

一般演題(ポスター)生物・工学(P13~P17)

9月1日(土) 11:30~12:06

ポスター会場

座長

加藤 和夫

明治大学理工学部機械情報工学科





8 MHz RF誘電加温装置とMRI融合の可能性

○奥田 祐希¹⁾, 寒河江 真生¹⁾, 関口 哲也²⁾, 野村 哲司²⁾, 辻口 元司²⁾, 黒田 輝^{1,3)}

¹⁾東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻, ²⁾山本ビニター株式会社, ³⁾千葉大学フロンティア医工学センター

Feasibility of MR-guided RF capacitive hyperthermia operating at 8MHz

○Yuki OKUDA¹⁾, Masaki SAGAE¹⁾, Tetsuya SEKIGUCHI²⁾, Tetsuji NOMURA²⁾,
Motoji TSUJIGUCHI²⁾, Kagayaki KURODA^{1,3)}

¹⁾Course of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tokai University,

²⁾Yamamoto Vinita Co., Ltd., ³⁾Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

【目的】RF誘電加温時の体深部温度分布の非侵襲・実時間画像化にはMRIとの併用が有効であると考えられる。加温装置のRF電磁界とMRIのRF電磁界の干渉は時分割により回避できるが、MRIの電磁界に対する加温用電極の影響が問題である。そこで本研究では、第一段階としてこの電磁干渉の影響を低減するためのシミュレーションを実施した。【方法】楕円円柱状の筋肉等価ファントムの上下に球台形型のボラスを置き、その内部に形状を工夫した加温電極を配置した。これを水平磁界(1.5T, プロトン共鳴周波数64MHz)あるいは鉛直磁界(0.3T, 同12.8MHz)MRIのハイパス型8エレメントバードケージコイル内に設置した際の、MRIのRF電磁界の振る舞いを解析した。加温電極板におけるうず電流の発生を抑制するため、円あるいは楕円形の電極を櫛状や放射状に分割した。水平磁界MRIにおけるRF電磁界解析には有限差分時間領域法(FDTD法)を、鉛直磁界MRIの解析には有限要素法(FEM法)を適用し、アイソセンタにおけるMRIのRF電磁界の空間的均一性を評価した。さらにFEM法を用いて誘電加温による温度分布の解析を行った。【結果】水平磁場MRIではRF磁界のベクトルが加温電極を法線方向に貫くため、単板電極では不均一が大きかったが、放射状の分割により不均一が50%抑制された。一方、鉛直磁場MRIではRF磁界のベクトルが加温電極の接線方向となるため単板であっても、うず電流が小さく、水平磁場の場合より不均一を90%低減した。また単板電極と分割電極による筋肉内部の温度分布に有意差は見られなかった。【結語】水平磁界MRIでは電極の分割によって、鉛直磁界MRIでは電極とRF磁界ベクトルとの幾何学的関係によって、うず電流の発生を抑制しうることが示された。これによりRF誘電加温装置とMRI装置の融合の可能性が示された。

効果的なハイパーサーミア治療を目的とした VRシミュレーションシステムの開発

○徳竹 亮¹⁾, 新藤 康弘²⁾, 加藤 和夫³⁾, 竹内 晃⁴⁾

¹⁾ 明治大学大学院 理工学研究科, ²⁾ 東洋大学 理工学部 機械工学科, ³⁾ 明治大学 理工学部 機械情報工学科,
⁴⁾ ルーククリニック

Development of VR simulation system for effective hyperthermia treatments

○Ryo TOKUTAKE¹⁾, Yasuhiro SHINDO²⁾, Kazuo KATO³⁾, Akira TAKEUCHI⁴⁾

¹⁾ Graduate School of Science and Technology, Meiji University, ²⁾ Department of Mechanical Engineering, Toyo University,
³⁾ Department of Mechanical Engineering Informatics, Meiji University, ⁴⁾ Department of Thermotherapy Luke Hospital

【目的】

本研究では、ハイパーサーミアの1手法である針電極加温方式に着目している。本加温法では、針電極周辺が確実に加温されるが、加温領域が狭いため、針電極を正確に腫瘍へ刺入しなければ有効な治療効果が得られない。ここでは、針電極を用いたハイパーサーミアの治療時間短縮および治療の安定化を目的とした支援シミュレーションシステムの開発を目指している。

