

2023年4月10日

超短波治療器の 加温特性に関する共同研究

共同研究者
学校法人東海大学 情報理工学部
情報理工学科
黒田 輝 教授

01

超短波とは

02

研究者紹介

03

第一章 研究の目的

04

第二章 研究の方法

05

第三章 結果

06

第四章 考察

07

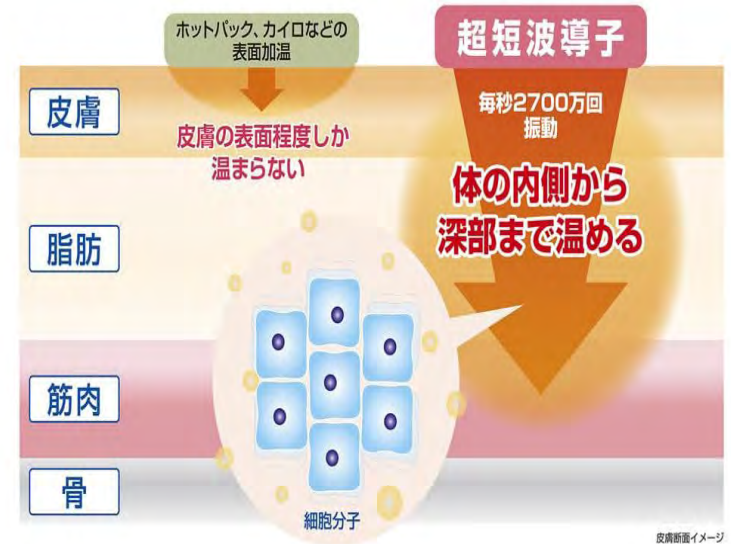
第五章 結論

08

謝辞

■ 超短波とは

毎秒約2,700万回振動する波長の短い電波です。
体の表面加温を目的とするホットパックや入浴などと異なり、体の深部加温を目的とした「物理療法の一つ」です。



【超短波による局所の温熱効果】

疲労回復／血行をよくする／筋肉の疲れをとる
筋肉のこりをほぐす／神経痛・筋肉痛の痛みの緩解
胃腸の働きを活発にする

■ 超短波とは

超短波を使用すると深部加温による心地よい温かさを感じます。しかし、本当に深部加温しているかどうかは使用者の感覚に依存しており、生体での深部温度測定は困難で不可能です。

近年は、電磁波の照射影響について、評価方法の一つとしてMRIやハイパーサーミアに対するコンピュータでの電磁波シミュレーション算出方法が確立されています。

そこで、一般的に利用されている超短波機器についても、深部加温の算出をするため、MRIやハイパーサーミアの評価で多くの実績を上げてこられた東海大学 黒田研究室 にご協力を頂き、人体深部加温のシミュレーションを実施していただきました。

■ 超短波治療器の加温特性に関する共同研究

研究者紹介



学校法人 **東海大学**

黒田 輝 (くろだ かがやき)

工学博士
(Ph.D Engineering)

東海大学
情報理工学部 教授 (学部長)

千葉大学
フロンティア医工学センター
特別研究教授

※ 2023年3月31日現在

現在の研究テーマ

MRIによる温度計測、MRIによる脳脊髄液動態計測
インターベンショナルMRI、体内植込み医療機器のMRI安全性評価

褒賞

- ・ 日本ハイパーサーミア学会 優秀論文賞
- ・ ISMRM Fellow
- ・ 日本磁気共鳴医学会 学会賞特別賞
- ・ Cum Laude, RSNA, Education Exhibit
- ・ Magna Cum Laude, ISMRM 他

関係学会

- ・ 日本ハイパーサーミア学会 副理事長・QA委員長
- ・ 日本磁気共鳴医学会 理事長・安全性担当理事
- ・ アジア磁気共鳴医学会 会長

職歴

- 1986年4月 日本電気株式会社 衛星通信システム本部
- 1988年4月 大阪市立大学 工学部 電気工学科 助手
- 1995年7月 ハーバード大学 医学部 放射線科 客員研究員
- 1999年4月 東海大学 総合科学技術研究所 専任講師 (中略)
- 2009年4月 東海大学 情報理工学部 情報科学科 教授
- 2017年4月 東海大学 情報理工学部 学部長

