

国士舘大学審査学位論文

「博士学位請求論文の内容の要旨及び審査結果の要旨」

「核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における

非侵襲温度分布測定に関する研究」

「Noninvasive Temperature Measurement During

Acupuncture and Moxibustion Treatment Using MRI」

中村 優

|         |                                                                                          |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏名      | 中村 優                                                                                     |
| 学位の種類   | 博士(工学)                                                                                   |
| 報告番号    | 甲 第41号                                                                                   |
| 学位授与年月日 | 平成28年3月20日                                                                               |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当                                                                             |
| 学位論文題目  | 核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における非侵襲温度分布測定に関する研究                                                    |
| 論文審査委員  | (主査) 教授 二川 佳央<br>(副査) 教授 大屋 隆夫<br>(副査) 教授 清水 敏寛 (国士舘大学非常勤講師)<br>(副査) 教授 加藤 和夫 (明治大学理工学部) |

## 学位(博士)請求論文

### 博士学位請求論文の内容の要旨

「核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における非侵襲温度分布測定に関する研究」

## 論文の内容の要旨

論文題目 核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における  
非侵襲温度分布測定に関する研究

### Noninvasive Temperature Measurement During Acupuncture and Moxibustion Treatment Using MRI

氏名 中村 優

核磁気共鳴画像装置(MRI : Magnetic Resonance Imaging equipment)は現在の医療現場において、電磁波を利用した画像診断装置として最も普及しているシステムの一つである。MRI は強い静磁場内に置かれた生体にパルス状(RF: Radio Frequency)電磁波を照射することによって、その生体組織中に励起された水素原子核スピンの緩和することによって誘導される NMR(Nuclear Magnetic Resonance)信号を受信し、生体内部の任意の断面を画像化する方法である。

本研究ではこの MRI を使い、プロトンの縦緩和信号の位相差を温度差に変換するシステムにより、ファントムモデル内および生体内を非侵襲で温度測定することで、生体外部に置かれた熱源および生体への刺鍼刺激が生体内部の温度変化にどのように影響するかについて検討を行うものである。またこれらの研究により得られた結果から各種施術における生体の反応の差異を確認することで現在まで鍼灸臨床および教育の現場において提示されることのなかった局所深部温度に関するエビデンスを得ることを目的とした。

MRI による温度測定には、 $T_1$ 緩和時間、プロトンケミカルシフトおよび水分子拡散係数など温度に関するパラメータが用いられ、それぞれに対応して信号強度法、位相法、拡散画像法がある。本研究では、0.3T 永久磁石オープンタイプ MR 装置(AIRIS-II, (株)日立メディコ製)を使用し、位相法を用いて温度測定を行った。また、使用する熱源および生体への介入方法として、統合医療分野および、補完代替医療分野で広く用いられている鍼灸治療において実施される施術法を用いた。

鍼灸治療とは近年、西洋医学に対し、欧米などでは特に西洋医学では対処しきれない疾患や疾病に対する処置法として、あるいは西洋医学の補助的役割として、補完代替医療や統合医療といった分野の一部とされ、これらの分野の中でも特に注目を浴びている技法の一つである。この鍼灸分野に関しては、近年多くの研究が行われているものの、施術介入時の生体深部温度変化に関する研究は行われてこなかった。これは生体深部の温度変化を非侵襲で測定することが技術的に困難であるという理由と共に、工学的な知見をもって東洋医学を評価するという試みが一般的ではなかったことに起因する。

本論文はMRIを用いたプロトンの縦緩和位相差を温度差に変換するシステムを使用し生体深部温度測定を行うという技術を東洋医学分野の一つである鍼灸医学に適応した初めての研究報告であり、全5章から構成される。

第1章では研究背景およびMRIの現状や撮像理論について、および生体において実験を行う先行実験用に用いられたファントムモデルに関する内容を述べている。

第2章ではMRIを用いたプロトンの縦緩和位相測定から温度変化を算出する方法における灸法施術時の非侵襲温度測定がファントムモデル内部において実施可能であることを示し、生体に対しても本法が適用できることを示している。この実験で得られた結果は灸法施術時の施術部直下において、従来技術では獲得し得なかった筋層までの温度変化を測定、画像化したものである。本章によって得られた結果は灸法を使用する際の臨床現場ならびに教育現場に大きく寄与するものである。

