

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：32663

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750169

研究課題名(和文)変形性関節症のための非接触深部温熱治療システムの開発

研究課題名(英文)Development of noninvasive deeply thermotherapy system for osteoarthritis

研究代表者

新藤 康弘(Shindo, Yasuhiro)

東洋大学・理工学部・助教

研究者番号：00553017

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：変形性膝関節症の深部温熱治療法の確立を目的とした、全自動周波数同調・インピーダンス整合機能を有する非接触深部温熱リハビリテーションシステムを新たに開発することを目的とし、新たに小型空洞共振器アプリアータの開発を行った。
具体的には、有限要素法による数値解析および筋肉等価寒天ファントムを用いた試作加温装置の加温実験を行い、本加温システムの有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：To establish a more effective thermal therapy method for OA (Osteoarthritis), a smaller resonant cavity applicator with functions which are automatic impedance matching system and automatic frequency tuning system was developed.

In this study, the calculated results of the human knee model by FEM (Finite Element Method) were discussed. After developed the prototype applicator, heating experiments using an agar phantom were performed. From these results, it was found that the newly developed resonant cavity applicator was able to effectively heat the deep tissue inside the knee joint.

研究分野：医用工学

キーワード：温熱リハビリテーション 変形性関節症 空洞共振器 自動制御 有限要素法解析

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症は、関節機能を著しく障害するため、日常生活や社会活動が制限される。わが国の医学研究では、推定有症有病者数が約 800 万人と推測されている。

特に、変形性関節症が進行し、関節破壊が重度となってしまった場合、人工関節への置換手術等が必要となるため、初期段階で変性を阻止する温熱的治療法の確立が急務とされている。臨床では、簡便で実用的なりハビリテーション方法として温熱療法が広く行われている。温熱療法では、関節部を 36-38 程度に温めることで、関節症による痛みの緩和および病症の進行を防ぐ効果があるとされている。

しかしながら現在、臨床で用いられているマイクロ波照射型加温装置で期待できる加温領域は、皮下 2-3 cm の筋肉層までであり、加温治療に効果的な部位である関節中心部（関節腔）まで加温エネルギーが到達せず、未だ効果的治療法および加温装置は開発されていない。

この事からも、変形性関節症の温熱治療分野において、外部への電磁界漏れが小さく、安定的に深部加温可能な治療装置の開発が急務であるといえる。

そこで、本研究課題では、図 1 にその概略を示すとおり、変形性膝関節症の深部温熱治療法の確立を目指し、空洞共振器加温システムを応用した、関節腔内深部を非接触状態で集中加温が可能な、温熱治療システムの構築を行った。さらに、臨床応用の際に必要な不可欠となる、医師等の術者が誰でも高精度に同調・整合可能な全自動システムの開発を行い、小型で汎用性の高い、全自動周波数同調・インピーダンス整合機能を有する非接触温熱リハビリテーションシステムの開発を行った。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、「変形性膝関節症の深部温熱治療法の確立を目的とした、全自動周波数同調・インピーダンス整合機能を有する非接触深部温熱リハビリテーションシステムを新たに開発すること」である。

具体的には、変形性膝関節症の温熱治療で有効とされる膝関節腔内を非接触状態で集中加温する事ができ、さらに医師などの施術者が安全かつ簡便に操作可能な、全自動周波数同調機能および全自動インピーダンス整合機能を有する、全く新しい加温治療システムの開発を行った。

3. 研究の方法

年度別に以下のように、研究の方法を計画的に分けて実施した。

平成 25 年度 計画

(1) 有限要素法による、三次元人体解剖学的解析モデルを用いた電磁界分布解析

CT や MRI 等の 2 次元医用画像から新たに 3

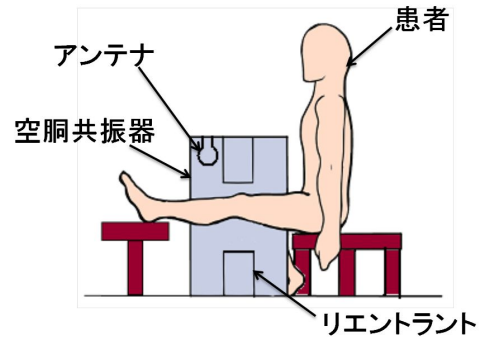


図 1 加温システム概念図

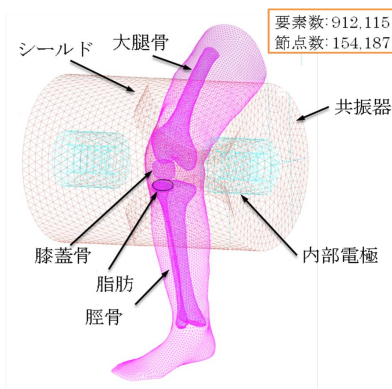


図 2 有限要素法解析モデル

次元人体解剖学的 FEM モデルを再構築し、電磁界分布解析を行い、深部集中加温およびアプリケーション周辺への電磁界の漏洩電力に関して、数値的検討を行った。

(2) リハビリテーション用非接触深部集中加温システムの設計・試作

数値的検討を基に、小型で汎用性の高いアルミニウム製空洞共振器アプリケーションの試作を行う。さらに、深部集中加温の確認を行うために、簡易実験として円筒型寒天ファントムを用いた加温実験を行った。

