

Revolution CTのAI技術



佐世保市総合医療センター
佐々木 淳一

2022年3月 Revolution CT導入



CONTENTS

✓ Auto Prescription

✓ Smart Cardiac Technology

✓ TrueFidelity™ 2.0

CONTENTS

✓ Auto Prescription

✓ Smart Cardiac Technology

✓ TrueFidelity™ 2.0

Auto Prescription (Automated workflow and personalized scanning)

CURRENT SOLUTION

検査ごとの撮影条件設定

欠点

- 多くのマニュアル作業が発生するため、操作者によって撮影手法にばらつきが生じ、最適な画質と線量のバランスや一貫性を保つことができない

被写体サイズによるプロトコル設定

欠点

- 事前に細分化された患者サイズごとの撮影プロトコルを作成・管理が必要

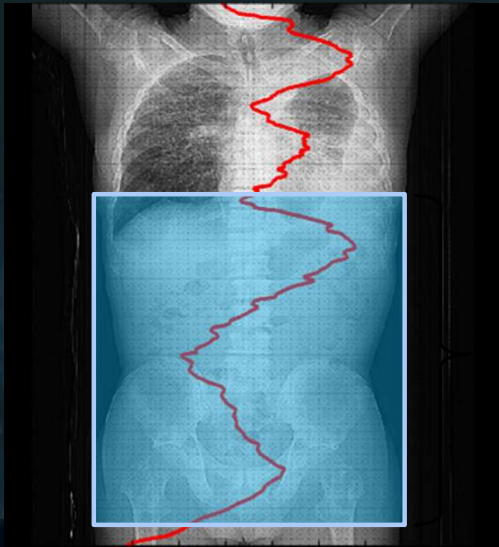
AUTO PRESCRIPTION

For a balanced Dose and Image quality, scan parameters need to be adapted across patient sizes



Auto Prescription (Automated workflow and personalized scanning)

スカウト撮影のデータから撮影範囲における被写体サイズを計算
計算結果をプロフィールへ適用

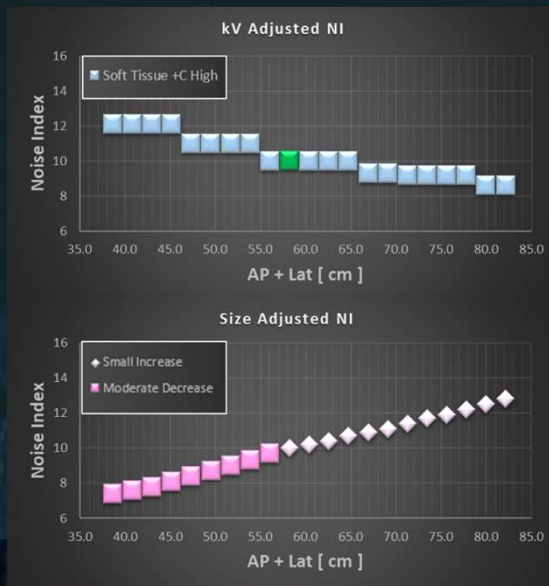


プロフィールに登録された条件からkV、
mA、FOVなどの撮影条件を自動調整

AP+Lat (cm)	Min AP+Lat (cm)	Max AP+Lat (cm)	kV	SFOV	Rotation Time (s)	Pitch	Min mA	Max mA
> 39	50	70	70	Small Body/Cardiac Small	0.5	0.984/0.99	10	1300
> 50	54	80	80	Medium Body/Cardiac Med	0.5	0.984/0.99	10	1300
> 54	64	100	100	Large Body/Cardiac Large	0.5	0.984/0.99	10	1080
> 64	110	120	120	Large Body/Cardiac Large	0.7	0.508/0.51	10	900

Auto Prescription (Automated workflow and personalized scanning)

臨床条件を基準としたNoise Indexのパラメータ設定ならびに被写体サイズに応じたNoise Indexのパラメータ設定



設定したパラメータをもとに、被写体サイズに応じたNoise Indexの撮影条件に自動調整

kV Assist		
kV Assist 2.0 Profile	GE Abd/Pel (Adult)	
Estimated Patient Size	50.4 AP + Lat (cm)	
kV Mode	kV Assist 2.0	User Override
kV	80 kV	80 kV
CTDIvol	8.4 mGy	9.1 mGy
Projected NI	9.3	9.3
Prescribed NI	9.3	9.3
SFOV	Large Body	Large Body
Pitch	0.992	0.992
Rotation Time	0.5 s	0.6 s
ASiR-V	50%	50%

[Revert to kV Assist Solution](#)

自動調整された撮影条件が期待通りであることを確認し、検査を実施



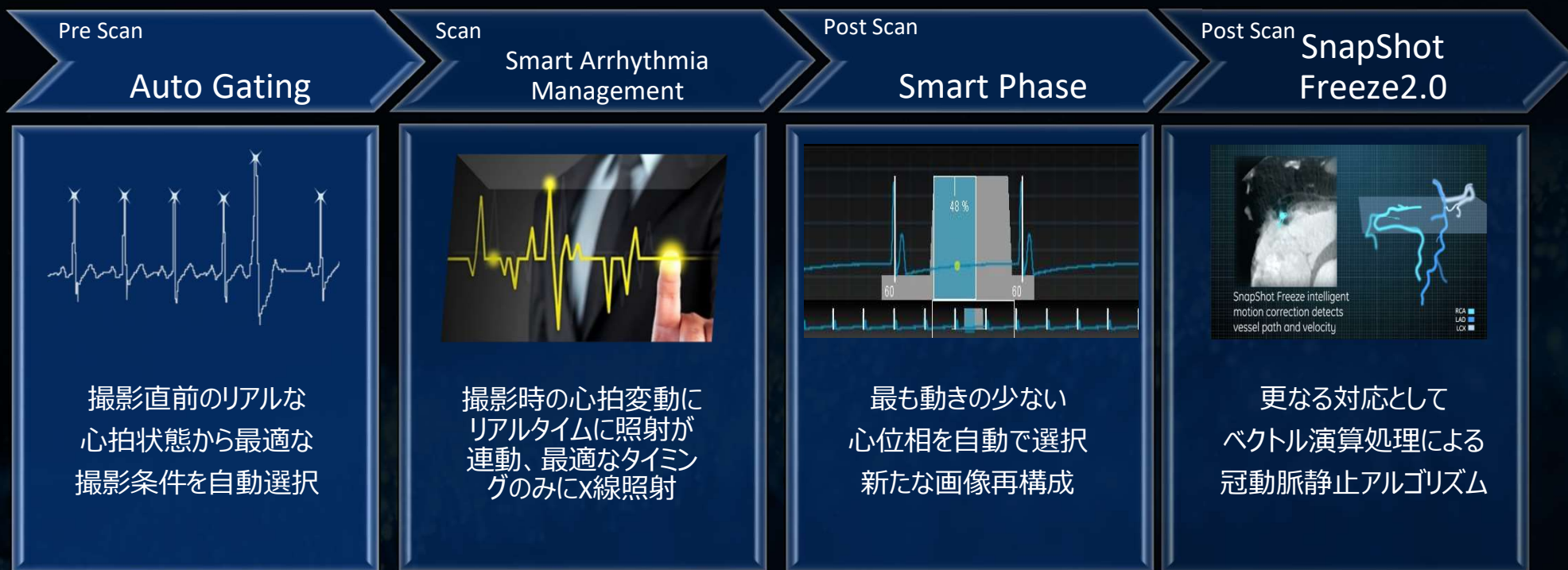
CONTENTS

✓ Auto Prescription

✓ Smart Cardiac Technology

✓ TrueFidelity™ 2.0

Smart Cardiac Technology



Smart Arrhythmia Management

Afの場合

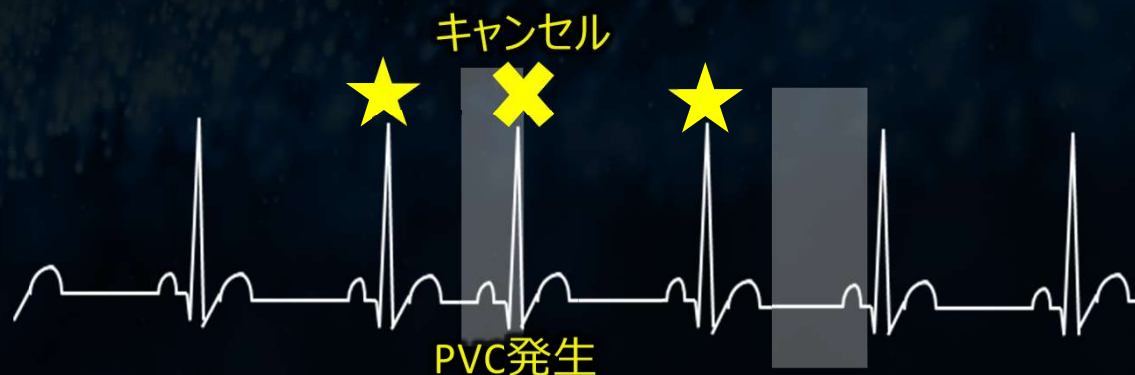
Whole Heart Cycle Acquisition

心拍変動をリアルタイムでモニタリング、
1心拍分のデータを収集
(2 or 3 beat選択も可能)



PVC等予期せぬ心拍変動の場合 Smart Arrhythmia Management

心拍変動をリアルタイムでモニタリング、
心拍変動に連動し、Target Phaseに照射



SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm

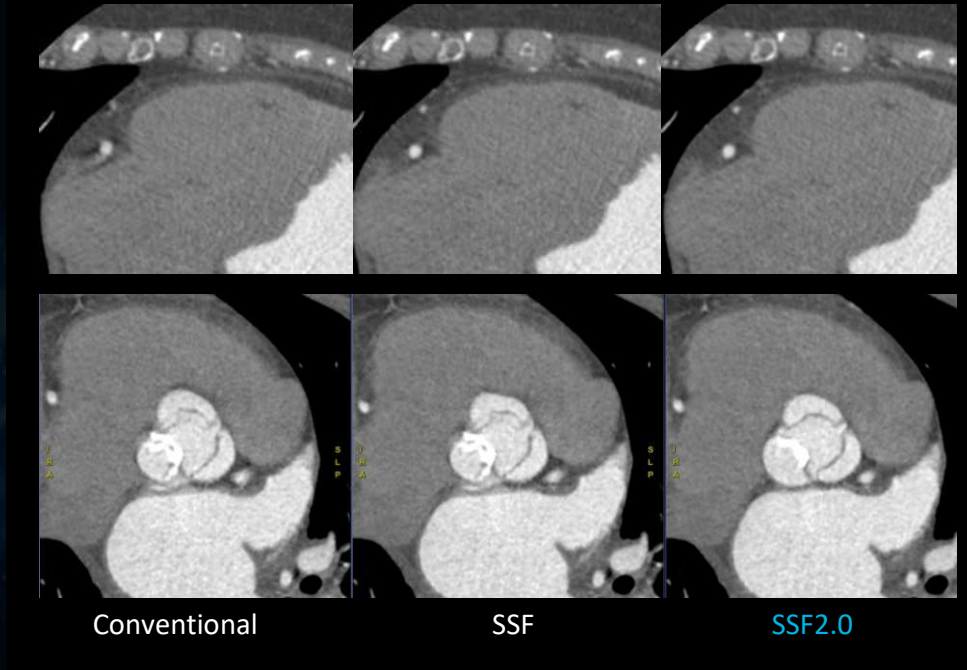
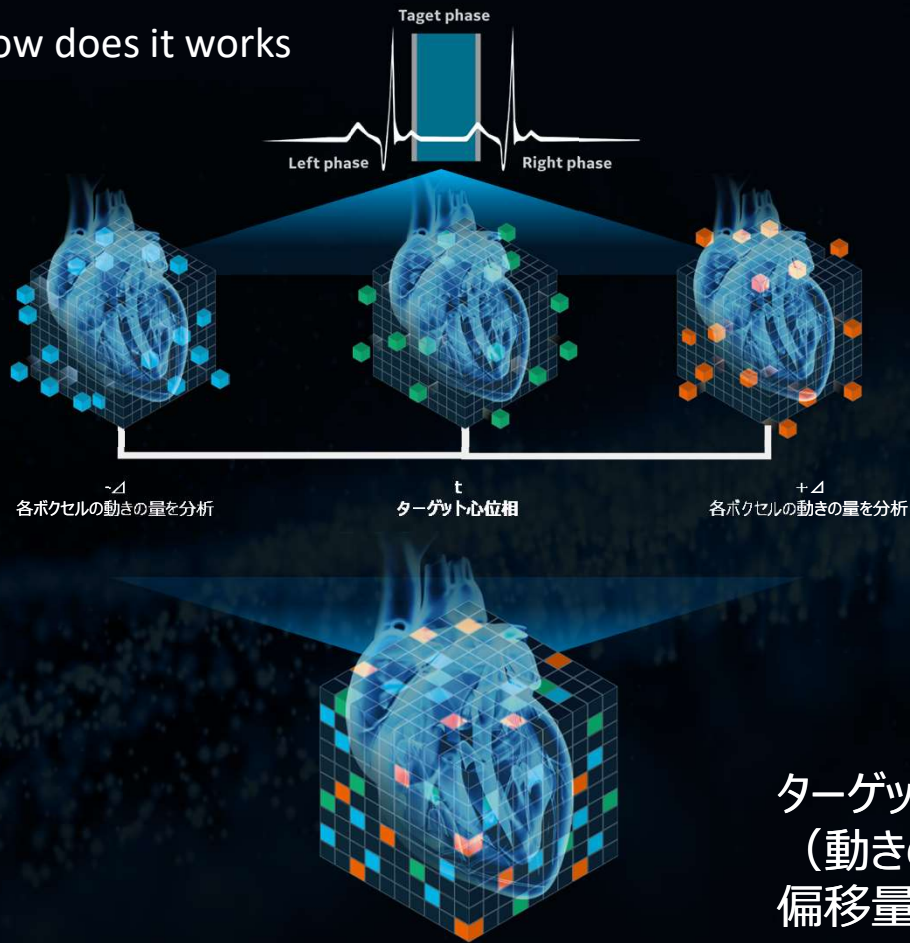
心臓全体から、そして全心位相からモーションの影響を取り除く



SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm

How does it work



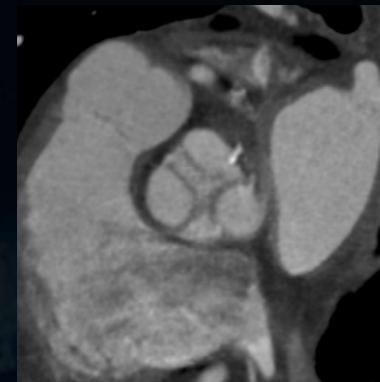
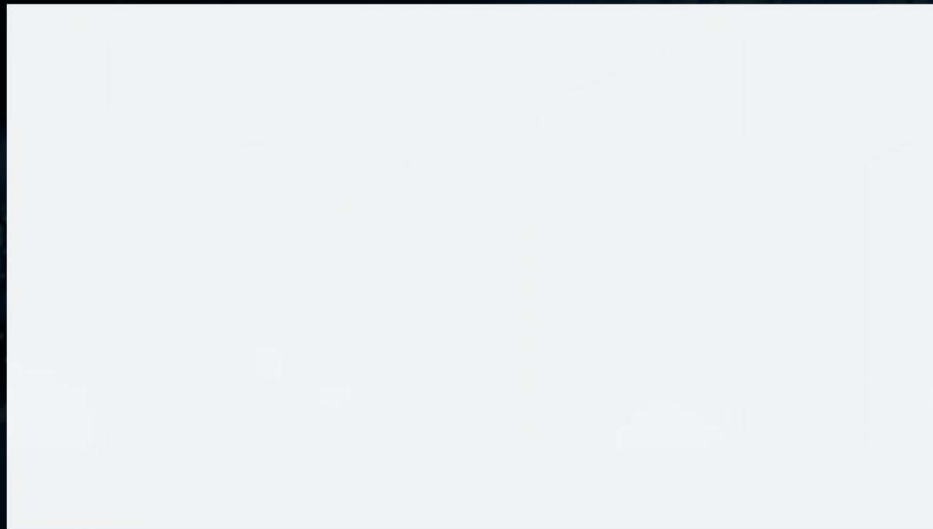
ターゲット心位相の前後のデータを用いて各ボクセルの動態（動きの向き、動きの量など）を3次的にベクトル解析をし、偏移量をフィードバックし静止画像を生成

SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm

SnapShot Freeze2.0 :

- 冠動脈、弁、心筋など心臓全体のモーションを抑制
- 高心拍・不整脈への更なる対応
- TAVI, MitralClip, SHD等の非侵襲的治療術前・フォローに貢献
- 最適心位相検索・後処理時間短縮によるオペレーター負担軽減



