

はじめてのCompressed Sensing

東京女子医科大学病院

後藤 康裕

はじめてのCompressed Sensing

- Compressed Sensingの基礎
- Compressed Sensingの臨床応用

Compressed Sensingの基礎 1

- 圧縮とは
- Compressed sensingとは
- MRIにおけるCompressed sensingとは

Compressed sensing(CS)

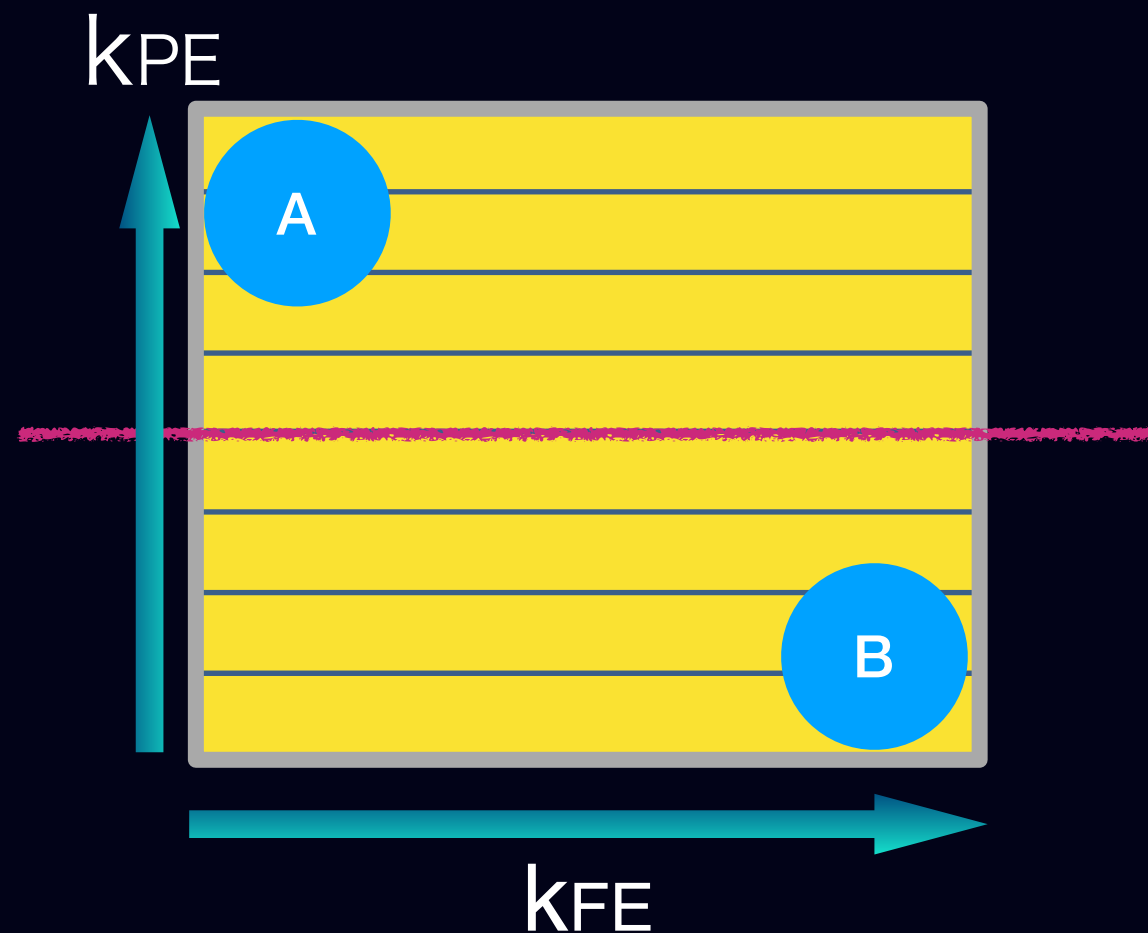
圧縮 技術

圧縮 : いらな (無駄な) 情報を省く

- 全データの中に無駄なデータ(あってもなくても視覚的に判別できない)
 - ➡このような部分が多い全データをスパース (疎な) データと呼ぶ

MRIとCS

共役（エルミート）対称



k空間 → スパース性が高い

MRI： いらない（無駄な） 情報を取得しない

少数サンプリングで撮像時間を短縮

MRIとCS

スパース性が高いデータとは・・・
白と黒がはっきりしている (0か1か)

MRA (血管内が1でそのほか0)

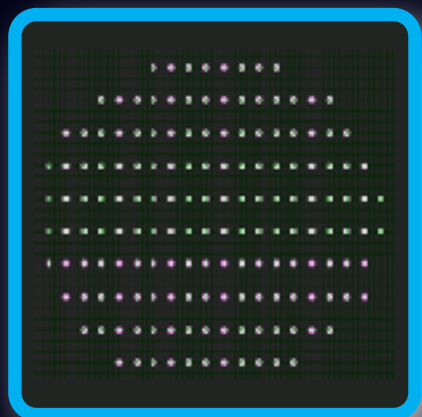
MRCP

心臓CINE

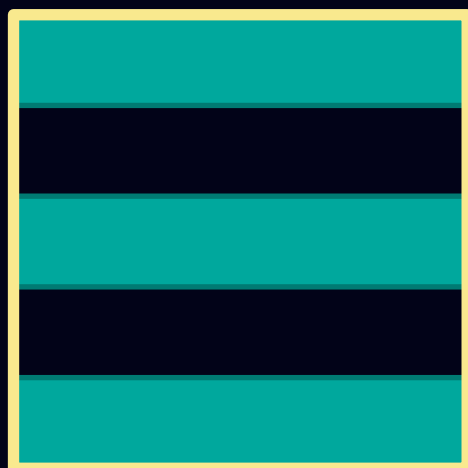
白黒くっきりしている部位はMRIでCSを利用しやすい

Compressed Sensingの基礎 2

- ランダムサンプリング
- スパース変換
- Iterative reconstruction (反復再構成)



