

山口大学医学部附属病院 放射線部

山根正聰

はじめに

山口大学医学部附属病院では5台のMR装置を保有している。3T装置が4台(SIEMENS社 製MAGNETOM Skyra, MAGNETOM Prisma, MAGNETOM Vida, CANON Medical社 製Vantage Centurian)とハイブリッドオペ室に設置してある1.5T装置が1台(GE社 製Signa Artist)である。MAGNETOM Vida 3Tは2023年12月に、12年間使用した1.5T装置の機器更新に伴い導入された。MAGNETOM Vidaにはdeep learning reconstruction (DLR) 技術であるDeep Resolve (DR)、高速撮像技術であるCompressed Sensing (CS) やSimultaneous multi-slice (SMS) が搭載されており、従来よりも検査時間を短縮しながら画質を向上させることを可能にした。さらに、ワークフローの効率化を実現する技術も備えており、検査時間の短縮やスループットの向上に貢献している。

本稿では、MAGNETOM Vida 3T XA50に搭載された機能のうち、推奨したい機能について紹介する。

Deep Resolve

DRは、Parallel Imaging (PI) を高倍速に設定することで撮像時間の短縮を実現し、ノイズ低減技術であるDeep Resolve Boost (DR boost) と超解像技術であるDeep Resolve Sharp (DR sharp) を併用して画質向上を実現させている。DRは、AIを使用した高

MAGNETOM Vida 3T の先進技術と その臨床的有用性

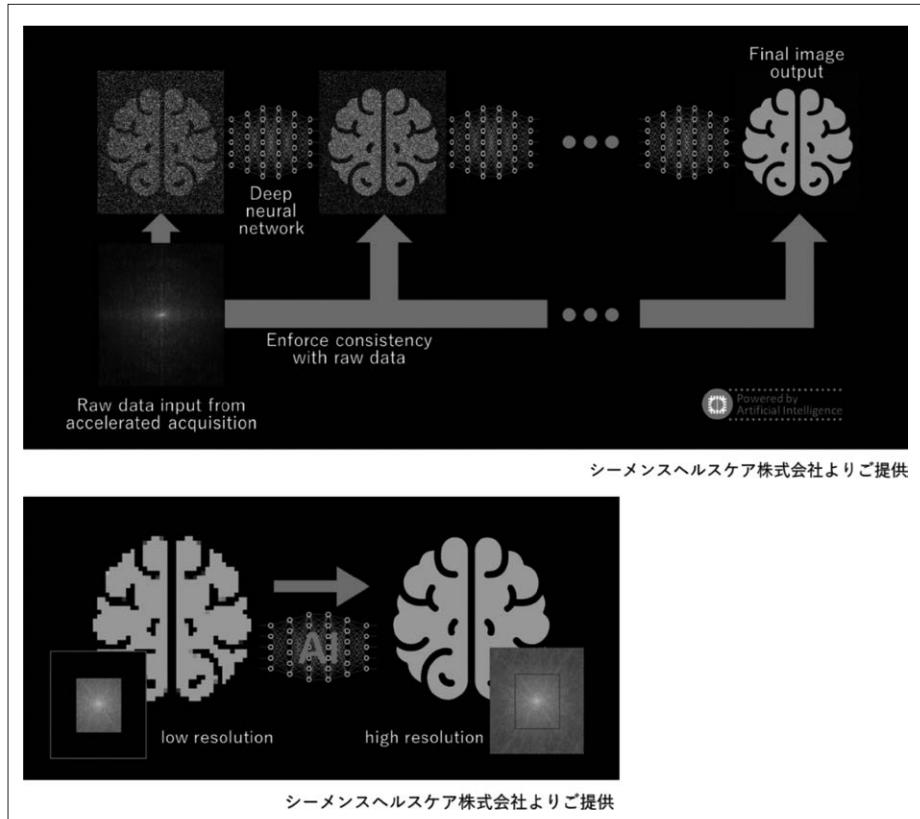


図1 Deep Resolveの概要 (ともにシーメンスヘルスケア株式会社よりご提供)