SSF2.0 OFF



SSF2.0 ON

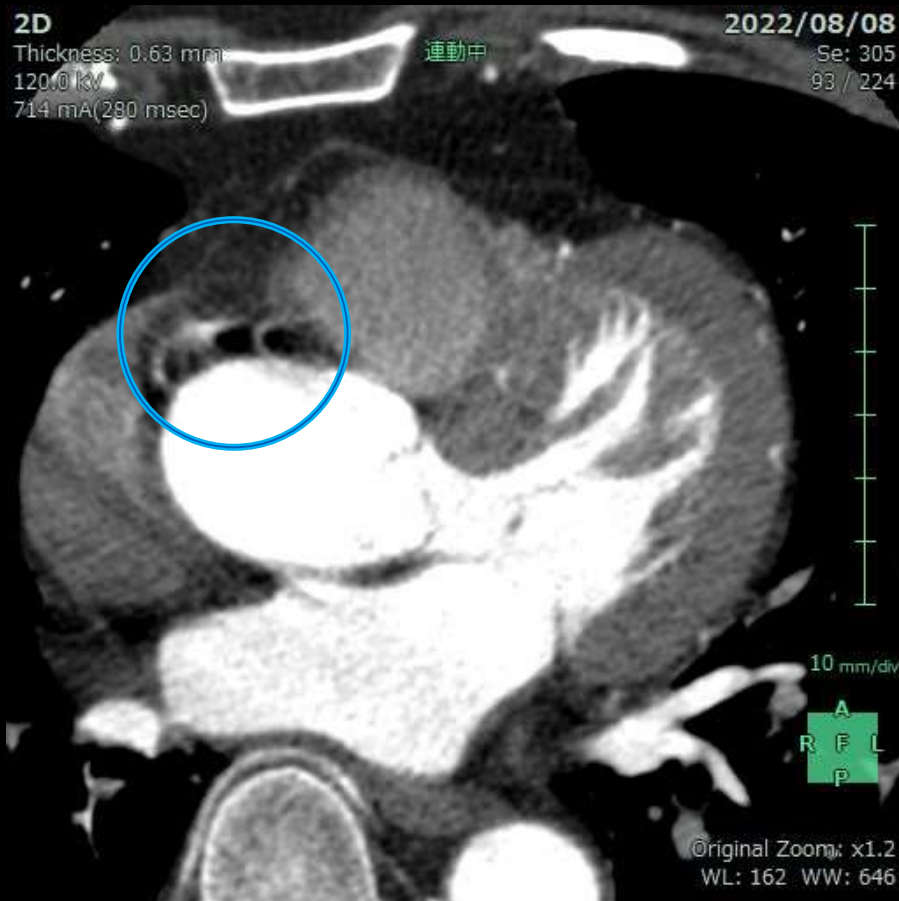


SSF2.0 OFF

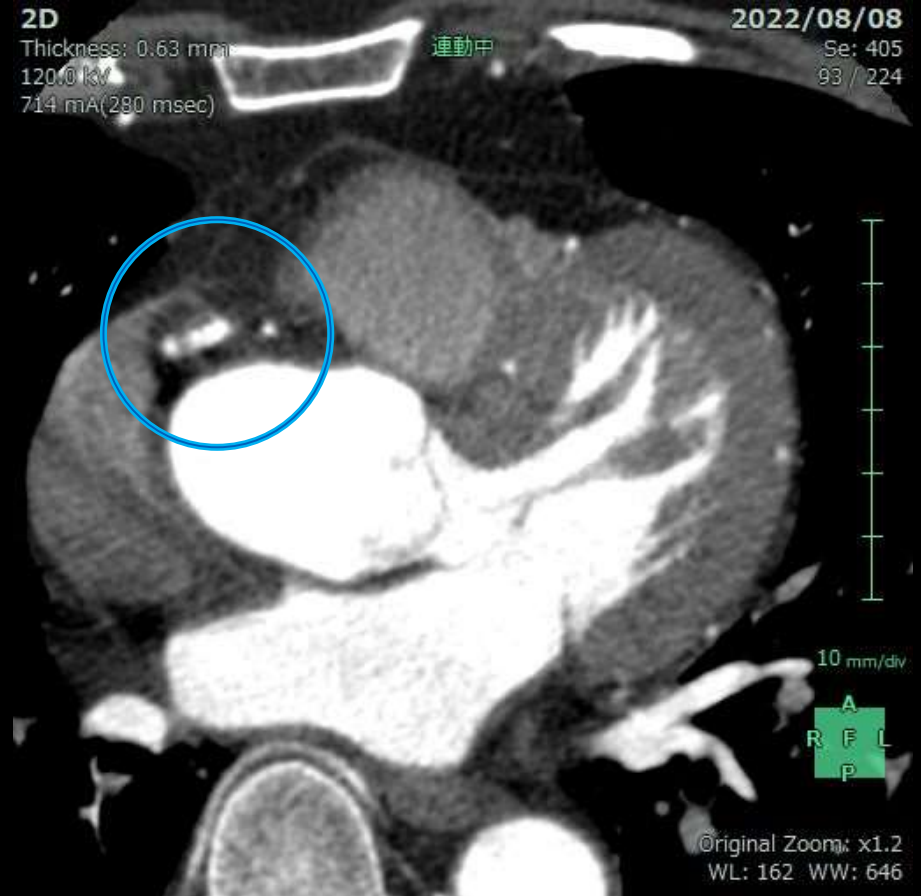


SSF2.0 ON

SnapShot Freeze2.0 臨床例



Conventional

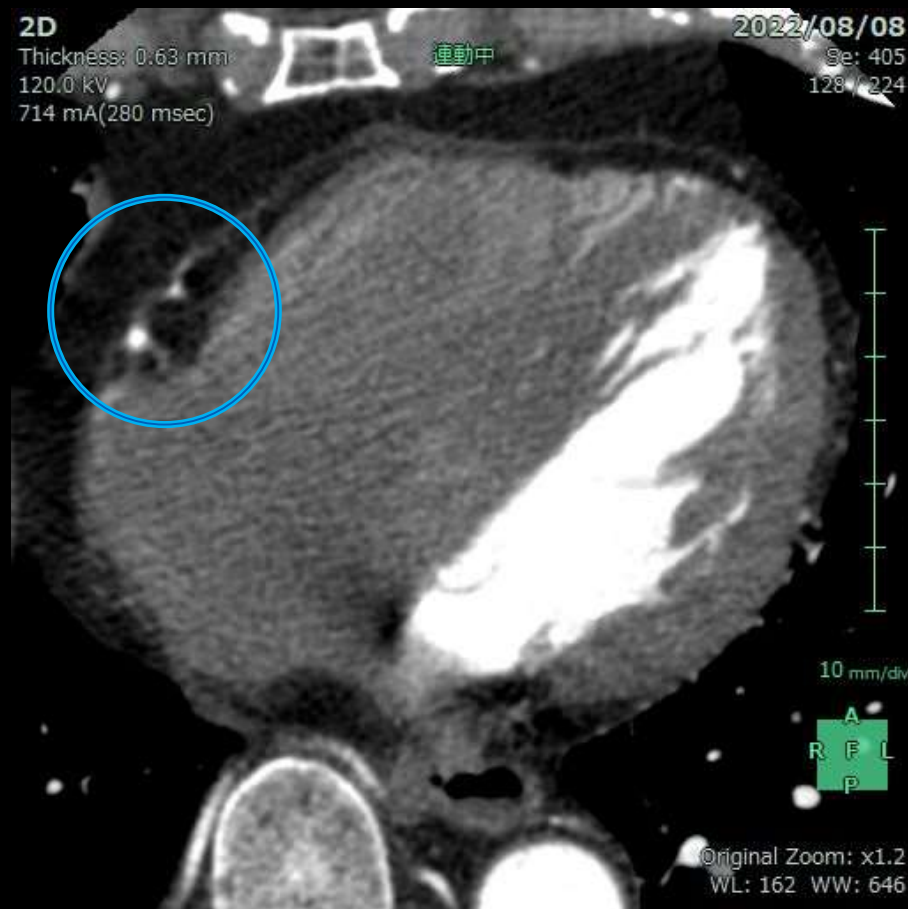


SSF2.0

SnapShot Freeze2.0 臨床例

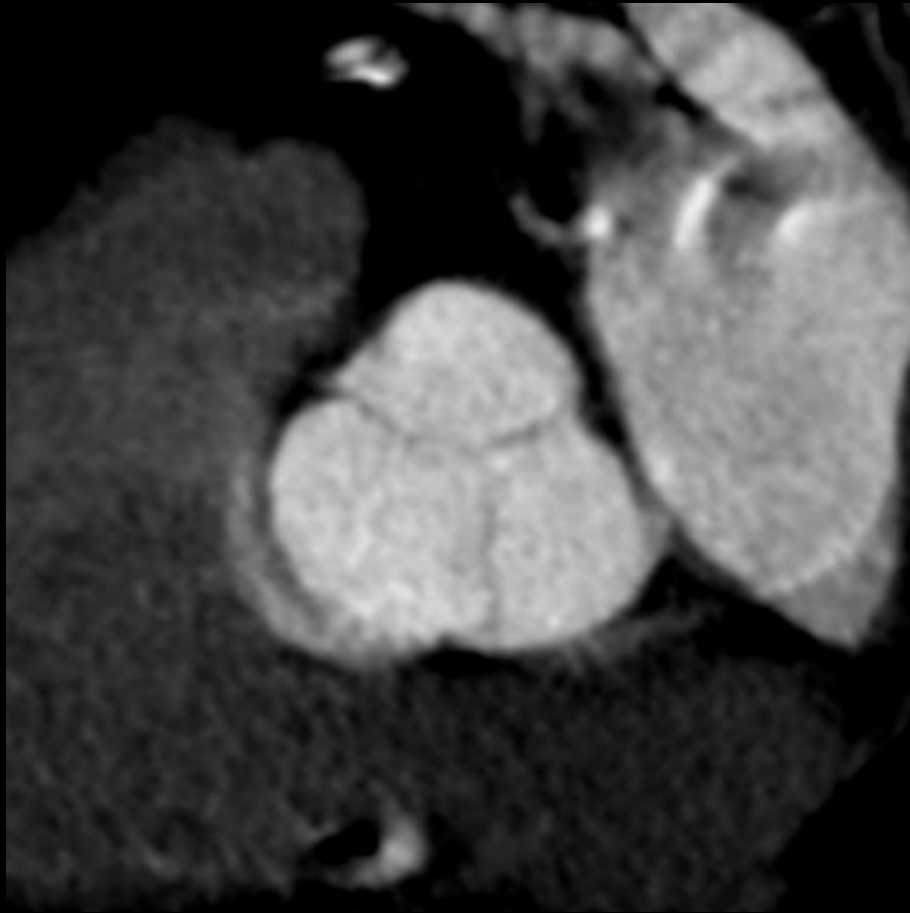


Conventional

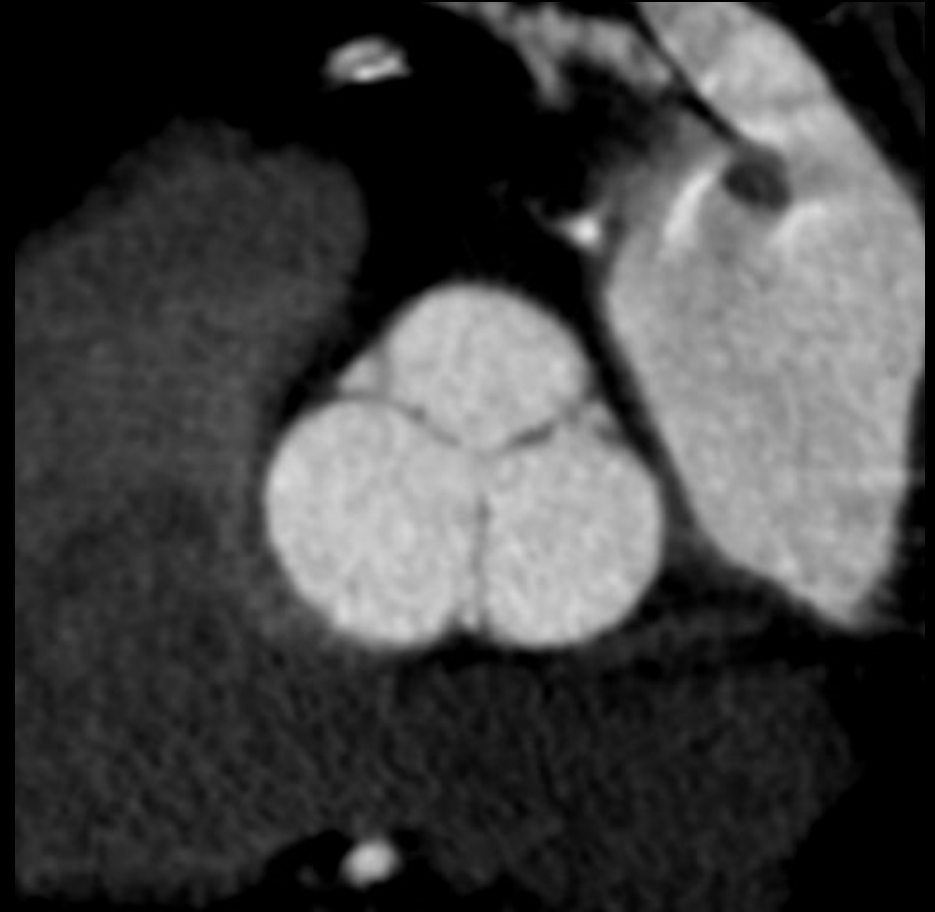


SSF2.0

SnapShot Freeze2.0 臨床例



Conventional



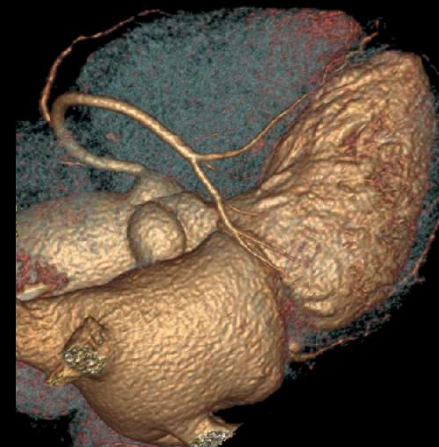
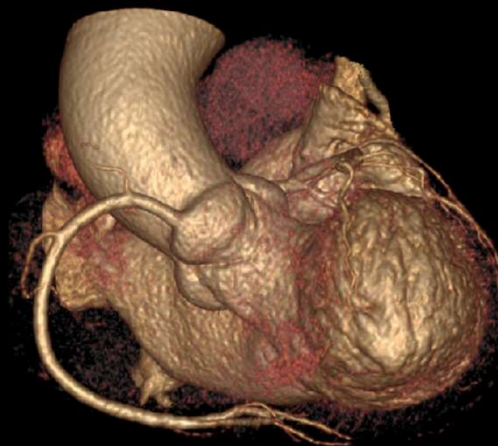
SSF2.0

SnapShot Freeze2.0 差分画像

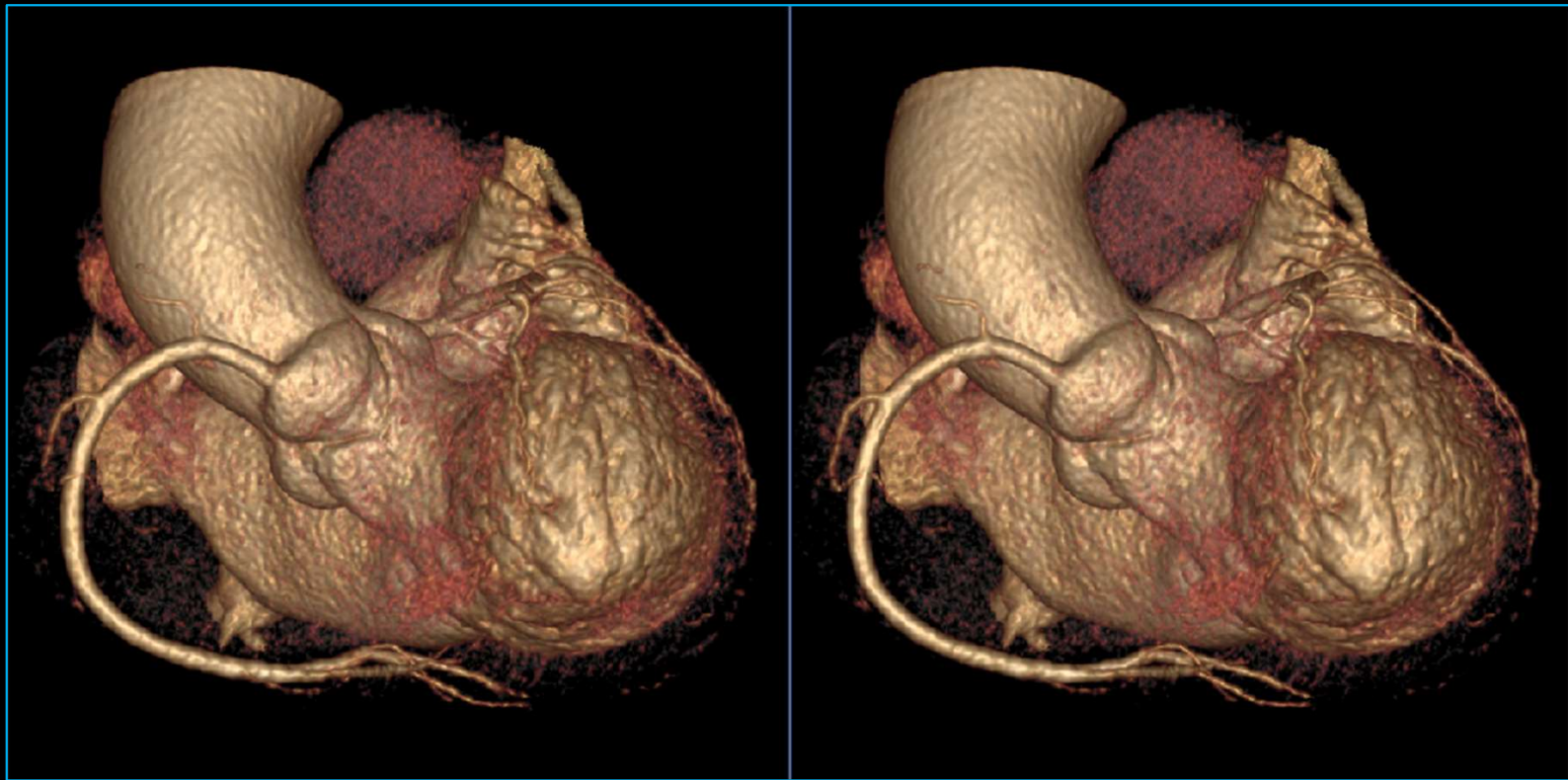


差分画像 (SSF2.0-Conventional)

SnapShot Freeze2.0 Whole-heart 4D



SnapShot Freeze2.0 Whole-heart 4D



SSF2.0 OFF

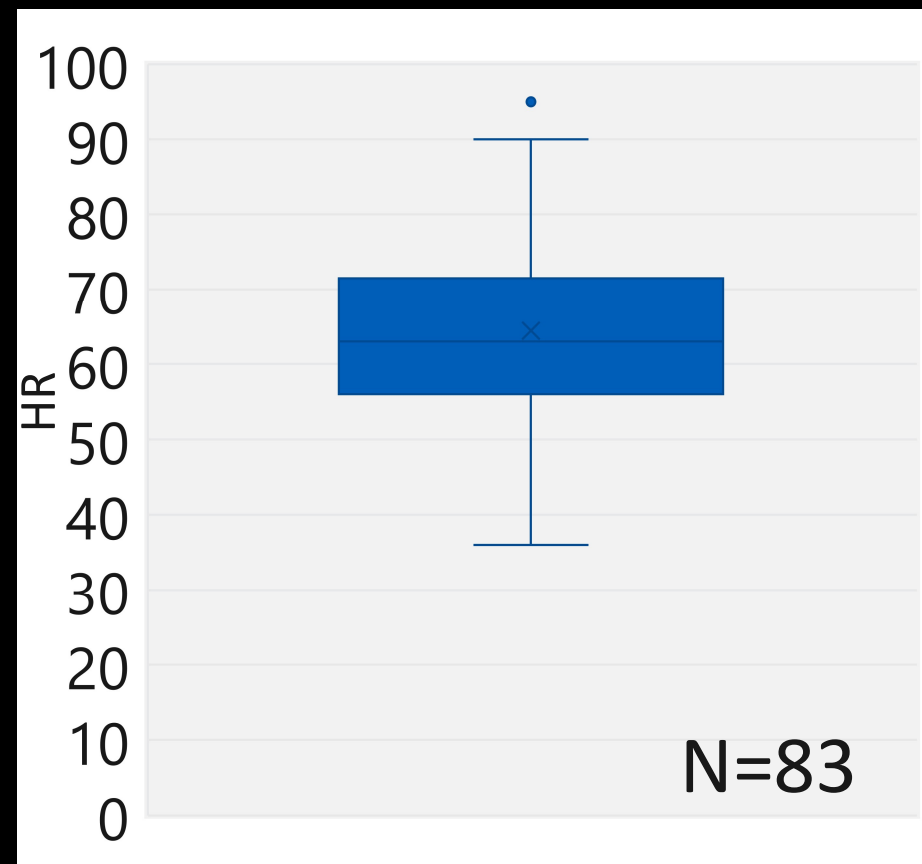
SSF2.0 ON

全フェーズにおいて冠動脈を静止することも

当院におけるSnapShot Freeze2.0の実際

当院における冠動脈撮影の心拍数

- ✓ 約86% (71例/83例) が初回のsmart phaseとSSFで終了
- ✓ 残りのほとんどはマニュアルで違う位相で再構成→問題なし
- ✓ 解析不能例はなし (コントラスト不良例以外)
- ✓ 位相探しの時間が激減
- ✓ マルチセクタ再構成は不可、1Beatのみ撮影



被ばく低減
検査精度とスループットの大幅な向上

CONTENTS

✓ Auto Prescription

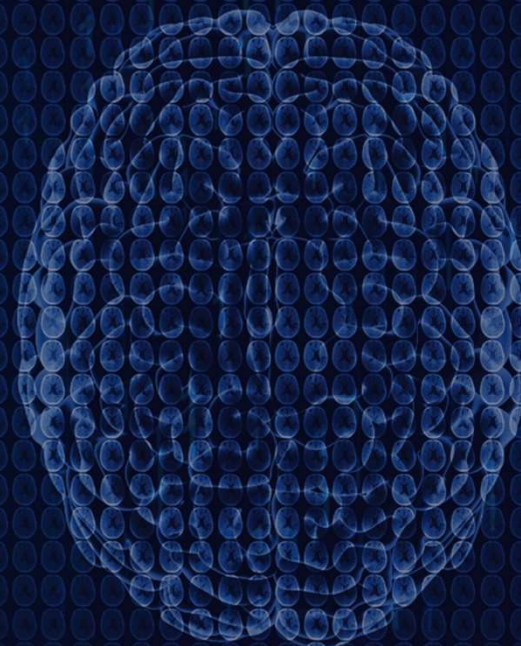
✓ Smart Cardiac Technology

✓ TrueFidelity™ 2.0



Edison

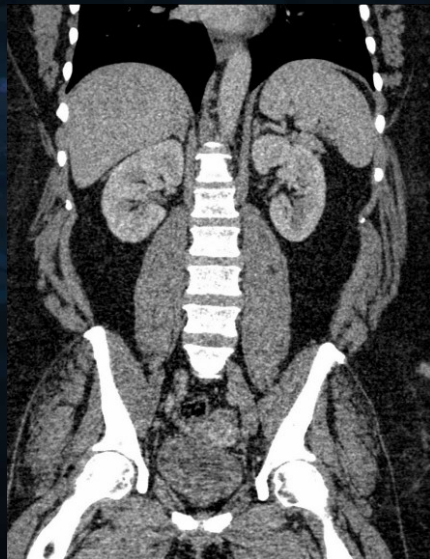
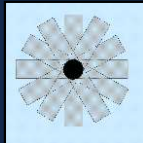
TrueFidelity™ 2.0



画像再構成の変遷とTrueFidelity (TFI)

TrueFidelity solves the key challenges of FBP and Iterative Recon

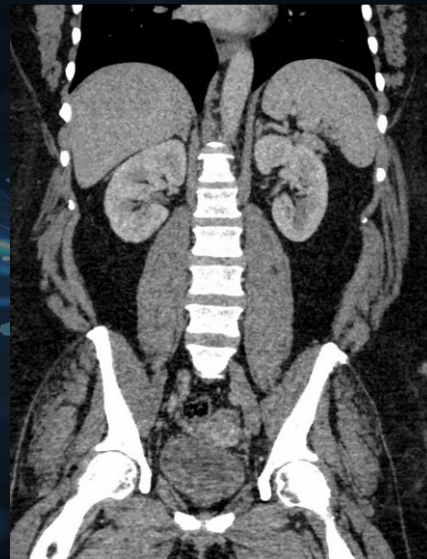
1972 – 2008
Filtered Back Projection



診慣れた違和感のない画質
(高線量時) ※被ばく増加

ノイズ・アーチファクト増加
(低線量時・線量不足時)

