氏　　名(本籍)	**大澤　三和**（東京都）
学 位 の 種 類	博士（保健衛生学）
学 位 記 番 号	博保甲第 8 号
学位授与の日付	令和２年３月20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	**動画像の評価を目的とした動態血管ファントムの開発**
論 文 審 査 員	主査　駒澤大学准教授　　志村　一男
	副査　杏林大学特任教授　　中島　延淑
	副査　駒澤大学教授　Ph. D　　森口　央基
	副査　駒澤大学准教授　　近藤　啓介

論 文 内 容 の 要 旨

心臓カテーテル検査・治療では、常に拍動している冠動脈のブレが、診断・治療の妨げになる可能性がある。そのため、X 線透視上における術者の望む画像の提供が課題となっている。

もし、動画像（透視画像、撮影画像）の画像処理をした結果、術者の望む画質の画像にならなければ、検査・治療を行う医師の技術が優れていても、診断・治療を正確に行うことは難しい。術者の望む画質とは、２つの要因があり、一つは信号が明瞭であること、もう一つはノイズが少ないことである。しかしこの２つはトレードオフの関係である。例えば、信号としてガイドワイヤーを明瞭に表示すると、ノイズは増加するため視認性は低下する。逆にノイズを減らすためにリカーシブフィルタを用いると動く信号はぶれたように残像が発生し不明瞭になる。つまり、リカーシブフィルタを強くかけ過ぎないように適切に信号を強調する必要がある。そのため、我々は、このリカーシブフィルタが適切にかかっているかを評価する必要がある。つまり、リカーシブフィルタを強くかけ過ぎないように適切に信号を強調する必要がある。そのため、我々は、このリカーシブフィルタが適切にかかっているかを評価する必要がある。また、放射線被ばくを伴う心臓カテーテル検査・治療は、できるだけ短時間で監査・治療を終わらせなければならない。それは、検査・治療時間が長くなることで、患者及び医療スタッフの放射線被ばくが増加するためである。患者は、繰り返される透視と撮影により、直接放射線を浴びることから、放射線の使用量によっては深刻な放射線皮膚障害を引き起こす可能性がある。しかし、患者が被ばくするのは、検査･治療中のみである。一方、その検査に従事しているスタッフは、散乱線による放射線被ばくを受けることになる。スタッフは多くの患者の検査・治療に従事するため、被ばく線量は日々蓄積され増加していく。そのため、診療放射線技師は、スタッフの散乱線による被ばくをできるだけ少なくしなければならない。透視や撮影する時間を減らすことで、患者とスタッフの両方の被ばくを低減することが可能となる。透視や撮影する時間を減らすためには、見や

すい画質にすることが一つの方法である。例えば、慢性完全閉塞病変の治療で、画質が悪いためにガイドワイヤーの認識が難しい場合、治療血管の選択部位に到達するまでに時間を要することがある。また、STENT を留置する位置を決定することが難しくなり、留置する位置を決めるために時間がかかる。そこで画質をガイドワイヤーや STENT が評価しやすくなるように改善することで、透視時間や撮影回数を減少させ、検査時間を短縮することが出来る。しかし、放射線量を多くすることによる画質の改善は避けなければならない。あくまでも心臓カテーテル検査において、放射線量と画質の関係が重要となる。そのため、放射線量をできるだけ少なくし、医師が検査・治療を行いやすい画質にすることが、スタッフの被ばくを減らすための一助となる。

したがって、診療放射線技師は画像評価を行い、臨床で使用する画像が最適な状態となるように調整し、それを維持・管理することが重要である。しかし、現在、画像処理を評価するためのファントムは少ない。そのため、臨床で求められる最適な画像とするための評価が可能な動態血管ファントムの作成が必要である。それは、冠動脈造影像と同様に画面上を平行移動する模擬血管ファントムが望ましい。そこで、２次元的に冠動脈の動きを再現した動態血管ファントムを開発した。本研究においては、回転運動を利用し物理評価と視覚評価が可能となる単純な構造とした。そして、２次元的に冠動脈の動きを再現した動態血管ファントムを開発した。新たに作成したファントムは拍動している冠動脈を再現し、臨床で行っている画像処理の評価および調整をファントムで代用することを目指した。また、画像処理（残像）を物理的に解析できるか検討した。

動態血管ファントムの開発のポイントは、模擬血管の正確な位置の把握可能であること、常に同じ動きをする再現性のよいこととした。そのため、冠動脈造影像と同様に画面上を平行移動させるために回転運動を利用し、物理評価と視覚評価が可能となる単純な構造とした結果、同じ位置に信号（模擬血管）とその残像があるため、残像の定量評価が可能となった。

本検討において、回転運動を用いて２次元的に冠動脈の動きを再現した動態血管ファントムを作成することができた。この動態血管ファントムは、同じ位置に信号と残像があるため、残像の定量評価が可能である。したがって、血管撮影装置における画像処理評価において、臨床で行っていた画像処理評価（残像）が動態血管ファントムで代用可能となった。

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ィ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。本論文では、冠動脈の動画像に着目し、造影剤を投入した状態の血管の拍動を再現する動態血管ファントムを作成した。このファントム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、臨床現場での人体にX線を照射することなく、画像処理のパラメータなどの調整を可能とする画像解析方法を確立することが目的である。

新しいファントムは1分間に60回転するモータを用いた回転型の動態ファントムである。回転台の上に模擬血管となるワイヤーを円形にして回転中心とワイヤーの中心をずらすことで、回転台の一部だけを観測すると模擬血管が平行移動しているように表現されている。水平移動型の構造よりも安価で容易に作成できる方法で、医療現場で簡易に測定できる点が優れている。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、画像処理で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Lagを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った。

結果として、臨床画像に近い状態で血管の拍動が再現されていることが確認でき、臨床現場で問題となっている残像を数値として解析する方法が提案され、有効に活用できることが確認できた。今後の医療現場での利用することで、日常点検や画像処理パラメータの調整などに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、新しい動態血管ファントムとその解析方法の提案にある。従来の静止ファントムでは、動画像を扱う循環器専用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。本論文で提案された動態血管ファントムは、回転ファントムという簡易な方法で、冠動脈の平行に往復運動する現象を再現している。模擬血管の太さや材質を変えるだけで血管の大きさや造影剤の濃度を変えることが可能で、応用が可能で現場での利用が容易であることがわかり、独創的なアイデアとして高く評価できる。

画像解析においては、動画特有のLagを解析するために、画像処理のリカーシブフィルタを利用して強制的に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、血管の移動方向と垂直にROIを設定し、ROIのプロファイルを観測する。ROI内には信号が移動していくので、信号の血管部分で画素値が低下する。信号部分以外に画素値の低下が見られればLagの可能性がある。実際の結果からは、信号のあった位置に2～3フレーム後までLag成分が観測され、信号の幅で解析することでLagの相対量も計算で求めることができている。

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。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画像処理パラメータの調整に利用し、有用な結果も報告されてきているので、今後の益々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。