第3章ではMRIを用いたプロトンの縦緩和位相測定から温度変化を算出する方法における灸頭鍼法施術時の非侵襲温度測定がファントムモデル内部において測定可能であることと共に、MRI内金属持ち込み時のアーチファクトの影響について述べている。本章で得られた結果は、灸頭鍼法という伝統ある施術に対し明確化されていなかった施術時の熱の伝達機序についても明らかにし、加えて施術時のファントムモデル内部での温度変化についても明らかにしたものである。本章によって得られた結果は鍼灸臨床および教育の現場に

対し大きな意味を持つものであると同時に、MRI ガントリ内金属持ち込みに対しても言及しているため、医療用鍼を用いた局所加温の可能性についても大きな意味をもたらすものである。

第4章ではMRIを用いたプロトンの縦緩和位相測定から温度変化を算出する方法において熱源を用いない鍼法施術時の非侵襲温度測定がファントムモデル内部において測定可能であることを述べている。この実験で得られた結果は鍼法施術介入時の施術局所に対し、従来技術では獲得しえなかった生体深層の温度変化を測定、画像評価したものである。本研究によって得られた知見は鍼灸分野の臨床および教育の現場に大きく寄与するものである。また、これら3つの章で得られた結果を比較検討することにより、それぞれの施術時のファントムモデル内および生体内で起こる温度変化の差を明らかにし、臨床現場においてより適切な施術の選択を行うための一つの指標を提示するものである。

第5章では総括を行うと共に、特にこれらの結果がエビデンスに乏しいと言われる鍼灸治療での、鍼、灸それぞれの介入において、どちらの刺激も生体深部に温度変化を起こすことを明らかにしたこと。また、それぞれの治療法で生体における反応が異なることを明らかにしたという点を強調し、まとめたものである。

以上これらの実験を含めた検討を行うことにより、MRIを使用したプロトン縦緩和位相測定による生体内部温度分布変化測定システムに妥当性があることを報告する。これらの研究は今後ハイパーサーミア治療などの温熱治療を行う際、MRIを用い生体内部の温度測定をリアルタイムで捉えながら局所的な施術が行える可能性に対し大きく寄与するものである。加えて、本研究はMRIと医療用鍼を用いた超低侵襲温熱治療の可能性も示すものであり、今後の医療現場において革新的な応用に至る新技術の検討を行う際に活用することができている内容が含まれている。また、鍼灸領域においては今日まで多くが経験的に評価されていた施術時の生体深部の温度変化に対し言及するものであり、定量的な評価として言及されることが一般的ではなかった領域を開拓したもので、臨床的側面および教育的側

面において大きな進歩をもたらす研究である。

|         |                                                                                          |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏名      | 中村 優                                                                                     |
| 学位の種類   | 博士(工学)                                                                                   |
| 報告番号    | 甲 第41号                                                                                   |
| 学位授与年月日 | 平成28年3月20日                                                                               |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当                                                                             |
| 学位論文題目  | 核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における非侵襲温度分布測定に関する研究                                                    |
| 論文審査委員  | (主査) 教授 二川 佳央<br>(副査) 教授 大屋 隆夫<br>(副査) 教授 清水 敏寛 (国土舘大学非常勤講師)<br>(副査) 教授 加藤 和夫 (明治大学理工学部) |

## 学位(博士)請求論文

### 博士學位請求論文の審査結果の要旨

「核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における非侵襲温度分布測定に関する研究」

専攻名 応用システム工学専攻 学籍番号 13-DE002 氏名 中村 優

論文題目 核磁気共鳴画像装置を用いた鍼灸施術時における  
非侵襲温度分布測定に関する研究

Noninvasive Temperature Measurement During Acupuncture and Moxibustion Treatment Using MRI

核磁気共鳴画像装置 (MRI: Magnetic Resonance Imaging equipment) は現在の医療現場において、電磁波を利用した画像診断装置として、最も普及しているシステムの一つである。MRI は強い静磁場内に置かれた生体に、パルス状電磁波 (RF: Radio Frequency) を照射することによって、その生体組織中に励起された水素原子核スピンの緩和することに伴って誘導されるNMR (Nuclear Magnetic Resonance) 信号を受信し、生体内部の任意の断面を画像化する方法である。

本研究ではこのMRI を用い、プロトンの縦緩和信号の位相差を温度差に変換するシステムにより、ファントムモデル内および、生体内を非侵襲で温度測定することにより、生体外部に置かれた熱源および生体への鍼灸刺激が生体内部の温度変化にどのように影響するかについて検討することを目的とした。