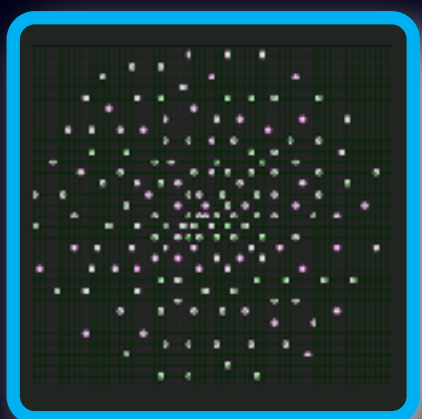
規則的なサンプリング



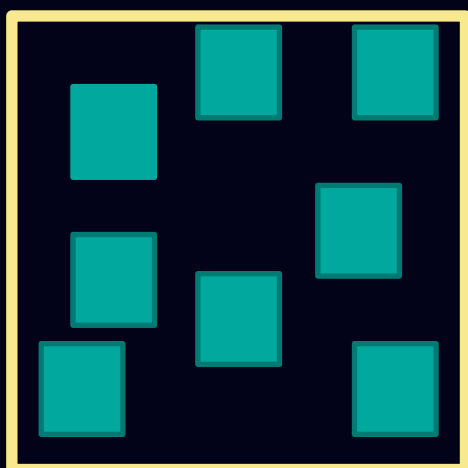
motion artifact



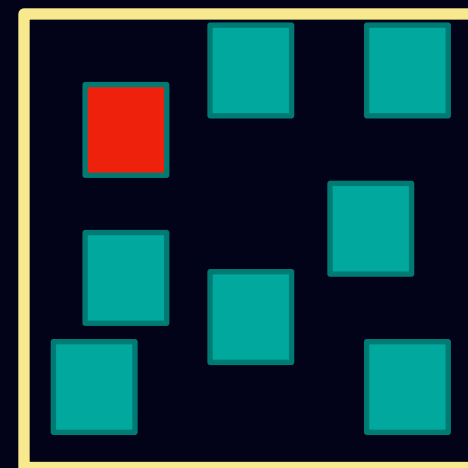
規則的な動きがアーチ
ファクトになる



ランダムサンプリング



motion artifact



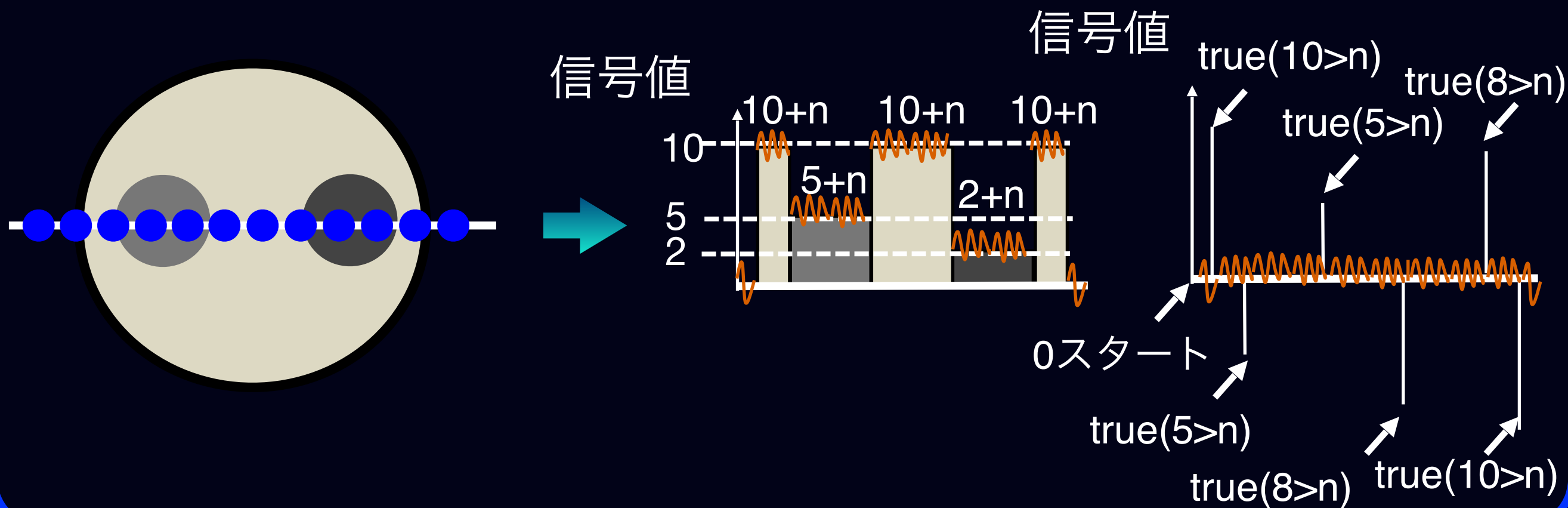
規則的な動きが
ノイズになる

ランダムサンプリングで
モーションアーチファクトをノイズに変える

スパース変換 (wavelet変換)