【方法】

本シミュレーションシステムは、近年様々な分野に応用され注目されているVR(Virtual Reality)技術が応用されており、仮想空間内で主要な脳血管を避けた針電極の刺入経路の検討および人間の動きを取り入れたシミュレーションを実施可能である。さらにVR上の情報を基にFEMモデルを作成し、これを用いた加温治療後の温度分布推定結果から、治療効果の検討が可能なハイパーサーミア支援システムである。

VRの導入では、まずソフトウェアUnity(Unity Technologies)を用いて仮想空間内に患者の3次元人体頭部モデル、簡易脳血管モデル、針電極モデルおよび医師の3次元腕モデルを構築した。次に、モーションセンサーカメラKinect(Microsoft)を用いて仮想空間内の腕モデルをジェスチャーによって操作し、針電極刺入のシミュレーションを行った。この際、針電極と血管の接触判定システムによって、血管を避けた刺入経路の検討を行った。

【結果】

実際に針電極刺入シミュレーションを実施し、その際の針電極の位置・角度情報と同等なFEM解析モデルを作成した。この解析モデルを用いてFEM計算による温度分布推定を行い、得られた3次元温度分布から、加温効果を視覚的に把握可能であることを明らかにした。

【結言】

VRシミュレーションシステムを構築し、その実施例として人体頭部を対象とした場合の刺入シミュレーションを行い、脳血管を考慮した温度分布推定結果から本システムの有用性を示した。



マイクロ波エネルギーデバイスによる生体組織の熱損傷領域評価

○眞子 凌¹⁾, 齊藤 一幸²⁾

¹⁾千葉大学大学院融合理工学府, ²⁾千葉大学フロンティア医工学センター

Evaluation of the thermal damage region of biological tissue caused by microwave energy device

○Ryo MANAGO¹⁾, Kazuyuki SAITO²⁾

¹⁾Graduate School of Science and Engineering, Chiba Univ., ²⁾Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

【目的】電気メスをはじめとする従来のエネルギーデバイスでは、対象とする組織周辺の臓器や組織の温度上昇が確認されており、正常組織に望ましくない影響を与える可能性がある。最近発売されたマイクロ波手術器においても、加熱特性の評価や周辺組織に対する熱損傷に関するより多くの定量的な評価が求められている。そこで本研究では、マイクロ波手術器の特性を評価し、周辺組織に対する熱損傷について検討する。【方法】本研究では、日機装株式会社製のマイクロ波メスAcrosurgの専用デバイスScissorsとTweezersを評価対象とし、生体組織表面における加熱特性を電磁界シミュレーションによって定量的に評価する。そこでデバイス先端で生体組織を把持した数値モデルを作成し、SAR(Specific Absorption Rate)を算出した。ここで、SARとは単位質量当たりの電磁波エネルギー吸収量であり、発熱量に相当する。また、電磁界シミュレーションと同様の条件で、加熱実験も行った。生体組織にはブタ肝臓を用い、加熱後に組織を病理染色することで熱損傷の範囲を特定した。【結果】ここではScissorsの結果について述べる。生体組織表面のSAR分布から、ブレードの先端と根元部分においてSARが高くなり、特に根元部分のSARが最も高くなることが確認された。ここで、根元部分のSARに着目すると、ブレード中心軸のSARが最大となる点から0.75 mm離れた点(ブレード側面の端部)では約44 %SARが低下した。同様に、1 mm離れた点では約63 %低下し、2 mm離れた点では約91 %低下していることがわかった。また、病理染色の結果からブレード周囲約2 mmの範囲でのみ組織が損傷していることがわかった。【結語】本研究では、マイクロ波手術器の熱損傷領域を検討した。電磁界シミュレーションの結果および病理染色結果から、デバイス先端部近傍の限局的な範囲で生体組織が加熱されていることがわかった。

スピン-格子緩和時間による膝関節軟骨の非侵襲絶対 温度分布画像化の最適化

○瀧澤 大佑¹⁾, 高橋 謙治²⁾, 黒田 輝^{1,3)}

¹⁾東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻, ²⁾国際医療福祉大学医学部整形外科科学,

³⁾千葉大学フロンティア医工学センター

Optimization of noninvasive absolute MR thermometry for knee joint cartilage using spin-lattice relaxation time

○Daisuke TAKIZAWA¹⁾, Kenji TAKAHASHI²⁾, Kagayaki KURODA^{1,3)}

¹⁾Course of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tokai University.,

²⁾Department of Orthopaedic Surgery, Graduate School of Medical Science, International University of Health and Welfare,

