定スライスを10枚としたときの実効TRを示す。スライス励起はインターリーブ法で行われるため、始めのスライス群(奇数群)の収集を行った後、次の呼気時に別のスライス群(偶数群)のデータ収集を行う。このため、実効TRは $\text{Peak-Peak} \times \# \text{ Resp.intervals}$ (この場合 $2R-R$) となる。#

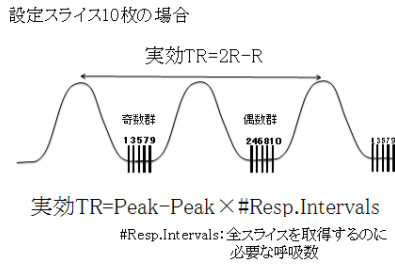


Fig.1 実効TR

Resp.intervalsの設定によってコントラストが異なるため、撮像枚数、撮像時間との兼ね合いを考慮して設定する必要がある。

次にTrigger pointとTrigger windowの設定方法をFig.2に示す。この値を設定することにより、患者ごとの呼吸パターンに合わせなくても呼吸時での撮像が可能である。

【3Tの特徴】

呼吸同期方法は、1.5Tと3Tは同様である。3Tの最大の特徴かつ利点は高S/N比であり、これにより高空間分解能化、撮像時間の短縮が可能である。3Tの特徴をTable 1に示す。この中で、組織緩和時間の違いにより、1.5Tと3Tでは画像コントラストが異なるため注意が必要である(Table 2)。

また、比吸収率(specific absorption rate:SAR)は4倍となることから、撮像条件の制限があり、撮像時間の延長につながる場合がある。

当院での1.5Tと3Tの使い分けは、体内金属有りの場合(3T可のものを除く)、多量の腹水の患者は1.5Tで検査を行うことにしている。多量の腹水は誘電効果の影響により、画像の信号低下が起こる。誘電効果には定常波効果と、伝導率効果があり、それによりRF磁場(B₁)の不均一が生じる。3Tにおける共鳴周波数は128MHzであり、波長が1.5Tの半分(水中で26cm)となる。そのためRF波の干渉が起こり、信号不均一が生じる。これは波長よりもサイズの大きい腹部領域で特に問題となる。また、伝導率効果は体内で発生する誘導電流がラジオ波を減弱させる現象で、多量の腹水、大きな嚢胞性病変などの場合には誘導電流が強くなりラジオ波の貫通性を低下させる。

【肝臓T2強調画像】

3TではT1緩和時間の延長、T2緩和時間の短縮により、水の信号が低下する。そのため、水とのコントラストを改善する

Table 1 3Tの特徴

S/N比	2倍	B ₀ に比例
磁化率効果	2倍	B ₀ に比例
化学シフト	2倍	B ₀ に比例
T1緩和時間	延長	
T2緩和時間	軽度短縮	
T2*緩和時間	短縮	
SAR	4倍	B ₀ ² に比例
RF磁場(B ₁)	不均一増大	

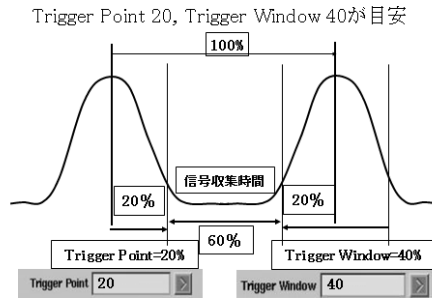


Fig.2 Trigger Point, Trigger window の設定

には長いTRの設定が必要となるが、呼吸同期の場合にはTRは呼吸により変動するため設定することができない。スライス枚数の確保、ブラーリングの影響やモーションアーチファクトの低減を目的として、広い受信バンド幅の設定が必要である。また、3Tはモーションアーチファクトの影響が大きく、脂肪抑制の併用を行うことでアーチファクトの低減につながる。

撮像条件を最適化することで、3Tでも1.5Tとほぼ同等の画質を得ることができる。1.5Tと3Tの臨床画像をFig.3に示す。

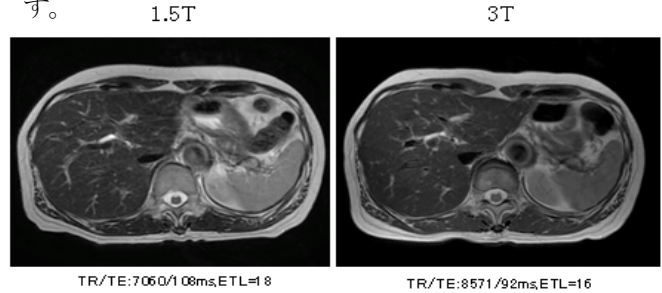


Fig.3 1.5T と 3T 呼吸同期 T2 強調画像

3Tでは水の信号が低下することにより嚢胞性病変、肝内胆管、膵管の描出が問題となる。また、嚢胞と血管腫のコントラストが若干低下することもあるため、充実性腫瘍との鑑別が困難になる場合がある。そのため、より水を強調したSingle shot 高速SE(SSFSE)法も診断に有用である。一方、肝転移や肝細胞癌では1.5T、3T同様にSSFSE法で肝臓とのコントラストが低下する場合がある(Fig.4)。そのため、肝臓T2強調画像は、呼吸同期法とSSFSE法を併用することが望ましいといえる。