逆フーリエ変換

スパース変換



ノイズが混入

スパース空間は本物の信号を見つけやすい

➡アーチファクト、ノイズをカットしやすい

Compressed Sensingの基礎 2

- ランダムサンプリング

アーチファクトをノイズ様にする

- スパース変換

信号値とノイズを区別しやすい

- 反復再構成

ノイズ除去のための繰り返し処理を行う

アーチファクトとノイズを区別

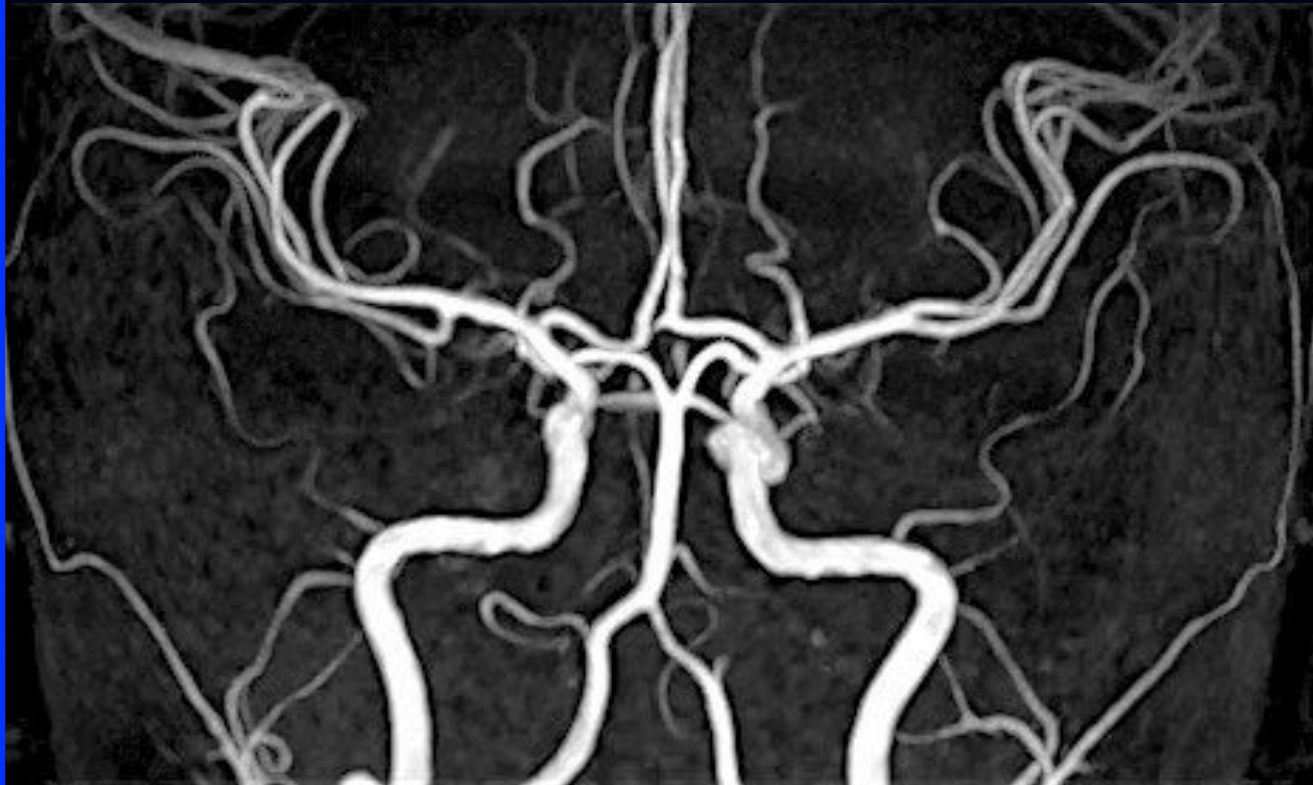
効果的にノイズを除去 $\equiv$ 全サンプリング画像

C-SENSEの臨床応用

1. 高速化
2. 高分解能化
3. アーチファクト低減

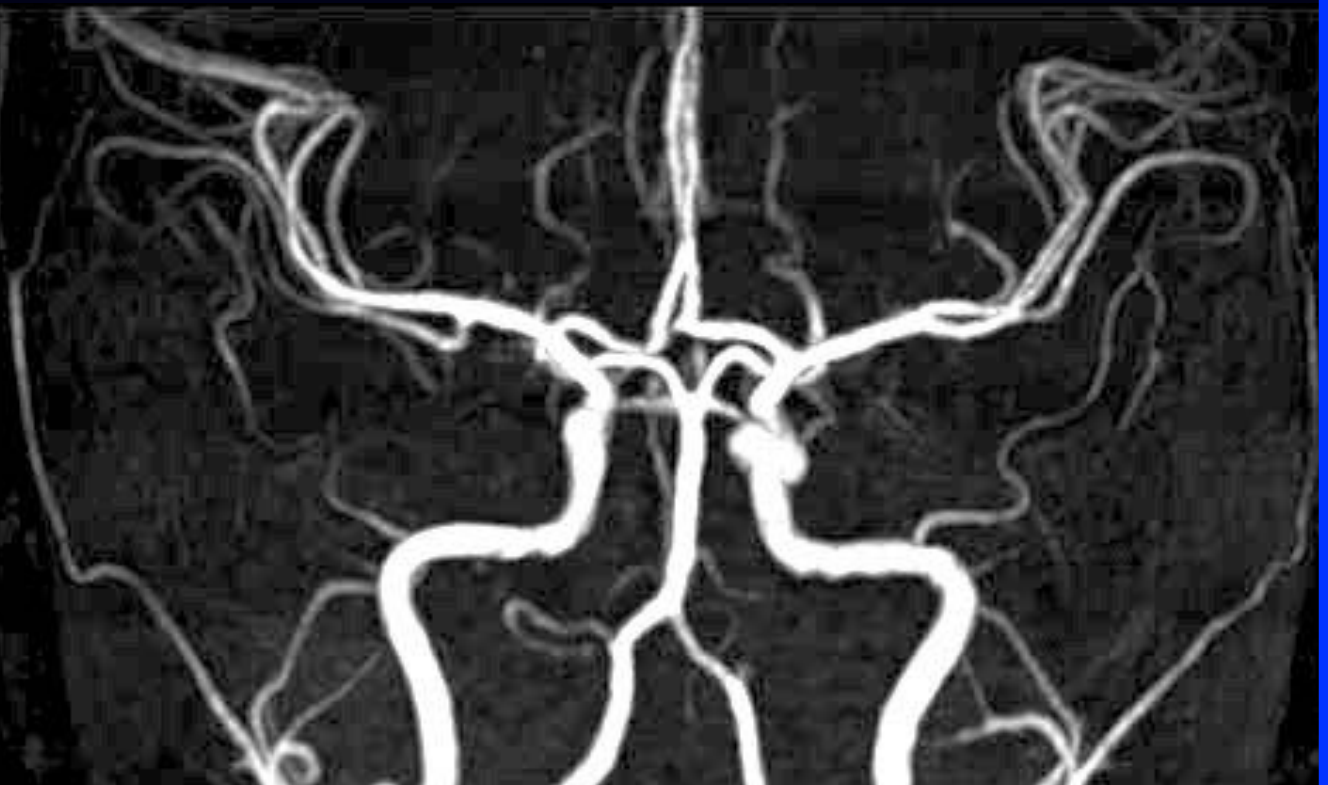
C-SENSEを用いた頭部MRAの高速化

SENSE-factor 2.2



撮像時間 4m 57s

C-SENSE-factor 5.3



撮像時間 2m 04s

撮像時間は60%短縮され、臨床への影響は少ない

C-SENSEを用いた頸部MRAの高速化

