

氏 名(本籍)	佐藤 久弥 (山梨県)		
学 位 の 種 類	博士 (保健衛生学)		
学 位 記 番 号	博保甲第3号		
学位授与の日付	平成27年3月25日		
学位授与の要件	学位規程第5条第1項該当		
学位論文題目	フラットパネルディテクタ搭載循環器X線装置における短期Lagの 評価・解析法 一開発した動態ファントムを利用して一		
論 文 審 査 員	主査 駒澤大学教授	博士 (工学)	瀬尾 育式
	副査 富士フィルム株式会社		志村 一男
	副査 駒澤大学教授	博士 (歯学)	熊坂さつき
	副査 駒澤大学准教授		近藤 啓介

## 論 文 内 容 の 要 旨

FPD (Flat Panel Detector) 搭載循環器撮影装置 (以下: X線透視装置) は, 冠動脈の治療技術の向上とともに, 日々発展している現状にある. そのため, X線透視装置は, 高い性能や安全性さらに画質向上が期待されている. 特にX線透視装置の性能が高くなることで診断・治療を進めるために用いられる X線透視画像の向上には, 期待が大きい.

X線透視装置の性能で, X線透視画像へ影響を与える因子として, 高速大容量メモリ技術や集積回路技術などがあり, これらの性能が向上することで, リアルタイムの画像処理が可能となり, X線透視画像の向上が期待できる. しかし, 単位時間あたりの演算量の増加により, 複雑な画像処理を短時間で行う事ができるようになった反面, ハードウェアの大規模化は原理的に故障確率の増加を招く結果と成りえる. 実際にはハードウェアの高信頼性によりハードウェアによるアーチファクトを目にする事は少ない.

一方で, 複雑な画像処理を行うソフトウェアは, 様々な制限から特有のアーチファクトを生じる. このうち我々が最もよく目にするのが, 残像アーチファクトである. 残像アーチファクトも大別すると検出器のハードウェア的な要因によるものと, 画質向上を目的に時系列の異なる複数のフレームを重み付けを変えて加算平均するソフトウェア的な要因の2種類となる.

動画像の X線透視画像や撮影画像にアーチファクトが発生した場合, 偽信号が発生し誤診につながり兼ねない. そこで, 今回は, アーチファクトの発生頻度が高い画像処理に着目し, 検出器のハードウェア的な要因から発生する Lag とリカーシブフィルタ等のソフトウェア的な要因で発生する残像について評価する.

本研究にあたり、透視画像（動画像）に発生する Lag やリカーシブフィルタを物理的に評価する手法が確立しておらず、さらに Lag やリカーシブフィルタを収集するためのファントムが無いため定量的な評価が困難であった。そのため、我々は Lag およびリカーシブフィルタを評価するためのファントムとして、臨床に近い速さで動く（心臓の拍動）動態ファントムを考案した。そして今回は、捉えることの難しかった短期的 Lag とリカーシブフィルタで発生する残像を我々の開発した動態ファントムで捉え、物理的評価をすることで、得られた動画像が期待する透視画像であることを評価するためのツールとして提案した。ここで、我々が開発した動態ファントムについて解説を加える。この動態ファントムは、実測方法に特徴があり、その実測方法は、信号上に ROI を設定し ROI の位置は画像上に固定したまま、時間とともに ROI 上を信号が通り抜けていくときの画素値の変化を物理的捉え、短期 Lag の変化として捉えた。その結果、強弱のある短期 Lag の変化を、同じ強弱の傾向を保ちつつ、物理的に捉えることができた。

今回我々が作成した動態ファントムと既存の動態ファントムの違いは、定量的評価が可能か否かである。既存の動態ファントムは、細い金属製のワイヤを信号として用いた高コントラストを主とした視覚的評価用ファントムであるのに対し、作成した動態ファントムは、ある大きさの関心領域を持たせ、低コントラストを主とした定量的評価および視覚的評価が可能なファントムである。最終的に、開発した動態ファントムは、動画像の特徴を捉えることができ、さらに画質に影響を及ぼす因子を捉えることができることから、動画像の評価用ファントムとして有効である。