【MRCP】

1.5Tから3Tへの磁場増強では、T2緩和時間の短縮による影響はあまり問題にならないといわれている。3Tの特徴

Table 2 組織緩和時間の違い

T1緩和時間 (ms)	Tissue	1.5T	3.0T	Δ
	Brain(WM)	556	699	+143
	Brain(GM)	1048	1209	+161
	Pancreas	584	725	+141
	Liver	586	809	+223
	Fat	343	382	+39
T2緩和時間 (ms)	Tissue	1.5T	3.0T	Δ
	Brain(WM)	79	69	-10
	Brain(GM)	76	65	-11
	Pancreas	46	43	-3
	Liver	79	61	-18
	Fat	58	68	+10

Lu H, Nasse-Petrovic LM, Dohy X, et al. Routine clinical brain MRI sequences for use at 3.0T T2s. J Magn Reson Imaging. 2011;13-22. (2009)
de Bazotje C, Dubois CE, Briller 194, et al. 4.0T magnetic relaxation times of abdominal and pelvic tissues measured in vivo at 3.0T preliminary results. Radiology. 230(3):682-689. (2004)

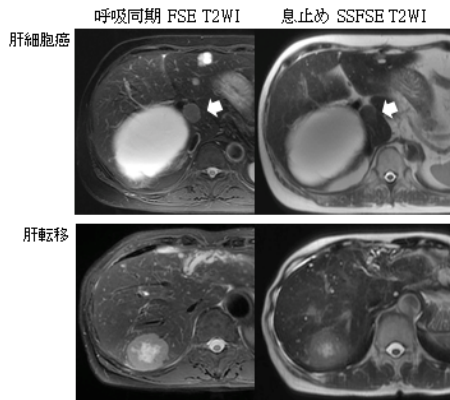


Fig.4 肝細胞癌、肝転移 臨床画像(3T)

- ▶ 実効blade幅(1つのbladeのETL数)

$$\frac{\{(ETL-4) \times \text{phase accel数}\}}{\text{over sampling factor}}$$
 - 中心部分 phase accel数:PROPELLERパレルイメージング
 - over sampling factor:折り返しアーチファクト防止
- ▶ 実効TE: bladeの中央の時点
(周波数,ETL,OSFから計算されるため変更出来ない)
- ▶ $N = ETL \times \text{blade数} = \text{matrix数} \times \pi / 2 = (1.5NEX)$
N: k-spaceを充填するために必要なデータ数

Fig.6 腹部 PROPELLER 条件設定

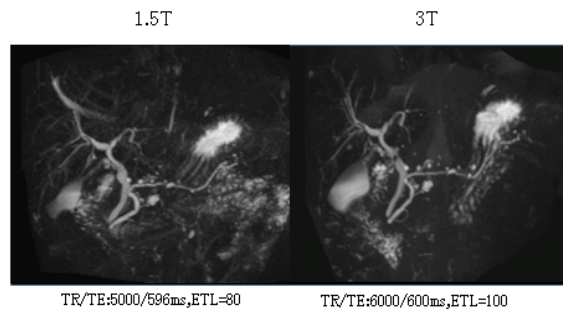


Fig.5 MRCP 画像比較

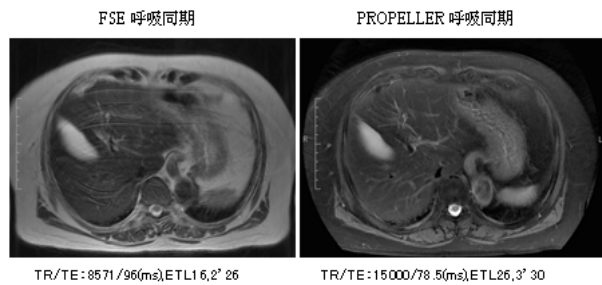


Fig.7 PROPELLER 臨床画像(3T)

である高いS/N比を生かし、広い受信バンド幅の使用、高空間分解能化が可能であり、撮像条件の最適化を行うことが重要となってくる。臨床画像をFig.5に示す。

一方、呼吸同期3D撮像は呼吸の影響が大きいいため、呼吸が不安定な場合には、撮像時間の延長や画像のボケの原因となる。その場合には息止めの2D撮像も有用である。角度を変えた画像を2枚～4枚程度撮像することにより、ステレオ視で観察することが可能である。

【体動補正技術:PROPELLER】

呼吸のリズム、振幅が一定でない場合には、体動補正技術であるPROPELLERを使用して撮像する方法もある。PROPELLERはRadial scanと高速SE法を組み合わせたもの

である。利点は、動き補正、複数Acquisition(呼吸数によりTRが長い場合に有用)が可能であることである。一方、欠点はStreak artifactなど特有のアーチファクトの出現や、ETL数などの設定により実効TEが変化しコントラストが変わることがあり、条件設定に注意が必要である。(Fig.6, 7)

