

デジタルマンモグラフィ装置 「AMULET SOPHINITY」の紹介

富士フイルムメディカル株式会社
MS事業部 岩淵 芳恵

FUJIFILM
Value from Innovation

1. はじめに

当社のデジタルマンモグラフィ装置「AMULET (アマムレット)」シリーズは、当社が開発した「HCP (Hexagonal Close Pattern) 構造」TFTパネル¹を採用した直接変換型FPDを搭載。信号成分とノイズを分離し、信号強調とノイズ抑制を同時に行うFSC (Fine Structure Control) や、関心領域である乳腺領域と脂肪領域を認識し、乳房の大きさや乳腺濃度によらずコントラストを高めるDYN II (Dynamic Visualization II) の画像処理機能を組み合わせ、低線量でも画素サイズ50 μ mの高精細な画像を提供する。近年では、さらに高い診断能のため、トモシンセシス撮影の拡大が進んでいる。

今回、トモシンセシス画像のさらなる高画質化、AI技術を活用して開発した撮影者のポジショニングをサポートする「プロジェクション機能」と「ポジショニング解析機能」を搭載し、“より「受診者に優しい」”装置デザインを採用した「AMULET SOPHINITY (アマムレット ソフィニティ)」(図1)の特長を紹介する。

2. トモシンセシス画像のさらなる高画質化

従来機「AMULET Innovality」のトモシンセシス撮影機能は、撮影時間と線量を抑えたSTモード(X線管球振り角15°)と、より高い深さ分解能を有するHRモード(X線管球振り角40°)の「Dualモード機能」が特長である。トモシンセシス画像にアーチファクトの低減、高解像度化、粒状抑制を同時に行う画像処理ISR (Iterative Super-Resolution reconstruction) を適用し、

低線量でも高画質な画像を実現している。今回の「AMULET SOPHINITY」にも「Dualモード機能」を搭載し、X線管振り角は従来と同様の15°/40°を採用。トモシンセシスの撮影線量は従来機と同等のまま、撮影画像枚数をSTモードで19枚(従来機15枚)、HRモードで35枚(従来機15枚)へ増やすことで、焦点面以外の断層上のアーチファクトを低減し、トモシンセシスのさらなる高画質化を実現した。



図1. AMULET SOPHINITY

3. ポジショニングをサポートする機能

マンモグラフィ画像の読影では、小さな変化を見逃さないよう、左右の乳房画像の比較読影や、過去の同側画像との比較読影を行う。厚労省の指針でも、過去画像との比較読影が望ましいと明記されており、過去画像と比較読影がしやすい画像の提供が重要である。しかし、比較読影がしやすい画像は乳房のポジショニングに左右され、撮影者の高い技術を必要とする。

AI技術²を活用して新たに開発した「プロジェクション機能“Positioning MAP”」(図2)は、ポジショニングの参考となるスキンラインと乳頭位置を撮影台面上に投影する。これにより、撮影者は投影された情報を参考にポジショニングができる。右MLOのポジショニング時に過去画像がある場合は、過去の右MLO画像のスキンライン

と乳頭位置を投影する。過去の画像が存在しない場合には、左右の乳房を比較するため左右反対側の画像を反転して撮影台面上に投影することも可能である。いずれの場合でも、乳頭位置の検出にAI技術を用い、過去画像の比較と左右画像の比較、両方ともに対応可能である。

圧迫面上には、圧迫厚／圧迫圧／装置角度の情報を投影し、ポジショニング時に撮影者の目線の動きを小さくする設計となっている。リアルタイムに変化する現在の装置の状態と、スキンラインと乳頭位置が投影されている過去画像の実績値の両方を表示することで、過去の圧迫厚や圧迫圧を参考にポジショニングすることができる。



図2. プロジェクション機能 (Positioning MAP)

また同様にAI技術ⁱⁱⁱを用いた「ポジショニング解析機能」(図3)も搭載する。撮影画像からポジショニングに関する基準点を算出し、あらかじめ設定した値と比較することでマンモグラフィのポジショニング状態を解析する。定量的にポジショニングの結果を管理し、改善点の把握が可能となる。