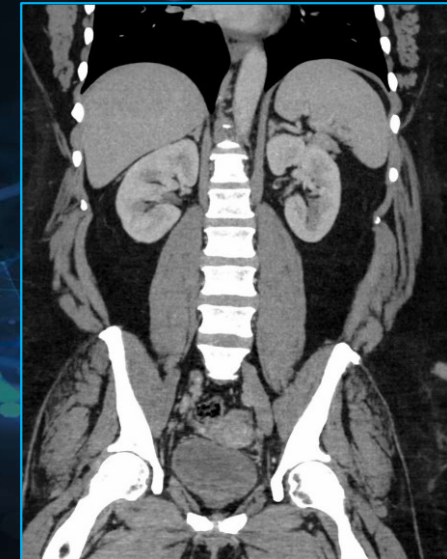
2008 – 現在
Iterative Reconstruction



低ノイズ・低被ばく

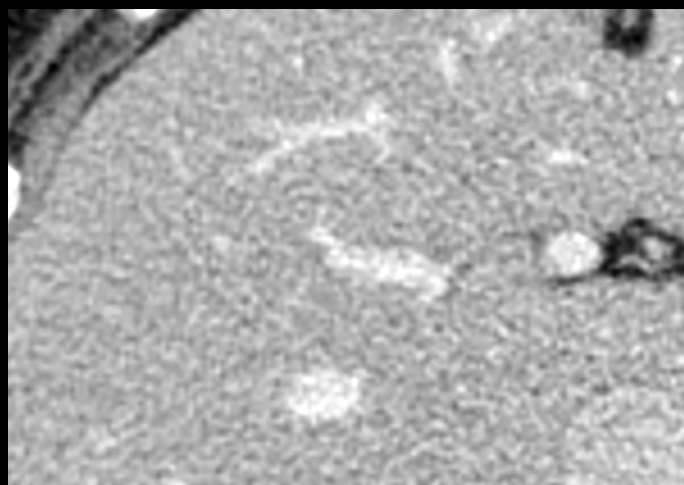
撮影条件、IR強度によりテクスチャーの変化、
画質の違和感が発生

現在 – 未来
TrueFidelity

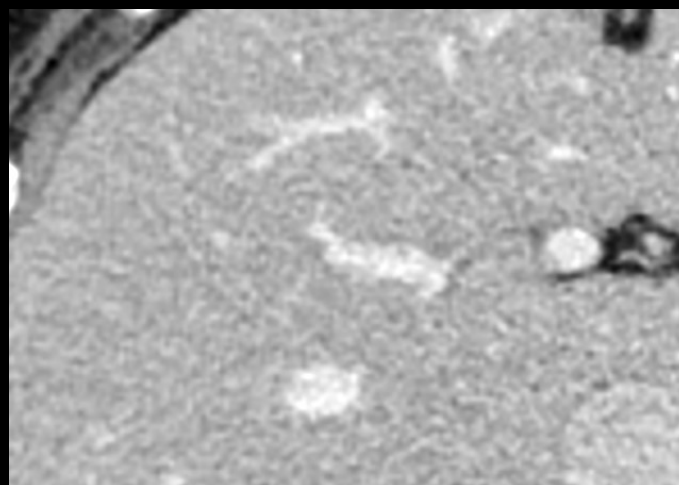


テクスチャーの変化、画質の違和感、
被ばくを抑え、診断し易い鮮鋭度の
高い画質を実現へ

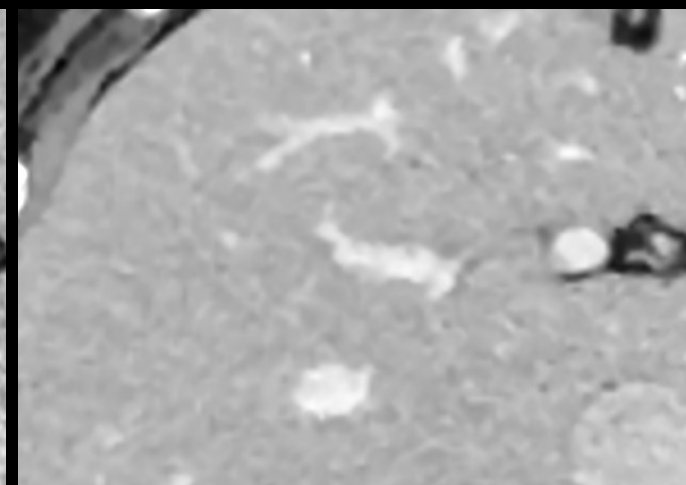
逐次近似画像再構成法の現状



FBP



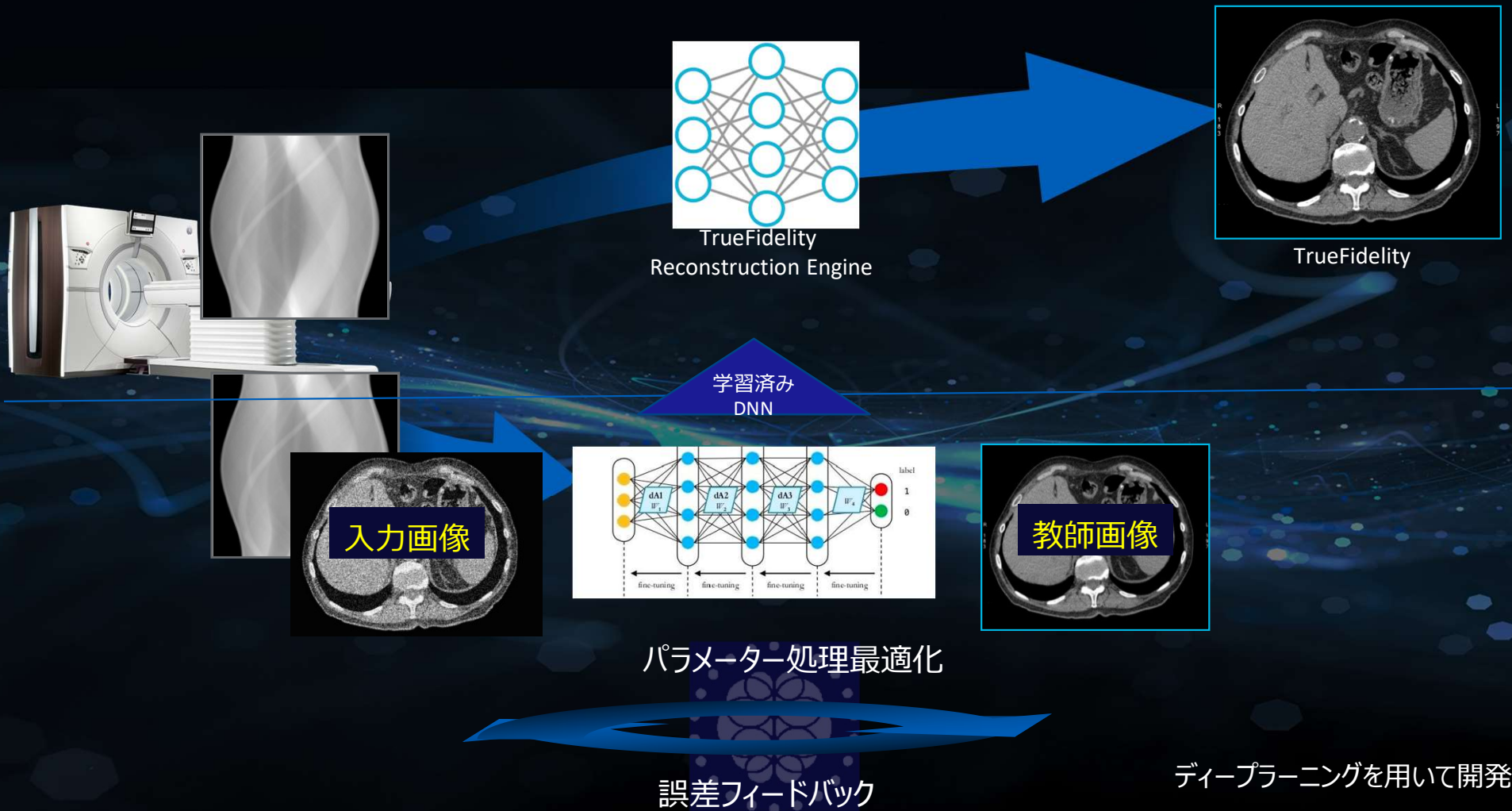
ASIR-V50%



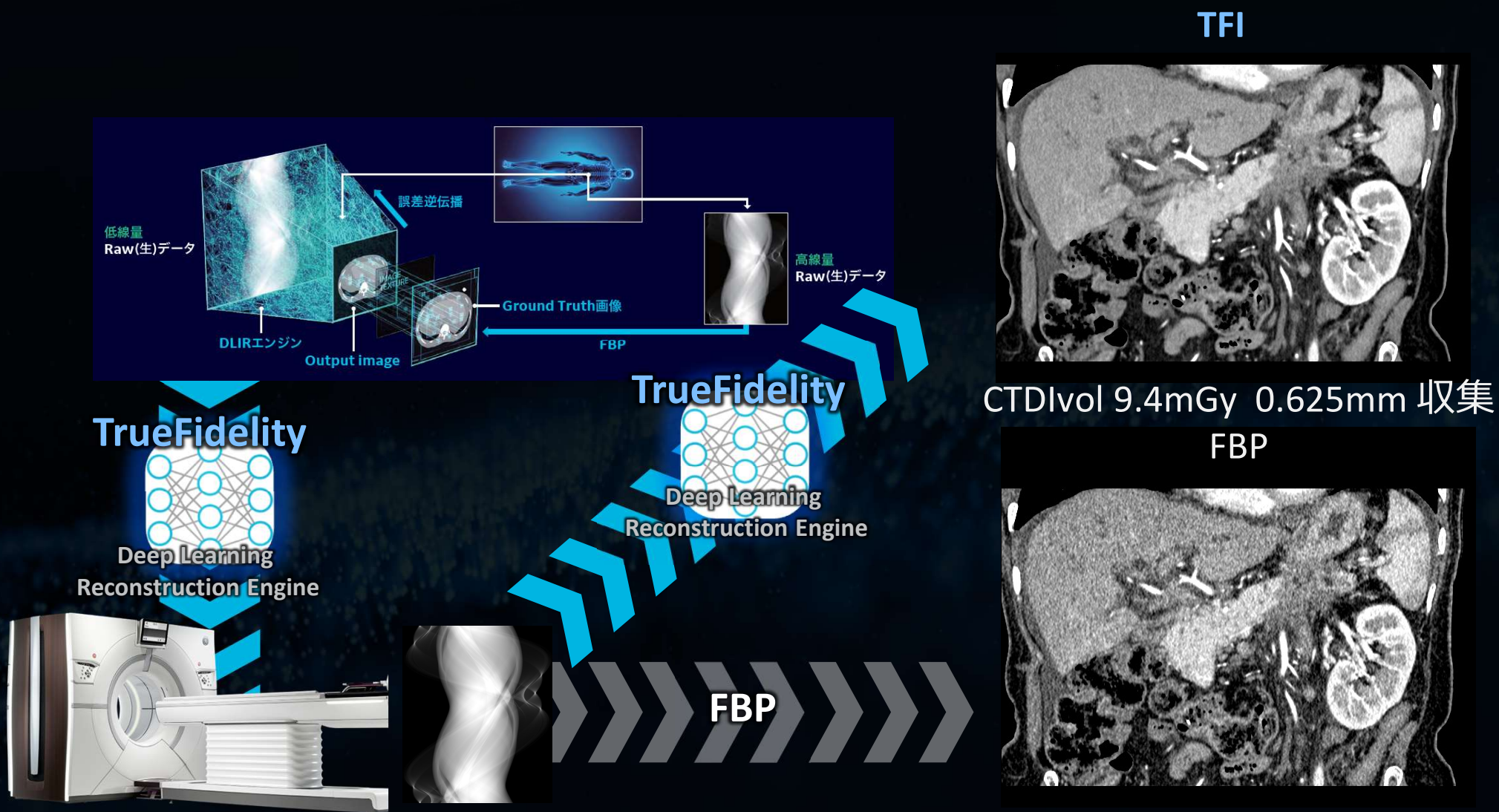
ASIR-V100%

IRの強度を高めると画質の違和感・粒状性の変化

TrueFidelity 開発プロセス概念図



TrueFidelity Images-Deep Learning Image

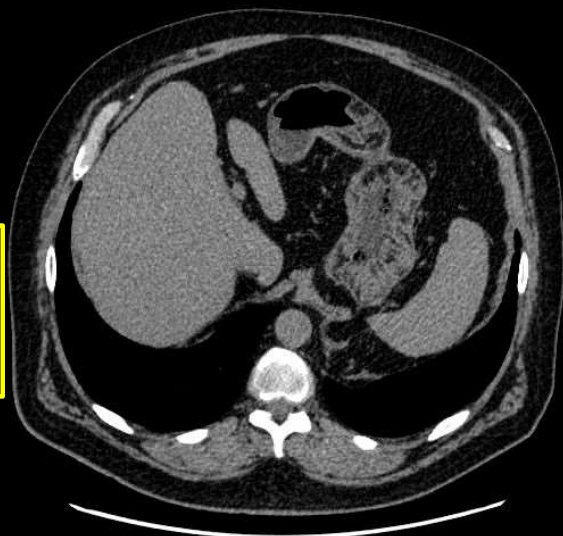


TFI画像比較1.25mm画像

Weight:117kg
28mGy

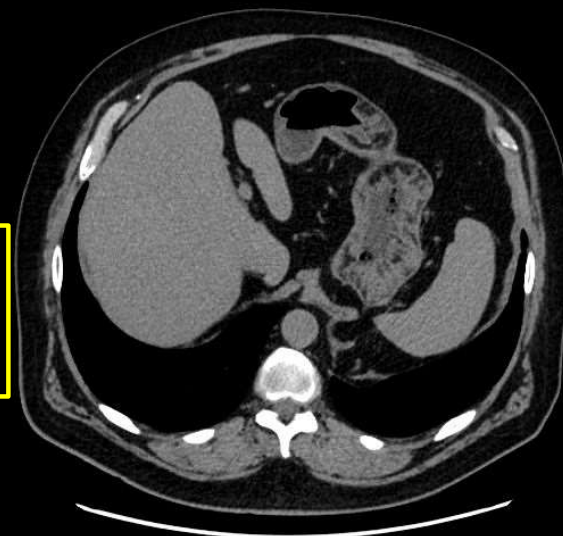
2D
Thickness: 1.25 mm
120.0 kV
604 mA(600 msec)

TFI(-)
NI:24.2



2022/08/16 2D
Se: 704 Thickness: 1.25 mm
1 / 1 120.0 kV
604 mA(600 msec)

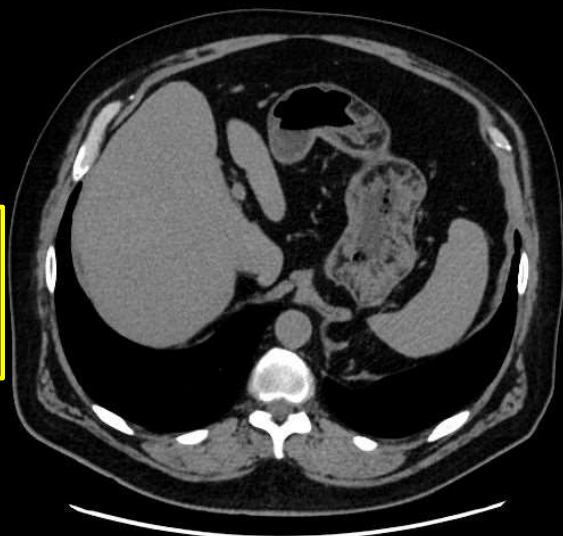
TFI low
NI:14.7



2022/08/16
Se: 705
1 / 1

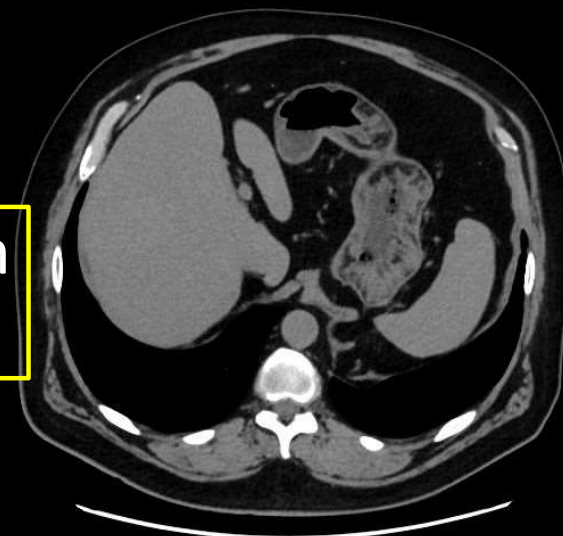
2D
Thickness: 1.25 mm
120.0 kV
604 mA(600 msec)

TFI mid
NI:11.4



2022/08/16 2D
Se: 706 Thickness: 1.25 mm
1 / 1 120.0 kV
604 mA(600 msec)

