

圧縮センシングを用いた高速スピネコー法 3D 頸動脈プラーク撮像の基礎的検討

山本 哲也 山下 猛 小川 邦夫

概 要：頸動脈プラーク撮像において圧縮センシング技術を用いたCompressed SENSE (CS) と dS-SENSE (dStream Sensitivity) の画質を比較した。筋肉、脂質、出血を模擬したファントムをdS-SENSEとCS factorにより、高速SE-3D-T1WI脂肪抑制で撮像した。なお、CSを用いた条件では、CS factor及びdenoise強度を可変させた。脂質/筋肉と出血/筋肉の組織コントラストはfactor, denoise強度を変化させても差はなかった。健常ボランティアの血管内腔/胸鎖乳突筋のコントラストはds-SENSE factor1.2とCS factor1.2noに差はあったが、CS factorが小さく、denoise強度が強い方がコントラストは向上し、Blackbloodに描出された。CSはdS-SENSEと比べ、factorとdenoise強度の変化で組織コントラストを維持したまま、Blackblood効果が向上した。

索引用語：圧縮センシング, 頸動脈プラーク

Study of 3D imaging of fast spin echo method using compressed sensing for carotid artery plaque

Tetsuya YAMAMOTO Takeshi YAMASHITA and Kunio OGAWA

Key words : Compressed sensing, Carotid artery plaque

緒 言

圧縮センシングを用いたMRI高速撮像は2006年に提案され¹⁾、2016年頃から商用臨床機に搭載された比較的新しい技術である。今まで高速撮像の主流であった位相方向のデータを間引くパラレルイメージング法と同様に収集データを間引くことにより、撮像時間を短縮する。

頸動脈プラーク検査はT1-weighted image (T1WI) 脂肪抑制にて、プラークの性質評価ができる²⁾。血管内の血液信号を抑制し、広範囲が診断可能となる3-dimensional (3D) 撮像が有用である。しかし、3D撮像は2-dimensional (2D) と比べ、高分解能であるため

撮像時間が長く、嚥下によるモーションの影響が危惧されるため撮像時間の短縮が求められる。

本研究では3D頸動脈プラーク撮像において圧縮センシング技術を用いたCompressed SENSE (CS) と従来のパラレルイメージング法であるdS-SENSEの画質を比較し、特性を検討した。

圧縮センシング法について(図1)

k-space上で間引かれた元画像 (μ) を逆フーリエ変換 (F-1) する。得られた画像 (P_{n-1}) をスパース変換 (Ψ) し、denoise処理を経由し、スパース逆変換 (Ψ^{-1}) する。得られた画像 (P_n) を P_{n-1} と比べ、間引かれた情報を μ にアップデートする。この工程を繰り返す。

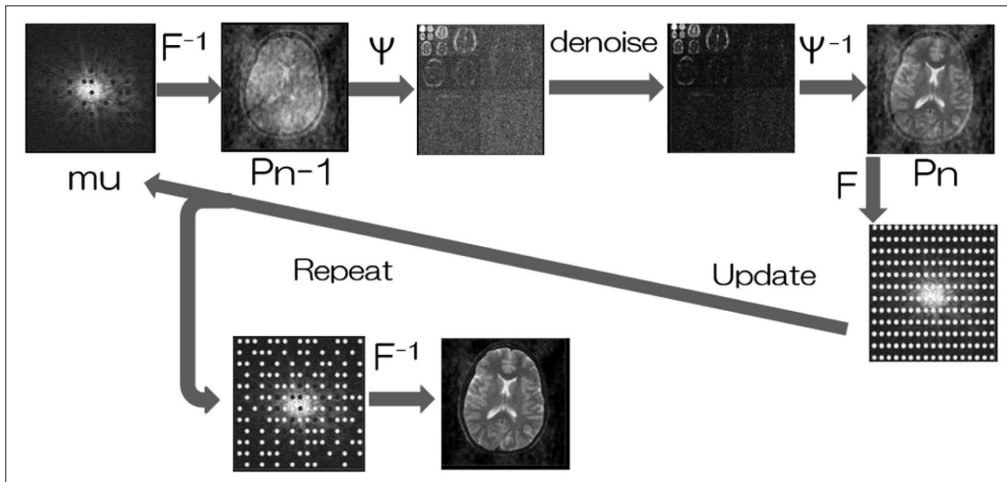


図1 Compressed SENSE overview

返し行い、より良い画像を再構成していく。

denoise 処理においては、ノイズを除去する閾値を決定し、ノイズを除去することができる。ユーザーサイドでノイズ除去強度が変更可能である³⁾⁴⁾。

方法

使用装置は Philips 社製 Ingenia1.5T (R5.4)，受信コイルは dS-HeadNeckCoil，解析ソフトは Image J を使用した。Gd 造影剤（ガドテル酸メグルミン）と agarose を用いて筋肉、脂質、出血を模擬した自作ファントムを作成した⁵⁾⁶⁾（表1）。