第一章 研究の目的

本研究は、超短波治療器を使用した際の体内温度上昇をコンピュータシミュレーションに模擬し、温熱作用の原理解明を目的とする。

主に肝臓を対象とし、電磁界シミュレーションを行う。

MRIによる超短波照射後の生体深部温度測定に向けてエビデンス構築の為の予備実験とする。

第二章 研究の方法

シミュレーション環境

ソフトウェアSim4LifeV7.02.10006(ZMT,Zurich,Switzerland)を用いて、電磁界及びSARの解析、ならびに温熱界解析を行った。同ソフトウェアでCAD機能を用いてモデルを作成し、FDTD法*1により電磁界解析を実行した。

計算環境

CPU : Intel®Xeon®RE5606、GPU, NVIDIA Quadro4000およびTeslaC2075× 3
メモリ : 48GB

OS : Windows10 professional

*1FDTD法は、Finite Difference Time Domain Methodの略で、有限差分時間領域法を言う。微分を差に置き換え時間空間について解く方法。電磁界解析では一般的な手法だが、膨大な計算量になることより高性能コンピュータで計算される。

■ 超短波治療器の加温特性に関する共同研究

第二章

研究の方法

sim4Life

Sim4Life is a revolutionary simulation platform, combining computable human phantoms with the most powerful physics solvers and the most advanced tissue models, for directly analyzing biological real-world phenomena and complex technical devices in a validated biological and anatomical environment. The *Sim4Life* platform also offers leading performance with all the features expected from a multiphysics CAE/TCAD platform. The platform [SEMCAD X Matterhorn](#), also distributed by SPEAG, is the TCAD Solution for electromagnetic applications of *Sim4Life*. Watch the *Sim4Life* [demo video!](#)

Download *Sim4Life* V7.2

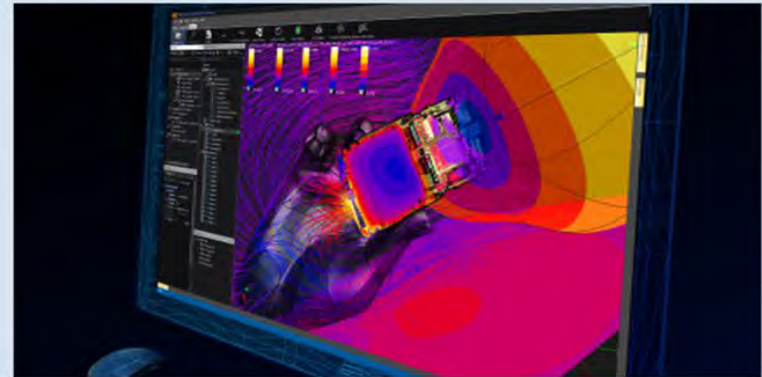
Request your free 30-day trial

Computable Human Phantoms



Sim4Life natively supports the Virtual Population ViP 3.x/4.0 models that include integrated posing and morphing tools. Other publicly available animal and human anatomical models are also supported. All tissues are linked to a continually updated physical properties database.

Physics Solvers



The powerful *Sim4Life* solvers are specifically developed for computationally complex problems; HPC accelerated for the latest computer clusters; and smoothly integrated in the most advanced coupling framework. The platform already includes EM, Thermal Acoustic, and Flow solvers.

使用ソフトウェア : **Sim4LifeV7.02.10006**(ZMT, Zurich, Switzerland)

第二章

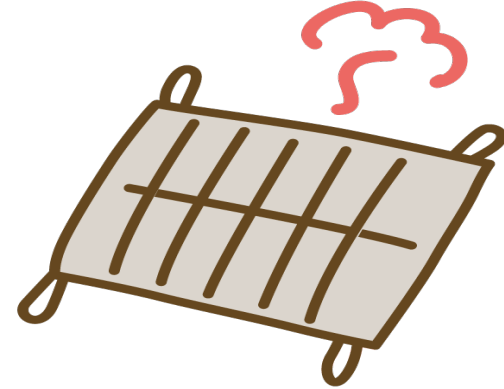
研究の方法

オレンジ導子（超短波コイル式）

上面フェルトを除いたイメージ



ヒーターパッド（電熱ヒーター式）



モデルについて

- ・ ソフトウェア内に“モデル”と呼ばれる導子を作成しモデルから超短波を照射。
- ・ 実際の導子から内部構造、寸法、を確認してモデルを作成。
- ・ 各材料の電気的特性（導電率、比誘電率など）の情報も実際の機器から算出。