(3) 高精度全自動周波数同調・インピーダンス整合システム（フルマッチングシステム）の開発

本加温システムの臨床応用に不可欠である、高精度な周波数同調・インピーダンス整合が容易に可能となる、全自動システム（フルマッチングシステム）の開発を行った。

平成 26 年度 計画

(4) 試作加温システムを用いた人体脚部形状寒天ファントムの加温実験

前年度までに開発・試作した自動フルマッチング機能を有する加温機器について、人体膝部形状を模擬した人体等価寒天ファントムを自作し、これを用いた加温実験を実施した。加温実験結果より、本加温システムの臨床応用への可能性を明らかにした。

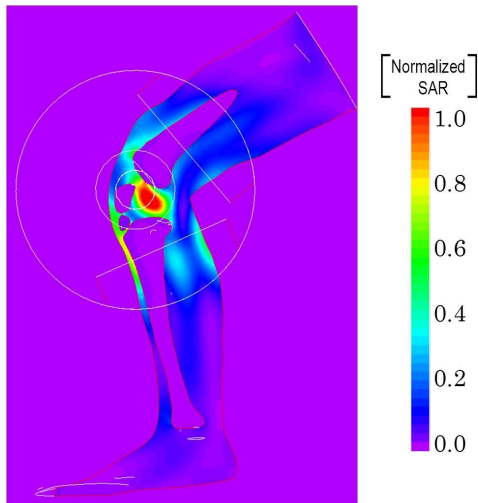


図3 正規化 SAR 分布解析結果

4. 研究成果

図2に有限要素法解析で用いた解析モデルを示す。CT画像より再構築した人体解剖学的モデルを作製し、共振器モデル内に設置した。

図3は、図2に示した解析モデルを用いた膝中央断面での正規化 SAR (Specific Absorption Rate) 分布解析結果を示している。このときの共振周波数は 460MHz であった。この解析結果から、異常加温を発生することなく、目的部位である、関節深部に電磁波エネルギーが集中しており、膝深部の関節腔部分まで加温できる可能性を示している。

この解析結果をもとに、設計・試作した加温システムを図4に示す。各システムをコンピュータと接続し、制御することでフルマッチングシステムを実現している。加温実験では、人体の筋肉組織と電気的物性値が近い、脚部形状の筋肉等価寒天ファントムを作製して用いた。

加温実験条件は、周波数 473.3MHz、加温電力 50W、加温時間 10分である。加温実験直後に、事前に切断された寒天ファントム中央断面を赤外センサーカメラで撮像した。撮像した熱画像を図5に示す。膝形状の寒天ファントムの膝部分に電磁界エネルギーが集中し、深部まで目的部位を加温していることが確認できる。最高温度は 17.1、初期温度は 12.5 であった。

このことから、本加温システムを用いることで膝深部を集中的に加温できる可能性を実験的に示し、本加温システムの有用性を明確に確認することができたと考えられる。

本科学研究費補助金により、整形外科分野における深部温熱リハビリテーションの確立に大きく寄与できたと考えており、感謝申し上げます。

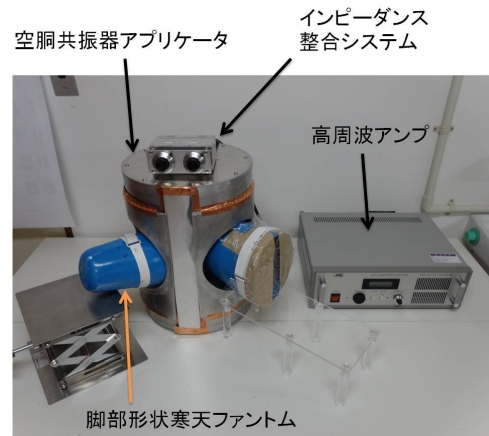


図4 試作加温装置

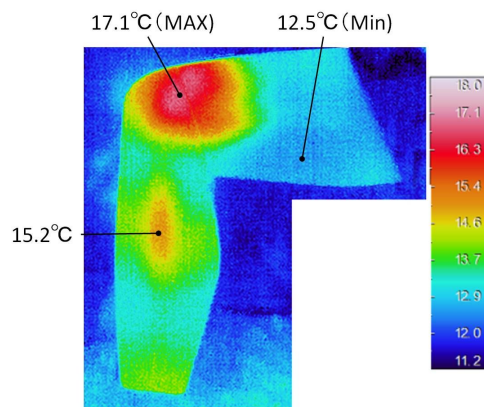


図5 加温実験結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計4件)

(1) “DEVELOPMENT OF RESONANT CAVITY APPLICATOR FOR DEEPLY THERMAL REHABILITATION OF OSTEOARTHRITIS”, Shindo Yasuhiro, Matsushita Takuma, Mira Eitaro, Takahashi Kenji, 20th European Congress of physical and Rehabilitation Medicine (ESPRM 2016), Estoril Portugal, 25 April, 2016.

(2) “ハイパーサーミア分野における工学的研究-これまでの研究とこれからの展望について-”, 新藤康弘, 第32回日本ハイパーサーミア学会学術大会, KKR ホテル大阪(大阪府大阪市).2015年9月5日

(3) “変形性関節症の温熱治療を目的とした空胴共振器加温システムの加温特性”, 新藤康弘,加藤和夫, 高橋謙治, 黒崎弘正, 第32回日本ハイパーサーミア学会学術大会, KKR ホテル大阪(大阪府大阪市), 2015年9月4日

(4) “Improvement of Resonant Cavity Applicator for Thermotherapy of Osteoarthritis”, Yasuhiro Shindo, Takuma Matsushita, Keito Nakamura, Kazuo Kato, Hiromasa Kurosaki, and Kenji Takahashi, The 9th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP2015), Lisbon Portugal. 14 April 2015

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

新藤 康弘 (SHINDO YASUHIRO)

東洋大学・理工学部・助教

研究者番号：00553017