上 : DR Boostの概要

DR Boostは、従来のDL技術と異なり、1度のNetworkを介した処理ではなく、繰り返しDNNを介してノイズ低減とPIのアーチファクト低減を行う。画像コントラストの特徴を考慮して、シーケンスごとにそれぞれ学習データを用意してネットワーク構築が行われている。

下 : DR sharpの概要

低分解能データと高分解能データを学習したNeural Networkを用いて、低分解能な取得データから高分解能な再構成画像が生成される。

速化と超解像のパイオニアといえる技術であり、2DのPIであるGRAPPAに加え、SMSや3DにおけるPIであるCAIPIRINHAにも併用可能である。さらに、使用可能な撮像シーケンスも順次拡大しており、汎用性の高い技術となっている。加えて、装置本体にローデータが存在すれば、DRや感度補正フィルタのon/offや強度の変更、Golden-angle RAdial Sparse Parallel : GRASPIにおける時間分解能を変更して画像再構成が行えるRetro Recon機能も備わっている。

図1にDRの概要図を示す。学習データは、PIなしのfull sampling

データとPIを高倍速にしたunder samplingデータが使用されている。そのため、高倍速に設定してもPI特有のノイズを効率的に低減することが可能である(図2)。

DR sharpは、従来のzero filling interpolation技術を拡張した技術であり、k-spaceの高周波領域データをDR sharpによって算出することで、マトリクス数の増加だけでなく、実際の画像の高空間分解能化が可能となっている(図3)。トレーニング用画像として、多数の低分解能画像と高分解能画像のデータペアが使用されており、低周波領域には常に実データを充填することで、最終的に得られる画像のコントラストや解剖的構造がより正確に再現されるようなネットワークが構築されている(図4)。以下に上腹部の検査を例にとりDRの臨床的有用性を述べる。

上腹部の検査では、呼吸による動きの影響を抑制するため、息止めや呼吸同期(横隔膜や腹壁)で検査を行う。一般的には息止めで検査を行うが、息止めの成否は検査の質を大きく左右する要因となる。そのため、息止め可能な撮像時間を考慮し、画像の高空間分解能を低く設定した撮像条件となってしまう。当院では、脂肪抑制併用のT2強調画像において、従来画質を考慮しPIのreduction factorを2倍としていたが、現在は4倍に設定することで、撮像時間が21秒から14秒へと大幅に短縮された。

また、DR sharpの効果によって画像の鮮鋭度も向上していることが確認できる(図4)。

ガドキセト酸ナトリウム(EOB)のダイナミック造影検査において、動脈相はLiver Imaging Reporting & Data System: LI-RADSの評価項目にも挙げられておりその重要性は高い¹⁾。表1および図4に当院で撮像している上腹部の3D T1 VIBEダイナミック撮像シーケンスの撮像条件と得られた画像を示す。DR boostの効果によってSNRが改善するため、収集マトリクスは従来法の288から384と向上させている。また、3DシーケンスにおけるDR sharpはスライス方向にも超解像の効果をもたらすため、動脈相と門脈相ではスライス方向

の分解能を低下させることで撮像時間を短縮し、動脈相を8秒の息止めで2相(8 s/phase+prescan)、門脈相は8秒の息止め1相で撮像する設定とした。従来の動脈相は、keyhole imagingであるTWIST-VIBEを使用し、22秒の息止めで6相撮像していたが、各相間で動きや造影コントラストのコンタミネーションが生じるといった欠点があった。しかし、現在の撮像方法では各時相が独立しているため、お互いに影響しあうことなく、良好な画像を取得可能となった。また、長時間の息止め困難な患者やEOB投与後に生じる急性一過性呼吸困難(Transient Severe Motion: TSM)²⁾においても1相あたりの撮像時間が短いため、モーションアーチファクトの少ない良好な画像を取得できることが期待される(図5)。その他の部位においては、DRの効果によって従来と比較して画質は向上し、検査時間が最大で約50%の検査時間短縮が可能となった。DRを使用することで、短時間で高分解能の画像を提供できるようになり、患者の負担が軽減されるとともに、より精度の高い検査の実施が可能となった。