SENSE-factor 2.2



撮像時間 7m 02s

C-SENSE-factor 5.3

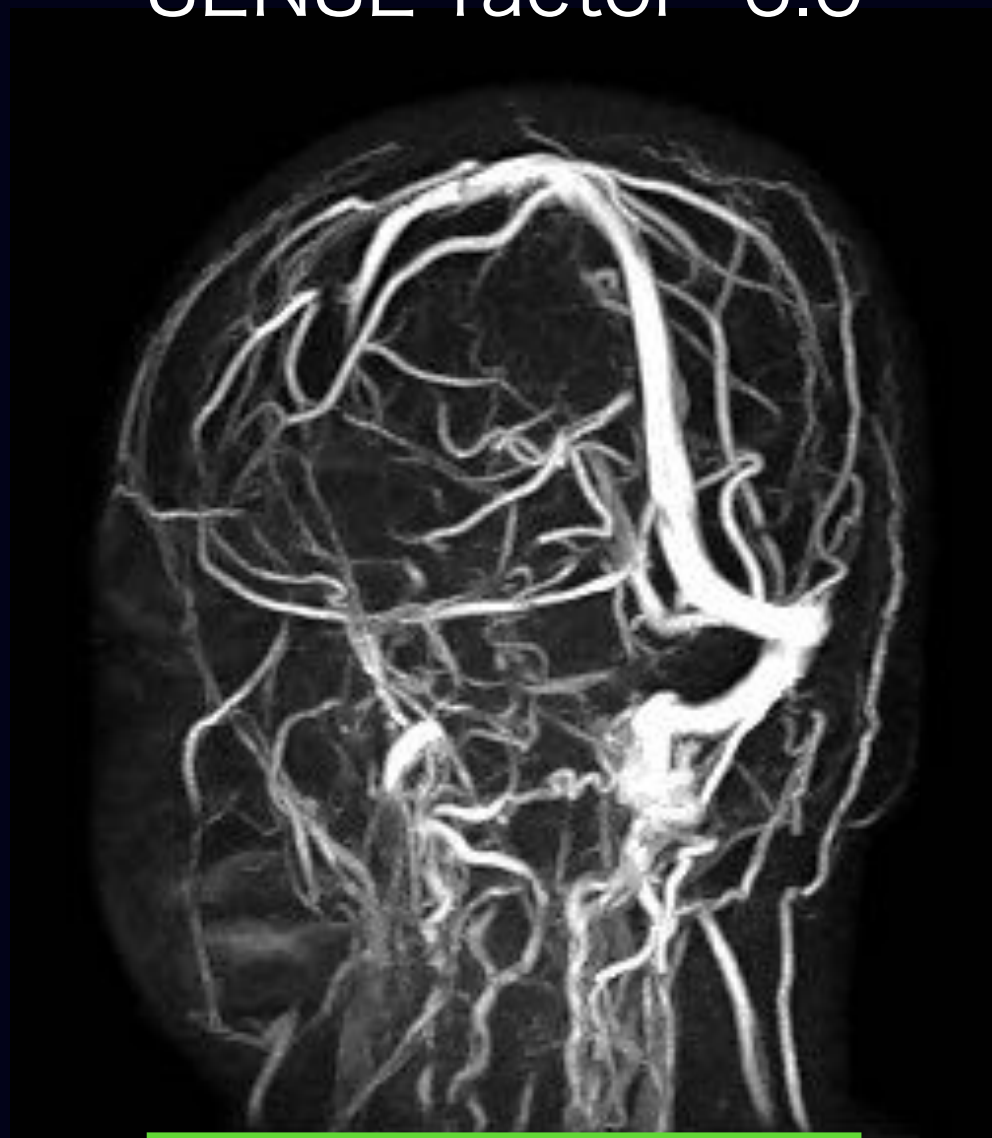


撮像時間 2m 28s

撮像時間は65%短縮され、
画質劣化は臨床への影響は少ない

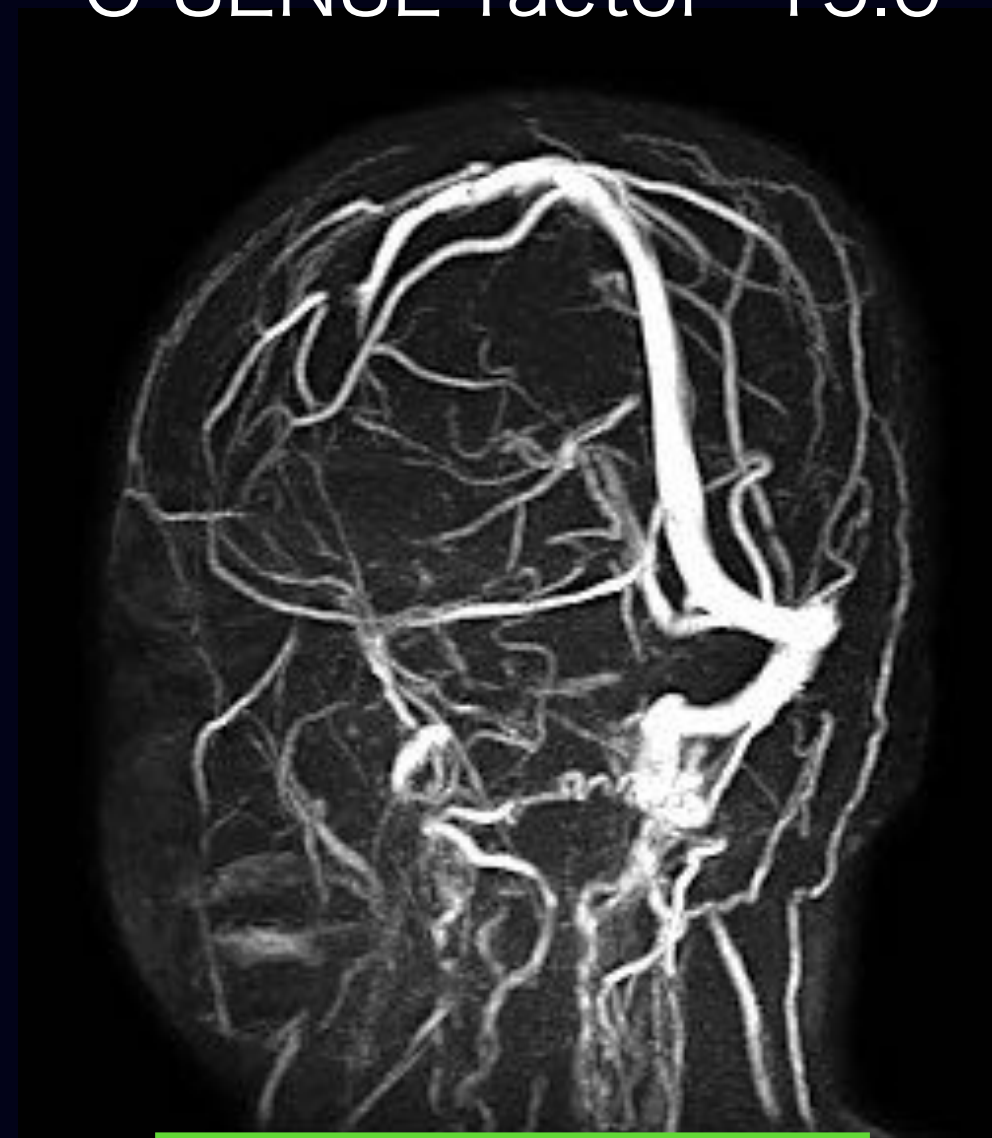
C-SENSEを用いた頭部MRVの高速化

SENSE-factor 6.0



撮像時間 4m 34s

C-SENSE-factor 15.0

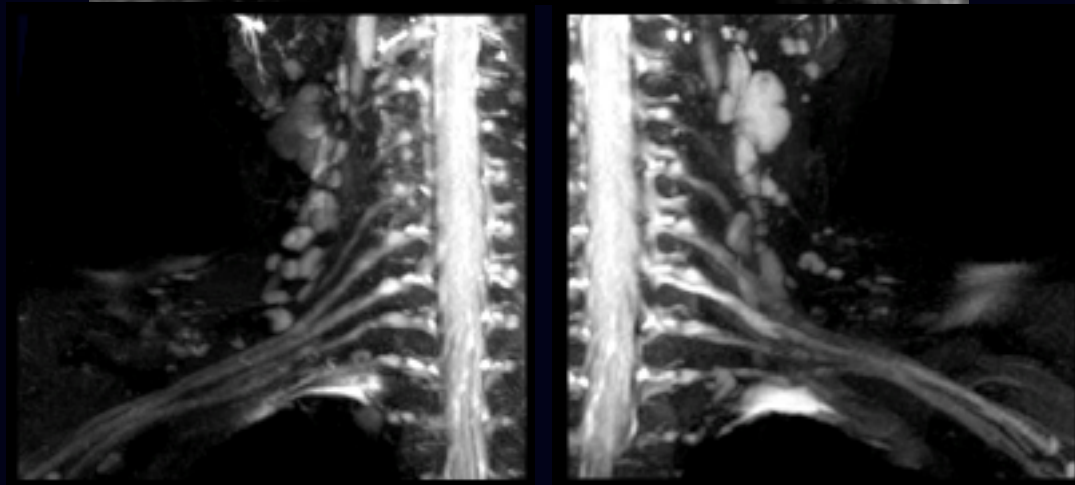
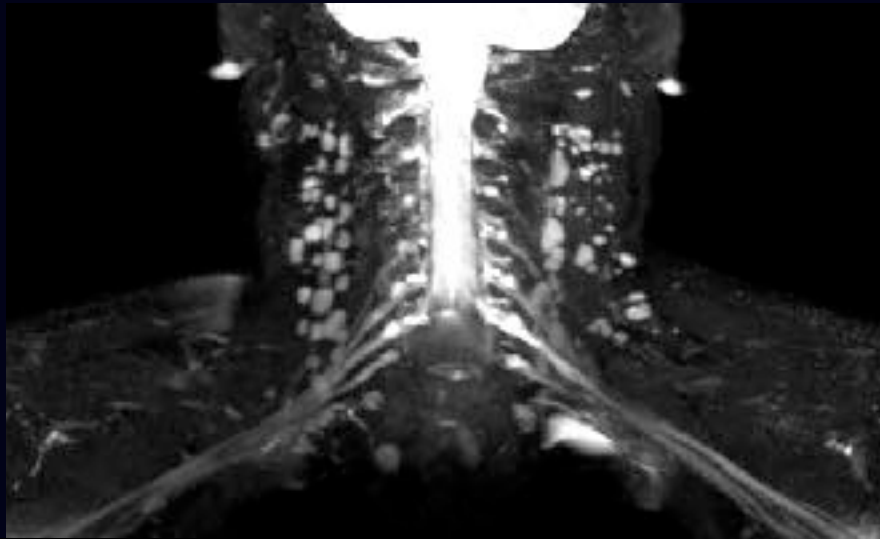


撮像時間 1m 30s

撮像時間は1/3に短縮されたが、上矢状洞の描出に差はない

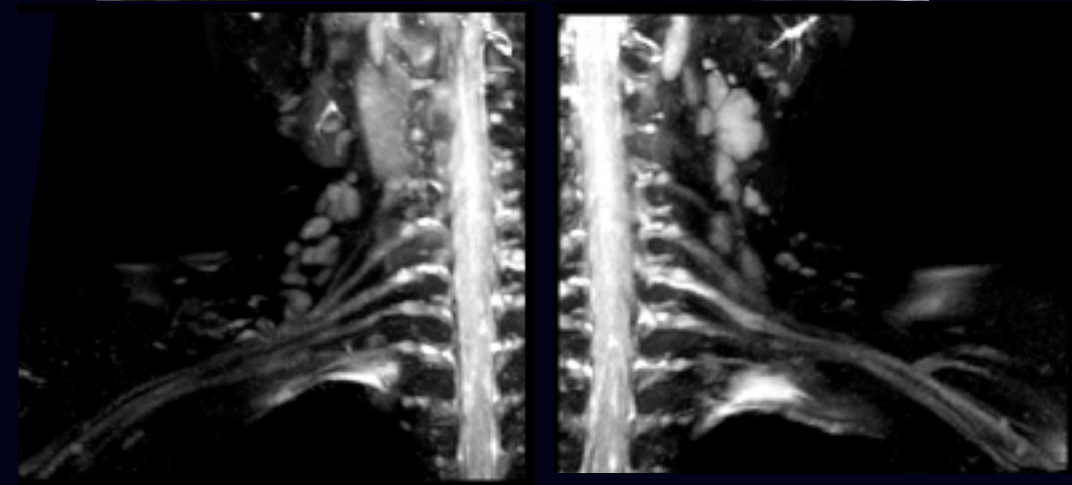
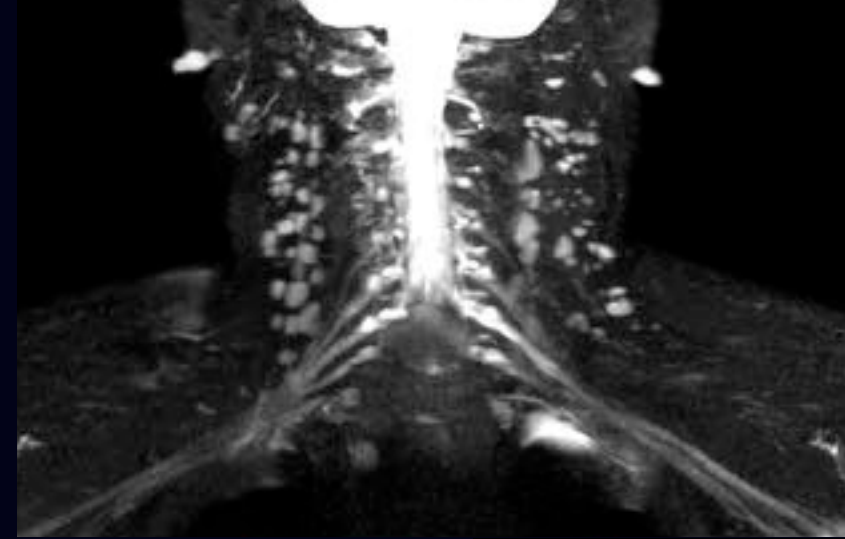
C-SENSEの臨床応用 3D Nerve VIEW