TFI high
NI:7.9



2022/08/16
Se: 707
1 / 1

Zoom: x1.1
WL: 50 WW: 350

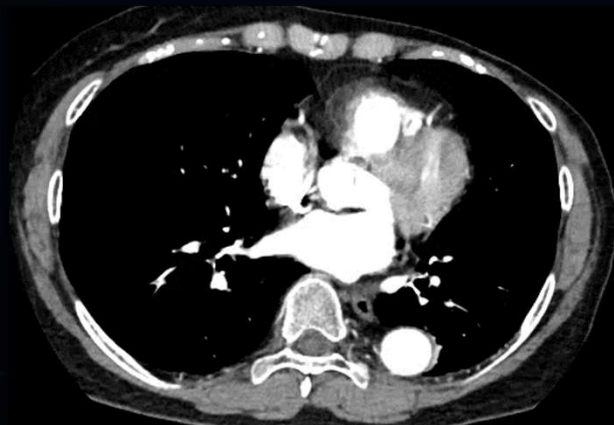
Zoom: x1.1
WL: 50 WW: 350

Zoom: x1.1
WL: 50 WW: 350

Zoom: x1.1
WL: 50 WW: 350

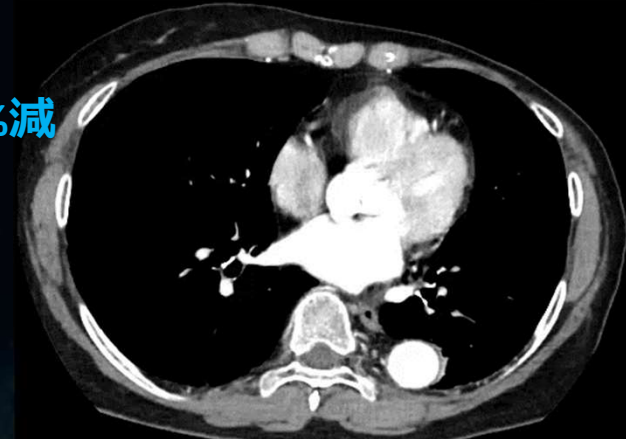
腹部ダイナミック TFI GSI 1.25mm

Phase1
通常線量



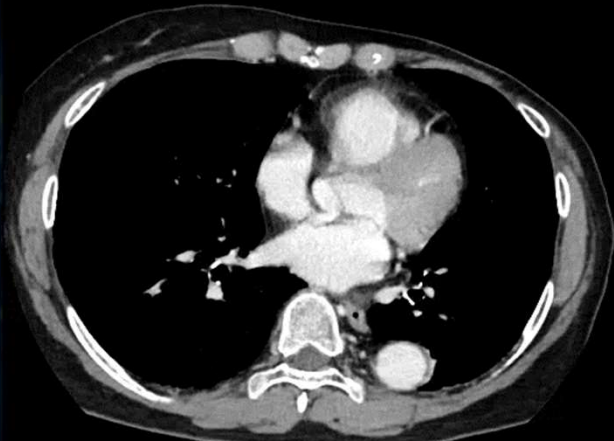
335mA 70keV

Phase2
線量50%減
TFI



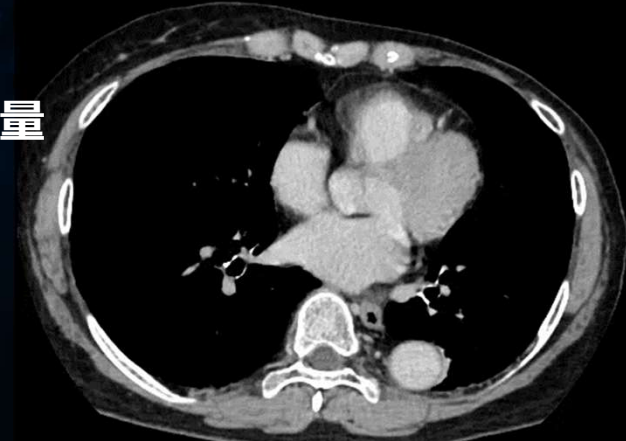
145mA 70keV

Phase3
線量50%減
TFI



145mA 70keV

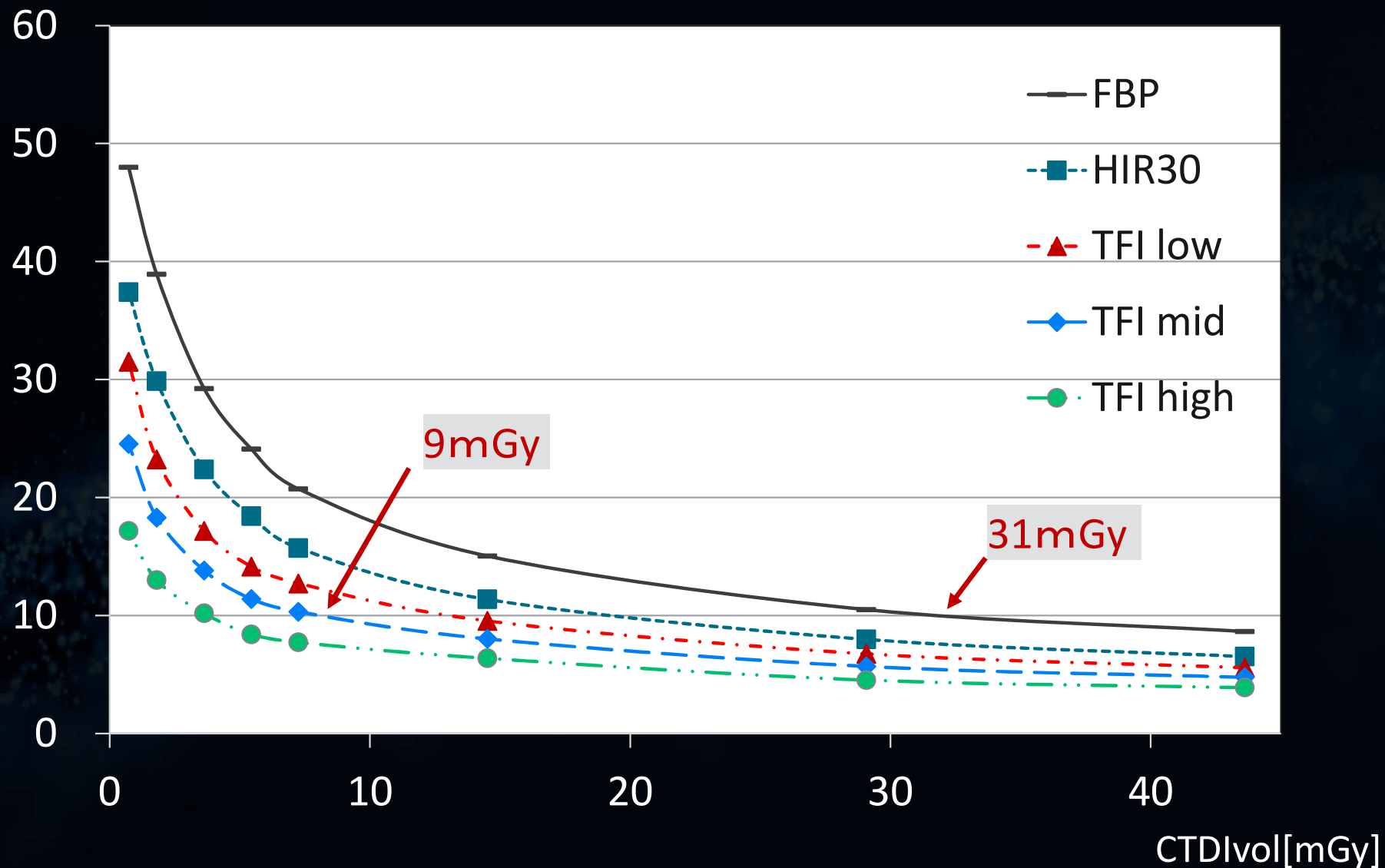
Phase4
通常線量



405mA 70keV

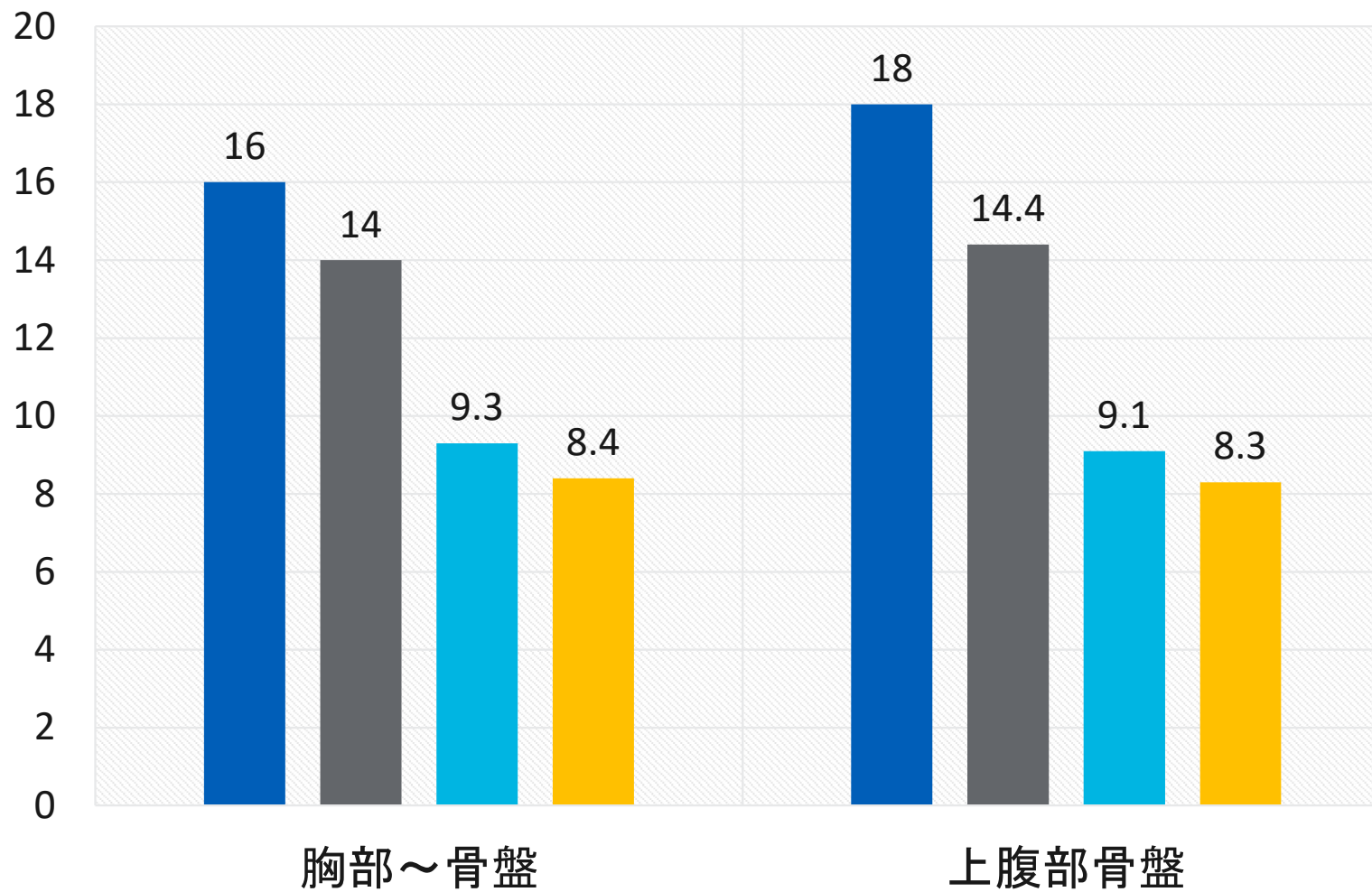
CTDIvolとNoise indexの関係(水ファントム撮影)

Noise index



当院のCTDIvolとDRLs2020の比較（4～7月）

CTDIvol[mGy]



■ DRLs2020 ■ 装置A ■ 装置B ■ Revolution

再構成時間 (実測)

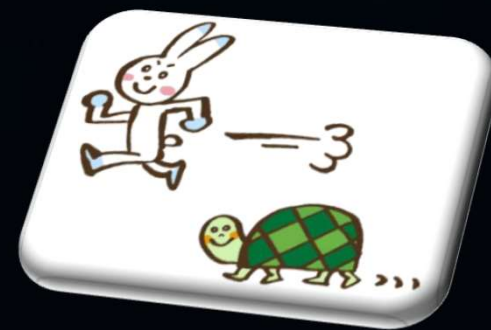
Scan length 30cm

	5mm	1.25mm
FBP	12s	13s
ASiR-V30%	12s	13s
TFI low	42s	43s
TFI mid	42s	43s
TFI high	42s	43s

Scan length 70cm

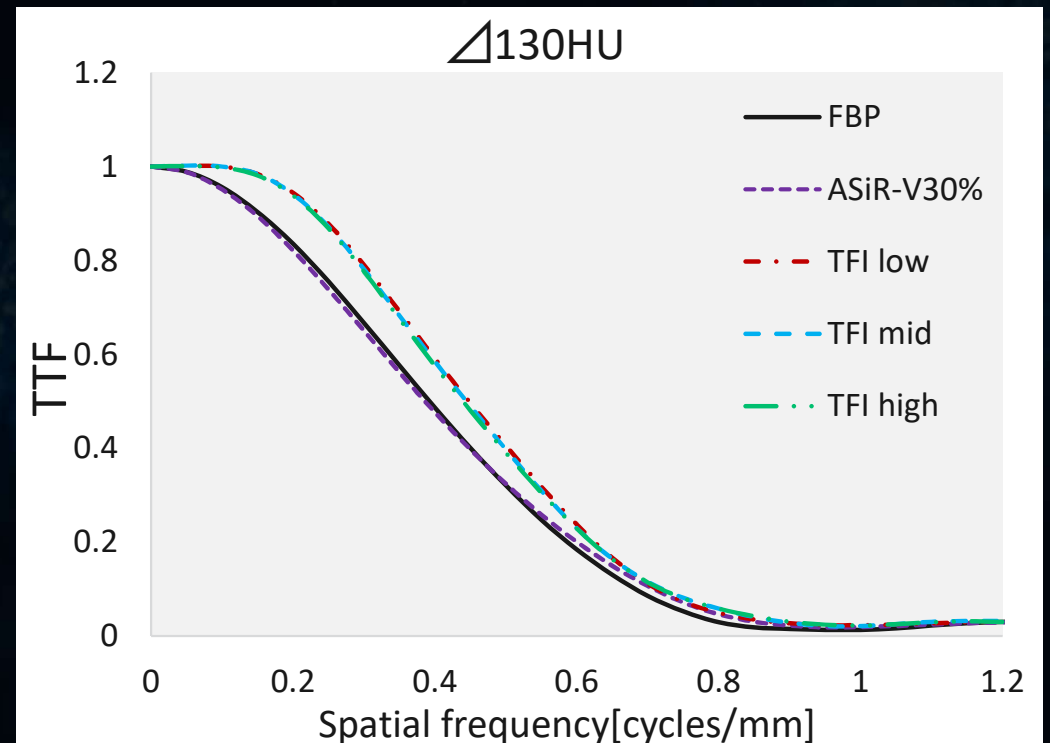
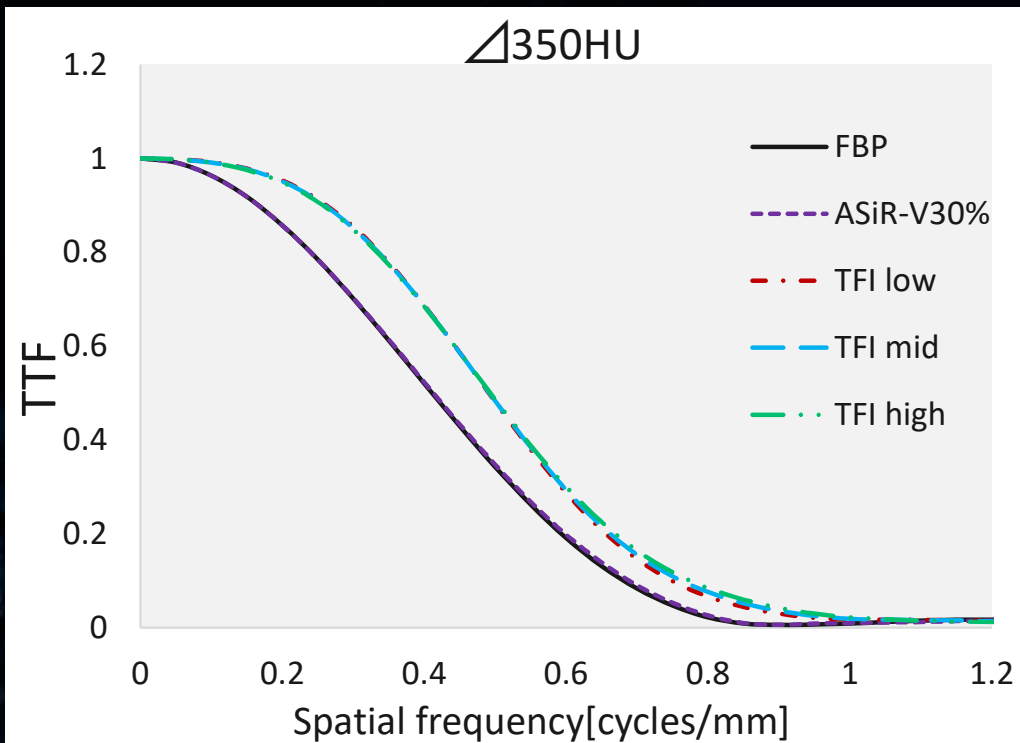
	5mm	1.25mm
FBP	23s	24s
ASiR-V30%	23s	24s
TFI low	88s	91s
TFI mid	88s	91s
TFI high	88s	91s

FBPの約3～4倍



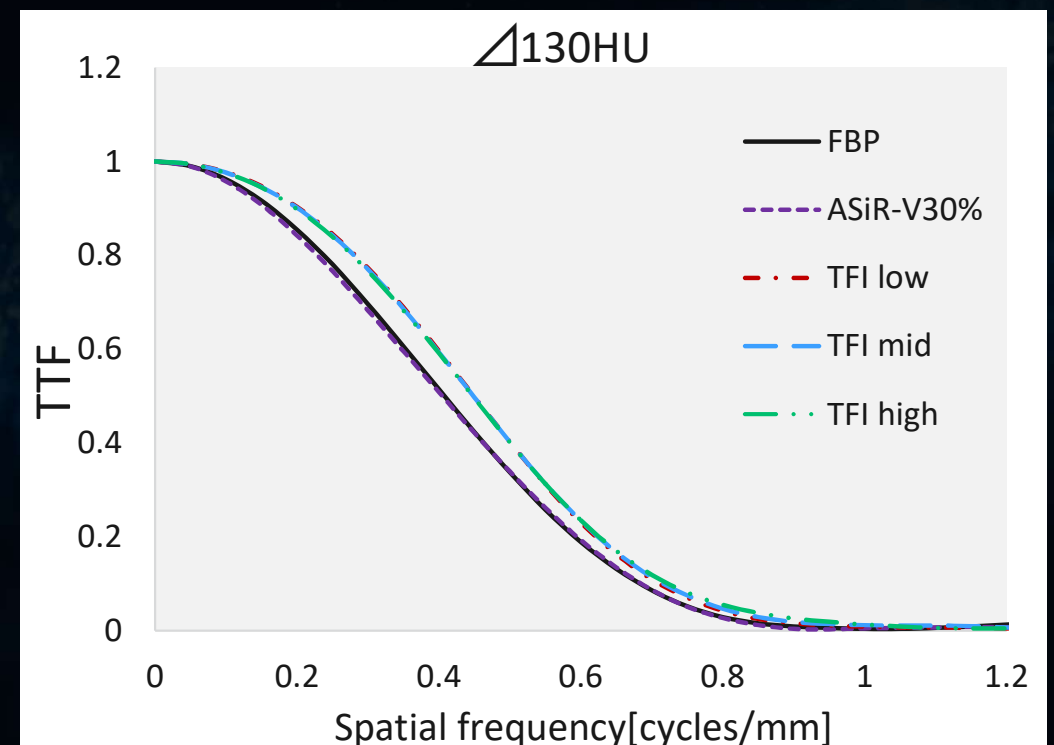
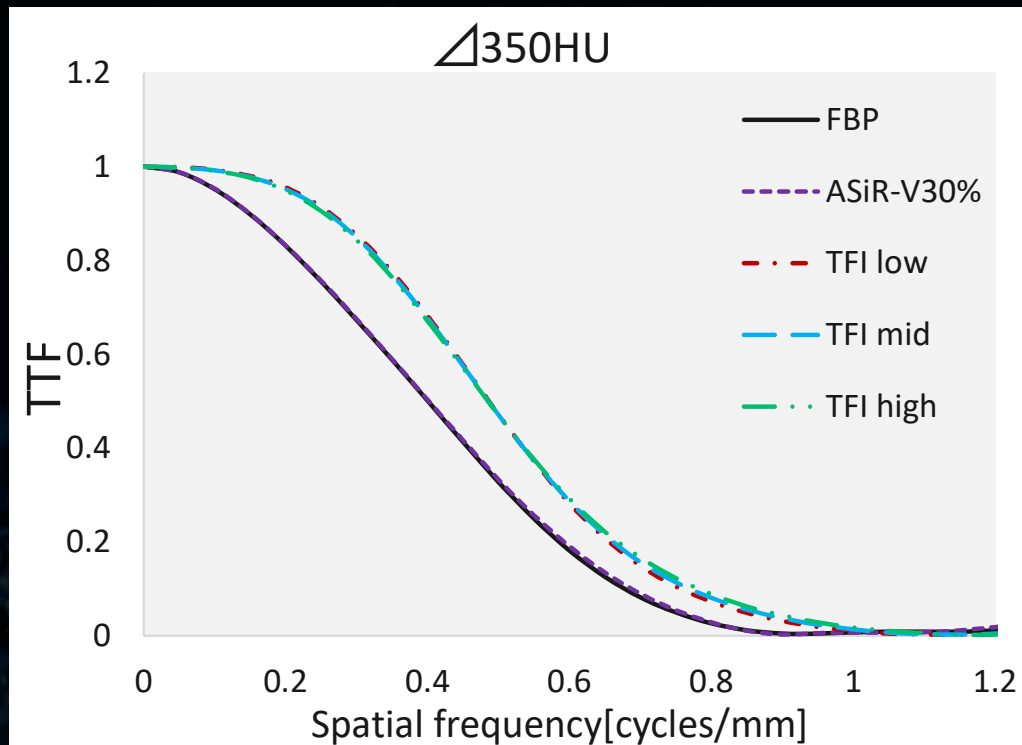
TTF (task transfer function)

- ✓ 20cmφの水ファントム (130HU,350HUの円柱ロッド入り)
- ✓ Circular Edge法 (CT measure)
- ✓ CTDIvol : 3mGy (NI:10相当)



TTF (task transfer function)

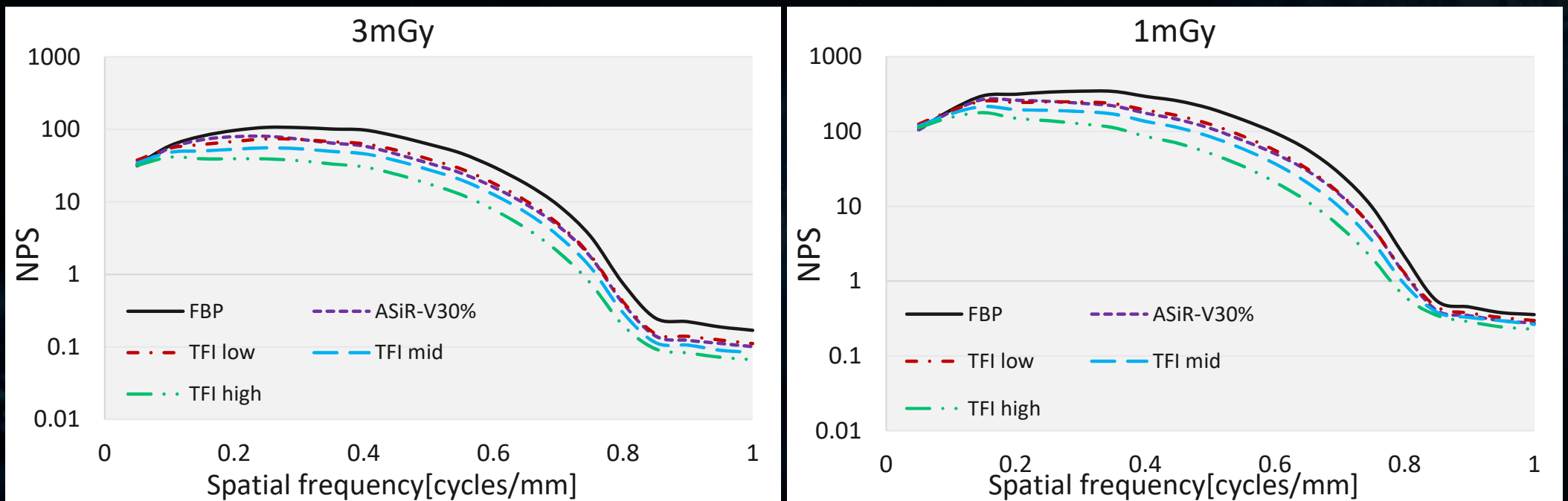
- ✓ 20cmφの水ファントム (130HU,350HUの円柱ロッド入り)
- ✓ Circular Edge法 (CT measure)
- ✓ CTDIvol : 1mGy (1/3線量)



TFIは分解能を維持しながら、効果的にノイズ低減が可能

NPS (noise power spectrum)

- ✓ 20cmφの水ファントム
- ✓ radial frequency法 (CT measure)
- ✓ CTDIvol : 3mGy, 1mGy



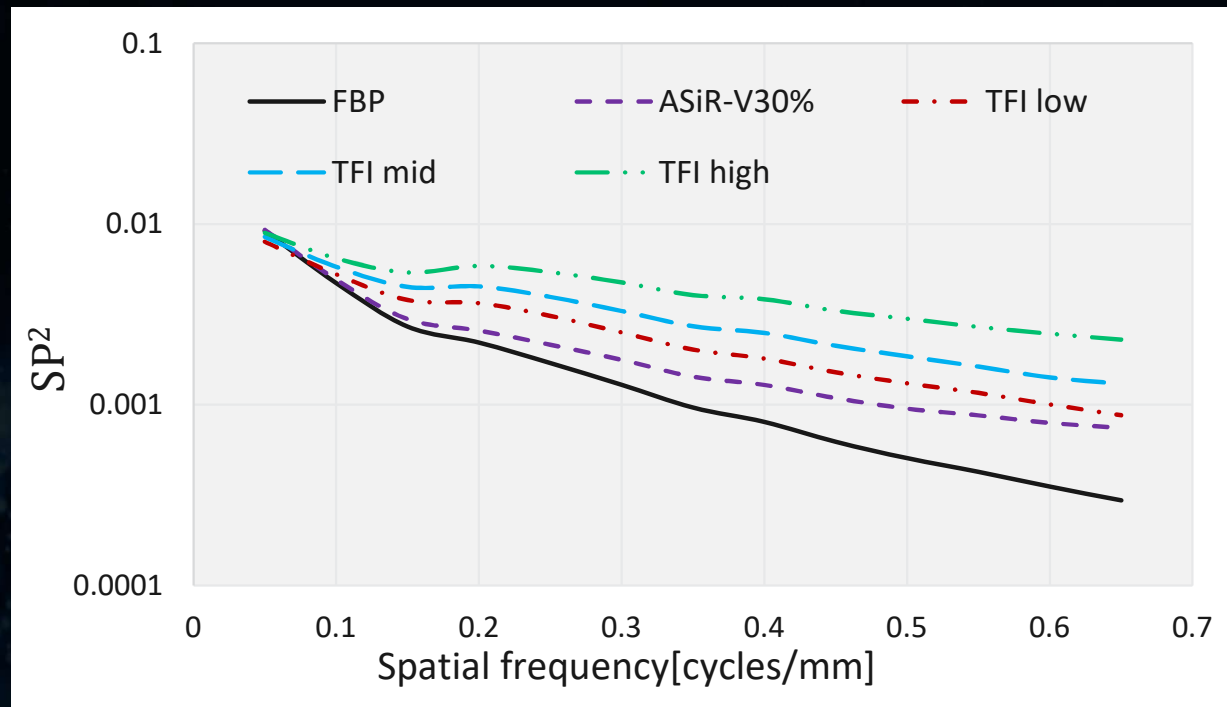
TFIは低線量においてもNPSの形状変化
(画質変化) が少なく、ノイズ低減が可能