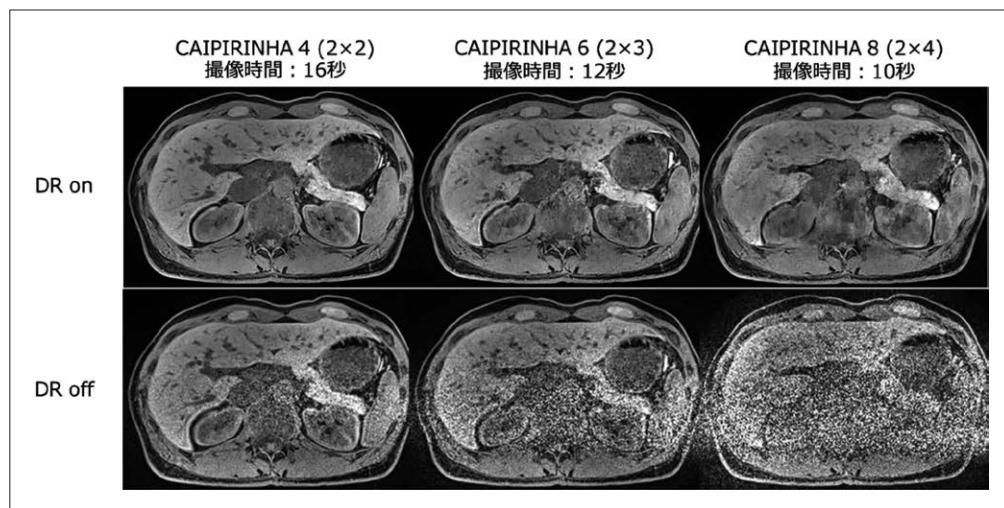


図2 腹部におけるDR boostの効果
DR boostの効果を示す。3D T1 VIBEのPIのCAIPIRINHAを高倍速に設定しても十分なノイズ低減効果が得られている。

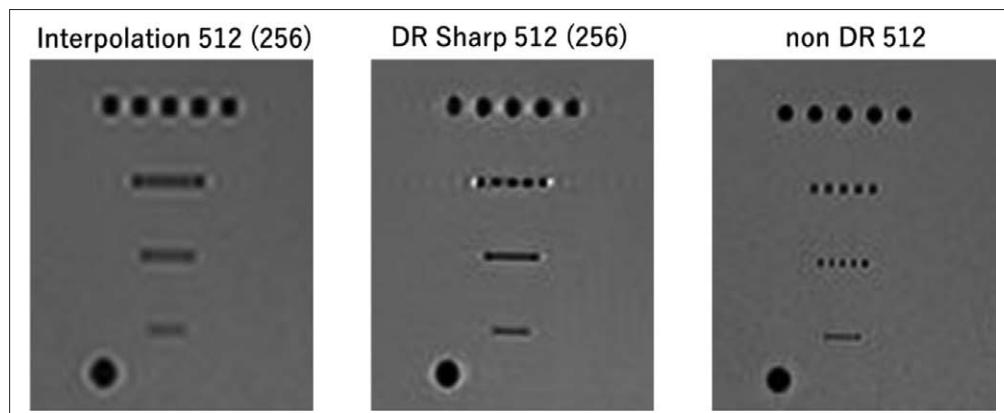


図3 ファントムによるDR sharpの効果の比較
同一の分解能であっても、DR sharpはinterpolationに比べ分解能が向上していることがわかる。



BioMatrix Select&Go

Select&Goは、ガントリ前面に配置されたタッチパネルで検査部位の名称を選択するだけで、目的部位をアイソセンターへ移動させ、そのまま検査に移行できる。従来のレーザーマーカーによる位置合わせに比べて操作性が格段に向上し、ワークフローの大幅な効率化に貢献している。また、寝台移動時に患者から目を離す時間が減ることで、手の挟み込みやチューブ類の巻き込み防止を確認する時間が増え、安全性の向上にも繋がる技術である。レーザーマーカーと比較し、ポジショニング終了後からアイソセンターに到達するまでの時間で、およそ40%時間短縮が可能となった。



