

論文内容の要旨

論文題目 多列検出器 Computed Tomography による

心臓の動的画像表示システムの開発と臨床的検討

指導教官 大友 邦 教授

東京大学大学院医学系研究科

平成 11 年度 4 月入学

医学博士過程

生体物理医学専攻

氏名 齊藤 公章

I. 研究の背景

近年の Computed Tomography (CT) の進歩は、X 線照射装置と検出器の回転速度の高速化と検出器の多列化の方向にある。この高速スキャン可能な多列検出器 CT (MDCT : Multi-Detector row Computed Tomography) は、空間分解能が高い 3 次元画像データが取得可能となり、様々な 3 次元画像が作成されるようになった。しかし、自律的に拍動する心臓に関しては、心拍動の影響により、画質の低い画像しか取得されていない。

このため心電図同期画像再構成法が開発され、時間分解能及び空間分解能が高い 3 次元画像データが取得可能となり、冠動脈や心筋などの動的対象の形態観察が可能となった。この再構成法を用いることにより、1 回のスキャンで動的画像データと称される経時的に連続する複数の 3 次元画像データが取得可能となった。しかし、動的画像データは、膨大なデータ量をもつために、これまでの画像表示装置では動的画像表示が実現されていない。

本研究では、実際の心臓病変の画像診断に役立てるため、複数の 3 次元画像データを読み込み、位相パラメータを含む画像表示に関する全てのパラメータ

をインタラクティブに変更し、その結果画像をリアルタイムに表示する動的画像診断装置を開発し、この装置を用いて動的画像データ表示に関する検討と動的画像データから計測された容積に関する検討を行った。

II. 対象と方法

1. 開発されたアプリケーションの概要

本研究のために新しく開発されたアプリケーションは、経時的に連続する複数の 3 次元画像データを読み込み、位相を新たなパラメータとしてインタラクティブに変更し、動的画像表示できることを特徴とした。また、複数の画像を、位相を同期させながら画面内に同時表示を行う **Synchronized Four-dimensional Imaging (SFI)** という表示系アプリケーションと複数の 3 次元画像データにおいて 3 次的にボクセル数をカウントし、同時に容積計測を行う動的画像データ用容積測定アプリケーションを開発した。

2. 心臓動態ファントムを用いた基礎的検討

基礎的検討のために使用された心臓動態ファントムは、拡張終期容積、収縮終期容積、心拍数、バルーンの容積曲線パターンという拍動に関するパラメータの設定が可能であった。

動態ファントムのバルーンの容積曲線が正弦波を描くように動作パターンを選択した。拡張終期容積を 100ml、収縮終期容積をそれぞれ 30ml、50ml、70ml、心拍数をそれぞれ 0 回/分、50 回/分、68 回/分、80 回/分と設定し、12 種類の動的画像データ（各 10 位相分の 3 次元画像データ）を取得した。

経時的に連続する 10 位相分の 3 次元画像データを画像表示装置に読み込み、動的画像表示を行った。画像表示速度及び画像表示に関するパラメータ変更の追従性を検討した。さらに、位相によるバルーン形態およびその変化に関して、視覚的評価を行った。

各位相における容積を計算し、実測された容積と設定で指定した正弦波パターンより得られる容積の理論値との相関を評価し、検討を行った。

3. 臨床データにおける検討

心電図、超音波もしくは心臓血管造影にて、心臓疾患と診断された 19 症例に対し、MDCT 検査を施行した。経時的に連続する 10 位相分の 3 次元画像データを画像表示装置に読み込み、動的画像表示を行い、画像表示速度及び画像表示に関するパラメータ変更の追従性を検討した。さらに、位相による心臓外観及び内部にある対象の変化に関して、視覚的評価を行った。SFI 表示法により、動的画像表示を複数枚表示し、その表示法の有用性を検討した。

各位相において 3 次元容積計測を行い、容積変化を検討し、さらに MDCT 検査と左室造影検査を施行された 9 症例に関して、駆出率に関する比較を行い、相関を検討した。

Ⅲ. 結果

1. 心臓動態ファントムを用いた基礎的検討

連続する 10 位相分の 3 次元画像データを読み込ませた後、動的画像表示を行った。動的画像表示は、毎秒 10 フレーム以上の速度で描画され、表示パラメータはインタラクティブに変更が可能であった。動的画像データにおける R-R 波間隔 50%、100%における動的画像は、アーチファクトがほとんど認められなかった。その他の位相においては、50%と 100%より離れるにつれて、アーチファクトが強くなったことが確認された。また、心拍数が高いほど、そして駆出率が高いほど、アーチファクトが強くなる傾向を示した。