No C-SENSE



撮像時間 5:31

C-SENSE factor 1.9



撮像時間 3:07

45%時間短縮が可能

C-SENSEの臨床応用 腰椎2D T2WI

No C-SENSE

C-SENSE factor 2.0

C-SENSE factor 3.0



撮像時間 3:21



撮像時間 1:48

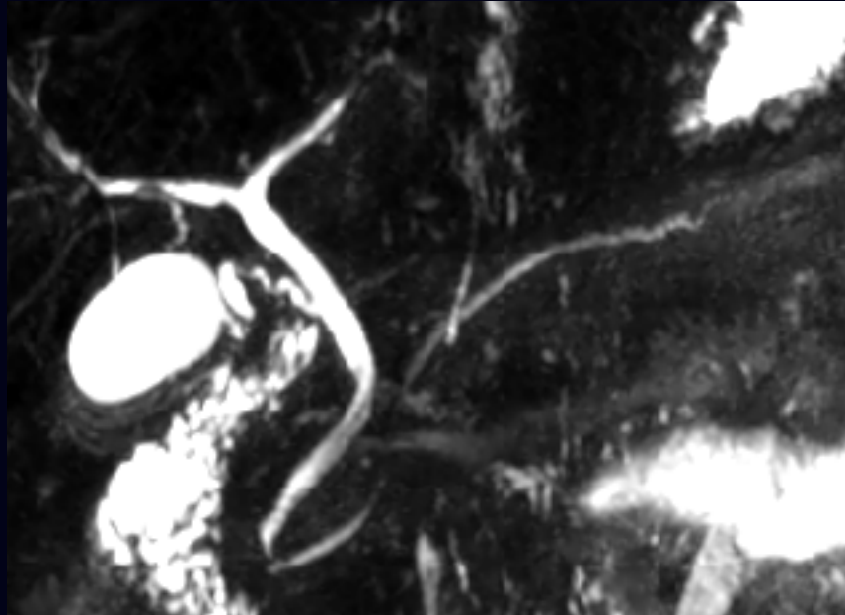


撮像時間 1:10

2DでもC-SENSEで50%時間短縮は可能

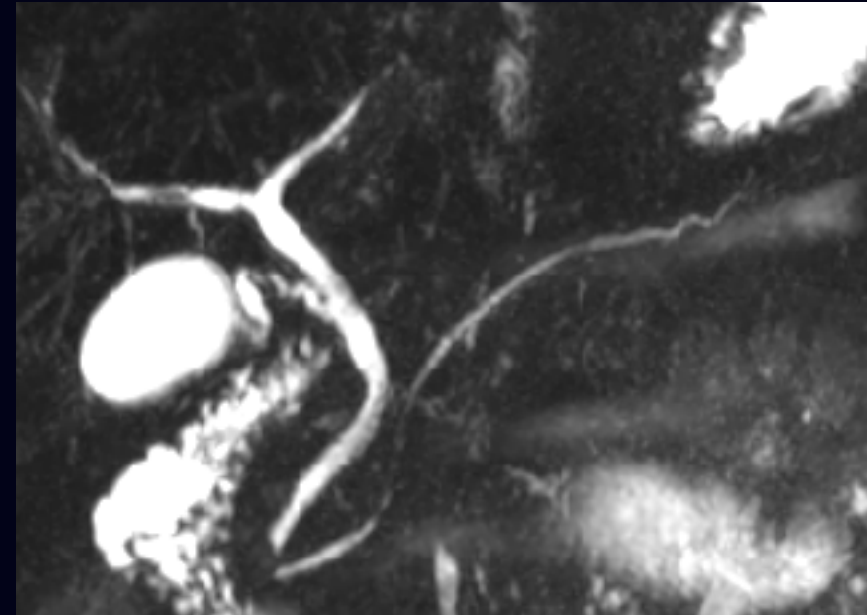
C-SENSEの臨床応用 3D-MRCP

No C-SENSE



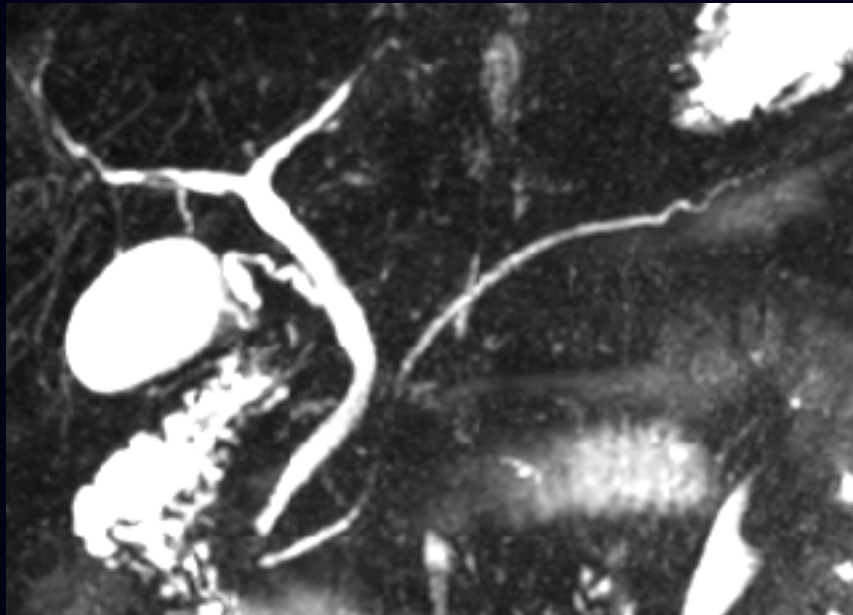
撮像時間 4:00

C-SENSE factor 2.0



撮像時間 2:00

C-SENSE factor 3.0



撮像時間 1:00

C-SENSE factor 4.0



撮像時間 0:30

C-SENSEで75%時間短縮

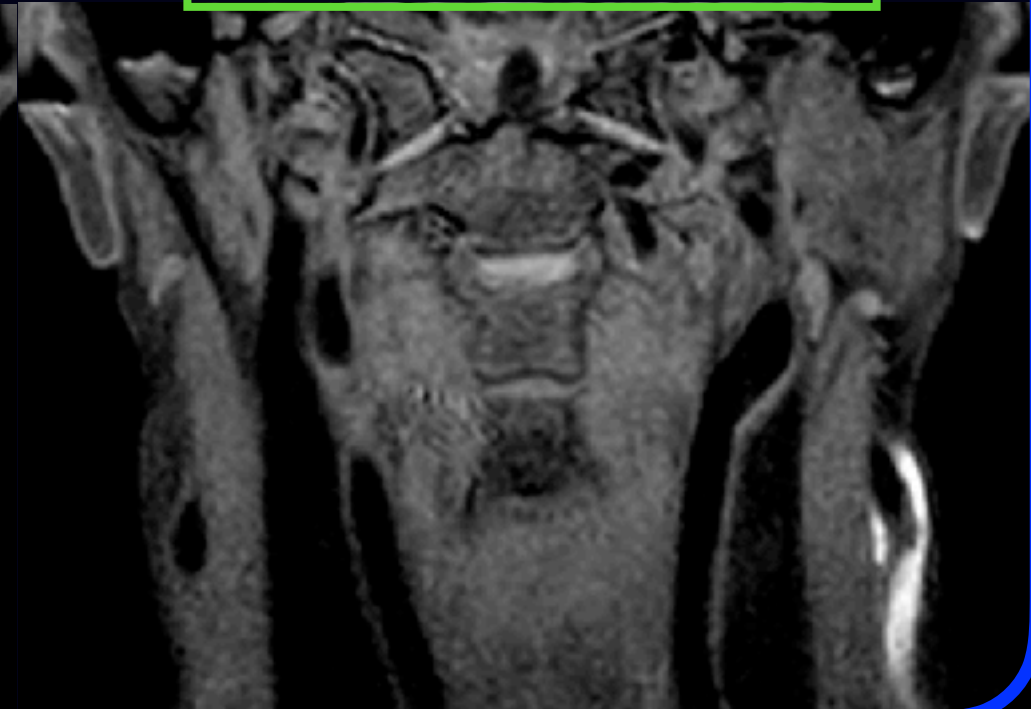
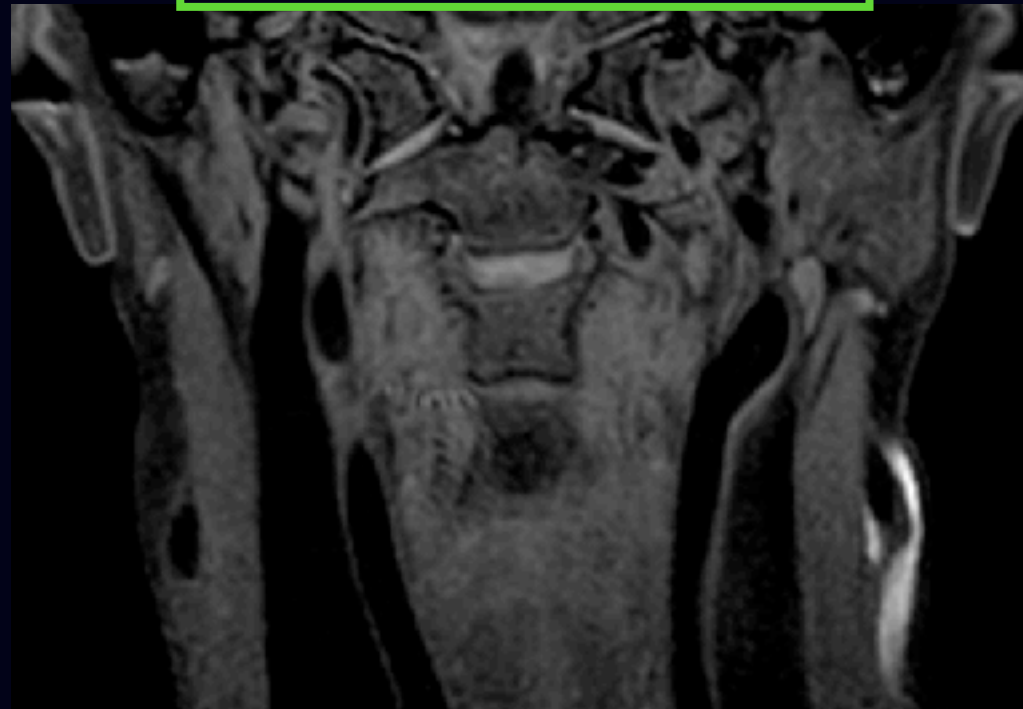
No C-SENSE

C-SENSE factor 1.5

撮像時間 4:32

撮像時間 3:03

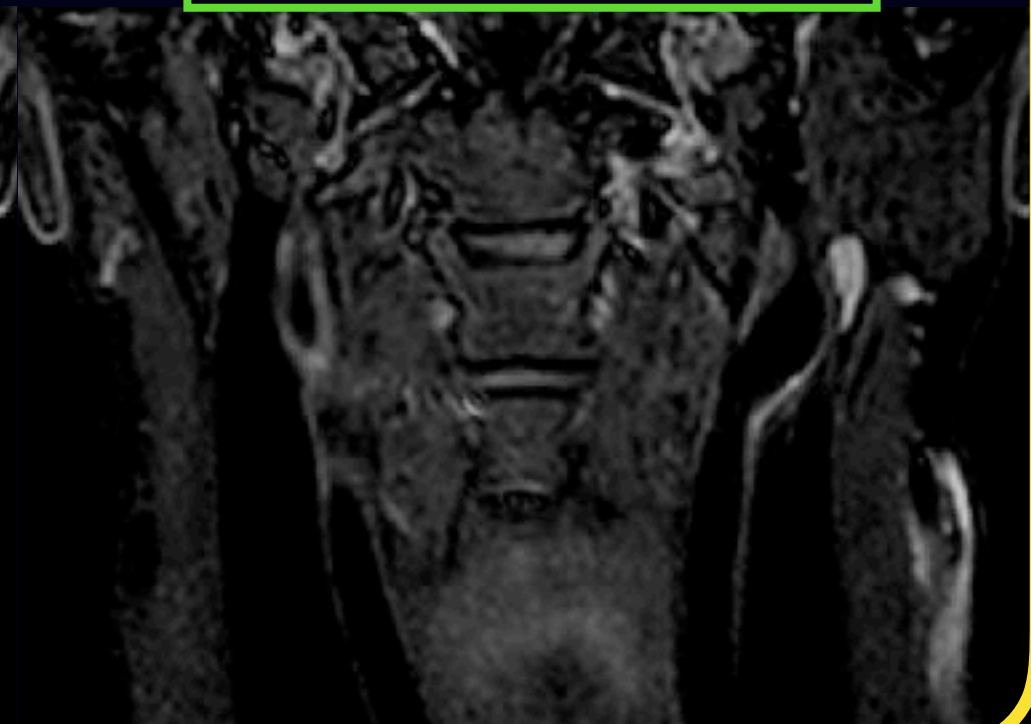
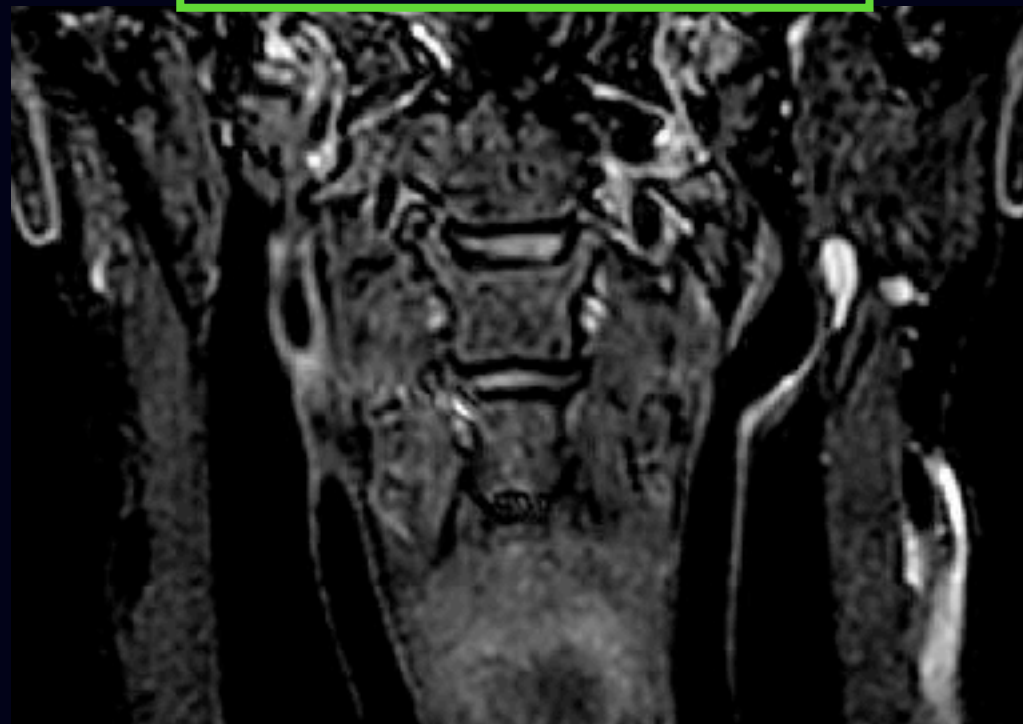
T1WI BB