第二章 研究の方法

導子の配置

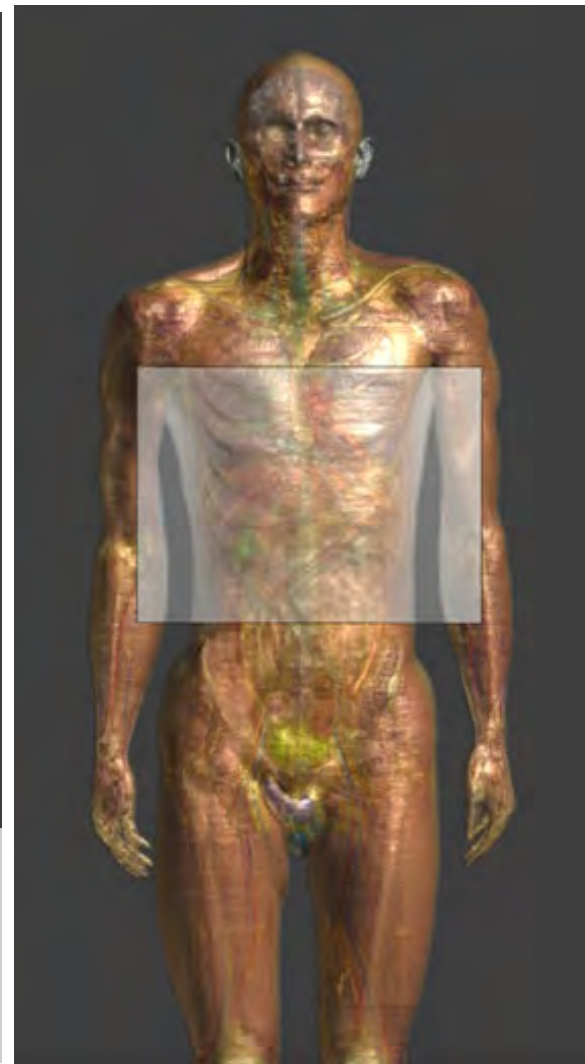
人モデルは、ソフトウェアに付属する西洋人の標準的な成人男性モデルへ照射。

Duke

年齢34歳 身長177cm
体重70.2kg



肝臓が効率よく加温されるように「斜め掛け」となるように配置



無断転用・コピー等を禁じます

第二章 研究の方法

解析条件の変更について

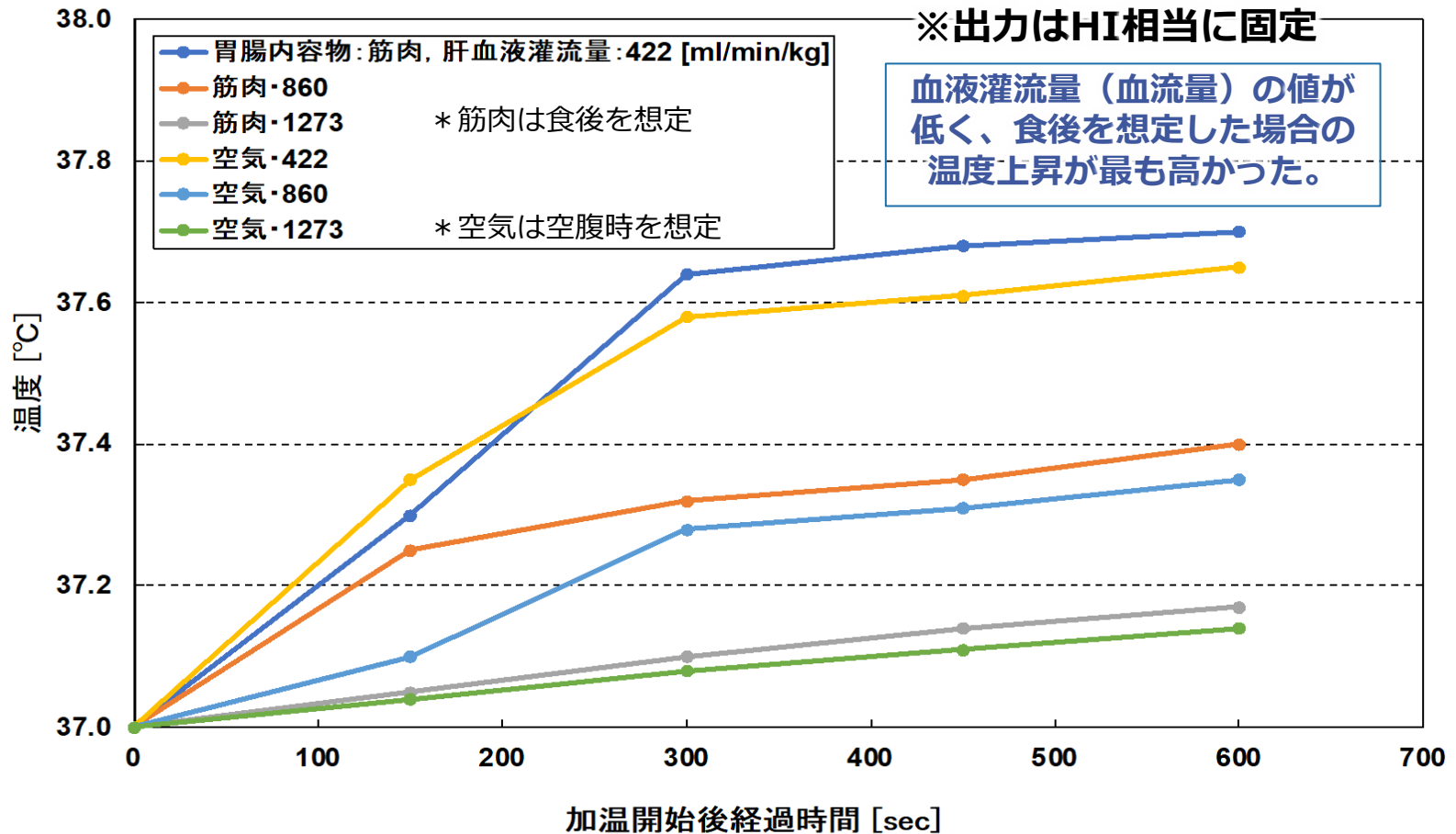
ソフトウェアの解析では、代謝による発熱量により、体温を維持する発熱が結果に現れる。超短波・ホットパックによる温度上昇の程度を求めるため、全ての組織において発熱を0℃とした。

また外気温度を25℃、初期条件として人体モデルの定常体温を37℃と設定した。

機器設定			備考
機器出力	超短波	ホットパック	超短波は表皮温度を懸念してHIを設定
	コイル電流量 1.03 (Ao-p_HI相当)	パッド温度 40および50℃	
人設定			備考
肝臓血液灌流量 (ml/min/kg)	1273 (デフォルト) /860/422 ※ 筋肉は最大94	422	灌流量は多いほど熱を持ち去る (温度が下がる)
胃・腸内容物	空気・筋肉	空気・筋肉	胃腸内の電氣的・熱的特性の差で 結果に影響する