³⁾Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

【目的】変形性関節症の疼痛緩和のための温熱療法では軟骨温度の非侵襲モニタリングが望まれる。我々はこれまでに、MRIで観測される水プロトン共鳴周波数差を複素磁気共鳴画像の位相差として検出することより、軟骨の温度分布が定量・可視化できることを示した。しかし運動療法のように関節に動きが伴う場合、位相差計算が正しく行うことができず、この方法の適用は困難である。一方、スピン・格子緩和時間(T_1)は、軟骨に限定すれば絶対的な依存性を有するため関節の位置・形状に依らない温度分布画像化が期待できる。しかし軟骨組織の T_1 が長い(9.4Tにおいて約2700ms)ために繰り返し時間(TR)の短い勾配磁場エコー法を使うとS/N比が低下すること、ならびにマルチフリップ角(FA)法における B_1 の空間的不均一の影響が大きいことが問題であった。そこで本研究では、画像化の高速化と測定精度改善の点からTRとフリップ角の設定及びフリップ角の補正を検討した。【方法】9.4T MRIを用いてブタ膝関節から採取した軟骨組織の T_1 の画像化を行った。絶対値比較のために反転回復法も用いた。マルチフリップ角法においてTRを20, 50, 100, 150, 200 [ms], FAを10°から90°まで10°刻みと設定し、最適なパラメータ組み合わせを求めた。 B_1 の不均一性補正のために、TR100 [ms]; FA, 10°, 30°にて B_1 マッピングを行った。【結果】TRの長さとフリップ角の組合せにより T_1 推定値には著しい違いが見られた。 B_1 マッピングの結果、軟骨試料全体に渡るフリップ角は目標値の80~100%の範囲であった。本検討の範囲ではTRを100ms, FAを10°と30°とすると、予め測定した値に最も近い T_1 値が得られた。【結語】 T_1 の測定精度が向上し、体動の影響を受けにくい温度分布画像計測の可能性が示唆された。今後、臨床に近い状況を想定した実験が必要である。



MRIを用いた水・脂肪混在組織の温度画像化法の比較 及び最適化

○栗原 賢一朗¹⁾, 黒田 輝^{1,2)}, 今井 裕³⁾

¹⁾東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻, ²⁾千葉大学フロンティア医工学センター, ³⁾東海大学医学部放射線科

Comparison and optimization of temperature imaging method of water / fat mixed tissue using MRI

○Kenichiro KURIHARA¹⁾, Kagayaki KURODA^{1,2)}, Yutaka IMAI³⁾

¹⁾Course of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tokai University,

²⁾Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University,

³⁾Department of Radiology, Tokai University School of Medicine

【緒言】腫瘍を含む高含水組織に対するHIFU治療における温度画像化手法として、水素結合に起因する水プロトン共鳴周波数の温度変化を複素磁気共鳴信号の位相として捉えるProton Resonance Frequency (PRF) Shift法がある。ひとつのボクセル内に水・脂肪が混在する組織では、脂肪信号抑制あるいは分離によってこの方法が適用できる。脂肪のみからなる組織ではプロトンの共鳴周波数が温度依存しないためPRF-Shift法は使えず T_1 あるいは T_2 による温度分布画像化が有望である。このように水・脂肪混在組織の温度分布画像化においてはいくつかの選択肢があるが、それらの比較ならびに最適化はまだ達成されていない。そこで本研究では実験ならびにシミュレーションによって手法の比較を試みた。

【方法】脂肪は化学シフトに応じて9つ程度の成分を有するが、支配的なのは鎖状メチレン基(CH_2)と終端メチル(CH_3)である。これらの成分は異なる温度係数を有するため、Dixon法などによる信号分離に基づく成分固有の T_1 ・ T_2 と、分離しない複合信号のそれらを比較した。水・脂肪分離においてDixon法と水抑制法のいずれが適するかを検討した。さらに T_1 と T_2 のいずれが良いのか、それぞれの測定法はどれが良いのかを検討した。

【結果】水プロトン共鳴周波数の温度変化により成分分離の精度が温度依存すること、ならびに水信号位相の推定精度は同一ボクセル内の脂肪の比率が高いほど低下した。また T_1 ではフリップ角すなわちRF磁場の空間的不均一が、 T_2 ではエコー時間によるSN比の低下が主たる誤差原因であることがわかった。予めRF磁場空間的不均一を測定しフリップ角の補正係数を求めることで T_1 の推定精度は改善できることもわかった。

【結論】水・脂肪混在組織のMR温度画像化法の比較を行った。今後はHIFU治療における臨床的な立場から、さらに検討を続ける必要があると考える。