撮像時間 5:27

撮像時間 3:38

T2WI BB



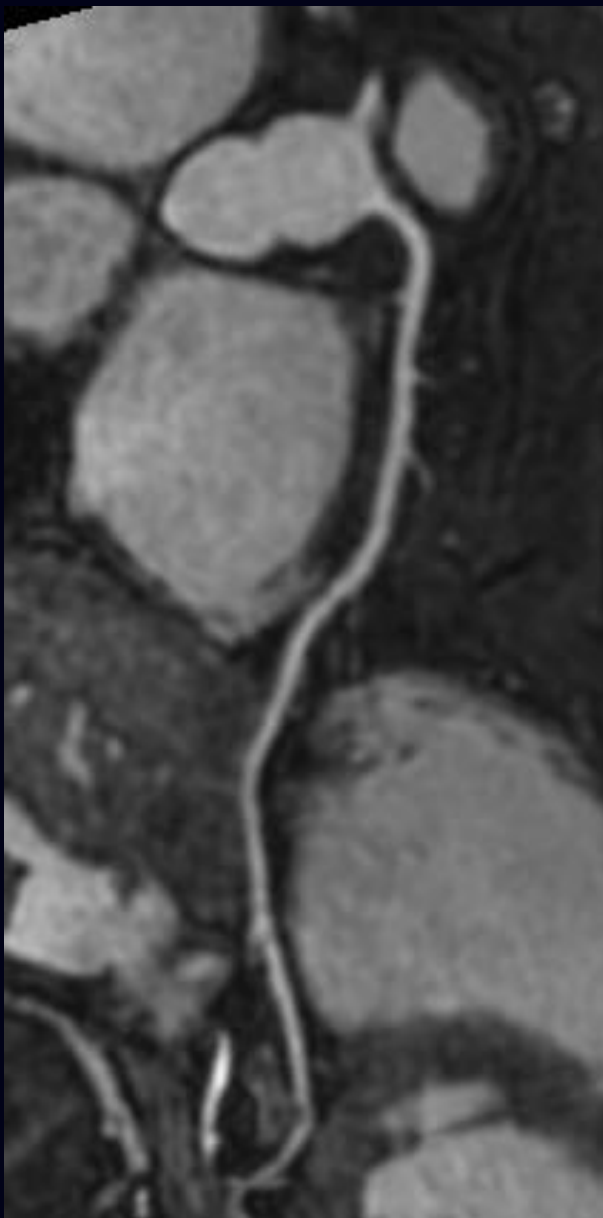
頸部ブランクイメージでも30%時間短縮は可能

C-SENSEの臨床応用 3D-MRCA

RCA

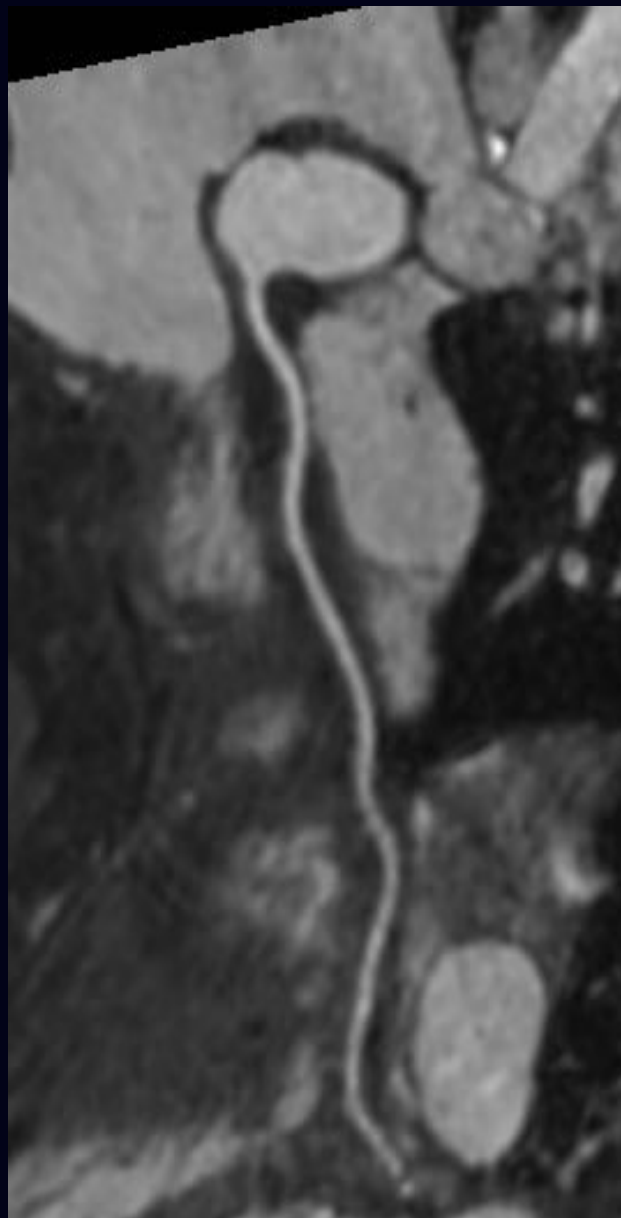
No C-SENSE

撮像時間 11:12



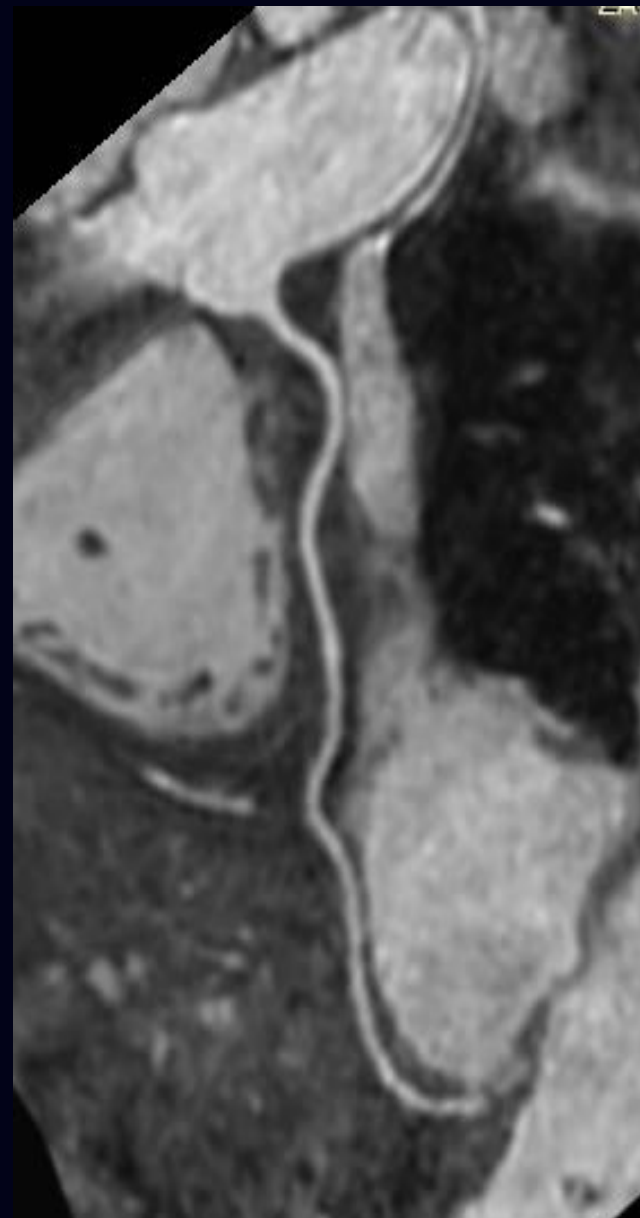
C-SENSE factor 5

撮像時間 9:37



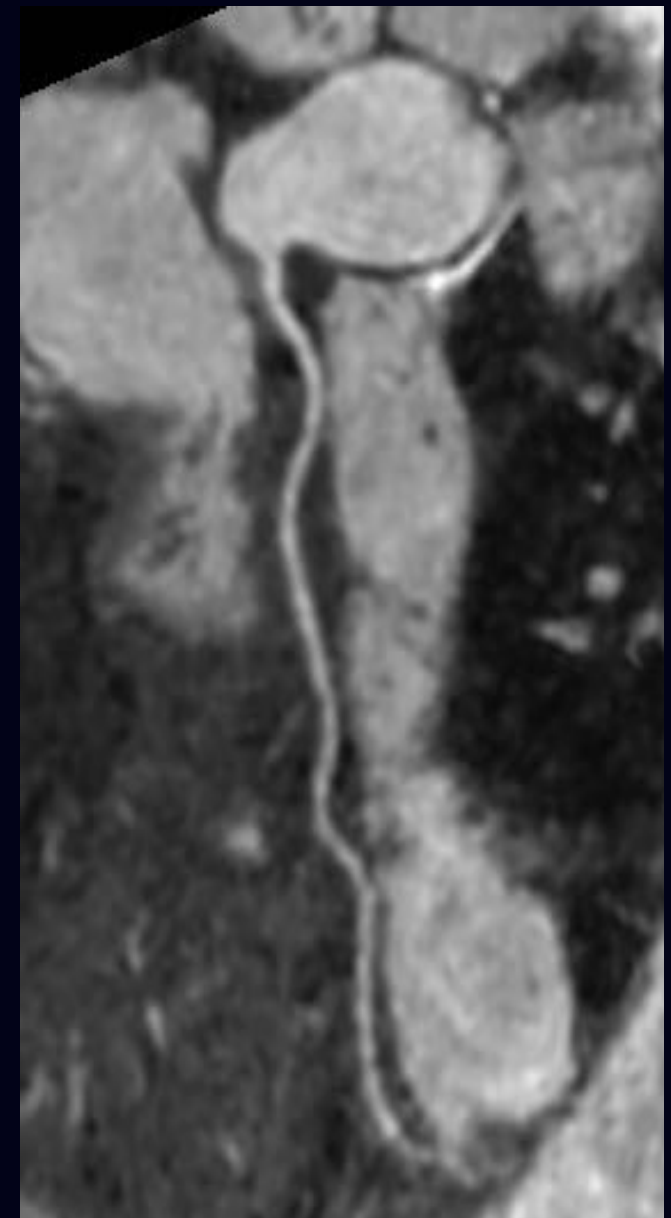
C-SENSE factor 7

撮像時間 6:52



C-SENSE factor 10

撮像時間 4:52



MRCAでも40%時間短縮が可能