動的容積計測アプリケーションを起動させ、心臓動態ファントム内部の CT 値を参照し、閾値処理を行い各位相の 3 次元画像データの容積計測を行った。心臓動態ファントムの容積曲線は、設定時に選択した容積曲線である正弦波パターンに非常に近似していた。

2. 臨床データにおける検討

連続する 10 位相分の 3 次元画像データを読み込ませた後、動的画像表示を行った。動的画像表示は、毎秒 10 フレーム以上の速度で描画され、表示パラメータはインタラクティブに変更が可能であった。動的 Volume Rendering 画像では、冠動脈、石灰化、冠静脈洞、心臓の外観を、動的 MPR 画像表示では心筋、乳頭筋、中隔、弁、壁在血栓、心腔内腫瘍を描出し、位相パラメータを変更しながら観察が可能であった。動的画像表示により、各観察対象の最適な観察位相を容易に選択でき、さらに観察対象の形態とその運動性の評価可能であった。コロナル方向及びサジタル方向の動的 MPR 画像において、心臓壁の連続性を観察することにより、スキャン軸方向の位相のずれを、認識することが可能であった。アーチファクトの影響が一番大きい位相は、拡張終期から収縮終期の中間にある位相であった。

位相が同期した 4 個の画像を表示する SFI 表示法を行った。位相を変更すると、その位相に対応する互いに直交した 3 個の基本的な MPR 画像と Volume Rendering 画像が同時に表示された。3 個の基本的な MPR 画像上には二つの直交する線が表示されていた。これは、他の二つの MPR 画像との交線を表しており、この交線の交点は 3 個の MPR 画像が共有する点であった。ひとつの MPR 画像において観察対象を表示し、その MPR 画像上の交点を観察対象に一致させれば、残りの MPR 画像においても、その観察対象を表示させることが可能であった。また、Volume Rendering 画像においては、その画像表示領域の中心が 3 個の MPR 画像の交点と一致しており、Volume Rendering 画像を平行移動させ観察対象を画像表示領域の中心におくと、残りの 3 個の MPR 画像においても、その観察対象を表示させることが可能あり、4 画像同時に観察対象を表示することが可能であった。

動的容積計測アプリケーションを起動させた。はじめに、全ての位相の左心室内腔を視覚的に評価し、閾値処理を行った。その後、弁膜輪の高さでカット処理を行い、各位相の 3 次元画像データの容積計測を行った。容積計測の結果より左心室容量曲線が作成された。拡張終期から収縮終期までは、正弦波に近似するような曲線を描くが、収縮終期から拡張終期までは曲線の傾きがゆるやかであった。

今回、心臓の MDCT 検査を受けた患者の中で、左心室造影検査を行い左心室の駆出率が計算されていた 9 名の患者に関して、心臓の MDCT 検査の駆出率と左心室造影検査の駆出率の相関を求めた。相関係数は、 $r=0.82$ ($p<0.01$) であり、比較的良好な相関が得られた。

V. まとめ

MDCT より取得された心臓動態ファントム及び心臓の経時的に連続する複数の 3 次元画像データを読み込み、動的画像表示を行うという今までにない画像表示装置を開発した。この装置により動的 Volume Rendering 画像表示、動的 MPR 画像表示などが実現され、動的な観察対象である冠動脈、冠静脈洞、心筋、弁、壁血栓、心腔内腫瘍、石灰化などを同時に最適な位相で形態観察が可能になるだけでなく、その運動性の評価も同時に可能となった。このような評価は動的画像表示によってはじめて可能となった。心臓動態ファントムにおいて、今回使用した動的容積測定アプリケーションの精度が高いことが示唆された。心電図データと左心室容積曲線は必ずしも対応しないことが示唆された。よって、心電図から拡張終期および収縮終期を決定することは困難であり、全位相の容積を計測し、拡張終期と収縮終期を決定することが必要であると考えられた。基礎的検討よりモーションアーチファクトは容積変化が大きいとき、増大する傾向が認められ、この傾向は臨床データにおいても同様であった。臨床データにおいて、拡張期と収縮期を比較した場合、収縮期の方が時間的に短いため、拡張終期から収縮終期までの間、特にその中間において、容積変化が一番大きく、モーションアーチファクトも最大であることが示唆された。新しい画像表示法である SFI 画像表示法は、複数の画像データを空間的及び時間的に同期させたものである。この画像表示法を用いることにより、動的対象を複数の画像に同時に表示させ、動的な観察対象を見失い事なく観察が可能であった。動的画像表示は心臓の MDCT 検査において、有用な画像表示法であることが本研究により示唆された。