(1) ファントムコントラスト

MR 画像の信号値は Computed Tomography で言う CT 値（空気 -1,010 ~ -990 HU，水 0 HU，筋肉 35 ~ 50 HU）のようにほぼ一定ではなく、撮像条件や撮像環境が大きく作用し、異なる。よって、頸動脈プラーク評価は胸鎖乳突筋などを基準に正規化するため、この検討項目を取り入れた。

高速スピネコー 3D-T1WI 脂肪抑制（表2）を用いて dS-SENSE factor 1.2，CS factor 1.2, 2, 3, 4, 5, 6 と可変し、CS においては denoise 処理強度を no, weak, medium, strong に変化させ、ファントムを撮像した。得られた画像より、脂質/筋肉と出血/筋肉の組織コントラストを測定した。SI lipid は脂質の ROI 平均信号，SI muscle は筋肉の ROI 平均信号として、脂質/筋肉のコントラストは次式にて算出した。

$$\text{Contrast} = \frac{\text{SI lipid} - \text{SI muscle}}{\{(\text{SI lipid} + \text{SI muscle}) / 2\}} \quad \dots \text{式 1}$$

出血/筋肉のコントラストについても同様に算出した。

(2) Blackblood 効果

頸動脈内腔にあるプラークの評価は、血液信号が無い状況（Blackblood）が好ましいため、この検討項目を取り入れた。

同意を得た健常ボランティアの頸動脈を高速スピネコー 3D-T1WI 脂肪抑制の冠状断で撮像した（表2）。

表1 Figure of phantom structure

	Gd-DTPA (%)	agarose (%)	T1 value	T2 value
Muscle	0.01%	3%	1230ms	70ms
Lipid	0.1%	1%	337ms	100ms
Bleeding	0.05%	2%	578ms	81ms

表2 Parameters of 3D-T1WI Fat suppression

TR	400ms	Fat suppression	SPIR
TE	9.4ms	TSE factor	16
Flip angle	90deg	Voxel size	1mm*1mm*1.5mm
Refocusing control angle	40deg	Flow compensation	Sensitized

ds-SENSE factor1.2とCS factor1.2,3 (denoise処理強度をno, weak, medium, strong)とした。血管内腔(分岐, 近位, 遠位)／胸鎖乳突筋のコントラストを式1と同様に求め, Blackblood描出を検討した。

(3) 視覚評価

健常ボランティア画像の診断の可否について5段階(score5:高画質で診断可能であり, 信号値に十分な余力がある, score4:診断可能であり, 余力がある, score3:診断可能である, score2:診断不可ではないが, 再撮像が望ましい, score1:画像診断不可であり, 再撮像が必要である)で視覚評価を行った。評価者は7名(放射線科医2名, 診療放射線技師5名), 検定はフリードマン検定とシェッフェ検定を用い, 危険率は5%とした。

結果

(1) ファントムコントラスト

ds-SENSE1.2, CS factor1.2,3,6とdenoise処理強度を変化させたファントム画像を図2に示す。左上が筋

肉, 中央下が脂質, 右上が出血の模擬組織である。

脂質／筋肉と出血／筋肉の組織コントラストの結果を図3に示す。ds-SENSE1.2とCS1.2noは同等となった。また, factorの変化, denoise強度が違ってても大きな差はなかった。

(2) Blackblood効果

健常ボランティアにおいてds-SENSE 1.2, CS1.2,3とdenoise処理強度を変化させた, 血管内腔分岐／胸鎖乳突筋のコントラストを図4に示す。健常ボランティアのBlackblood効果はds-SENSE factor1.2とCS1.2noに差はなかったが, CS3noは低下した。denoise処理強度が強いほど向上した。遠位と近位も同様の傾向となった。

(3) 視覚評価

ボランティア画像を図5に示す。視覚評価の結果を図6に示す。視覚評価はds-SENSE 1.2とCS1.2に比べ, CS3が劣った。また, CS1.2strongはCS3の各々と有意差があった。

