

腹部検査中心に活躍する3T MRI装置

3T MRI active in abdominal exam

原田邦明¹⁾ Kuniaki Harada / 尾藤良孝¹⁾ Yoshitaka Bito

穂山雄次²⁾ Yuji Akiyama / 神岡尚吾²⁾ Shogo Kamioka

中村優子³⁾ Yuko Nakamura / 粟井和夫³⁾ Kazuo Awai

1) 株式会社 日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット

2) 広島大学病院 診療支援部 画像診断部門

3) 広島大学大学院 医歯薬保健学研究科 放射線診断学研究室

ABSTRACT

2017年6月、広島大学病院に導入された3T MRI装置(株式会社日立製作所製)は、導入後1年が経過し、腹部検査を中心に活躍している。

同大学病院はMRI装置を4台保有し、全て3T装置であるのが特徴的である。

3T装置では体幹部、特に腹部領域の画像は信号強度やコントラストにムラが発生することが知られているが、それらを日立独自の技術で克服し、安定した腹部検査を実現している。

本稿ではそれらの技術紹介と広島大学病院の臨床画像、そして、共同研究内容の一つである息止めせずに静止した肝臓の画像を取得するNavi併用TIGRE (T1-GRadient Echo)を紹介する。

In June, 2017, the 3T MRI machine (Hitachi, Ltd.), was introduced at Hiroshima University Hospital, and it has been actively used mainly for abdominal examinations for one year since its introduction. It should be noted that the university hospital has four MRI machines, all of which are 3T machines. Abdominal images scanned by a 3T machine are known for nonuniform signal intensity and contrast. Hitachi has overcome the issues with its own technologies and realized more reliable examination of the abdomen. In this paper, we introduce those technologies, clinical images of Hiroshima University hospital, as well as Navi combined TIGRE (T1-GRadient Echo), one of the collaborative research contents, which acquires images of a liver that is stationary without stopping breathing.

Key Word: 3T, MRI, Hiroshima University hospital, TIGRE

3T MRI装置の特徴

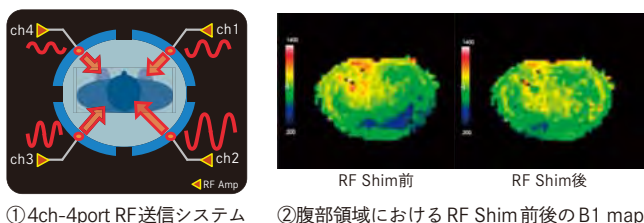
1. 4ch RF送信

3T MRI装置は1.5T装置よりも高周波RF (Radio Frequency) を使用するため、体幹部においてRF照射が不均一になりやすく、画像のコントラストや信号値を変化させ、診断に影響を来す場合がある。そこで、株式会社日立製作所製3T装置(図1)は、体幹部においても均一なRF照射を実現するために4つの独立したRF照射コイルそれぞれにアンプを配置した4ch-4portのRF送信システムを新たに設計した(図2、①)。そして、このシステムは検査開始直後にBlink scan (高速なB1 map計測)¹⁾により、僅か3秒で各チャンネルの振幅・位相を最適に調整(RF Shim)する。このRF Shimにより被検者の対

図1 和室イメージの検査室に設置された3T MRI装置 (広島大学病院)



図2 4ch-4port RF送信システムと腹部領域におけるB1 map



①4ch-4port RF送信システム ②腹部領域におけるRF Shim前後のB1 map

象検査部位に対し均一なRF照射を可能とし(図2、②)、比較的高いFA (Flip Angle) を使用する脂肪抑制パルスやFSE (Fast Spin Echo) シーケンスでも均一性が保たれ安定した腹部画質が得られることになる。また、頭部や四肢領域でもこの調整は有効であり、4ch-4portのRF送信システムを有した日立3T MRI装置は、全身において均一な画像が得られている。

