

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	情報環境学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	坂口卓弥		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	八木透	准教授
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)		

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

虚血性心疾患は世界の死亡原因の第一位の疾患であり、心筋の一部に虚血が生ずる心疾患である。治療方法として、血管にカテーテルを入れて血管狭窄を広げる血管内治療が一般的である。血管内治療では、二次元X線血管造影画像を用いて血管形状を観察し、狭窄が解消すれば治療完了と判断している。しかし近年の研究で、狭窄の形状だけではなく、心筋への血流を確認して治療終了を判断することで予後を良くできることがわかってきた。そこで治療中に心筋血流を定量的に計測することが必要になるが、公知の方法で臨床において広く使われている計測法は存在しない。そこで本研究では、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を計測する方法を開発することを目的とし、理論の考案、データ収集方法の研究、データ処理方法の研究、動物を用いた検証というプロセスで研究を進めた。その結果、オペレーターに依存せず、定量的で、簡便で、高速に、被曝を増やさず、臨床現場で実用的な、心筋血流量を計測する方法の開発に成功した。

「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」と題した本論文は、本研究の成果をまとめたものであり、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、対応の必要性と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、オペレーターに依存せず簡便・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。

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	情報環境学	専攻	申請学位 (専攻分野) : 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	坂口卓弥		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	八木透 准教授
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The aim of this study was to develop a theory and method for quantitative regional myocardial perfusion using two-dimensional X-ray angiography during coronary interventional treatment. It is important to decide end of the interventional procedure by evaluating not only artery morphology but also myocardial blood flow. However, there is no practical method to measure myocardial blood flow quantitatively in clinical routine procedure. Conventional two compartment model to express relationship between artery contrast concentration and myocardial contrast concentration was modified to fit with two-dimensional x-ray angiography. Data acquisition method was optimized to obtain baseline image, electro-cardiogram signal, and to suppress effect of respiration. Several image processing methods were newly developed: baseline correction, linearity correction, optimal data point determination, and motion compensation. For evaluation, seven porcine models of myocardial ischemia with stenosis in proximal coronary artery were prepared. Imaging was performed using cardiovascular X-ray imaging equipment during the injection of iopamidol contrast agent. Myocardial blood flow was calculated using the Patlak plot method applied to time-intensity curve data of the proximal artery and myocardium. The results were compared to microsphere myocardial blood flow measurements. Correlation between the calculated blood flow and microsphere blood flow was $R^2=0.61$. Color-coded map was generated representing regional myocardial perfusion. This novel method is quantitative, operator-independent, easy to use, quick, and practical for clinical routine procedure. It is not limited to myocardium and has potential to be used for many other organs.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).