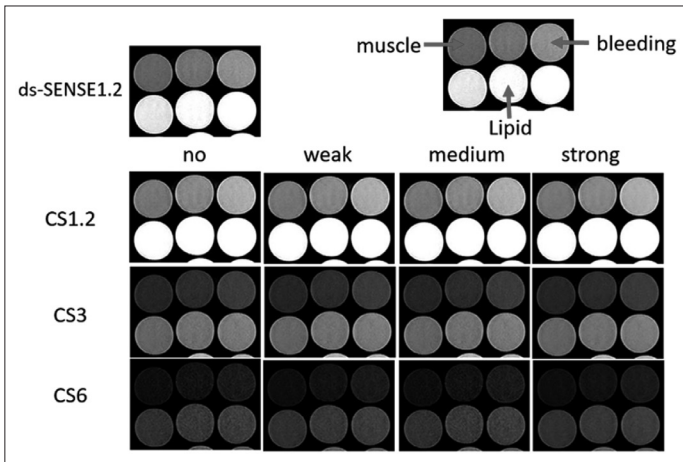


図2 Phantom images of T1WI Fat suppression

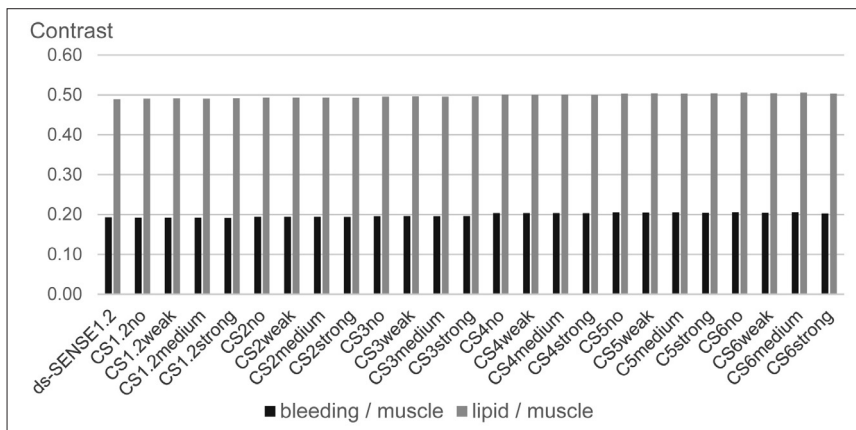


図3 Contrast of bleeding / muscle and lipid / muscle

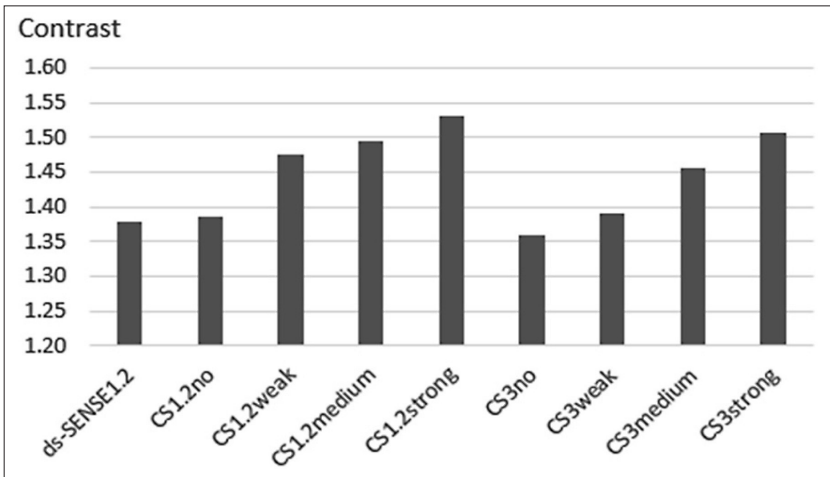


図4 Contrast of intravascular lumen / sternocleidomastoid

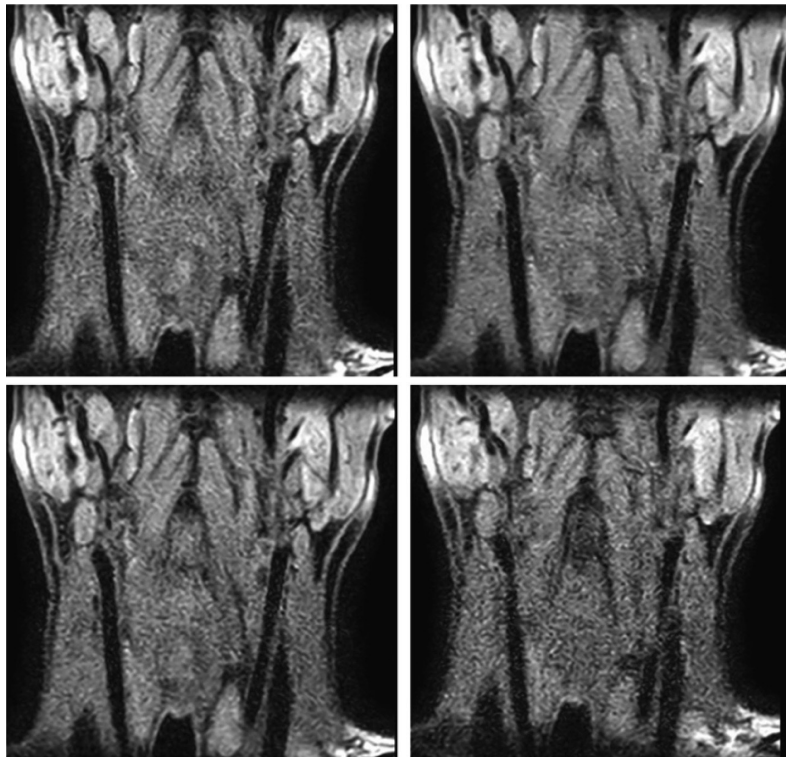


図5 T1WI of carotid artery

ds-SENSE1.2	CS1.2strong
CS1.2no	CS3strong

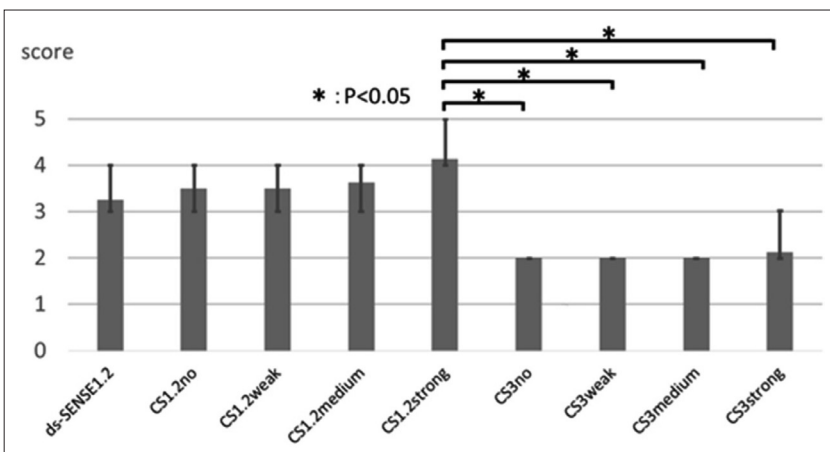


図6 Visual evaluation

考 察

模擬組織の信号比 (= 信号値/ノイズ) はCS factor を上げると低下し, denoise 処理強度を変化させると no, weak, medium, strong 順で上昇した. 組織のコントラストに変化がなかったのは, 各々の組織信号が同じ比率で変化したためである.

CS factor を上げるということは収集データを間引く割合が大きくなるということである. ds-SENSE factor1.2とCS1.2noは間引き割合が同等であるため差がなかったが, CS3noでは間引く割合が大きくなり, CSを用いても信号値が復元できず, 信号比として低下したと考える. また, denoise 処理強度を上げることでノイズレベル値にある血管内腔の淡い信号が除去され, Blackblood効果が上がったと考える.