大項目	小項目	結果(既往値)	結果(既往値)	小中	項目計
		前回値	手動値	手動値	手動値
PRL	ML-CCPML長さ(mm)	82.26	82.00	82.00	0
	CCPML長さ(mm)	63.2	63.00	63.00	0
	ML-CCPML-CCPML長さ(mm)	3.06	3.75	3.75	0
	乳房中心-乳房中心長さ(mm)	4.25	4.00	4.00	0
大動脈	上端-大動脈長さ(mm)	59.83	60.17	60.17	-0.35
	大動脈角度(deg)	18.13	11.27	11.27	-6.8
	傾斜	59	59	59	-0.0
	傾斜中心の角度	59	59	59	-0.0
乳房下部	乳房下部長さ(mm)	23	24.2	24.2	0
	乳房下部傾斜(mm)	15.1	16.8	16.8	0
	傾斜中心の角度	59	59	59	0
	傾斜中心の長さ	59	59	59	0
乳房側面性	ML-CCPML	良好	良好	良好	0
	CCPML	良好	良好	良好	0
	乳房下部傾斜	良好	良好	良好	0
	乳房下部傾斜	良好	良好	良好	0
乳房評価	傾斜	良好	良好	良好	0
	乳房下部長さ	14.4	14.2	14.2	0
	乳房下部傾斜	良好	良好	良好	0
	乳房下部傾斜	良好	良好	良好	0
アーチ/2次	アーチ/2次	良好	良好	良好	0
	アーチ/2次	良好	良好	良好	0
	アーチ/2次	良好	良好	良好	0
	アーチ/2次	良好	良好	良好	0
圧迫厚評価				-0.5	

図3. ポジショニング解析機能

4. より「受診者に優しい」装置デザイン

「AMULET SOPHINITY」は受診者への優しさこだわったデザインを採用した。撮影台下部にカーブ形状 (Fit Curve) を設け (図4)、受診者の腹部が接触する表面を最大45%の薄型化 (当社従来機比較) を実現。腹部の圧迫感を減らすことで検査時の窮屈感を和らげることが目的だ。加えて、受診者のさまざまな体型にフィットする新アームレストを採用。受診者が腕を預けるバーを長めにとったことで受診者の快適な検査姿勢をサポート、CC撮影時のハンドレストとしても活用できるようになっている。さらに、従来機ではオプションの圧迫自動減圧制御機能「Comfort Comp “なごむね”」を標準搭載。乳房の圧迫固定を行った後、乳房の状態や画質に影響しない範囲で圧迫圧を自動で減圧し、乳房圧迫時の痛み軽減を目指す機能だ。

また、「AMULET SOPHINITY」は、設置面積を約20%削減、撮影スタンドの高さを約30%削減 (いずれも当社の従来機比較) し、装置全体のコンパクト化で受診者に与える圧迫感を低減する。

「AMULET SOPHINITY」は受診者に優しい装置デザインと機能の両面から乳がん検診をサポートする。



図4. カーブ形状 (Fit Curve)

5. さいごに

富士フイルムグループは、乳がん検査などのブレストイメージング領域向けに、本製品をはじめ、医療IT・超音波診断装置・MRIなど、幅広い製品ラインアップを組み合わせ、医療現場のニーズ

にあったソリューション提案を強化している。今後は、これらの取り組みをブレストイメーシング領域から産科・婦人科での検査、骨密度検査などの女性向け医療（Women's Health）領域に拡大。Women's Health向けソリューションを「INNOMUSU（イノミュージズ）」のブランド名で広く展開して、女性の健康維持増進に貢献していく。