C-SENSEの臨床応用 心臓CINE

No C-SENSE

Breath hold



撮像時間 0:07 x 8

No C-SENSE

Free breath



撮像時間 2:28

C-SENSE factor 1.8

Free breath



撮像時間 1:32

C-SENSEを用いた頭部MRAの高分解能化

SENSE-factor 2.5

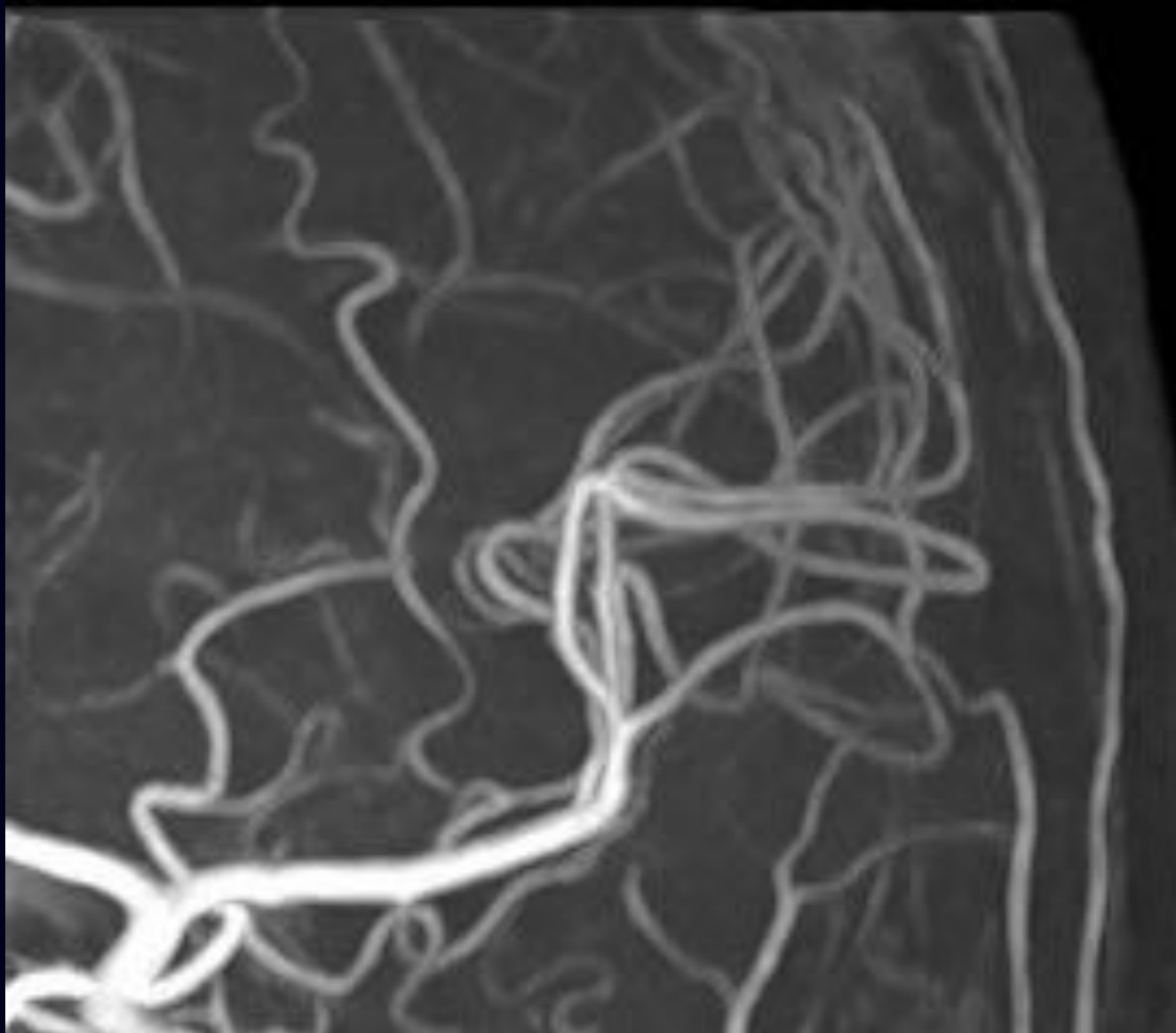


C-SENSE-factor 6.0

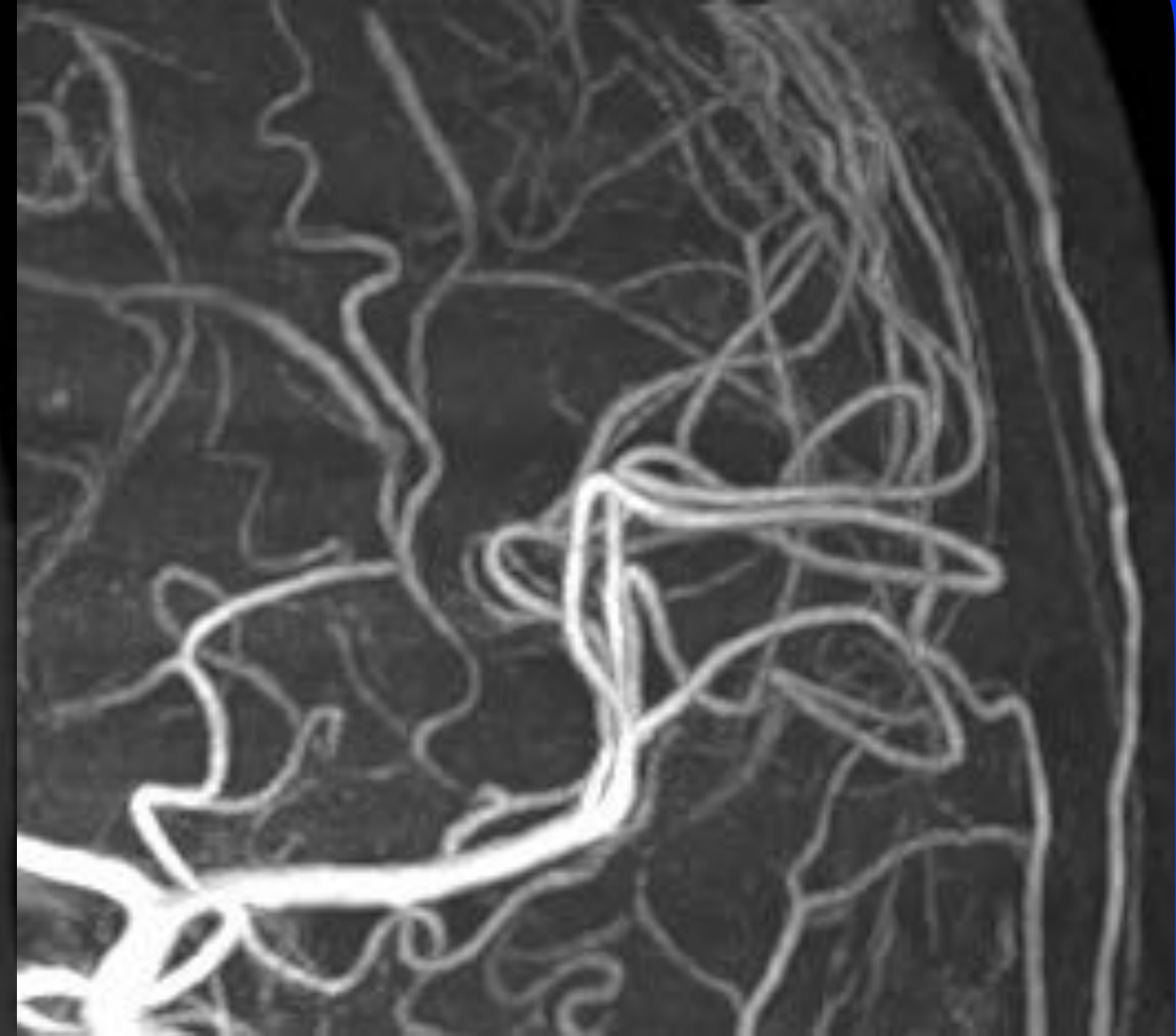


voxel size frequency x phase x slice = $0.39 \times 0.77 \times 0.4$ voxel size frequency x phase x slice = $0.39 \times 0.61 \times 0.3$