以上のことから、開発した動態ファントムは、動画像の特徴を捉えさらに、画質に影響を及ぼす因子も捉えることができることから、動画像である透視画像や撮影画像の評価用ファントムとして有効である。

## 論文審査結果の要旨

### I 論文の概要

循環器専用 X線装置は、血管の診断・治療をリアルタイムに行うため、X線撮影は動画像が用いられている。近年の装置は高度化し、X線のパルス曝射による線量の低減や画像のデジタル化に伴う画像処理による画質向上が進んでいる。しかしながら、医療機器の多くは静止画が中心であり、その画質評価方法も静止画を利用するものがほとんどである。このため、循環器専用 X線装置の画質評価方法においては、従来の静止画用のファントムを用いた物理解析方法が用いられ動画特有の画質の解析が不可能となっており、結果的に視覚的な画質評価を行うのが現状である。しかも、視覚評価に用いるファントムは静止画用の評価用ファントムがほとんどであるため、臨床上の画質評価結果との相違が問題となっている。そこで、本論文では、動画用の画質評価が可能な動態ファントムを作成し、これを利用することで動画特有の画質の解析や視覚評価方法を提案し、臨床現場での画質向上に利用することが目的である。

新しいファントムとして、1分間に3回転するモータを用いて動態ファントムを開発している。動

態ファントムには信号が付加されており、回転中心から直線状に7個が配置されている。回転中心に近い信号はゆっくりと移動し、回転中心から遠い信号は早く移動する。ここでは、心臓の血管撮影・治療を想定しており、信号の移動する速さは心臓の動く速さが含まれるように位置が調整されている。動態ファントムはアクリルファントムに穴を掘ることで信号としており、回転中心から直線状に並んだ7個の信号の深さは同じで、45度間隔で信号の穴の深さが増すように、計8種類の信号が設置してある。この動態ファントムを循環器専用 X線装置で撮影した動画を観察すると、穴の深さが1.6mmの信号が画面上部から下部へ移動し、45度間隔で次の深さ2.0 mmの信号が上部から現れる。信号の深さが浅いと信号強度が弱く X線のノイズに埋もれてしまい視覚的には信号の位置の判別がつかないが、穴が深くなるほど信号強度が強くなり信号の位置を認識することが可能となる。物理解析では信号の位置の画素値の変化を計測することで画質を評価し、視覚評価ではどの深さで信号を認識可能となるかの限界値を観測することで評価を行う。

物理解析では、動画特有の Lag の解析を行った。Lag とは信号データが時間的に遅れて表示される現象で、例えば残像のように信号が2重、3重に表現される。Lag の発生にはフラットパネルディテクタの読み取り部分で発生する信号の読み残しによって生じるものと、画像処理による時間フィルタによって発生する2つに分けられる。ここでは、フラットパネルディテクタ部分で発生する Lag を島津製作所の協力によって強制的に発生させた。画像処理による Lag は一般的に利用されているリカーシブフィルタを作成してプログラムによって発生させている。視覚評価では、診療放射線技師による視覚評価を行い、信号の視覚的検出限界値を求め、信号の速度やリカーシブフィルタの強度による変化を観測している。

結果として、物理解析から Lag 成分の分離を行い、強制的に発生させた大・中・小の Lag を精度よく抽出している。視覚評価においては、静止ファントムの問題点であった臨床現場との相違が解消され、臨床に近い結果が得られている。

新たに開発した動態ファントムの物理的な解析方法と視覚的評価方法を提案した。今後の医療現場での利用することで、日常点検や画質向上に向けて新しい動態ファントムが利用されることが期待できる。