SPF (system performance function)

✓ 前述のTTFとNPSから算出

$$✓ SP^2(f) = \frac{TTF^2(f)}{NPS(f)}$$

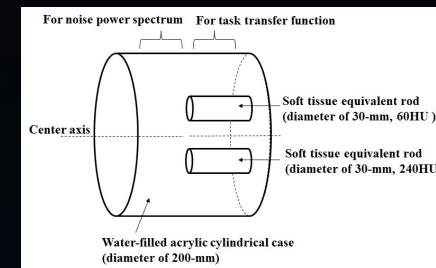
✓ CTDIvol : 1mGy, 130HU



TFIは低線量、中コントラストロッドにおいて強度が増すほどSP関数は上昇する

DLIR TrueFidelityの物理評価・基礎検討について

金沢大学附属病院 放射線部 高田 忠徳先生

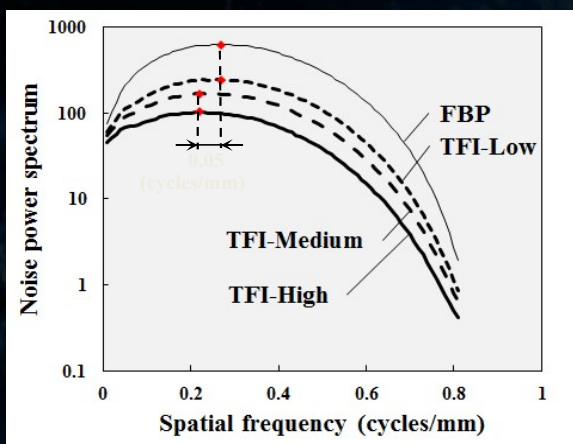


Conclusion

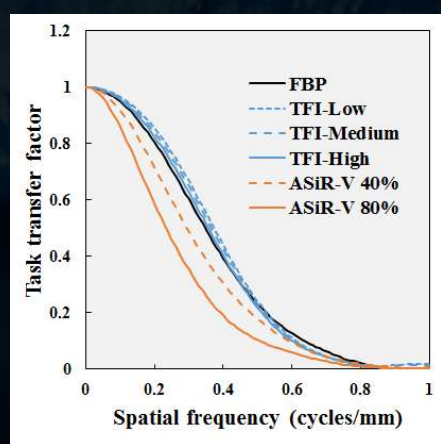
TFIのノイズ特性および解像特性は、

- IRで見受けられる画質の劣化を伴うような特性を示さなかった。
- TFIの解像特性は低～中間コントラストでもエッジ保存性能が担保されていた。
- またノイズ特性はFBPの周波数特性と大きく変化することはなかった。

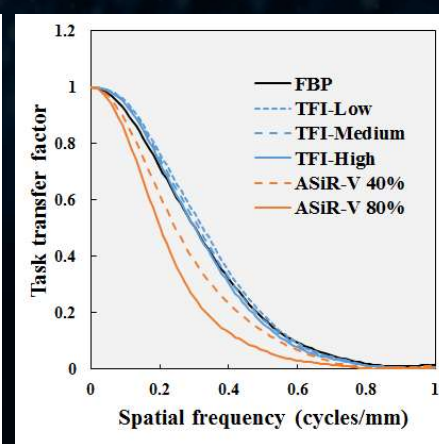
以上より、TFIは画像のテクスチャ変化を最小限にとどめた画像再構成法であり、解像特性への線量依存性も低いことから本格的な線量低減の可能性を有する再構成技術であると言える



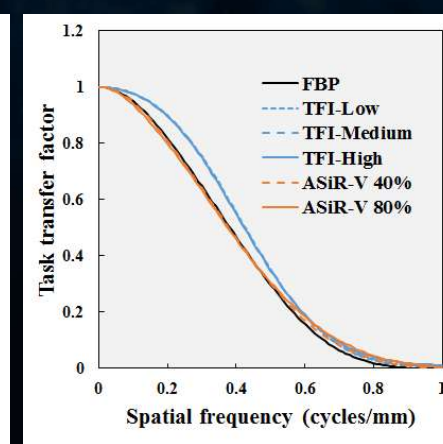
TFIノイズ特性



60HUのコントラストにおけるTTF
@20mGy



60HUのコントラストにおけるTTF
@10mGy



240HUのコントラストにおけるTTF

まとめ

- ✓ Revolution CTのAI技術について説明した
- ✓ Smart Cardiac Technology
 - SSF2.0は冠動脈以外にも適応
 - オペレーターに関わらず、大幅なスループットの向上
 - 被ばく低減と質の高い画像を提供
- ✓ TrueFidelity™ 2.0
 - 画像のテクスチャ変化を最小限にとどめた画像再構成法
→ 違和感が少なく使用しやすい
 - 解像特性への線量依存性が低いことから大幅な線量低減が可能
→ 検査内容に応じてさらなる被ばく低減の最適化

私が考えるAIの問題点

✓ 技師の知識と技術の低下の懸念

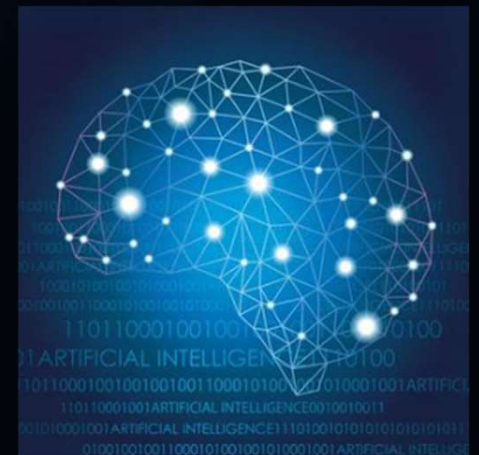
→ ジレンマ

✓ 未学習のものに対応できない

→ どのような挙動を示すか未知

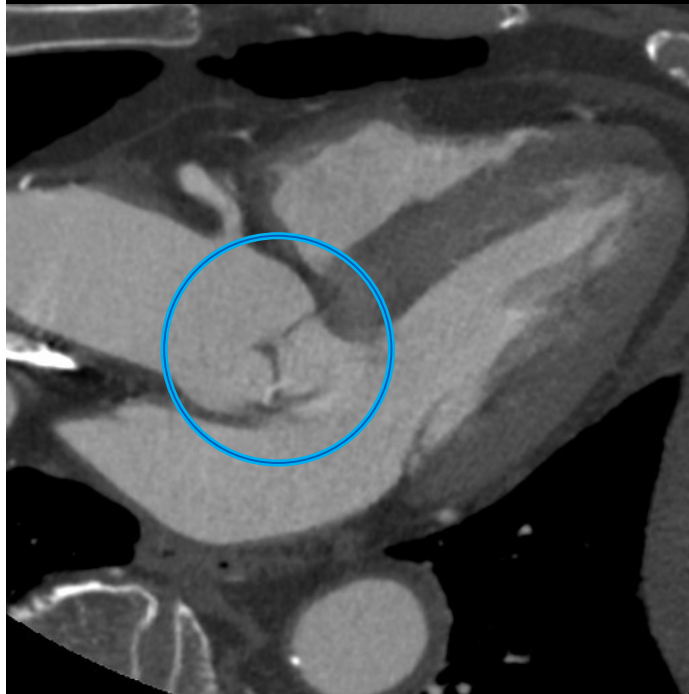
✓ 最終的には技師の目が必要

→ AIに全てを任せるのは危険

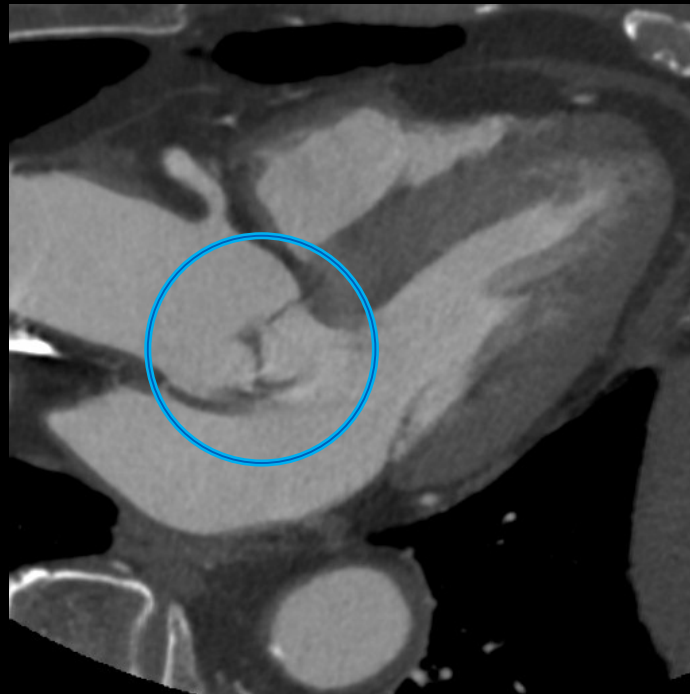


SnapShot Freeze2.0

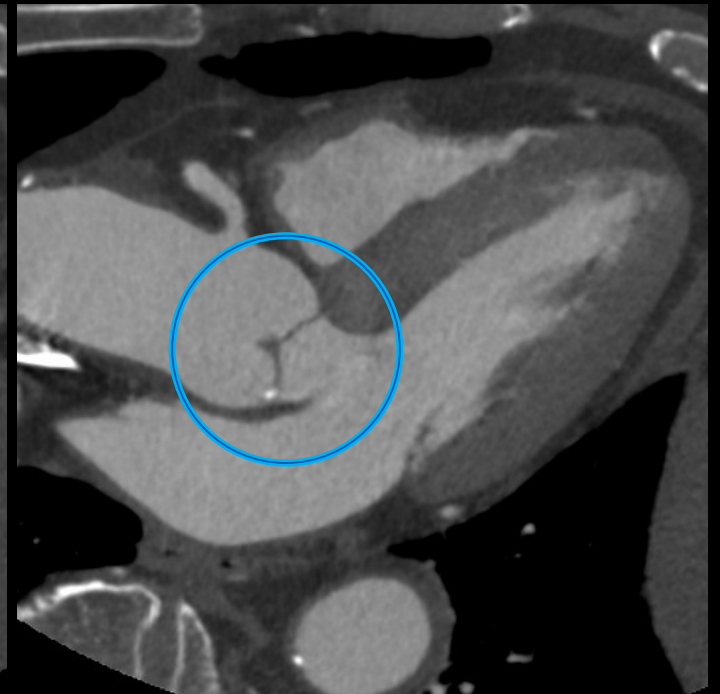
Whole-heart motion correction algorithm



Conventional



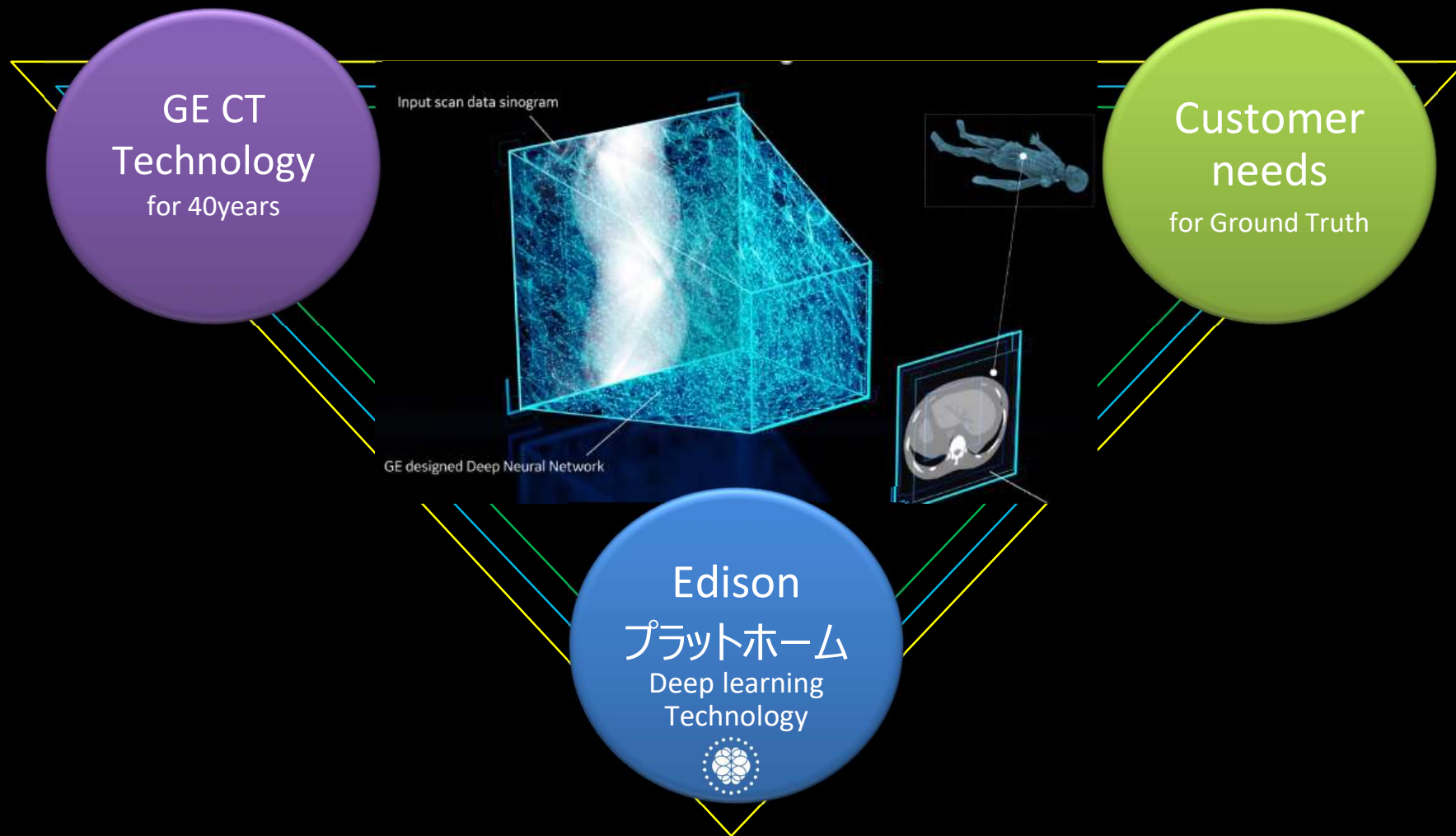
SSF



SSF2.0

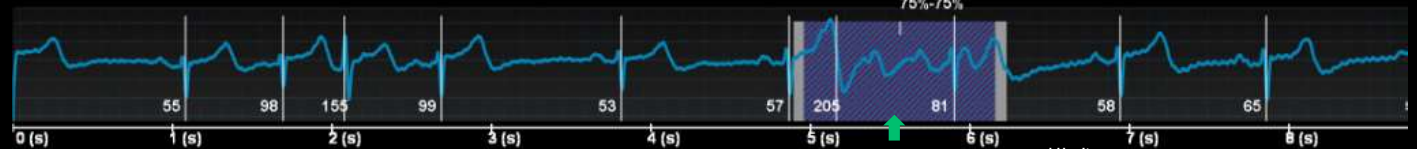
TrueFidelity Three Pillars

TrueFidelity solves the key challenges of FBP and Iterative Recon



51bpm-205bpm Af 症例

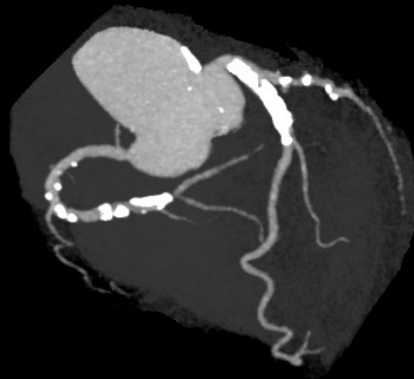
Smart Cardiac Whole Heart cycle Acquisition



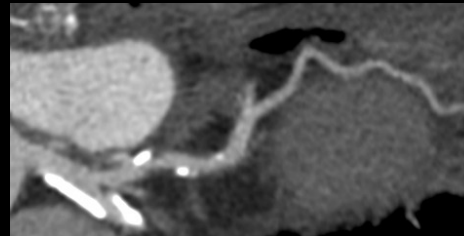
Phase: 75 %
 Scan Type: Wide-cone cardiac axial
 Series Number: 302
 Created: 3 06, 2018 09:47:31 □□
 Exam Time: 3 06, 2018
 Scan heart rate statistics:

Min: 51 Avg: 62 Max: 205 Variability: 14 Irregularities: 8

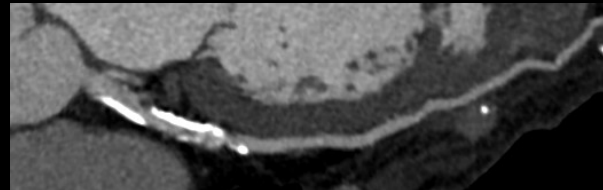
Scan Type	Axial
Rotation Time	0.28
kV	120
mA or NI	551
Kernel	Standard
ASiR%	50%



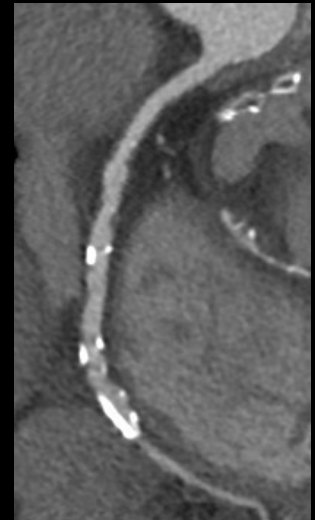
LCX



LAD

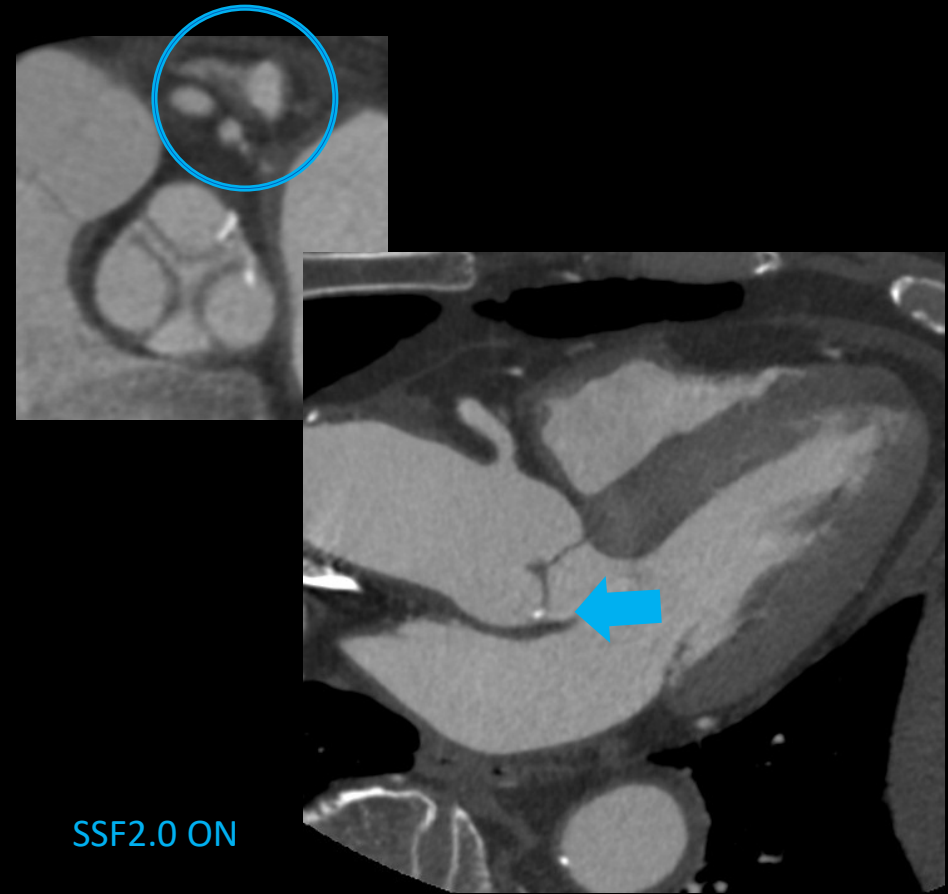
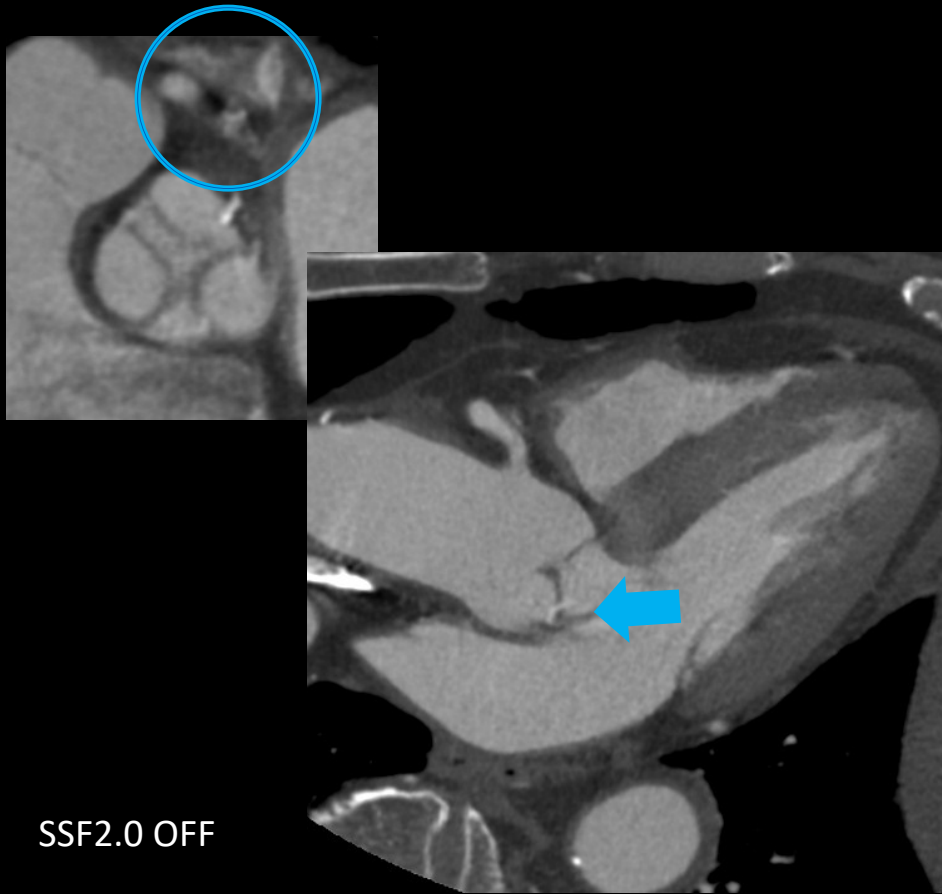