AMULET SOPHINITY

販売名：デジタル式乳房用X線診断装置
FDR MS-4000（AMULET SOPHINITY型）
認証番号：304ABBZX00020000

AMULET Innovality

販売名：デジタル式乳房用X線診断装置
FDR MS-3500
認証番号：224ABBZX00182000

- i X線情報を検出するTFTパネルに六角形の電極形状を採用し、X線検出感度は通常の正方形パネルと比べ約2割向上する（正方形パネルを搭載した当社装置との比較）
- ii 乳頭位置の検出はAI技術の1つであるディープラーニングを用いて設計された。導入後に自動的にシステムの性能や精度が変化することはない。
- iii ポジショニングに関する大胸筋と乳頭位置の基準点の抽出はAI技術の1つであるディープラーニングを用いて設計された。導入後に自動的にシステムの性能や精度が変化することはない。

「モーションアーチファクト抑制技術 SnapShot Freeze2.0の技術紹介と臨床応用」

GEヘルスケア・ジャパン株式会社 CT部
久保 成美



1. はじめに

冠動脈CT検査は冠動脈疾患を評価する非侵襲的画像診断法として広く普及している。その特徴は高い陰性的中率であり、低～中等度リスクの患者に対する有用な診断法、および予後予測能のある検査といわれている¹⁾。

近年では経カテーテル大動脈弁置換術の手術数が増加し、経皮的僧帽弁クリップ術も行われている。このような弁置換術前CTでは、大動脈弁・僧帽弁・腱索・乳頭筋などの心構造の評価も求められるようになった。

GEヘルスケアでは、モーションアーチファクト抑制技術としてSnapShot Freezeシリーズを提供している。従来のSnapShot Freeze（以下、SSF）では冠動脈のモーションアーチファクトを低減する機能を有し、さらに近年発売されたSnapShot Freeze2.0（以下、SSF2.0）はSSFの冠動脈のモーションコレクション機能に加え、弁・心臓内腔・心筋のモーションアーチファクトを抑制することが可能となった。本稿ではSSF2.0の原理やアルゴリズム、また臨床現場での有用性について述べる。

2. SSF/SSF2.0の技術紹介

SSFでは、目的となる心位相とその前後近位相を再構成し、それらの情報からベクトル動態解析により、血管の軌道と速度を冠動脈を構成するボクセルごとに計算する。これにより目的位相における実際の血管の位置や形状を求めモーションアーチファクトを抑制する（図1）。SSFによる実

効時間分解能は0.019秒以下となり、今年リリースされたRevolution Apex Eliteで使用可能であるガントリ回転時間0.23秒の場合、SSF使用時の回転速度を換算すると0.038秒となる。

SSF2.0では、ベクトル動態解析を心筋のボクセル1つひとつに対して行うことで、冠動脈だけではなく、弁・心臓内膜・心筋のモーションコレクションが可能となった。

モーションアーチファクトを低減する他の機能として、マルチセクタ再構成が挙げられる。本再構成では複数の心拍から画像を作成するため、心拍によりガントリ回転速度やヘリカルピッチを考慮しなければならない。また複数心拍のデータを取得するため被ばく線量の増加につながる、撮影時の心拍ごとの位置ずれによる画質の劣化が生じる可能性がある、などのデメリットがある。SSF/SSF2.0では、ハーフ再構成で画像を再構成できるため、これらの影響を受けずにアーチファクト抑制画像が提供できる。

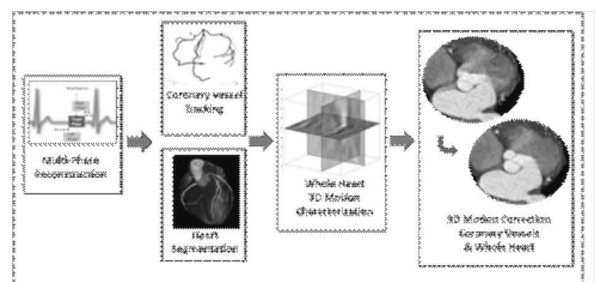


図1. SSF2.0の処理フロー

3. SSF2.0がもたらす臨床的メリット

・モーションアーチファクトの軽減と画質向上

図2に、64列CTであるRevolution Ascendで撮影された、画像を提示する。平均心拍数は70bpm、ガントリ回転速度は0.35s/rot、ヘリカルピッチは0.24を使用し、心位相45%にて再構成した画像である。上段のSSFなしの画像では、

