

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	二次元X線血管造影画像による定量的心筋血流計測方法の開発
Title(English)	Development of a theory and method for quantitative myocardial perfusion using two-dimensional x-ray angiography images
著者(和文)	坂口卓弥
Author(English)	Takuya Sakaguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10275号, 授与年月日:2016年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:八木 透,伊能 教夫,天谷 賢治,中島 求,原 精一郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10275号, Conferred date:2016/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	坂口卓弥	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	八木 透	准教授	原 精一郎	准教授
	審査員	伊能教夫	教授		
		天谷賢治	教授		
中島 求		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「二次元X線血管造影画像による定量的心筋血流計測方法の開発」と題し、以下に示す5章から構成されている。

第1章「緒論」では、虚血性心疾患の血管内治療方法とその課題を示し、治療中に血流計測を行う本研究の目的について述べている。すなわち、心筋が虚血となっている患者において、心筋への血液の円滑な流れを阻害している血管狭窄箇所を治療で広げた場合に、形態的に血管狭窄箇所が広がったことを確認するだけでなく、心筋への血流量が増えたことを確認することが重要であると示している。治療前にCTやMRIを用いて血流量を計測する方法は知られているが、治療中に定量的に血流量を計測する方法は実用化されていない。そこで本研究では、治療中に用いられる二次元X線血管造影画像を用いて、心筋血流量を計測する方法を開発することが目的であると述べている。

第2章「理論及びデータ収集方法」では、二次元X線血管造影画像を用いて治療中に血流量が測定できるように、新しいモデルとデータ収集方法を提案している。すなわち、濃度勾配に関する拡散方程式の公知のモデルを二次元X線血管造影画像用に改良し、血管と心筋の二次元X線血管造影画像信号値の時間変化を測定して入力すると心筋血流量を出力するための新しいモデルを提案している。これは、血管造影剤の使用、速い流れ、短時間撮影、動脈への造影剤注入、二次元投影画像、心臓の周期的心拍運動、という特徴を利用することにより実現している。また、提案した新しいモデルに適するように、非線形要素や時間的変動要素を排除した新しい画像データ収集方法について述べている。

第3章「データ処理方法」では、収集されたデータの処理方法について述べている。すなわち、実際の人体での計測では、さまざまな外乱や不安定要素が加わったデータが収集される。本章ではそれらの問題を分析し、血流量の結果に与える影響の強い主要因について検討し、対応の必要性和補正方法を提案している。特に、心拍運動の影響を低減させるための心電同期方法、造影剤濃度と画像信号強度の関係を比例させるための線形化補正方法、残存造影剤の影響を排除するためのベースライン補正方法、心臓の非周期的運動影響を低減させるための血管動き補正方法、処理プロセスの自動化と安定化のためのデータ点の自動選定方法、二次元画像のため奥行き情報が欠損する限界の克服をめざした血管厚さ計測方法、についてそれぞれどのような補正方法を採用するのが最適であるかを検討している。

第4章「評価検証」では、第2章で検討したデータ収集方法と第3章で検討したデータ処理方法を採用したプロトタイプを作成し、心筋血流量計測の精度を評価している。すなわち、アイソトープでラベリングしたマーカをブタの血管内に注入する動物実験で得た真の血流量と本手法によって導出された血流量を比較し、相関値 $R^2=0.61$ を達成したと述べている。また、安静状態での血流量に対する負荷状態での血流量の増加量の統計的有意性の検証、本手法で生成した血流量のカラーマップ表示の臨床現場での有用性の検証、を実施している。さらに、被曝量と造影剤量について、精度を担保しつつ低減可能な限界値について検討し、臨床で使えるレベルであることを検証している。プロトタイプにおける処理時間は1分以内であり、臨床で実用的な速度での処理が可能になったと述べている。

第5章「結論」では、各章で得られた知見をまとめ、本研究の到達点を示している。すなわち、二次元X線血管造影画像を用いて定量的に心筋血流量を計測する方法と検証結果について考察し、定量的で精度良く、安定的に、オペレータに依存せず簡便・高速に、造影剤量と被曝量を増やさず、血管内治療中に実用的な心筋血流量を計測する方法を開発したと述べている。また、本手法の限界を提示し、実用時に留意すべき事項と運用上の工夫を明示している。さらに、残された課題と解決の方向性を示すとともに、本研究を行った意義と将来に向けた展望について総括している。

以上を要するに本論文は、血管内治療中に二次元X線血管造影画像によって心筋血流量を計測する理論を構築し、その有効性を明らかにしたものであり、本研究で得られた知見は、生体工学の研究領域において価値が高く、工学上、寄与するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。