

File No. 66

東京女子医科大学附属足立医療センター

樋口駿太郎

はじめに

東京女子医科大学附属足立医療センターは、許可病床数450床を有し、東京都の区東北部医療圏（荒川区・足立区・葛飾区など）に位置する地域災害拠点中核病院である。2022年1月1日に荒川区西尾久（旧：東京女子医科大学東医療センター）から足立区江北へ移転し、足立区初の大学病院として地域がん診療病院、地域周産期母子医療センターなどの機能も提供している。

当院では1.5T及び3TのMRI装置各1台、合計2台が稼働しており、頭部・脊椎・上腹部・下腹部・四肢関節・心臓・血管系・小児などの幅広い検査をおこなっている。移転を機に、導入より17年経過した1.5T装置をPHILIPS社製Ingenia 1.5T（図1）へ更新した。3次救急医療機関でもあるため、24時間体制で脳卒中、脊髄損傷疑いの患者にも対応している。このためMRI検査予約は常にひっ迫していたが、新たに導入したIngenia 1.5Tにより、検査時間の短縮とワークフローの効率化が実現され、予約待ち期間が改善された。

本稿では、Ingenia 1.5Tの導入から2年間の使用経験にもとづき、特に推奨したい機能について紹介する。

Compressed SENSE

Compressed SENSEとは、PHILIPSが長期にわたって改良を加えてきたParallel Imaging技術の1つであるSensitivity Encoding (SENSE) と高速化技術の1つであるCompressed Sensing (CS) を統合した、PHILIPS独自の高速化技術である。

Ingenia 1.5Tの導入とその臨床的有用性



搬入時



設置後

図1 Ingenia 1.5Tの外観

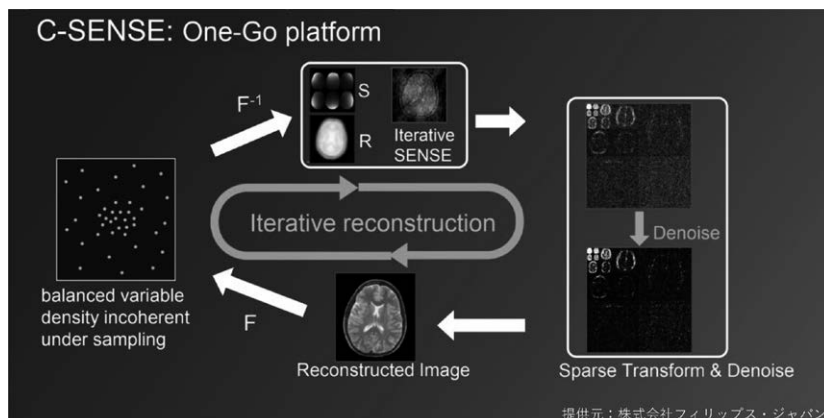


図2 Compressed SENSEの概念図

SENSEとCSは、データの間引き（アンダーサンプリング）により撮像時間を短縮しつつ、それによって生じるアーチファクトをそれぞれ異なる理論で展開あるいは除去する高速化技術である。SENSEは複数の受信コイルを利用し、各コイルが異なる空間的感度プロファイルを持つことを利用して、アンダーサンプリングによって生じるアーチファクトを展開する。一方、CSはMRIのスパース性を利用し、ランダムにアンダーサンプリングしたk空間データから、適切な閾値を用いて低信号成分の切り捨て（Denoising）を施している¹⁾。

上記のSENSEとCSを融合したCompressed SENSEは、逐次画像再構成アルゴリズムの中にSENSEとCSを一度の処理ステップで融合した“One-Go”方式（図2）を採用しており、コイルの正確な感度情報やコイル間の非相関性、測定対象の信号範囲、ノイズレベルなど、SENSEに必要な情報を最大限生かし、データの補完精度を高めている。また、“Optimized Variable-density Sampling”