RCA



SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm



SnapShot Freeze2.0

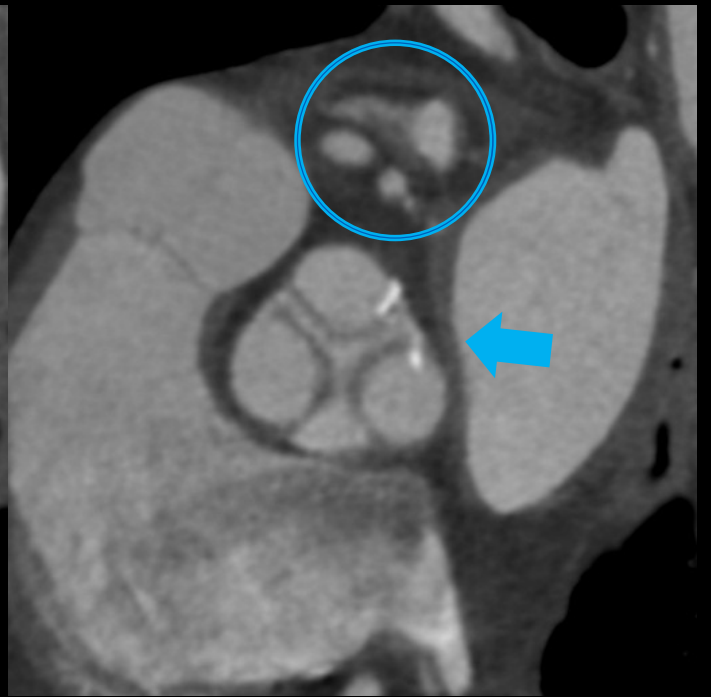
Whole-heart motion correction algorithm



Conventional



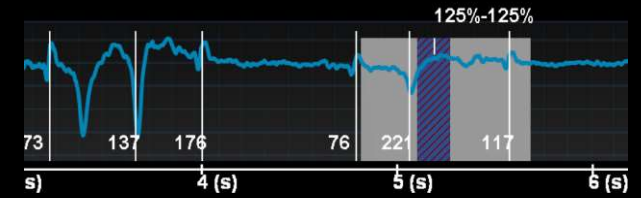
SSF



SSF2.0

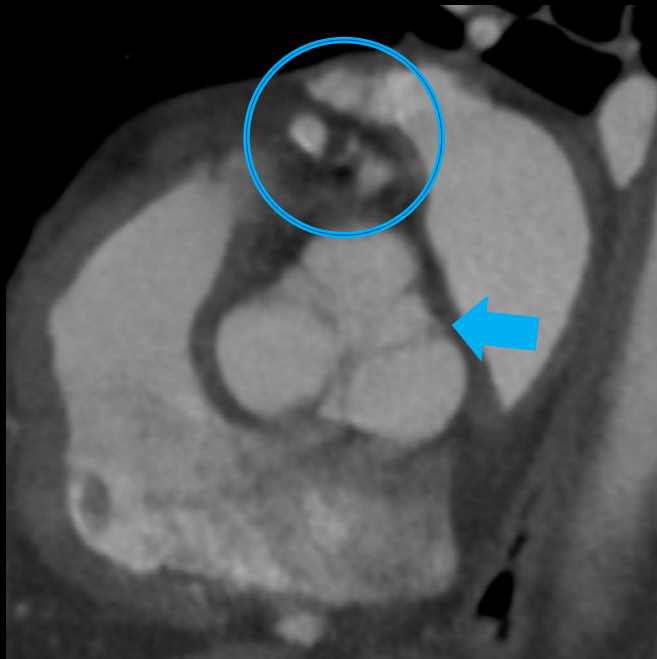
SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm

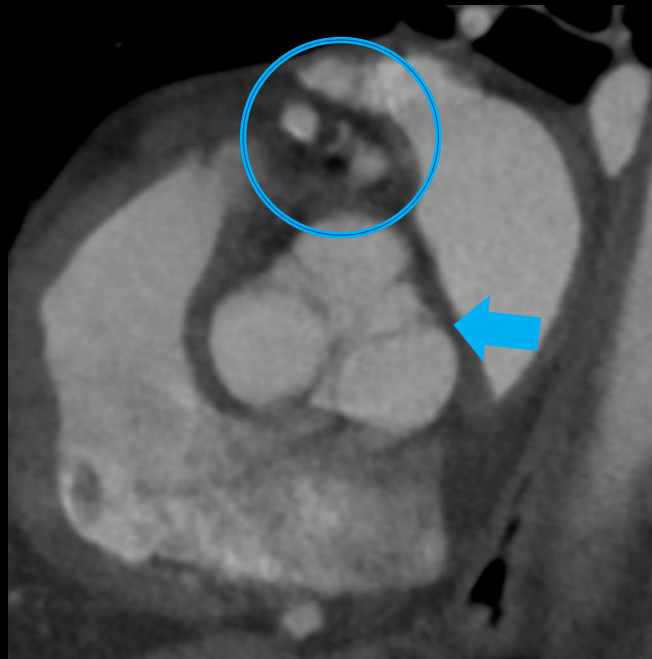


不整脈患者

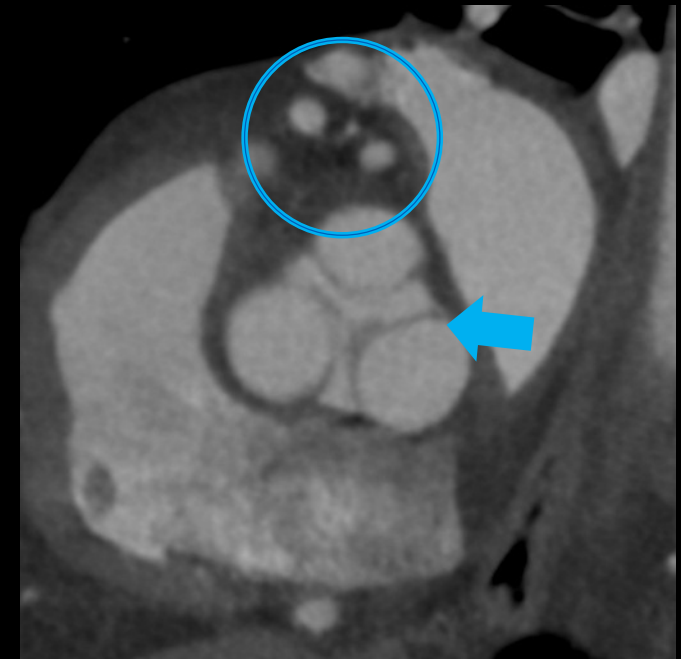
R-R25%



Conventional



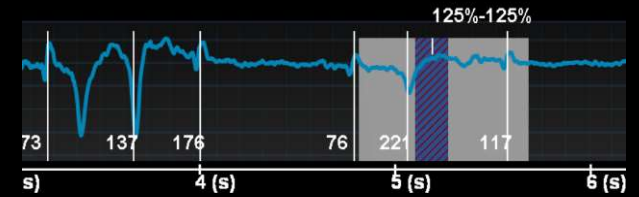
SSF



SSF2.0

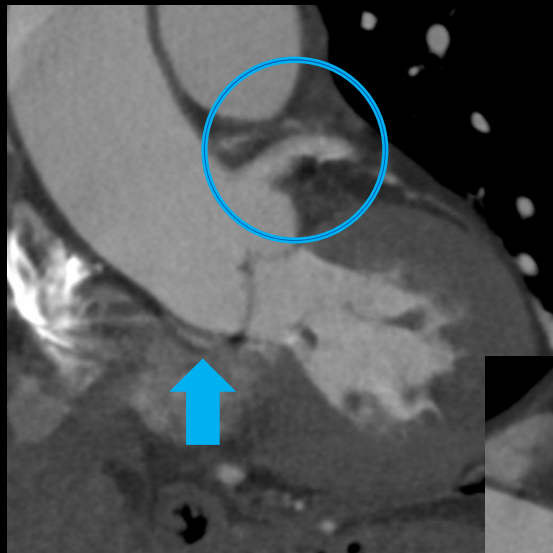
SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm

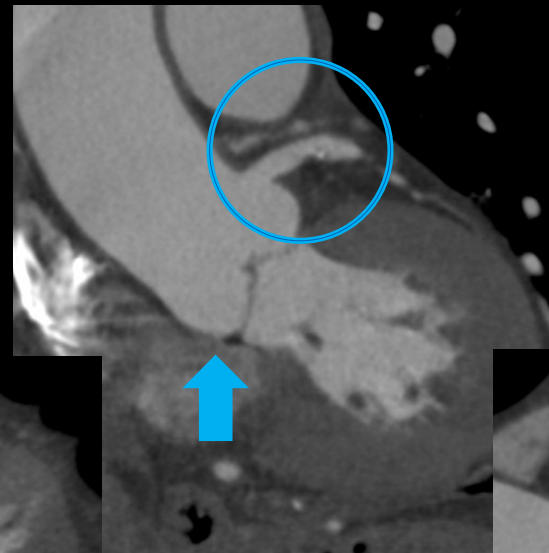
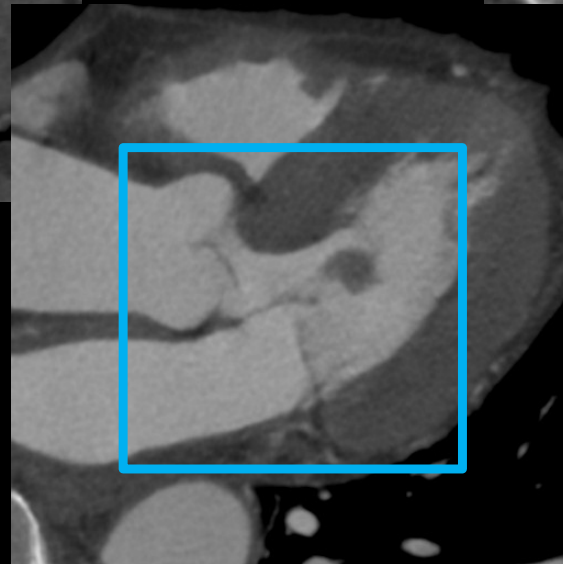