## II 論文の評価

本論文のポイントは、新しい動態ファントムの提案にある。従来の静止ファントムでは、動画を扱う循環器専用 X線装置の評価には適していない。その理由は、動画における信号成分の動きが考慮されていないからである。動画において信号が移動すると、残像や信号強度の低下が発生することは事実であるが、静止ファントムを用いて動画を評価すると、信号強度が相対的に強くなり実際の臨床画像と逆の傾向を示すことが問題となっている。現在利用されている動態ファントムは種類が非常に少なく、その多くは信号としてワイヤーを利用している。ワイヤーを用いると残像などの Lag を観測しやすくなるものの、デジタル画像の画素の大きさに比べて非常に細いワイヤーでは物理解析の再現性が悪く評価が困難である。新しい動態ファントムは、従来のワイヤーの欠点を補うように、あ

る大きさを持った円形の信号（直径 2 mm と 4 mm）を用いており再現性が非常に高い。また、回転させることで、回転中心に近い信号は遅く、遠い信号は速く移動することを利用して、信号の速度による評価を可能としている。及び、信号の強度を段階的に変えながら評価可能にしているため、主観的な視覚評価において数値的に比較観察できるようになっている。以上のように再現性良く物理解析が可能である点と、視覚評価を数値化して比較できるように改良している点が独創的なアイデアとして高く評価できる。

実験では、開発し新しい動態ファントムを実際に物理解析と視覚評価を行って、動態ファントムの有効性を示している。物理解析においては、動画特有の Lag を解析するために、装置の製造元である島津製作所の協力により強制的に Lag を発生させている。強制的に発生させた Lag を新しい動態ファントムを用いて解析できるように、計算方法を示している。計算方法としては、信号が移動する位置に ROI を設定し、ROI と信号が重なった時刻からの ROI の画素値の変化を観測する。ROI 内には信号が移動していくので、画素値が低下していく。しかし、新しい動態ファントムは一定の速さで移動するように設計されているため、信号の移動が計算で求めることが出来る。このため、本来の信号移動による画素値の低下より、画素値が大きく出現すると、それは Lag 成分であることが推察できる。この手法は、一定の速度で回転するように規格化された動態ファントムを用いることによって可能となり、新しい動態ファントムの特徴を利用した解析方法である。解析も ROI を固定した状態で画素値を計測すればよいため、一度設定すれば効率よく解析も可能であり実用的である。また、画像処理における Lag の測定のために、動画特有のリカーシブフィルタを利用している。リカーシブフィルタでは、異なる時間の画像を加算平均することによりノイズの低減を行っており、ノイズが減ることにより 1 パルスあたりの X 線線量を低くすることが可能である。しかし、リカーシブフィルタの強度を上げるとノイズの低減と共に信号も低下したり、移動する信号は残像を起こしたりする。このため、せつかくの画像処理が X 線の線量低下に直結していないのが現状であるが、この残像を前述の方法を用いて解析して画質の評価に利用している。

視覚評価においては、信号強度が変化する動画を見ながら、信号が認識できた時点の強度を信号検出限界値として解析している。静止画像では、1 枚の画像上に信号強度が異なる複数の信号を配置し、信号を認識できる境界を見つける視覚評価方法が用いられている。この方法を動画像に応用することで、動画像でも数値化して視覚評価を可能としている点を評価する。この評価方法を用いることで、従来の静止ファントムを利用した場合の、臨床現場での画質の評価が逆転していた問題点が、臨床現場に沿った評価に改善されたことが今後の発展に期待できる。加えて、信号の速度の違いが視覚評価に与える影響も観測できる点が評価されるが、その数値と視覚評価との因果関係は解明されておらず今後の課題である。

問題点は、新たな動態ファントムの為、臨床現場での利用実績がまだ少ない点である。従来の静止ファントムの問題点を改善しても、新しい動態ファントムの示す数値が動画像の画質との関係性は解明されていない。この動態ファントムを利用して様々な条件や環境でデータを収集し現場で利用可能な動態ファントムとするためには、更なる研究が必要と考えられる。現在も臨床現場での日常点検の

データを収集し解析しているので、今後の成果を期待したい。

以上のような評価により、博士（保健衛生学）の学位を授与するに値するとの結論で、審査委員会は一致した。