6m25s 6m25s

C-SENSEを用いた頭部MRAの高分解能化



撮像時間 6m 25s

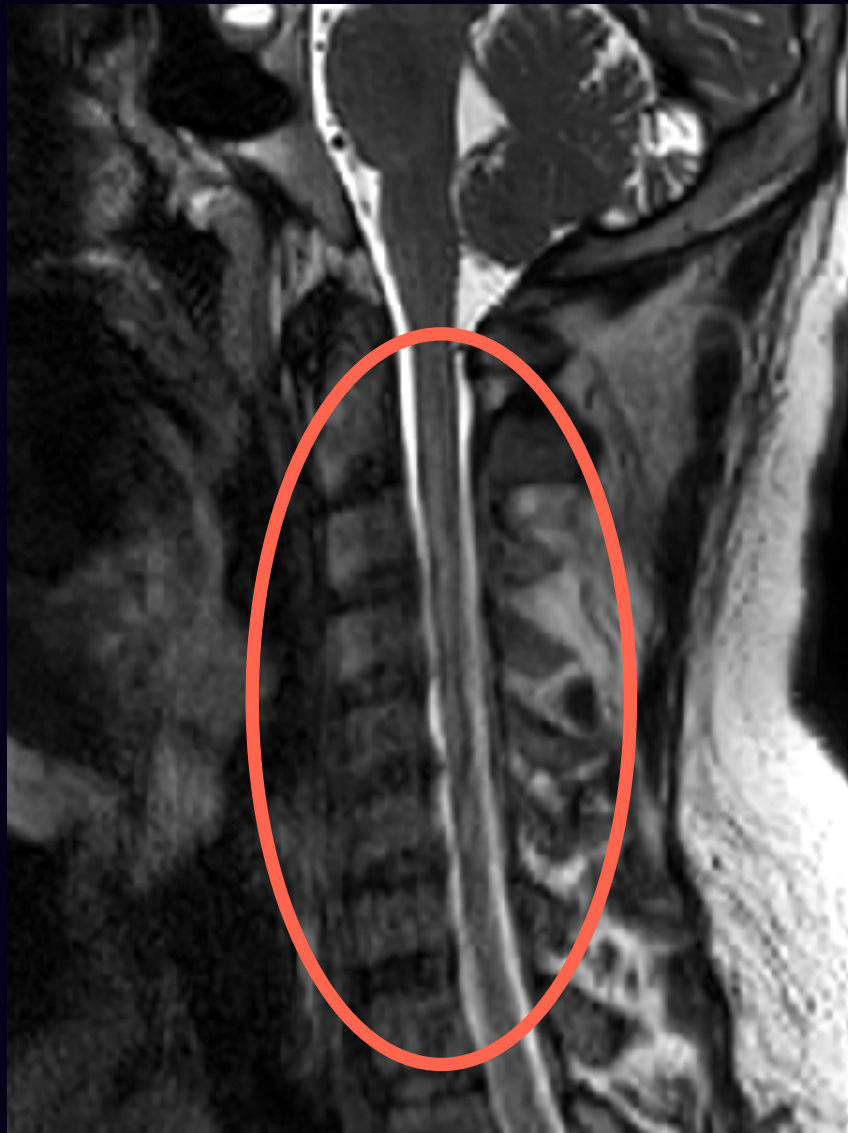


撮像時間 6m 25s

末梢まで血管が描出されている

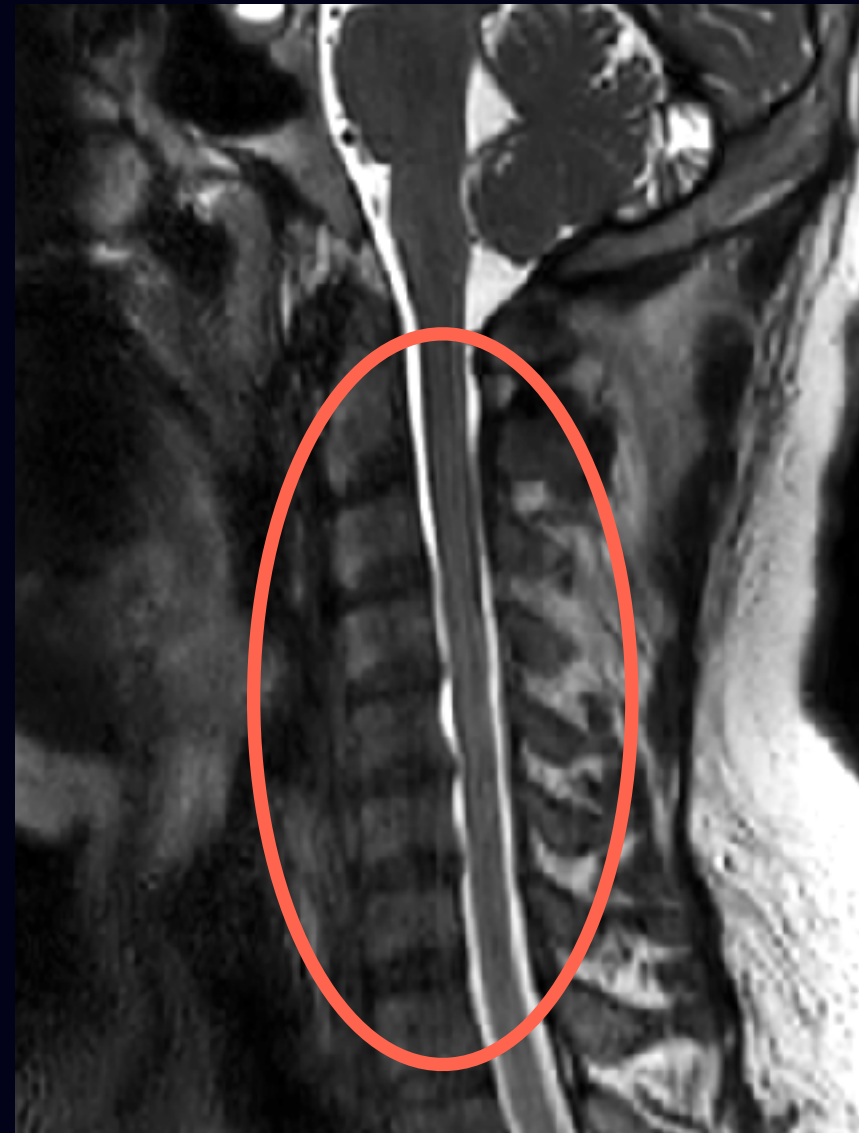
C-SENSEの臨床応用 頚椎3D T2WI

No C-SENSE



撮像時間 5:21

C-SENSE factor 1.8



撮像時間 3:11

C-SENSEを入れてアーチファクト減ってる

まとめ

C-SENSE

- ★ 高速化
- ★ 高分解能化
- ★ アーチファクト低減

全身様々なシーケンスに使用可能
当院では臨床になくてもならない存在