不整脈患者

R-R25%



SSF2.0 OFF



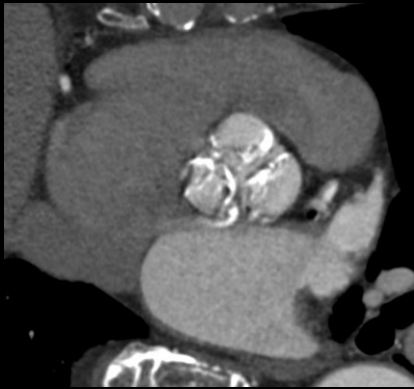
SSF2.0 ON



SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm

SSF2.0 OFF

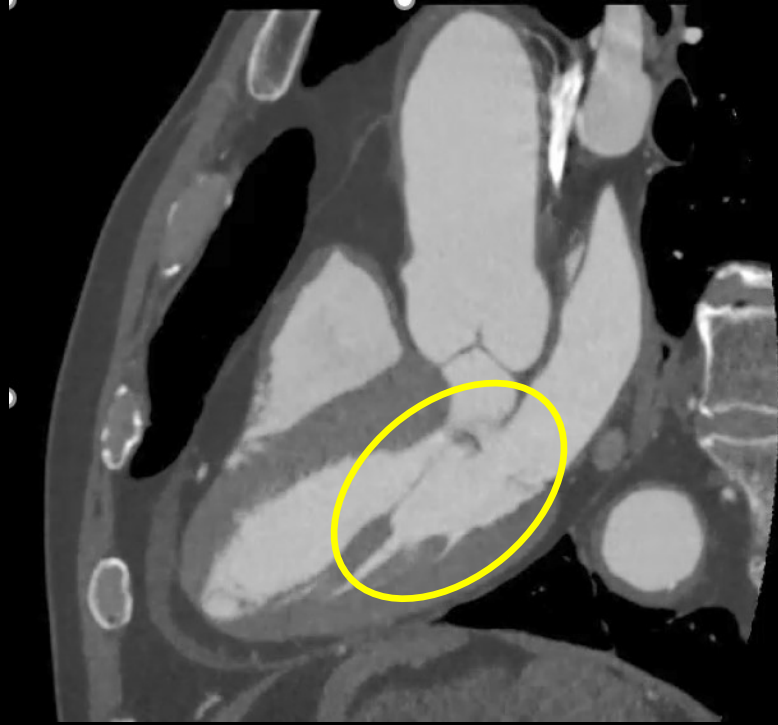


SSF2.0 ON



SnapShot Freeze2.0

Whole-heart 4D



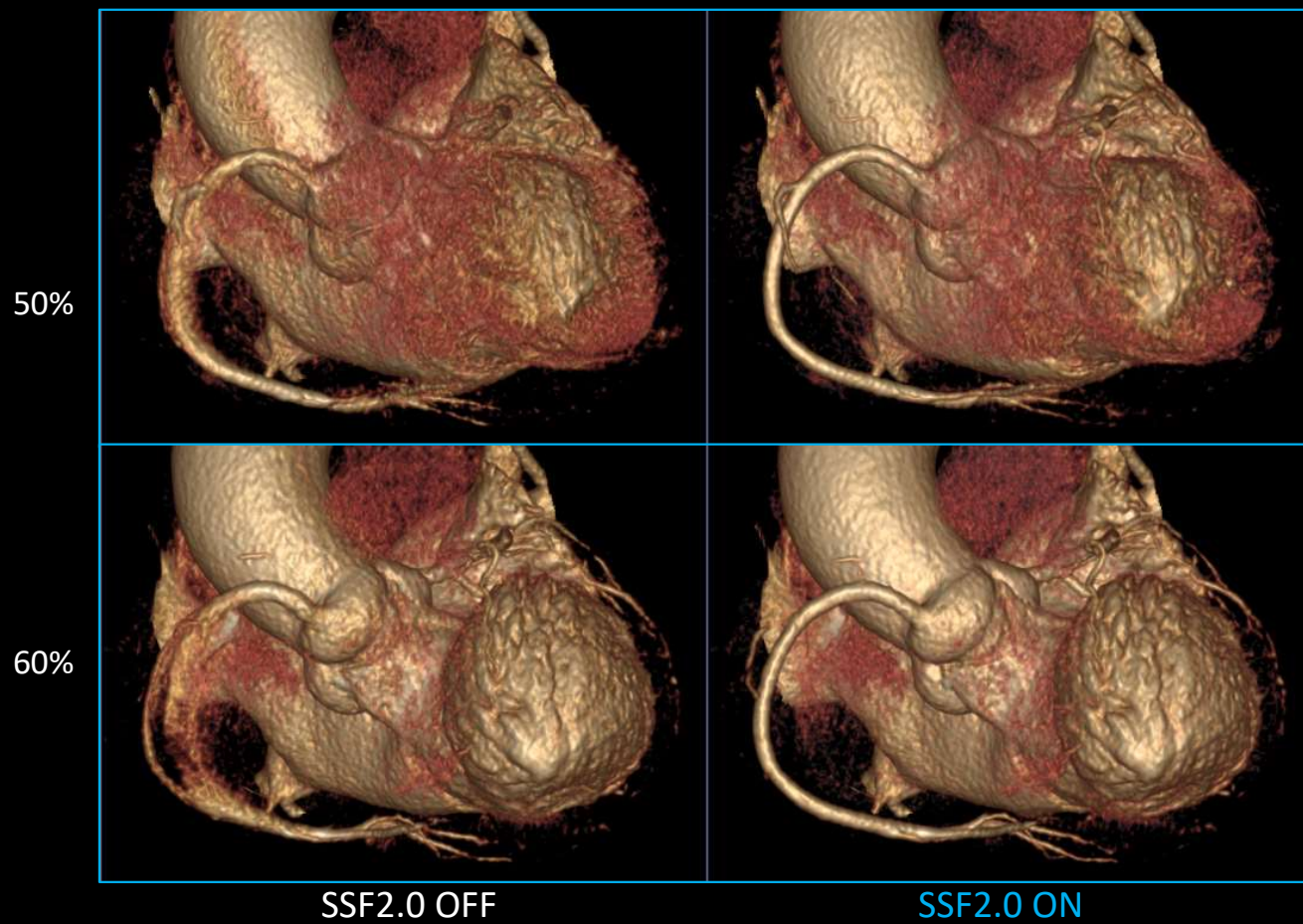
SSF2.0

Whole heart 4D motion FREEによりMitraClip 術前腱索走行確認非侵襲的治療の安全実施に貢献



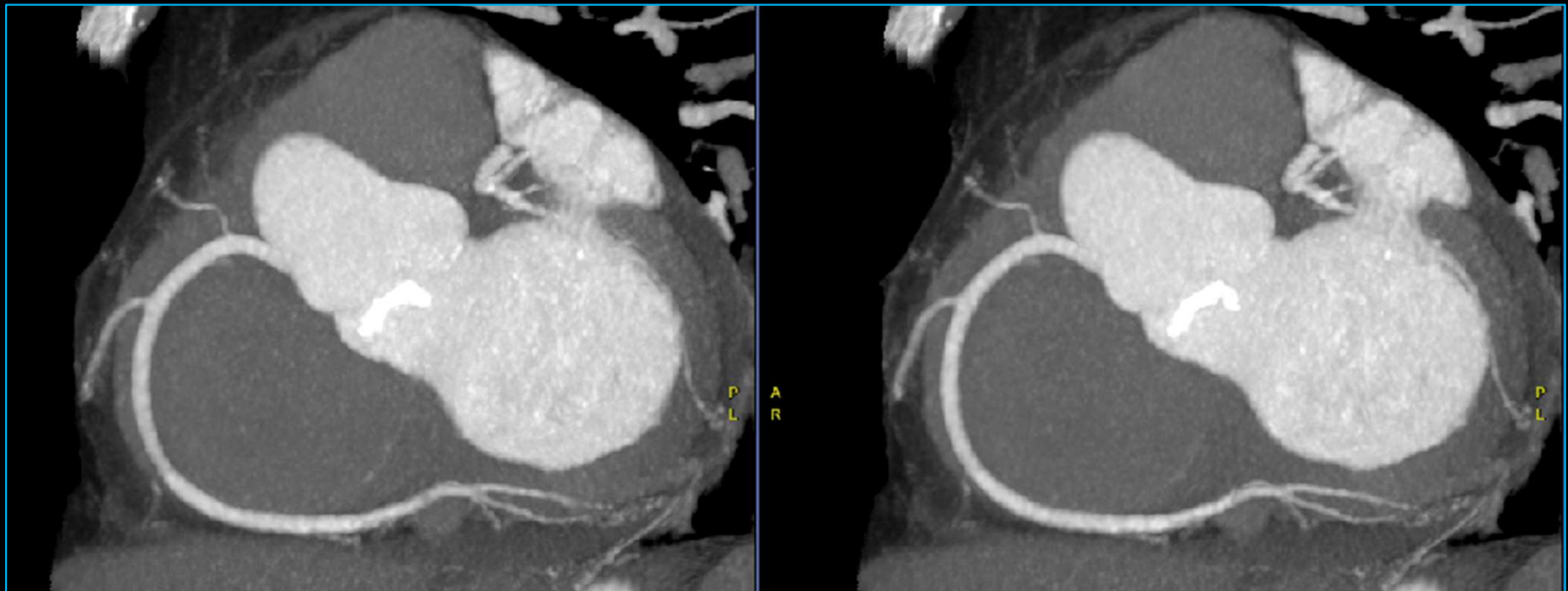
SnapShot Freeze2.0 RCA 比較

Whole-heart 4D



SnapShot Freeze2.0 RCA 比較

Whole-heart 4D



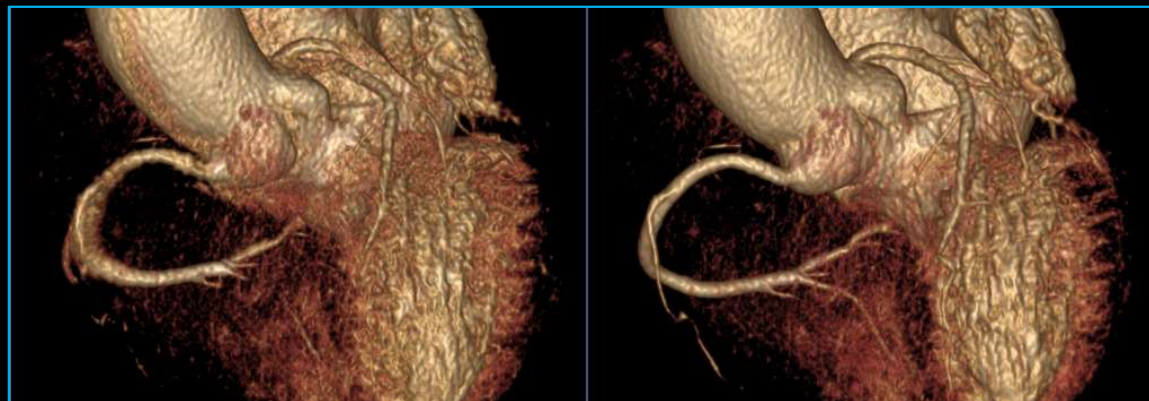
SSF2.0 OFF

SSF2.0 ON

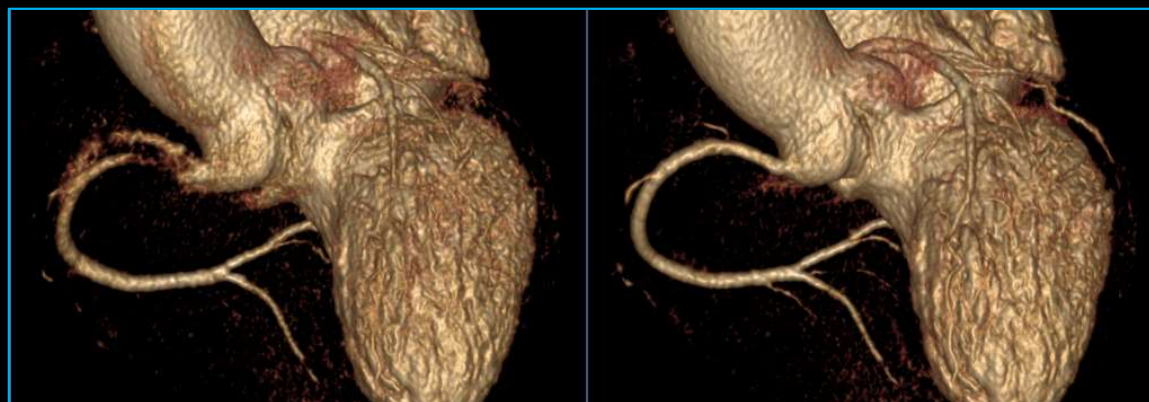
SnapShot Freeze2.0 RCA, LAD 比較

Whole-heart 4D

10%



50%

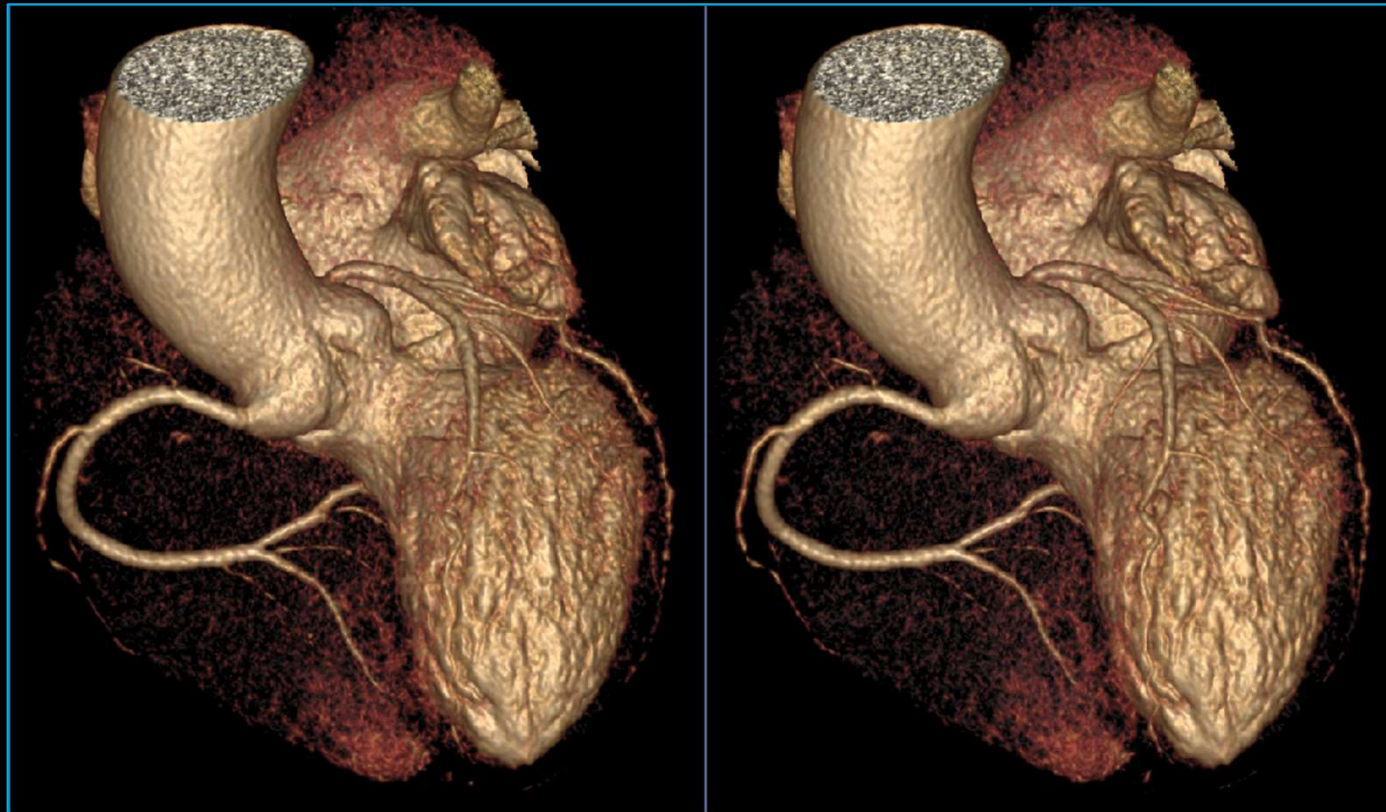


SSF2.0 OFF

SSF2.0 ON

SnapShot Freeze2.0 RCA, LAD 比較

Whole-heart 4D



SSF2.0 OFF

SSF2.0 ON

SnapShot Freeze2.0 LAD比較

Whole-heart 4D

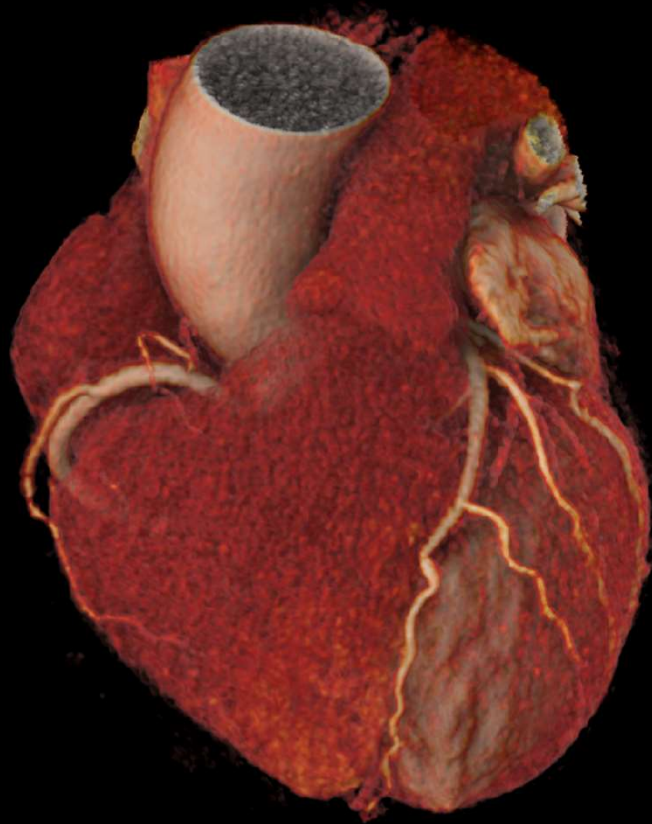


SSF2.0 OFF



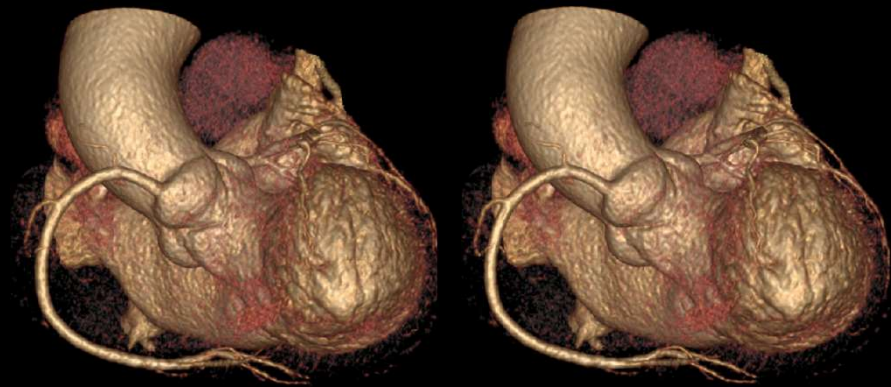
SSF2.0 ON

SnapShot Freeze2.0
Whole-heart 4D motion FREE



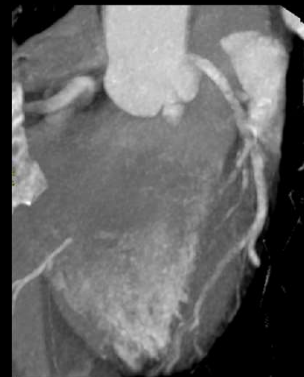
SnapShot Freeze2.0

Whole-heart 4D motion FREE



SSF2.0 OFF

SSF2.0 ON



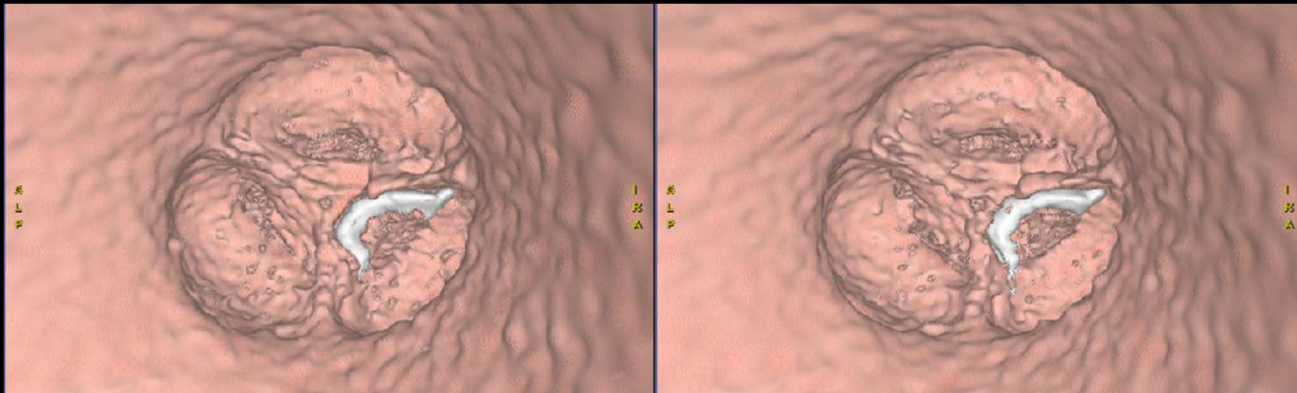
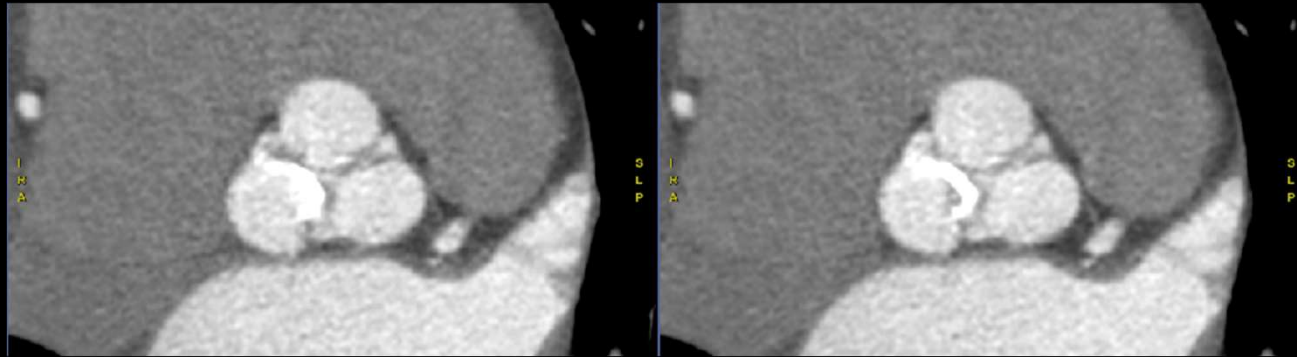
SSF2.0 OFF

SSF2.0 ON



SnapShot Freeze2.0 大動脈弁VR

Whole-heart 4D motion FREE

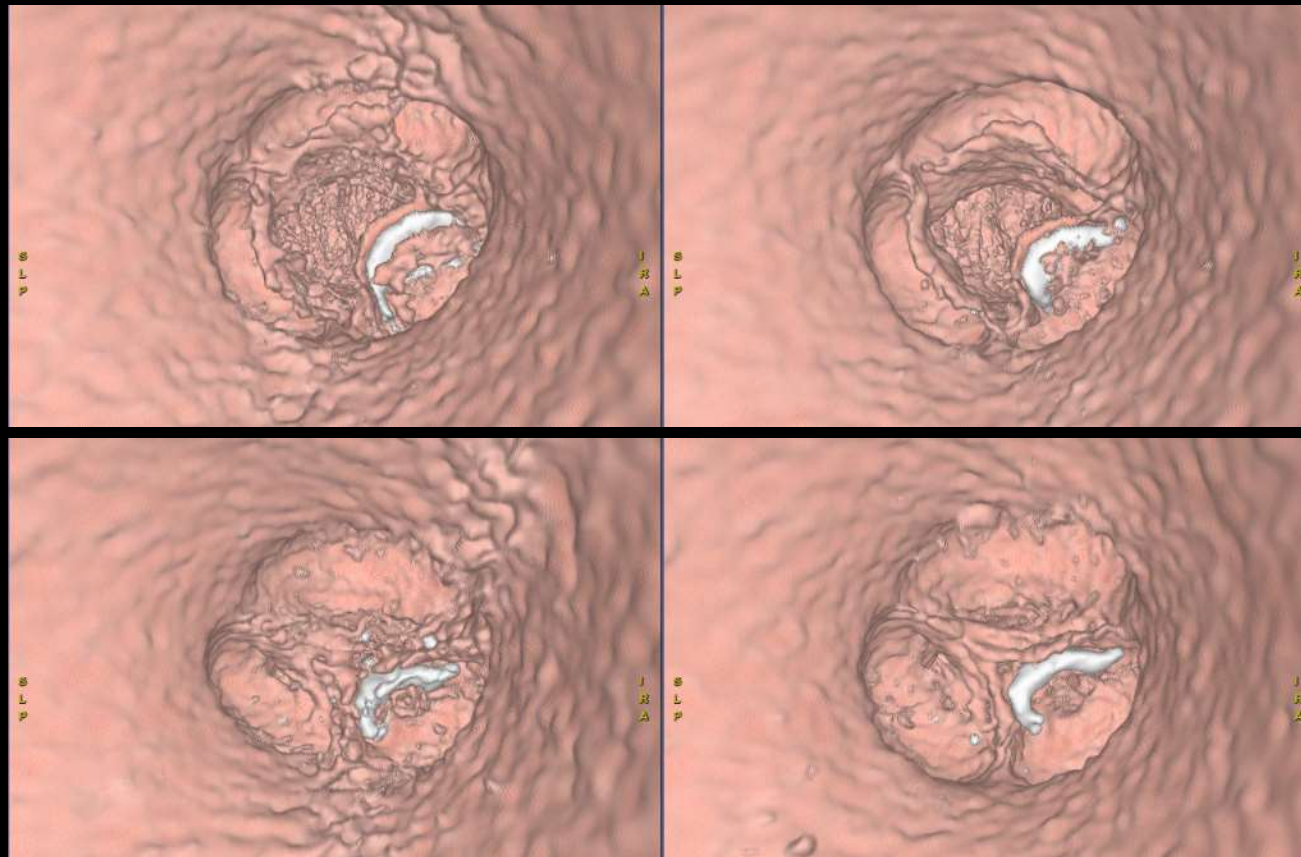


SSF2.0 OFF

SSF2.0 ON

SnapShot Freeze2.0 大動脈弁VR

Whole-heart 4D motion FREE

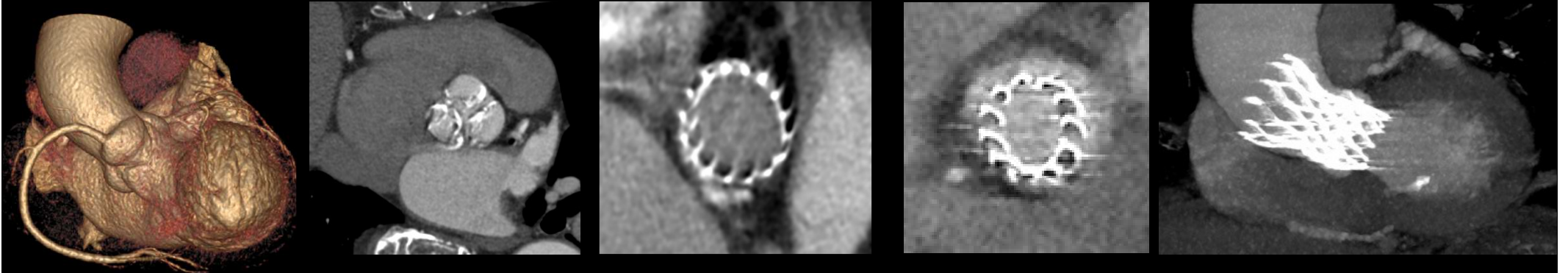


SSF2.0 OFF

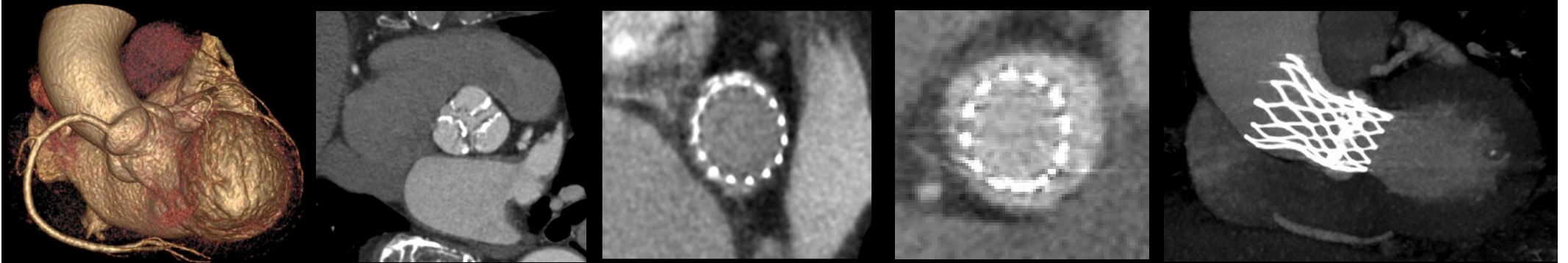
SSF2.0 ON

SnapShot Freeze2.0

Whole-heart motion correction algorithm



SSF2.0 OFF

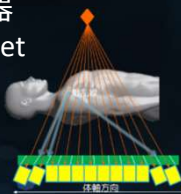


SSF2.0 ON

画質を追求した Revolutionized Image chain

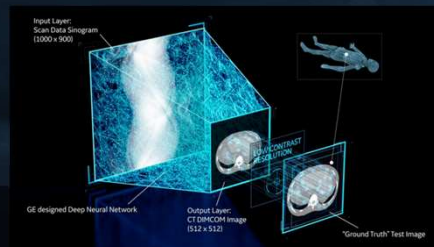
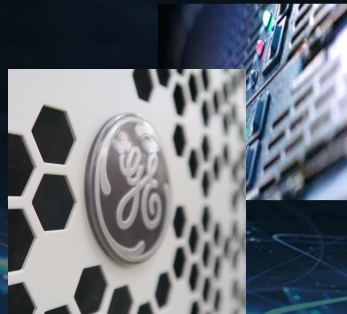
Deep learning Image Reconstruction powered by Edison

焦点指型検出器
Full Digital chic let
3D Collimator



Scan data (sinogram)

ハイパフォーマンス
NDIVIA GPU X 12



GE proprietary Deep Learning Image Reconstruction engine



TrueFidelity



DLIR TrueFidelityの物理評価・基礎検討について

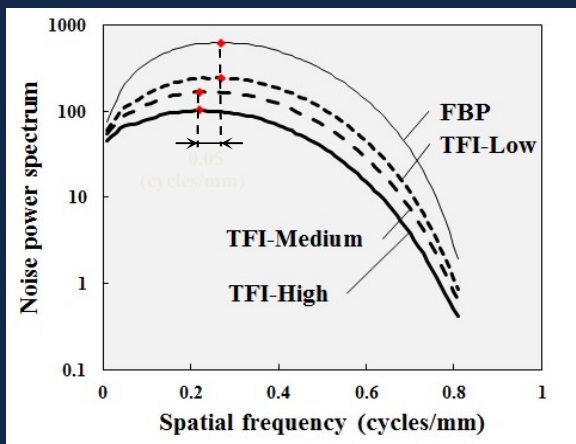
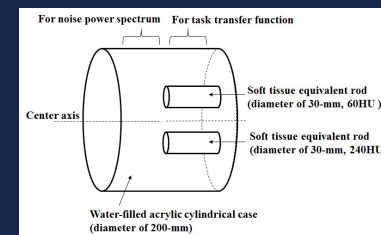
金沢大学附属病院 放射線部 高田 忠徳先生

Conclusion

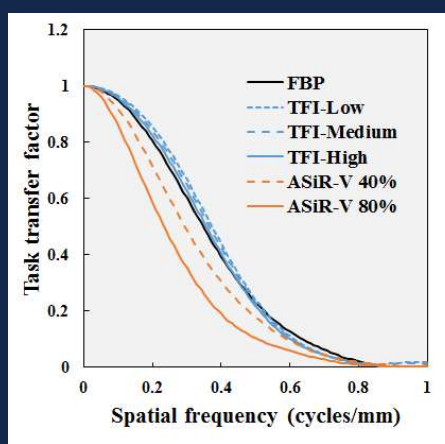
TFIのノイズ特性および解像特性は、

- IRで見受けられる画質の劣化を伴うような特性を示さなかった。
- TFIの解像特性は低～中間コントラストでもエッジ保存性能が担保されていた。
- またノイズ特性はFBPの周波数特性と大きく変化することはなかった。