2. 74cm ボア

水平磁場型のMRI装置の中では大口径となる74cm ボアは、従来の当社製品と比較して被検者周辺の空間が広くなり、これまで閉所恐怖症でMRI検査を受けることができなかったが、受診可能になったという感謝の声が寄せられるだけでなく、磁場の中心で撮像できる画質の安定性については上肢を中心に整形外科領域でその威力を発揮している(図3)。MRI装置ではボア内の磁場の環境はどこでも等しいわけではなく、送信、受信、傾斜磁場環境がボア内の中心で安定する。これまで肩関節の検査は磁場の中心から大きく離れた位置で撮像を強いられていたが、74cmのOVALボアでは、より中心に近いところにポジショニングが可能で、S/N、脂肪抑制、画像の歪みといった画質を大きく安定させる。

3. TIGRE

3-1. TIGRE シーケンス

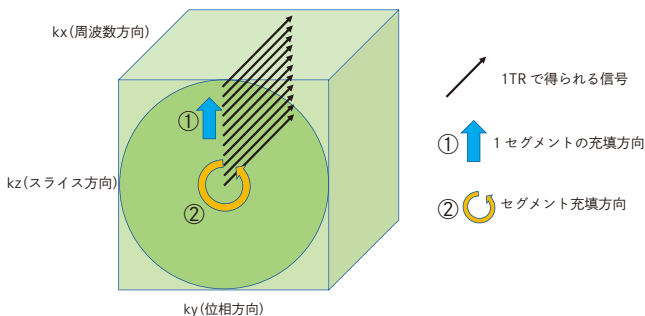
TIGRE (T1-Gradient Echo) は、周波数選択の脂肪抑制パルスを併用した3Dの高速T1強調RF-spoiled SARGE (RSSG) シーケンスで、RFの照射不均一に耐性があるH-Sinc脂肪抑制パルス*を併用することで均一な脂肪抑制効果のあるダイナミック撮像を可能にしている。脂肪抑制パルスはセグメントごと

* H-Sinc: RF照射を3分割し、間にT1緩和を取り入れた周波数選択型脂肪抑制パルス。B1不均一に強く広範囲に均一な脂肪抑制効果が得られる²⁾。

図3 74cm ボア



図4 TIGREのk空間データ充填方法



に印加されるため、脂肪抑制効果が効いているエコー信号は前半部分となる。そのため、エコー収集はk空間中心から辺縁に向かって充填する(図4、①)ことで脂肪抑制効果を保つことができる。また、(図4、②)のように各セグメントは撮像時間中、常に中心から辺縁に向かって繰り返されるため、コントラストは撮像時間の平均となるのが特徴である。この特徴は、撮像時間の前半または中心1/3などにコントラスト中心があるシーケンスと比べ、肝細胞癌に対するタイミングを外すことなく安定した動脈優位相が得られると考えられる。

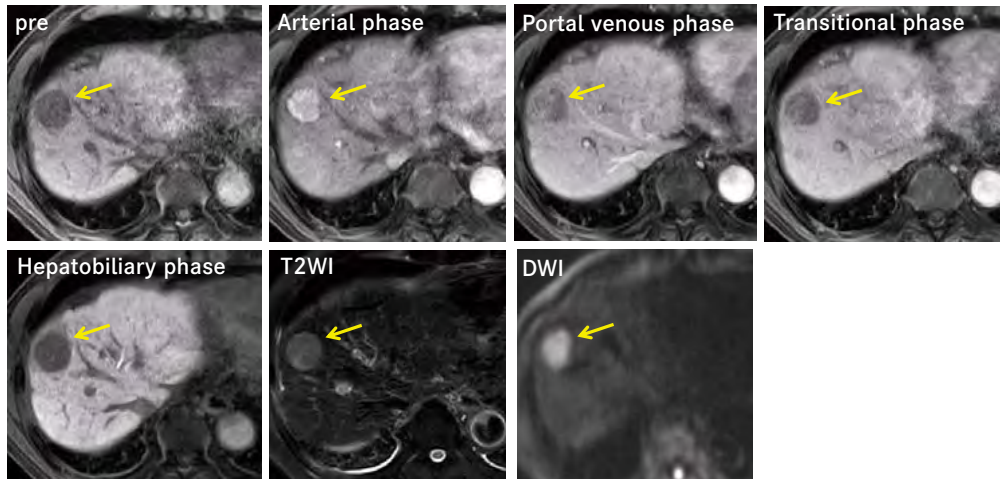
3-2. Dynamic撮像 (TIGRE)