というサンプリング技術を採用し、k空間の中心を密に、周辺を疎にランダムサンプリングすることで、画像の劣化を最小限に抑えつつ撮像時間の短縮を実現している。

使用経験から、Compressed SENSEがもたらす主な利点を以下に紹介する。

1. 高分解能化による画質改善

以前は17年前に導入された装置を使用しており、放射線科医師より高分解能化を求められていた。Compressed SENSEを併用することで、従来と同じ撮像時間にて、高分解能な画像が取得できている。

2. 撮像の高速化

幅広い撮像部位、撮像シーケンスに対応し、MRI検査全体の時間短縮に大きく寄与している。これにより、予約外の緊急検査にも柔軟に対応できるようになった。また、小児やMRI検査が苦手な患者に対しては、従来の分解能を維持したまま撮像時間の短縮が可能である。

3. 息止め時間の短縮

ほとんどのシーケンスで従来の分解能を維持したまま15秒以内の息止め時間で撮像可能となった。以前は20秒前後の撮像時間を必要としており、息止め不良にて、やむを得ず分解能を下げて再撮像することが度々あった。Compressed SENSEを使用することで再撮像は減少し、検査全体の時間短縮と画質向上が実現している。

この他にもCompressed SENSE がもたらす恩恵はたくさんあるが、Parallel Imagingのみを使用していた我々にとって、この撮像時間の短縮は非常に衝撃的であった。

SmartExam

SmartExamとは、人工知能 (artificial intelligence : AI) による自動スライス断面設定アプリケーションである。3D Smart Scoutを撮像し、スライス位置情報を学習させることにより、装置が自動で解剖学的ランドマークをもとにして撮像プランニングをおこなってくれる。当院では、頭部、脊椎（頸椎・腰椎）、肩関節、膝関節の撮像部位でSmartExamを使用している。脳卒中、脊髄損傷疑いの症例に対して、頭部、脊椎MRI検査が依頼される当直帯の緊急検査では、MRIの操作に不慣れな技師も撮

像を担当することがある。導入直後は新しい装置に対して多くの技師が不安を感じていたが、SmartExamの使用により、操作が簡便になり、撮像者の技量に依存しない再現性の高い撮像が可能となっている。

AutoVoice

AutoVoiceとは、撮像と連動する自動音声ガイド機能である。この機能は、息止め指示、テーブル移動時の注意喚起、シーケンスごとの撮像時間などを自動音声ガイドにより患者に伝えることができる。MRIは検査時間が長く、大きな音も生じるため、苦手とする患者が多い。このAutoVoiceによって、患者は検査の進捗状況を把握できるため、検査中の安心感を得られるという声が多い。息止め検査においては、シーケンス間の待機時間を設定することで、患者のタイミングを見計らってスタートボタンを押す必要がなくなり、ワークフローが向上した。また、AutoVoiceは30言語に対応しており、日本語を話せない患者に対しても正確な指示ができる。アナウンスのタイミングや種類、録音内容などは自由にカスタマイズできるが、当院では初期設定のみでもワークフローの改善に十分役立っている。

ScanWise Implant

ScanWise Implantとは、条件付きMRI対応デバイスを有する患者を安全に検査するためのガイドンス機能（図3）である。検査時に“MR conditional”というオプションを選択すると、デバイスの条件に応じた空間磁場勾配、SAR、B1+rms、Slew rateの上限値を設定できる画面が表示される。この機能により、撮像技師の経験やスキルに依存せず、MRI検査の安全性を確保できる。当院では、ペースメーカー、人工内耳、迷走神経刺激装置など、条件付きMRI対応デバイスを有する患者の撮像を実施しており、