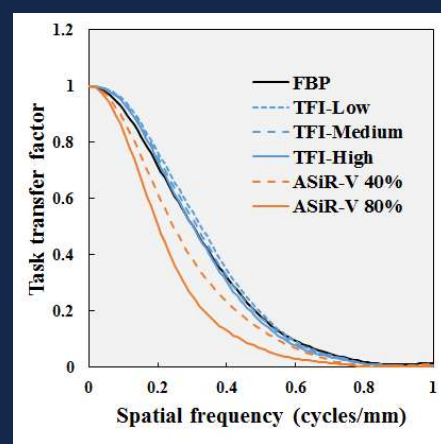
以上より、TFIは画像のテクスチャ変化を最小限にとどめた画像再構成法であり、解像特性への線量依存性も低いことから本格的な線量低減の可能性を有する再構成技術であると言える



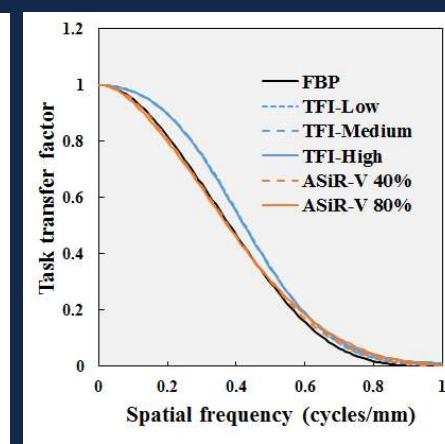
TFIノイズ特性



60HUのコントラストにおけるTTF
@20mGy



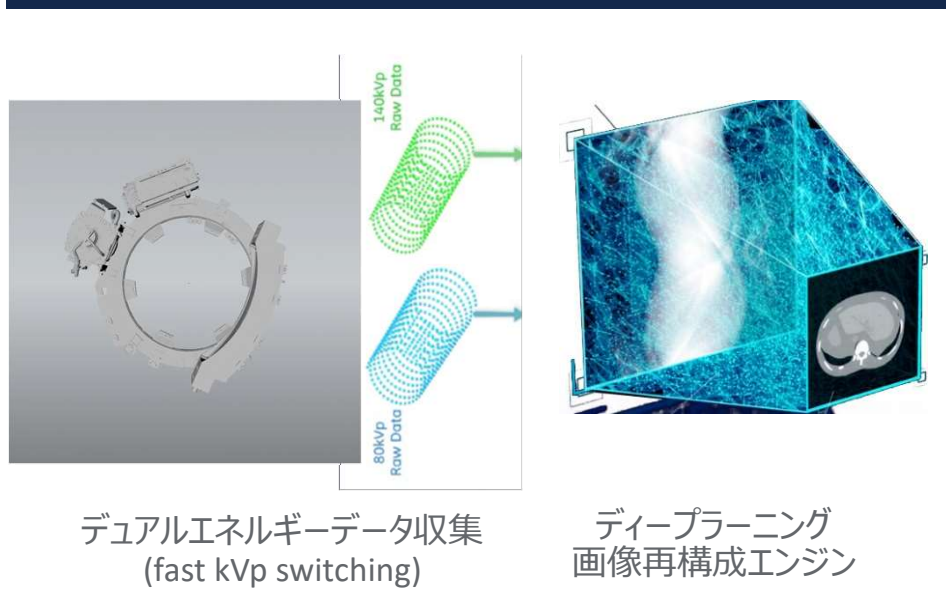
60HUのコントラストにおけるTTF
@10mGy



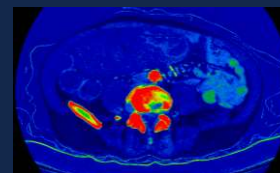
240HUのコントラストにおけるTTF



TrueFidelity2.0 デュアルエネルギー GSI Xstream × ディープラーニング再構成 TrueFidelity



Monochromatic images
モノクロマティック画像
40-140keV



Material images
物質密度画像
iodine, water, calcium, HAP,
uric acid, fat etc)



Virtual Unenhanced images
仮想単純画像



MAR images
金属アーチファクト除去画像

デュアルエネルギー画像をいつでも診れる画像再構成フロー



TrueFidelity Images-Deep Learning Image Reconstruction-

1

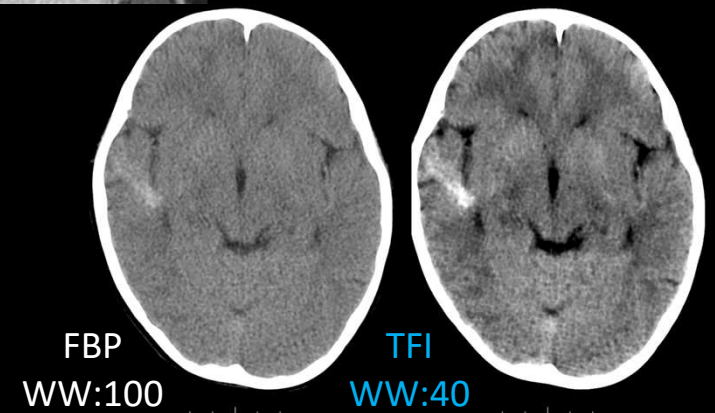
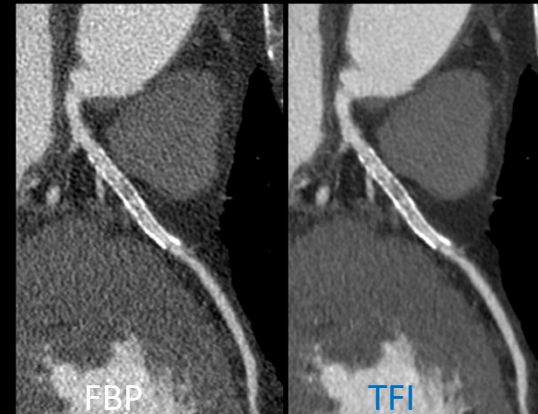
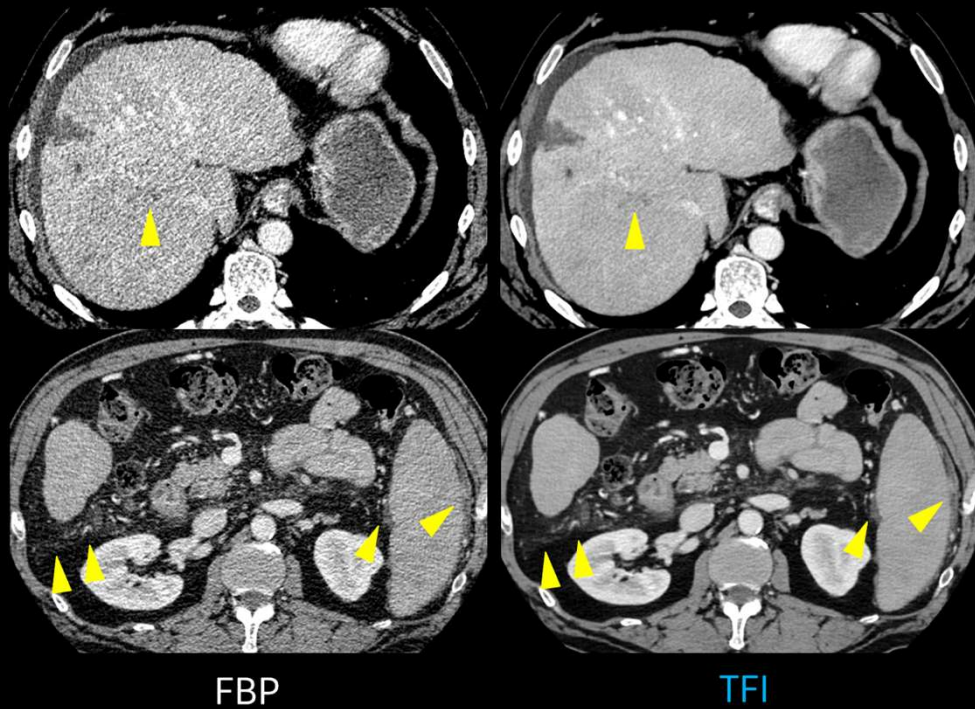
身体的な疲れ・ストレス軽減効果:73%

※米国での放射線科医15名を対象としたアンケート結果より

2

診断確信度が向上する:80%

※米国での放射線科医15名を対象としたアンケート結果より



TrueFidelity Images-Deep Learning Image Reconstruction-

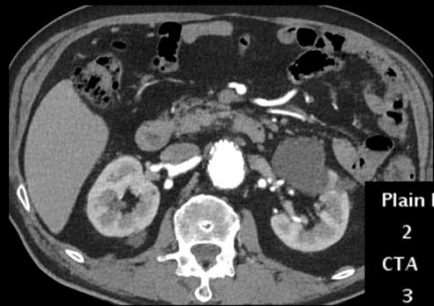
3

被ばく量：90%減の撮影条件

noise index 20→60, CTDIvol 1.12mGy



FBP



TFI



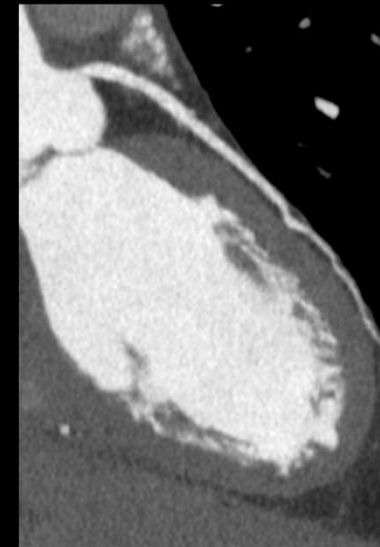
Plain FBP					
2	Helical	S2.408-1692.592	14.56	1101.44	
CTA					
3	Helical	S2.408-1692.592	4.62	349.32	

約80%低減の線量低減にもかかわらずノイズ減少により3D作成時間は短縮

4

低線量 & 低造影剂量冠動脈CT検査

@ 80 kV – 0.6 mSv & 35 cc CM



TFI



被ばく&造影剤の同時Reduction



TrueFidelity GSI iodine images 直腸がん 肝転移

- ✓ Less noise and more natural noise texture
- ✓ better depiction of the boundaries and structures of lesions



1.25 mm
Iterative Reconstruction



1.25 mm
TrueFidelity GSI

TrueFidelity GSI monochromatic images 直腸がん 肝転移

- ✓ Less noise and more natural noise texture
- ✓ better depiction of the boundaries and structures of lesions



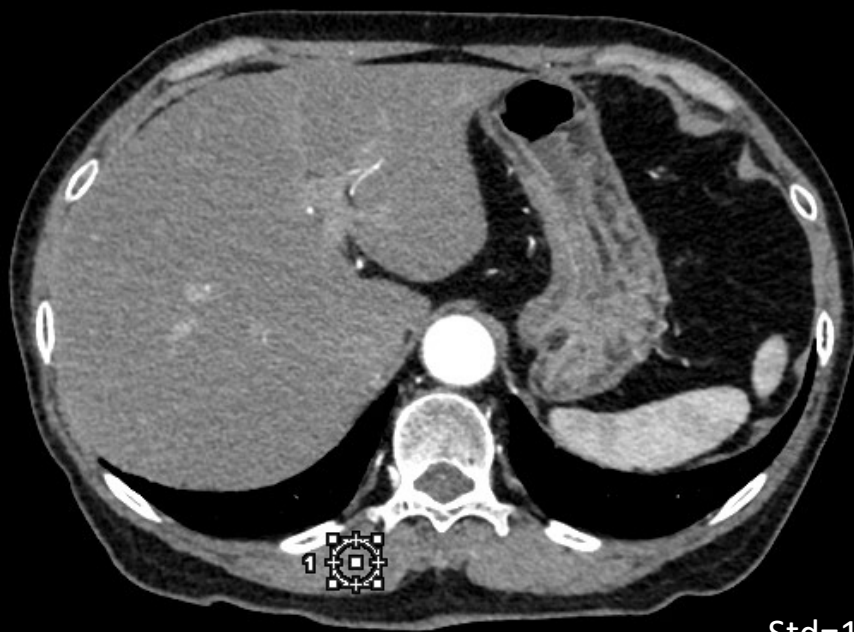
1.25 mm, 40 keV
Iterative Reconstruction



1.25 mm, 40 keV
TrueFidelity GSI

腹部ダイナミック TrueFidelity GSI 1.25mm

Phase1
通常線量



GSI 70keV 335mA

Std=13.7

Phase2
線量50%減



TFI-GSI 70keV 145mA

Std=10.4



腹部ダイナミック TrueFidelity GSI 1.25mm

Phase2
線量50%減

40keV



Iodine(Water)



GSI

TFI-GSI



腹部ダイナミック TrueFidelity GSI 1.25mm

Phase1
通常線量

Phase2
線量50%減

40keV



Iodine(Water)



GSI 70keV 335mA

TFI-GSI



Clinical impact web seminar講演内容抜粋

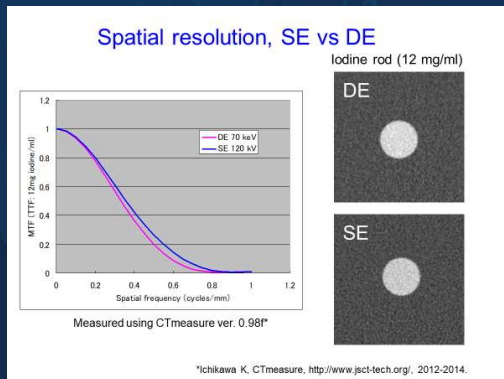
演題1

Leveraging physical image quality of GSI

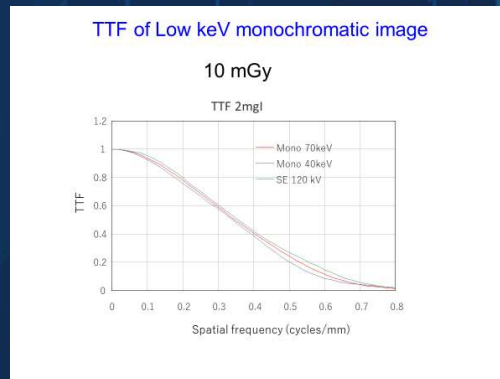
演者

金沢大学医薬保健研究域保健学系

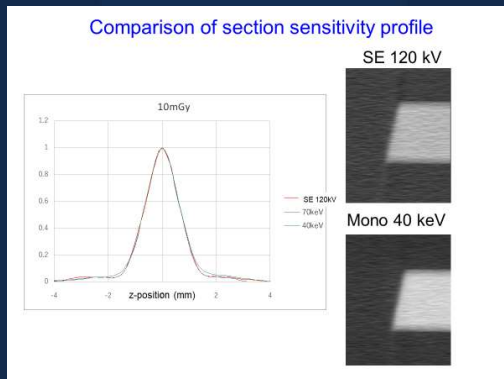
市川 勝弘 教授



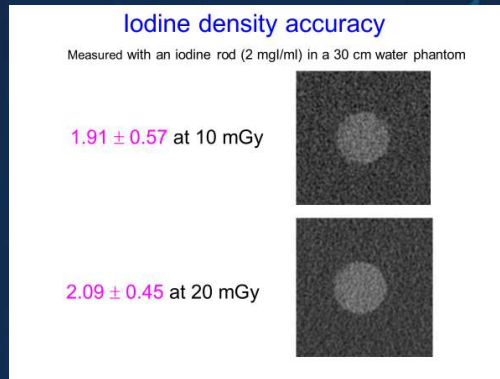
SEとDEで分解能はほぼ同一



40keV, 70keV, 120kVでも分解能はほぼ同一

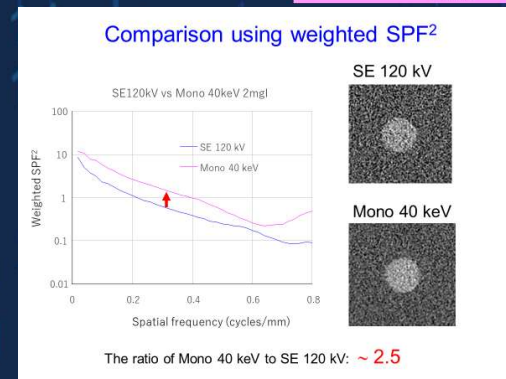


40keV, 70keV, 120kVで体軸方向特性・実効スライス厚、同一

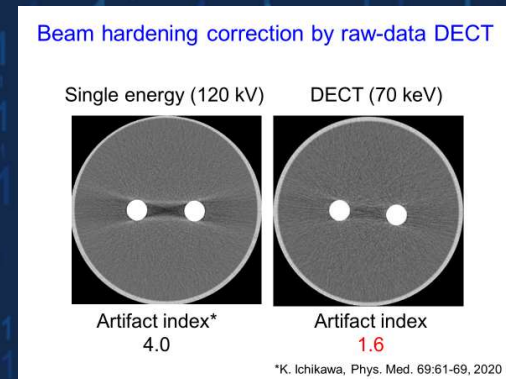


ヨード密度計測精度は線量に依存せず高い精度

$$\text{weighted SPF}^2(u) = \frac{W_{\text{noise}}(u)^2 \text{MTF}^2(u)}{\text{NPS}(u)}$$



ノイズ特性・分解能・コントラストを考慮したSPFで40keVは120kVと比べ高いパフォーマンスを有している



SEに比べDEのほうがビームハードニングアーチファクトが少ない精度の高いDE解析が可能

Edison Seminar 2020講演内容抜粋

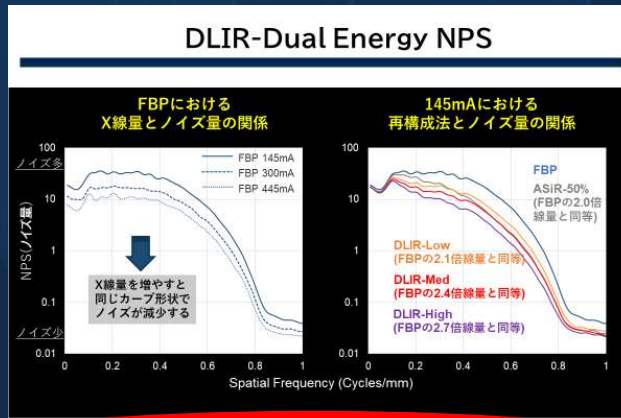
ELEVATING RADIOLOGY
GE Healthcare Japan
Edison Seminar 2020

CT関連セッション
Deep learning画像再構成法(DLIR)の臨床活用と今後の展望

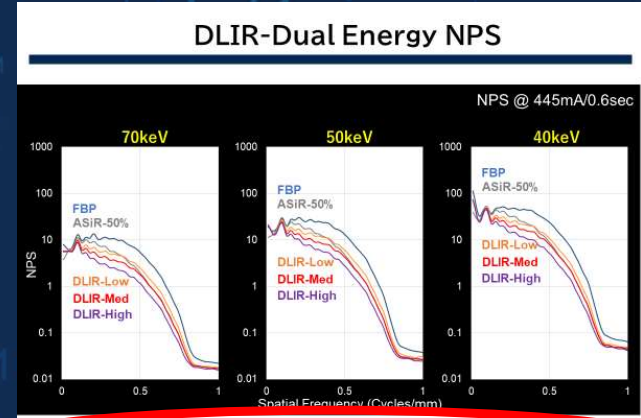
座長 浜松医科大学 放射線診断学・核医学講座 教授 五島 聡 先生
演者 三重大学医学部附属病院 中央放射線部 准教授 市川 泰崇 先生



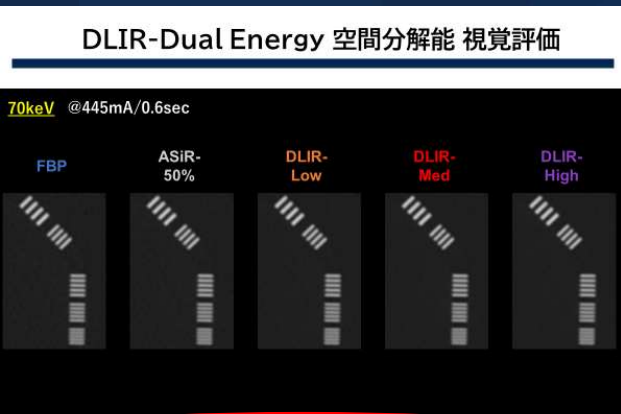
市川 泰崇 先生
三重大学医学部附属病院 中央放射線部 准教授



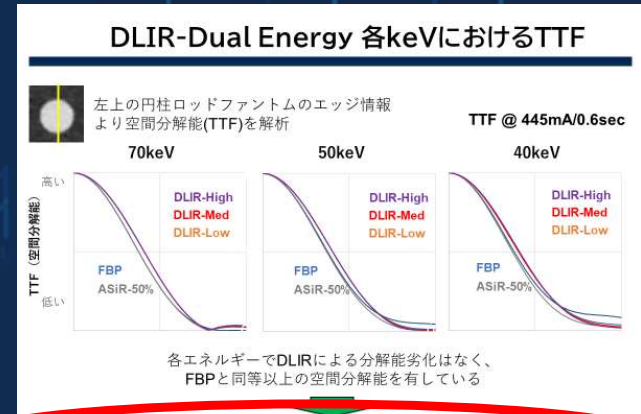
DLIRは低線量においてもNPSの形状変化(画質変化)が少なく、ノイズ低減が可能



低keVにおいても同様に画質を維持しながら、ノイズ低減が可能のためより積極的に低keVの臨床応用が可能



DLIRはFBPと同等以上の空間分解能を有している



Dual EnergyにおいてもDLIRは分解能を維持しながら、効果的にノイズ低減が可能