結 論

ds-SENSEと比べ, CSはfactorとdenoise処理強度を変化させても組織コントラストに差はなかった.

CSにおいて適切なfactorとdenoise処理強度の組み合わせにより, Blackblood効果を向上させた画質を得ることができた.

倫理委員会承認

許可委員会名: 島根県立中央病院 臨床研究・治験審査委員会

研究許可年月日: 平成30年11月5日

許可番号: 中臨 R18-065

研究演題名: 圧縮センシングを用いた高速スピエンコー法3D撮像による頸動脈プラークの評価について

参 考 文 献

- 1) Lustig M, Donoho DL, Pauly JM: Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging. Magn Reson Med 2007; 58: 1182-1195
- 2) 渡邊裕司: 頸動脈プラーク診断. 日獨医報2008; 第53巻 第2号: 203-217
- 3) 寺田康彦, 中尾 愛, 中込真優: 圧縮センシングMRIの基礎 JJMRM 2018; 38: 61-75
- 4) 玉田大輝: 圧縮センシングのMRIへの実装 JJMRM 2018; 38: 76-86
- 5) 浦田哲弥, 山本英孝, 生田尚明, 打越将人: 頸動脈プラークMRIにおける3D-TSE (SPACE法) の有用性. 日放技学誌2012; 68: 8117-879
- 6) 中 孝文, 高橋光幸, 秦 博文: T1強調画像を用いた頸動脈プラーク評価: 撮像装置・条件が与える信号強度比への影響. 日本磁気共鳴医学会雑誌2014; 34: 86-91