【おわりに】

3Tの最大の利点は、高いS/N比とそれに伴う高空間分解能画像であるが、SARの問題から撮像条件などの制限もでてくる。また、1.5Tと3Tでは組織緩和時間が異なり、画像コントラストに違いがあるため注意が必要である。

呼吸同期方法は1.5Tと3Tでは変わらないが、3Tの特徴を理解し、撮像方法や条件の最適化を行うことが重要である。

各種同期法を理解しようー 同期撮影を学ぶ～臨床編～

仙台医療センター ○三浦 洋亮 立石 敏樹

【はじめに】

心臓のMRを撮影するには、呼吸の動きと心臓自身の拍動の2つの生理的な動きが問題になってくる。そこで、呼吸同期と心電同期といった同期技術をうまく活用することが求められる。今回は、MRCAのシーケンスに的を絞って、それぞれの同期法において各パラメータを変化させると撮影にどのような影響が出てくるのかを考えていく。

【呼吸同期】

MRCAで用いられる呼吸同期法はNavigator Echo法である。この同期法において、①Navigatorの設定位置②gating

windowの幅③呼吸位相の3点をそれぞれ変化させた場合の撮影への影響を考える。

①Navigatorの設定位置

Navigatorの位置をFig.1のように配置してMRCAを撮影した。その結果、Navigatorの設定位置によって画質に大きな差はでなかった。しかし、データ収集率や撮影時間に関しては心起部、心尖部が優れていることがわかった(Fig.2)。

②gating windowの幅

gating windowの幅が1,3,5mmの場合について検討した。

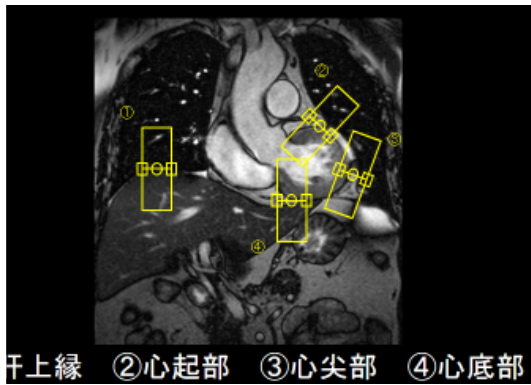


Fig.1 Navigatorの位置

gating windowの幅を狭くすると撮影時間が延長した。しかし、1mmと3mmの間に大きな画質の差はなかった。

③呼吸位相

吸気、呼気、自由呼吸下のそれぞれの場合について検討した。撮影時間、画質ともに呼気が最も優れていた。

【心電同期】

MRのガントリー内で心電図を測るとT波の上昇が見られる。このT波の上昇は正確な心電同期を行う上で不利となるため、MRでは相対的にT波の上昇の影響を小さくすることが可能なベクトル心電図を用いている。得られた心電図に同期し最適な心位相で撮影を行う方法が心電同期であるが、この最適な心位相について検討をしていく。

i. 最適な心位相

一般に心臓の撮影は、心臓の動きが少ない心位相で撮影することでブレのない画像が得られると考えられている。この動きの少ない心位相とは、HRが高い場合は収縮末期、HRが低い場合は拡張中期と言われており、最適な心位相は患者のHRに応じて選択する必要がある。

【参考文献】

吉川 和行,立石 敏樹他. 2009年「Whole heart coronary MRAにおける呼吸同期(Navigator)の検討」,日放技東北部会雑誌 第18号 pp.162

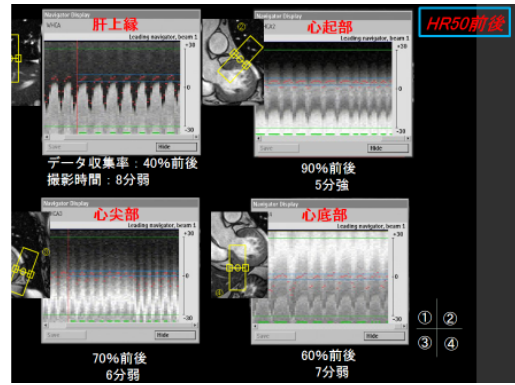


Fig.2 Navigatorの波形、データ収集率、撮影時間

ii. 最適な心位相からずれた撮影

心臓の模擬血管ファントムを用いた最適な心位相を基準にデータ収集タイミングを前後にずらすという実験の結果、データ収集タイミングが基準より前にずれるとより血管がブレて描出され血管径の認識が困難になる。しかし、後ろにずれる場合には若干の血管のブレが生じるものの血管径が認識できないほどではない。

【まとめ】

● 呼吸同期

Navigatorの位置は撮影時間、データ収集効率の点から心起部、心尖部が望ましい。gating windowの幅は撮影時間と画質の兼ね合いから、临床上は3mmが妥当であると言える。呼吸位相は、撮影時間、画質ともに呼気が望ましい。

● 心電同期

HRが低い場合は収縮末期で、HRが高い場合は拡張中期で撮影を行うのが望ましい。また、撮影のタイミングが最適な心位相から後ろにずれる分には画質に大きな問題は生じないという点も撮影の際のポイントとなると考えられる。