MRI による温度測定には、T1 緩和時間、プロトンケミカルシフトおよび水分子拡散係数など温度に関するパラメータが用いられ、それぞれに対応して信号強度法、位相法、拡散画像法がある。本研究では、0.3T 永久磁石オープンタイプMR 装置（AIRIS-II, 株式会社日立メディコ製）を使用し、位相法を用いて温度測定を行った。また、使用する熱源および生体への介入方法として、統合医療分野および、補完代替医療分野で広く用いられている鍼灸治療において実施される施術法を用いた。

鍼灸治療とは近年、西洋医学に対し、欧米などでは特に西洋医学では対処しきれない疾患や疾病に対する処置法として、あるいは西洋医学の補助的役割として、補完代替医療や統合医療といった分野の一部とされ、これらの分野の中でも特に注目を浴びている技法の一つである。この鍼灸分野に関しては、近年多くの研究が行われているものの、施術介入時の生体深部温度変化に関する研究は行われてこなかった。これは生体深部の温度変化を非侵襲で測定することが技術的に困難であるという理由と共に、工学的な知見をもって東洋医学を評価するという試みが一般的ではなかったことに起因する。

本論文はMRI を用いたプロトンの縦緩和位相差を温度差に変換するシステムを使用し生体深部温度測定を行うという技術を、東洋医学分野の一つである鍼灸医学に適応した初めての研究報告であり、全5章から構成される。

第1章では研究背景および、MRI の現状や撮像理論について、および生体において実験を行う先行実験用に用いられたファントムモデルに関する内容を述べ、研究背景についてまとめる。第2章ではMRI を用いたプロトンの縦緩和位相測定から温度変化を算出する方法における灸法施術時の非侵襲温度測定がファントムモデル内部において実施可能であることを示し、生体に対しても本法が適用できることを示している。この実験で得られた結果は灸法施術時の施術部直下において、従来技術では獲得し得なかった筋層までの温度変化を測定、画像化したものである。本章によって得られた結果は灸法を使用する際の臨床現場ならびに教育現場に大きく寄与するものである。また、第3章ではMRI を用いたプロトンの縦緩和位相測定から温度変化を算出する方法における灸頭鍼法施術時の非侵襲温度測定がファントムモデル内部において測定可能であることと共に、MRI 内金属持ち込み時のアーチファクトの影響について述べている。本章で得られた結果は、灸頭鍼法という伝統のある施術に対し明確化されていなかった施術時の熱の伝達機序についても明らかにし、加えて施術時のファントムモデル内部での温度変化についても明らかにしたものである。本章によって得られた結果は鍼灸臨床および、教育の現場に対し大きな意味を持つものであると同時に、MRI ガントリ内金属持ち込みに対しても言及しているため、医療用鍼を用いた局所加温の可能性についても大きな意味をもたらすものである。第4章ではMRI を用いたプロトンの縦緩和位相測定から温度変化を算出する方法において熱源を用いない鍼法施術時の非侵襲温度測定がファントムモデル内部において測定可能であることを述べた。この実験で得られた結果は鍼法施術介



入時の施術局所に対し、従来技術では獲得しえなかった生体深層の温度変化を測定、画像評価したものである。本研究によって得られた知見は鍼灸分野の臨床および教育の現場に大きく寄与するものである。また、これら3つの章で得られた結果を比較検討することにより、それぞれの施術時のファントムモデル内および生体内で起こる温度変化の差を明らかにし、臨床現場においてより適切な施術の選択を行うための一つの指標を提示するものである。これらの結果は、エビデンスに乏しいと言われる鍼灸治療において、鍼、灸それぞれの介入において、どちらの刺激も生体深部に温度変化を起こすことを明らかにし、かつそれぞれの治療法で生体の反応が違うことを明らかにしたという点で大変革新的な結果を提示している。これらの実験で得られた結果を第5章総括にまとめ報告する。

以上これらの実験を含めた検討を行うことにより、MRI を使用したプロトン縦緩和位相測定による生体内部温度分布変化測定システムに妥当性があることを報告する。これらの研究は今後ハイパーサーミア治療などの温熱治療を行う際、MRI を用い生体内部の温度測定をリアルタイムで捉えながら局所的な施術が行える可能性に対し大きく寄与するものである。また、鍼灸領域においては今日まで多くが経験的に評価されていた施術時の生体深部の温度変化に対し言及するものであり、定量的な評価として言及されることが一般的ではなかった領域を開拓したものであり、臨床的側面また教育的側面において大きな進歩をもたらす研究である。加えて、これらの研究はMRI と医療用鍼を用いた超低侵襲温熱治療の可能性も示すものであり、今後の医療現場において画期的な応用に至る新技術の検討を行った研究である。