RCA#2から#3にかけてモーションアーチファクトが見られ、評価は困難である。下段のSSF2.0を使用した画像ではモーションアーチファクトが抑制され、Curved MPRを見てもアーチファクトの影響を受けておらず血管評価が十分可能な画像が提供できることが分かる。

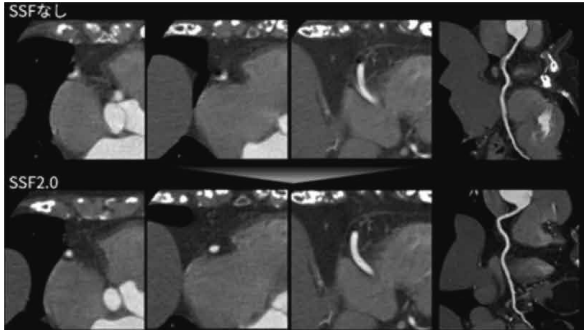


図2. SSFなしとSSF2.0の比較

次に256列CTのRevolution CTを用いて撮影された、心房細動（以下、AF）患者でのSSF2.0を使用した冠動脈CTを図3に示す。撮影時の心拍数は113bpmであり、ガントリ回転速度は0.28sec/rotにて撮影を行っている。高心拍患者においても3枝全てが静止した画像を得ることができLCX中間部に軽度狭窄があることも評価できた。

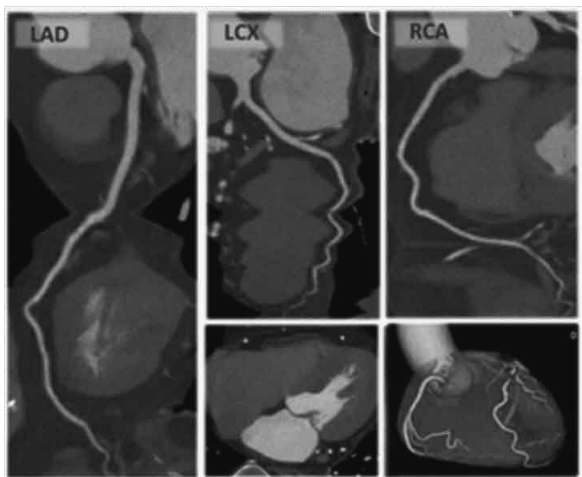


図3. AF症例のSSF2.0を使用した冠動脈CT

Junfu らは、平均心拍83.8BPMの81人の患者に対して、256列CTを用いて冠動脈CT検査を実施し、SSF2.0・SSF・SSFなしの3つのデータを比較している。この論文では、視覚評価においてSSF2.0が最も画質がよく、アーチファクトが少ない画像であったと述べられている。また診断精度はSSFなし・SSFを使用した場合と比較し、SSF2.0を使用すると優位に向上したと述べられ

ている²⁾。

さらにJihangらは、小児の先天性心疾患患者（平均心拍112.6BPM）に対し、256列CTにて冠動脈CT撮影を行い、SSF2.0を用いることで冠動脈だけでなく、弁や心筋などの心構造に対して診断精度・視覚評価ともに向上したと述べている。またSSF2.0とSSF・SSFなしの画像を比較すると、視覚評価のスコアはSSF2.0が最も高く、診断精度は有意に増加し、心構造の定量的な計測も可能と報告している³⁾。

このようにSSF2.0を使用することで、心拍数によらず冠動脈のモーションアーチファクトが抑制された画像を得ることができるだけでなく、心構造の評価においても有用であることが期待される。

図4にRevolution CTを用いて撮影された、TAVI術前冠動脈CTにおける大動脈弁のAnnulus断面の画像を示す。弁輪径の計測を行う際の最適な心位相は駆出期である10~30%が望ましいが、CTで静止した画像が得られやすい心位相は収縮末期の40~50%であり、通常では駆出期にて静止画像を得ることは難しい。SSFとSSF2.0を比較すると、SSFでは提示している心位相全てでモーションアーチファクトが見られるが、SSF2.0ではどの位相においてもモーションアーチファクトが抑制されており、計測に十分な画像が得られた。SSF2.0を使用することにより、最大弁輪径となる位相にて静止した画像を得ることができるようになり、作業効率が向上し計測者間のばらつきも抑えることが可能になったと述べられている⁴⁾。