BioMatrix Sensors

BioMatrix Sensorsは外部デバイスを使用せずに生体情報を取得できる機構である。Spine coilに内臓されているBioMatrix Respiratory SensorとBody Array coilに内臓されているBioMatrix Beat Sensorの2種類が搭載されている。Respiratory Sensorは、微弱な電流を流すことでの肺の体積が変化する際の磁場変動から、呼吸のパターンを検出する技術である。従来腹壁同期には、呼吸検出用のペローズと呼ばれるパッドを腹部に設置し、圧迫固定を行っていたが、Respiratory Sensorでは寝台に寝ることで呼吸の情報を取得可能なため、患者負担も低減できる。また、横隔膜同期が同期不良の際には、Respiratory Sensorに切り替えて撮像す

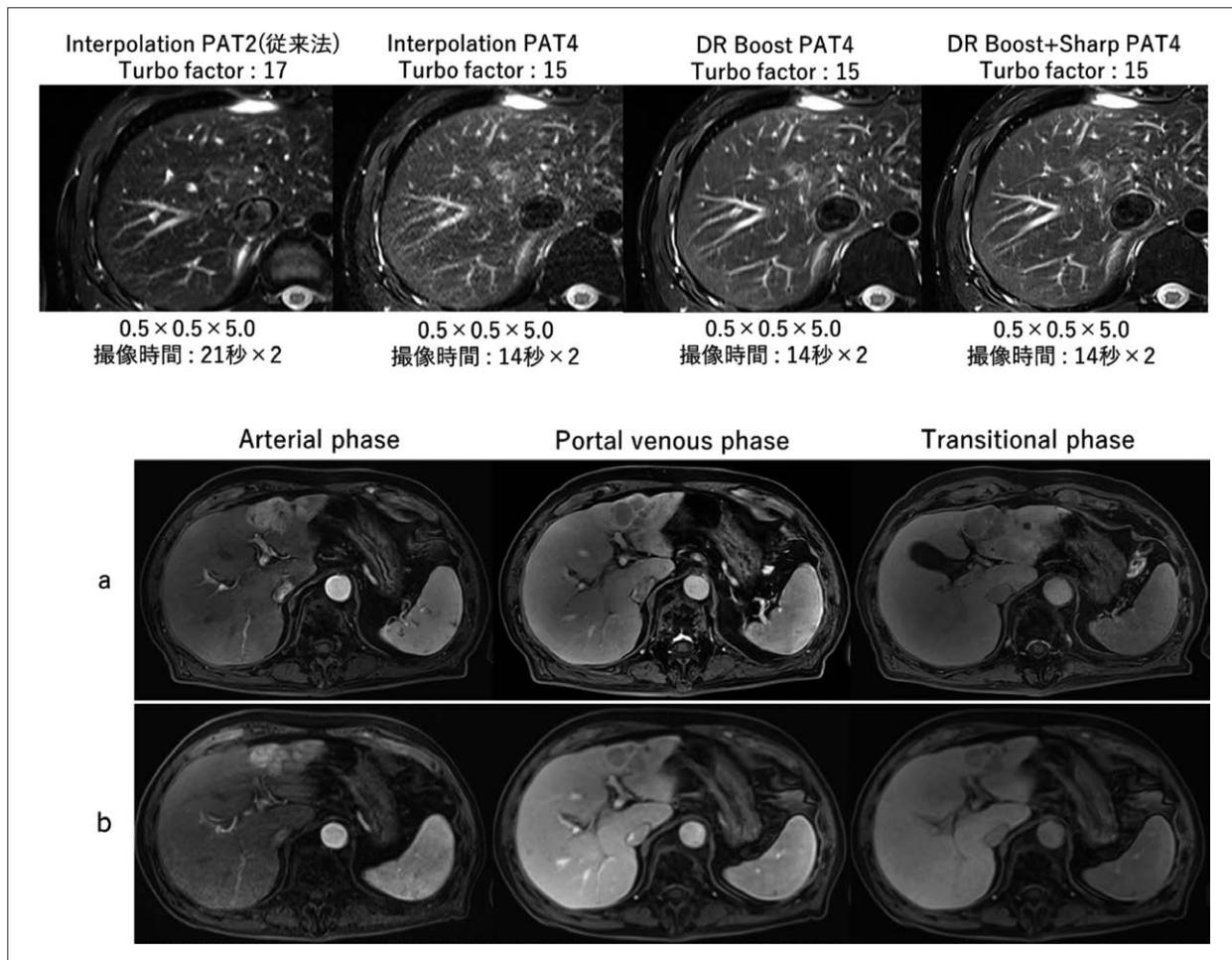


図4 脂肪抑制併用T2強調画像と3D T1強調画像におけるDRの効果

上：脂肪抑制併用T2強調画像におけるDR boostとDR sharpの効果

PIを4倍にすることで従来の撮像方法に比べて撮像時間は短縮するが、SNRは低下する。DR boostの効果によってSNRが改善し、DR sharpの効果で高分解能になっていることが分かる。

下：3D T1強調画像におけるDRの効果（肝細胞癌）

a : DRを使用した3D T1強調画像におけるEOB-MRIのダイナミック撮像

b : 従来 (TWIST-VIBE) の3D T1強調画像におけるEOB-MRIのダイナミック撮像

DRを使用することで動脈相ではSNRが顕著に向上し、全ての時相で病変が鮮明に観察できている。

ることで、検査時間の延長を防ぐとともに良好な画像を取得できる可能性もある。