これまで撮像時間内の限られた時間帯にコントラスト中心(20秒程度の撮像で5~6秒)があるSequentialやCentricといったシーケンスでは、動脈相を外してしまう症例が中には存在していた。また、動脈優位相の門脈に注目すると、造影剤が十分に到達している症例もあれば、全く到達していない症例もある。後者のように血行動態の遅い症例ではHCC (Hepatocellular Carcinoma) がまだ十分に造影されていない可能性がある。このような症例も安定的に撮像するには、撮像時間中にコントラスト中心を持たないシーケンスが肝臓Dynamic検査には向いていると考えられ、TIGREのコントラストは、撮像時間の平均としてデザインされ、より安定したDynamic検査が施行可能となる(図5)。

4. isoFSE シーケンス (MRCP)

3D MRCP (Magnetic resonance cholangiopancreatography) を目的とした呼吸同期併用isoFSE (3D FSE) は、撮像時間短縮のため非常に多くのEcho Factorを使用する。このデータ取得中に発生するT2減衰によるblurring効果を抑制するために、Variable Flip Angle (VRFA) により比較的低いFlip Angleを使用している。データはk空間の外側から中心へ向かって充填するAnti-centric Echo Allocation (図6) により、3D MRCPに重要なHeavy T2コントラストとシャープネスを両立させている。併せて本シーケンスにおいてもRF照射の均一性が画質に直結することになるため、4ch-4portシステムが生かされている。臨床では約3~4分の呼吸同期撮像で3D MRCPを撮像している。図7の症例は拡張した主膵管周囲に二次膵管が良好に描出されている。

図5 Dynamic TIGRE 臨床例



79 才男性
HCV 感染に対し SVR (sustained virological response) 後、HCC 既往あり。
中分化型 HCC (病理診断)

図6 isoFSE の Anti-centric Echo Allocation

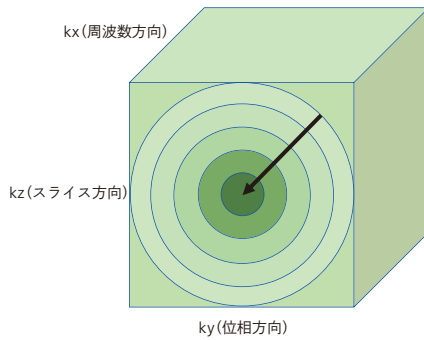


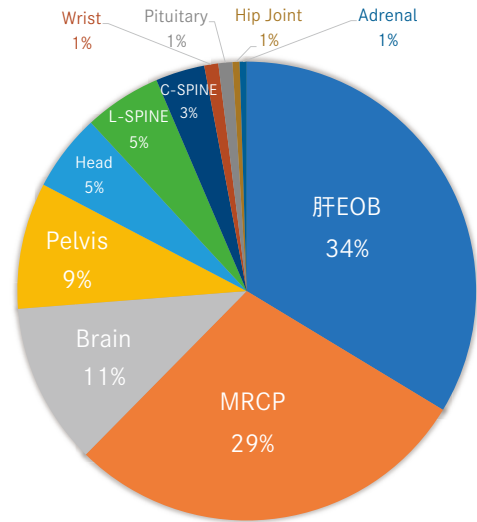
図7 MRCP 臨床例



広島大学病院における日立 3T MRI 装置の運用

2017年6月、広島大学病院に導入された3T MRI装置は、導入後一年が経過し、腹部検査を中心に活躍している。同大学病院はMRI装置を4台保有し、全て3T装置であるのも特徴的であり、要求される画質も高い。その中で3Tが最も苦手な領域とする上腹部領域を中心に検査が組まれている。特別な理由がない限り、肝・胆・膵の上腹部検査は日立の装置で実施する運用である。日立3T装置による上腹部画像は、均一性、S/N、コントラストにおいて導入時のテスト撮像で高く評価され、この運用に至った。1年が経過した現在にお

図8 広島大学病院における日立3T MRI装置の部位別検査割合



いてもこの運用は変わらず、図8に示すように運用されている。部位別検査割合では、肝臓EOB検査、MRCP検査だけで半分以上を占めており、日に上腹部検査だけで10件ある日も珍しくない。