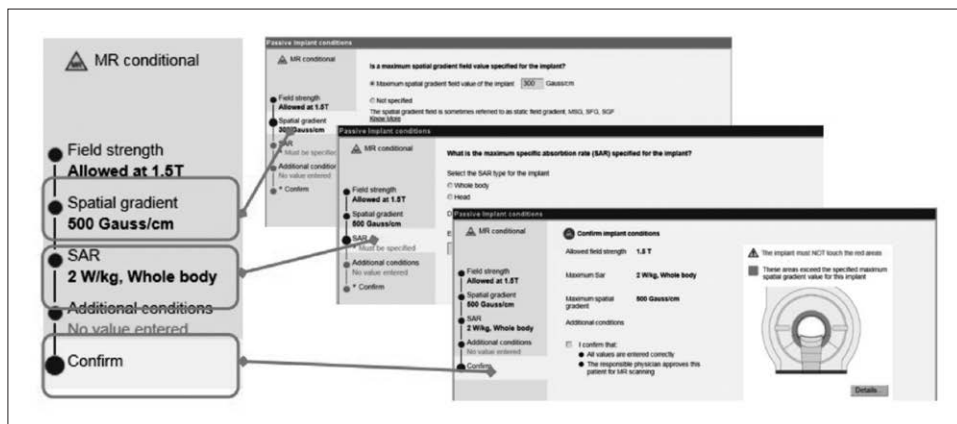


図3 ScanWise Implantのガイドンス例

ScanWise Implantにより、熟練したMRI担当者でなくとも安全な撮像条件の設定が容易になった。私は新人時代にベテランの先輩技師の後ろでパラメータ設定の理解に苦労した経験があり、当時はMRIの安全性に関する勉強に正直あまり興味をもてていなかった。しかし、この機能によりそのモチベーションが向上し、深い理解を促すきっかけになったと感じている。一方、ScanWise Implantにより新人技師でも安心して条件設定がおこなえるため、導入後に入職した後輩技師には羨ましさを感ずる。

dStream

dStreamとは、フルデジタルコイルシステムである。従来のRFコイルシステムは受信した信号をアナログデジタル変換器へ転送し、デジタル信号へ変換していたが、この過程で信号のロスが発生し、結果として画質の劣化が生じていた。dStreamではアナログデジタル変換器をRFコイルに内蔵することで、受信信号を直接デジタル信号に変換し、信号ロスを大幅に削減し、高いsignal-to-noise ratio (SNR) を有する画像を取得できる。この技術はSNRの増加による画質の改善だけでなく、SNRを担保した撮像時間の短縮も実現している。

臨床現場での使用経験にもとづく所感として、MRI担当者は一様に「画像が綺麗」と評価している。特に上腹部の息止めシーケンス画像において、ノイズの大幅な低減が即座に視認できるほどに改善された（図4）。Compressed SENSEとの併用により、以前の装置ではSNRの制約にて困難であった高分解能撮像においても、十分なSNRの画像を取得できるようになった（このように今までの経験では厳しいと思われた撮像条件でも十分高画質な画像を得られるため、初めは私自身の技術向上と錯覚していた…）。しかし、デメリットも存在する。体幹部用のコイルは重く、高齢者や妊婦、腹部圧迫感を訴える患者には、ポジショニングに注意が必要である。患者から「重い」との声も寄せられており、この点は今後の技術の進歩に期待が寄せられている。

今後の展望

数年後に我々は、SmartPath to Ingenia Evolutionのアップグレードを検討している。SmartPathは現在使用しているIngeniaシステムから新しいIngenia Evolutionシステムへの変更を支援するプログラムである。これにより新規システム導入に比べて、投資効果の最適化、装置寿命の延長、最新技術へのアップグレードなどが実現される。具体的には、SmartWorkflowソリューションやSmartSpeed AIなどが使用可能となる。

SmartWorkflowソリューションとは、MRI検査のプロセスを最適化・効率化するための様々なアプリケーションであり、前述したSmartExam、AutoVoice、ScanWise Implantもこれらにあたる。アップグレードにより、さらに以下のアプリケーションが使用可能となる。

- VitalScreen：バーチャルコーチによるガイダンス付き検査セットアップ機能
- SmartTouch：自動患者センタリング機能
- VitalEye：タッチレス呼吸トリガリング機能

このSmartWorkflowソリューションは、MRI検査の生産性と効率性の向上、患者中心の検査環境の実現を目的としている。これらの機能による自動化と標準化によって、MRI検査の一貫性と品質を保ちながら、検査時間の短縮、撮像者の負担軽減が期待できる。