BioMatrix Beat Sensorは、Body Array Coilに内蔵されたセンサーによって心臓の波形を検出する技術である。心臓MRIにおいて心電図同期は必要不可欠だが、心臓の動きによる電気信号を検出するため、筋電図や不整脈に伴う微弱な電位の取得による心電図波形のノイズ、さらには静磁場が3T以上の装置で度々観察されるガントリ内での誘導電流による心電図波形の乱れが画質低下の原因となる。Beat Sensorは、心臓の動きそのものを検出するため、従来の心電図同期で問題となっていた微弱な電位の変化や誘導電流の影響を受けることなく、良好な心臓の波形を取得可能となった³⁾。また、患者に直接心電図の電極を貼付する必要がないため、不快感を軽減できるうえ、セッティング時間の大幅な短縮にも貢献する技術である。当院では年間約180例の心臓MR検査を実施している。しかし、心電図の波形不良による電極の再貼付により、検査時間の延長や画質の低下をしばしば経験する。前述のように、3T装置では心電図波形不良が問題となるため、Beat Sensorはワークフローの改善や検査の質の向上に大きく貢献する技術となり得る。一方で、当院の仕様ではPhase Contrast法とCINEのみが適応のため、今後のシーケンス適応拡大に大いに期待している。

おわりに

本稿では、MAGNETOM Vidaに搭載されている技術のうち、Deep Resolve、BioMatrix Select&Go、BioMatrix Sensorsについて紹介した。Deep Resolveは、時間短縮、SNRの改善、高精細化を同時に実現する優れた技術である。Select&GoおよびBioMatrix Sensorsは、検査開始までのワークフローを大幅に効率化する技術である。これらの技術を組み合わせることで、検査全体の時間短縮が可能となり、患者の負担を軽減した検査の実施が期待できる。今後さらなる技術の進歩に期待を抱きつつ、より良い検査を提供できるよう、日々努力を重ねていきたい。