共同研究

1. 共同研究の概要

日立製作所は共同研究を通じて上腹部画像のさらなる画質改善、臨床要望に応えるべく新たな撮像・解析方法の開発を行っている。また、2018年4月よりさらに研究開発を加速するために共同研究講座「先端生体機能画像開発」を発足させた。上腹部検査における諸問題の中から数々の臨床要望が発生する。中でも息止め不良例の画質劣化問題は、優先順位の高い問題であり、息止め撮像自体、被検者に与える負担も大きい。そこで、息止めなしに自由呼吸下で従来どおりの画質を得ようとするのが、現在共同研究中のシーケンスの一つである

Navigator技術を使用した「Navi併用TIGRE」である。

2. 共同研究 Navi併用TIGRE

腹部検査における息止め不良例では呼吸性のモーションアーチファクトにより画質が低下し、特にEOB肝細胞相においてはその影響は大きい。この問題に対し、自由呼吸下であっても呼気時の静止した画像同様のデータ取得を可能とするため、横隔膜Navigatorを併用したTIGREが開発されている。オペレータは、横隔膜に配置されたシリンダー型に励起された肝臓のプロファイルに呼気時の有効データ範囲をリアルタイムに調整することができる(図9)。この機能により、息止め不良による再撮像だけでなく、息止めの時間制限がないため空間分解能を向上させたデータ取得が可能となる。臨床上、息止め検査は一般的に20秒程度が限界であるので、息止め検査の空間分解能は息止め時間で決められる。例えば60秒程度の息止めができれば可能な高空間分解能撮像は、Navi併用TIGREを使用することで簡単に実現可能となる。Navi併用TIGREは、吸気時のデータは収集せずに呼気時のデータのみを収集するため、設定した撮像条件の約3倍の時間が必要とされるが、安定した肝臓の高空間分解能画像が得られる。

図10は、息止め検査の限界ともされるThickness 3mmであ

図9 Navi併用TIGREの調整画面

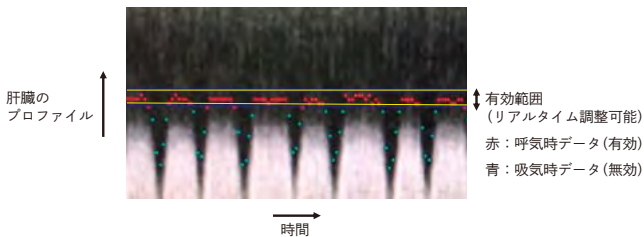
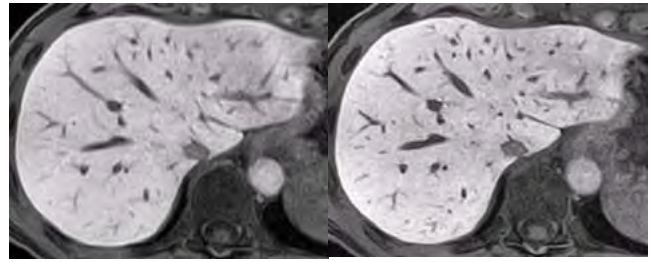


図10 Navi併用TIGREのEOB画像肝細胞相

左: 息止め/18秒 (Thickness 3mm)

右: 自由呼吸下/約5分 (Navi-TIGRE Thickness 1.8mm)



るが、Navi併用TIGREは1.8mmの撮像も可能にしている。

最後に

3T MRI装置の上腹部検査を中心に解説したが、頭部、椎体、四肢関節領域の画質も良好である。しかし、現在のMRI検査では当たり前とされている撮像方法に対し、共同研究を通じ、臨床要望を取り入れ、積極的に新技術を取り入れながら、より速く、快適なMRI検査へと開発を進める必要がある。そして、これら3T開発で培われた技術は、1.5Tや永久磁石装置にも反映させ、医のため、患者さんのためになる装置開発を進める体制である。

参考文献

- 1) 伊藤 公輔, ほか: T_1 緩和の影響を排除した高速照射磁場分布計測手法の開発. Medical Imaging Technology, 33: 118 - 123, 2015.
- 2) Abe T: Fast Fat Suppression RF Pulse Train with Insensitivity to B_1 Inhomogeneity for Body Imaging. Magnetic Resonance in Medicine, 67:464-469, 2012