SmartSpeed AIとは、近年注目されているPHILIPSの高速化技術である。これはCompressed SENSEにAIを融合させ、高速化・高分解能化をさらに推進する技術であり、ほぼ全てのシーケンスに対応している。リリースから2年が経過し（導入のタイミングを逸した当院であるが…）、昨年の国際医用画像総合展（ITEM2023）での稼働率と臨床実績の向上を目の当たりにして、この技術の有用性を感じている。特に注目すべきは、逐次画像再構成アルゴリズムの中にSENSEとAIを組み込んだ“One-Go Physics driven”タイプ（図5）の採用である。これはCompressed SENSEの“One-Go”プラットフォームにAdaptive-CS-Netを融合し



図4 従来のRF受信システムとdStreamシステムの画質の比較

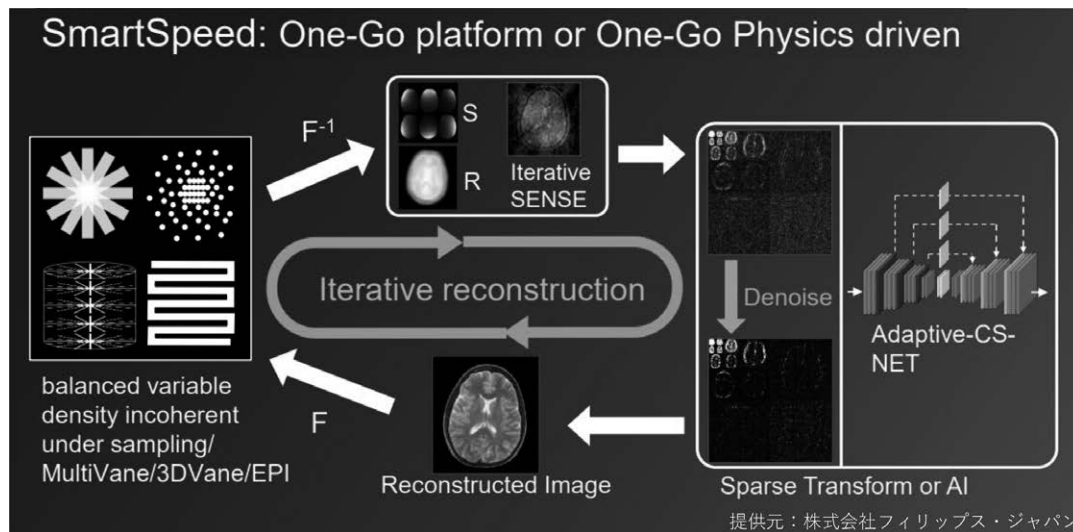


図5 SmartSpeed AIの概念図

た発展形であり、ノイズ除去の前後でデータの整合性を複数回にわたり段階的に図ることで、ノイズと実データを正確に区別し、効率的なノイズ除去を実現している。また、残りの未対応シーケンスであるMultiVaneとEPI-Diffusionについては、それぞれSmartSpeed MotionFreeとSmartSpeed Diffusionという名称でCompressed SENSEが適応可能となり、ほとんど全てのシーケンスで高速化・高画質化が実現されている。

おわりに

本稿では導入後2年以上にわたり使用してきたPHILIPS社製

MRI装置Ingenia 1.5Tについて紹介した。撮像技術進化の節目であるSENSEからCompressed SENSE、さらにはSmartSpeed AIに至るまでの歴史は、PHILIPSが高速化技術へ注いできた情熱と実績が感じられる。また、MRI検査の需要増加による高画質化や患者への快適な検査環境の提供が求められる中、私たちはこれからの技術進歩に迅速に対応する必要がある。私自身も急速に発展するMRI技術の習得に日々研鑽を積んでいる。この装置の導入を検討している関係者にとっても、私の経験が参考になれば幸いである。

<文献>

- 1) 赤嶺雄太ほか: MRIの最新トピックス「高速化&分子イメージングへのチャレンジ」, 映像情報Medical 2018;49:60-70