<文献>

- American College of Radiology. 2018, CT/MRI LI-RADS v2018.
- Matthew S. et al: Comparison of Acute Transient Dyspnea after Intravenous Administration of Gadoxetate Disodium and Gadobenate Dimeglumine: Effect on Arterial Phase Image Quality. Radiology 2013;266(2):452-61.
- Naokazu Mizuno et al: Clinical Experience with the BioMatrix Beat Sensor: Cardiac MRI Exams Without ECG Leads. MAGNETOM Flash 2024, 86(1)

表1 山口大学医学部附属病院における上腹部の3D T1 VIBEの撮像条件

	conventional T1 VIBE TWIST-VIBE arterial phase	DL T1 VIBE arterial phase portal venous phase	DL T1 VIBE pre contrast transitional phase hepatobiliary phase
TR (ms)	4	3.3	3.5
TE (ms)	1.27/2.5	1.22	1.25
Reduction Factor	CAIPIRINHA 4 (2×2)	CAIPIRINHA 4 (2×2)	CAIPIRINHA 4 (2×2)
Acquisition time (sec)	22 (3 sec/phase) 6 phase	18 (8 sec/phase) 2 phase (ap) 1 phase (pv)	16
FOV (mm)	360×281	360×281	360×281
Slice thickness (mm)	2.5	2.5	2.5
Matrix size	288×187	384×195	384×195
Slice resolution (%)	50	50	69
Flip angle (degree)	10	10	10

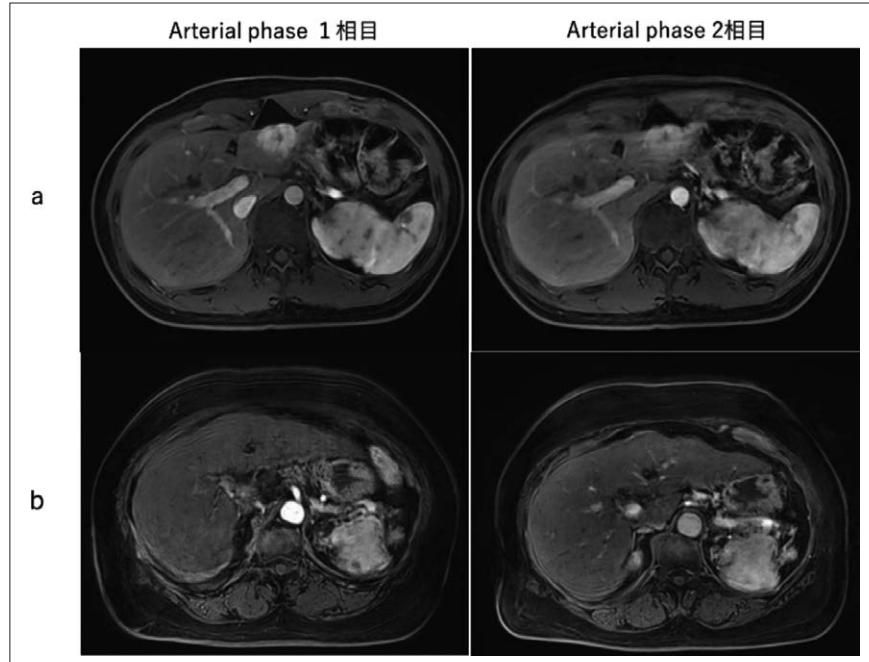


図5 cartesian収集による短時間多時相ダイナミック動脈相の呼吸アーチファクトに対する可能性

aでは動脈相2相目、bでは1相目でアーチファクトが発生している。a、bどちらも息止め不良の症例であるが、各時相が独立しているため、呼吸のアーチファクトが発生していない時相を取得出来ている。この方法は呼吸によるアーチファクト対策として有用である可能性がある。