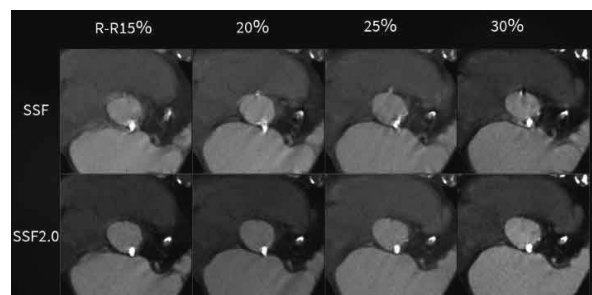


図4. Annulus断面におけるSSFとSSF2.0の比較

・被ばく低減

冒頭で述べたようにモーションアーチファクトを抑制する際、ハーフ再構成であるSSF2.0を使用することで、マルチセクタ再構成と比較し被ば

く線量の低減が可能である。

64列CTでは、これまでは心拍数により Prospective Gating か Retrospective Gating のどちらを用いて撮影するかを判断してきたが、SSF2.0により高心拍症例においてもモーションアーチファクトがより抑制されるため、Prospective Gatingの適用の幅を広げることで被ばく低減ができる可能性も示唆される。

・ワークフロー向上

冠動脈を解析する上で最も重要かつ時間のかかる作業の一つとして、モーションの影響の少ない最適な心位相（至適心位相）を探すことが挙げられる。至適心位相は高心拍ほどばらつき、右左の冠動脈を別々の心位相で再構成し解析する必要がある場合もある⁵⁾。

SSF2.0を用いることで指定した心位相のモーションアーチファクトが抑制されるため、最適な心位相を探すという手間が大幅に軽減された。評価可能な心拍数の幅も広がり、モーションの影響で解析に時間のかかっていた症例もストレスなく解析可能となった⁶⁾。

前述のように、高心拍症例やAF症例においてもモーションアーチファクトが抑えられた画像を提供可能になった。256列CTを使用している施設では、SSF2.0の導入を機に、ルーチンでは β 遮断薬を使用しない運用に変更した施設もある。これにより、患者の身体的な負担を軽減したり、医師の立ち合いが不要になったりするなど、冠動脈CTのスループットが大幅に向上したという報告もある⁷⁾。

4. おわりに

モーションアーチファクト抑制技術であるSSF2.0の技術紹介と検討や臨床画像について記載した。SSF2.0の登場により、撮影パラメータや院内での運用などを再検討している施設もあり、臨床的アウトプットの向上だけではなく、ワークフローの改善も可能にしている。今後も臨床ニーズや医療課題に沿った技術開発を進めるべく努めていく。

5. 参考文献

1. 2022年JCSガイドライン フォーカスアップ データ版安定冠動脈疾患の診断と治療
2. Junfu L et al. Eur Radiol. 2019 Aug;29(8):4215-4227
3. Jihang S et al. J Comput Assist Tomogr. 2020 Sep/Oct;44(5):790-795
4. GE HealthCare VOC 古門 典子 [SnapShot FREEZE2.0を使用したSHD治療支援] https://www.gehealthcare.co.jp/products/computed-tomography/voc/revolutionct_ogurakinen
5. 山口 隆義 日本放射線技術学会雑誌 2009 65(1):104-111
6. GE HealthCare VOC 矢野 誉善 [Revolution Ascend SnapShot Freeze2.0臨床使用経験] https://www.gehealthcare.co.jp/products/computed-tomography/voc/ascend_yokohamasougou
7. GE HealthCare VOC 下村 勇人 [β 遮断薬を用いない心臓CTAngiography] https://www.gehealthcare.co.jp/products/computed-tomography/voc/revolutionct_ogurakinen

(敬称略)