第三章 結果

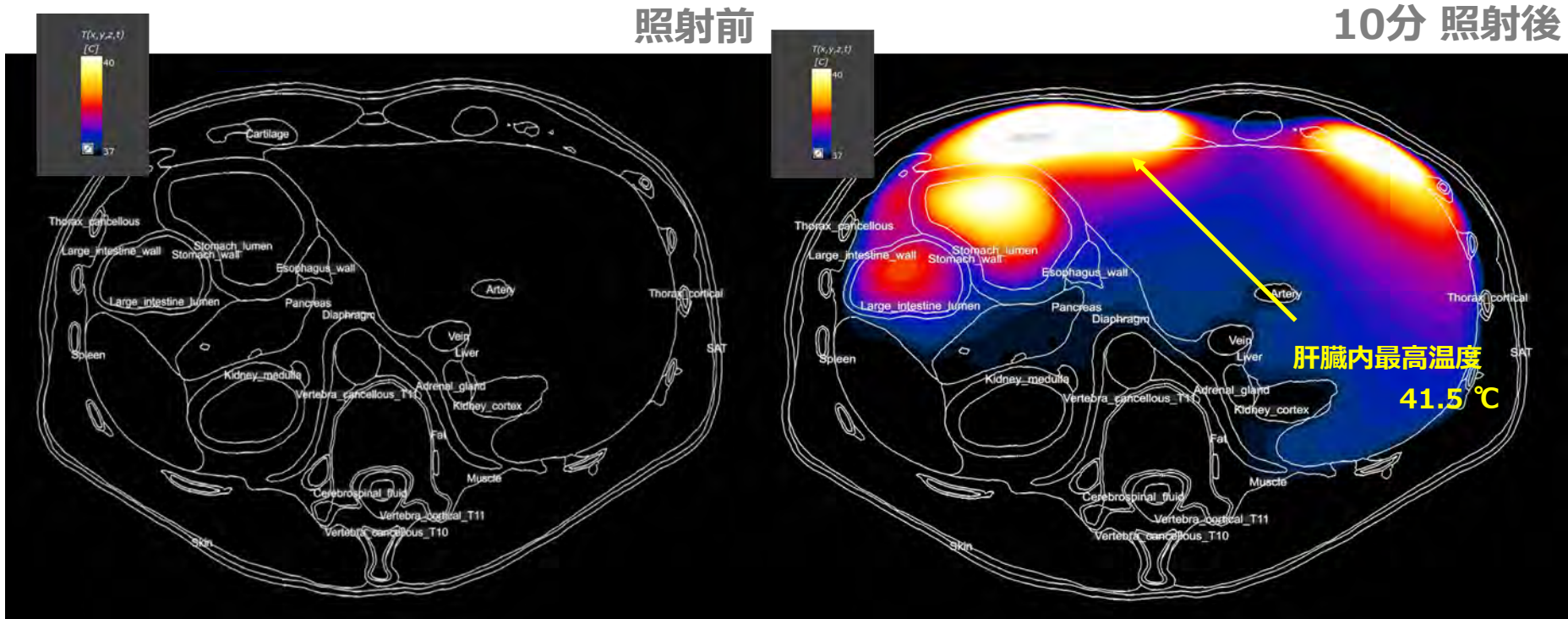
肝臓部に超短波を10分照射中の肝臓全体の平均温度変化



第三章 結果

超短波_10分間での温度変化

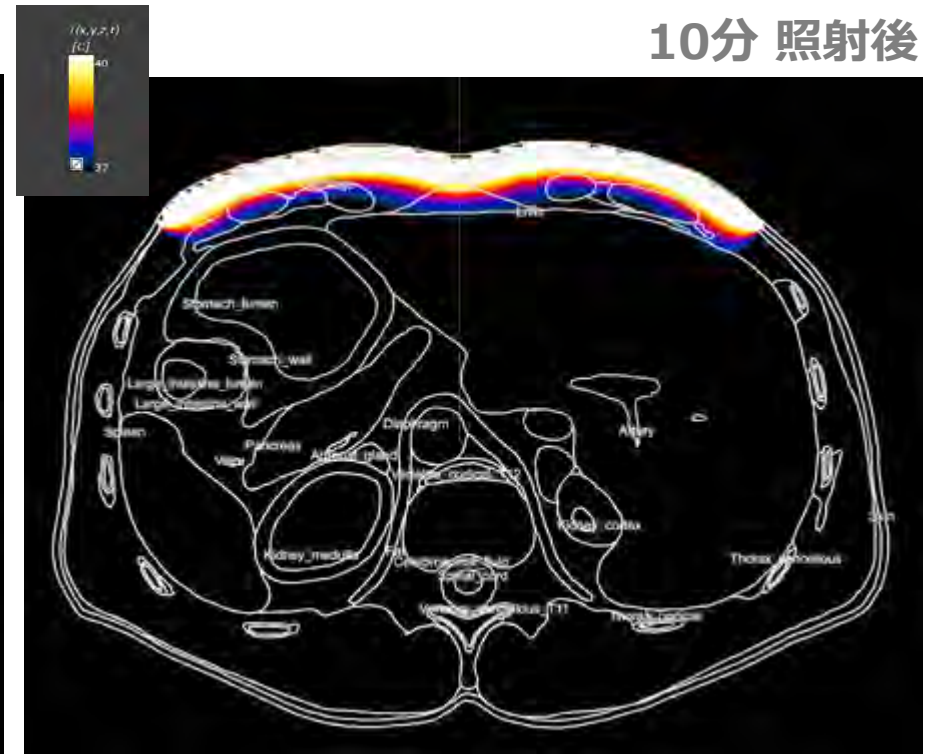
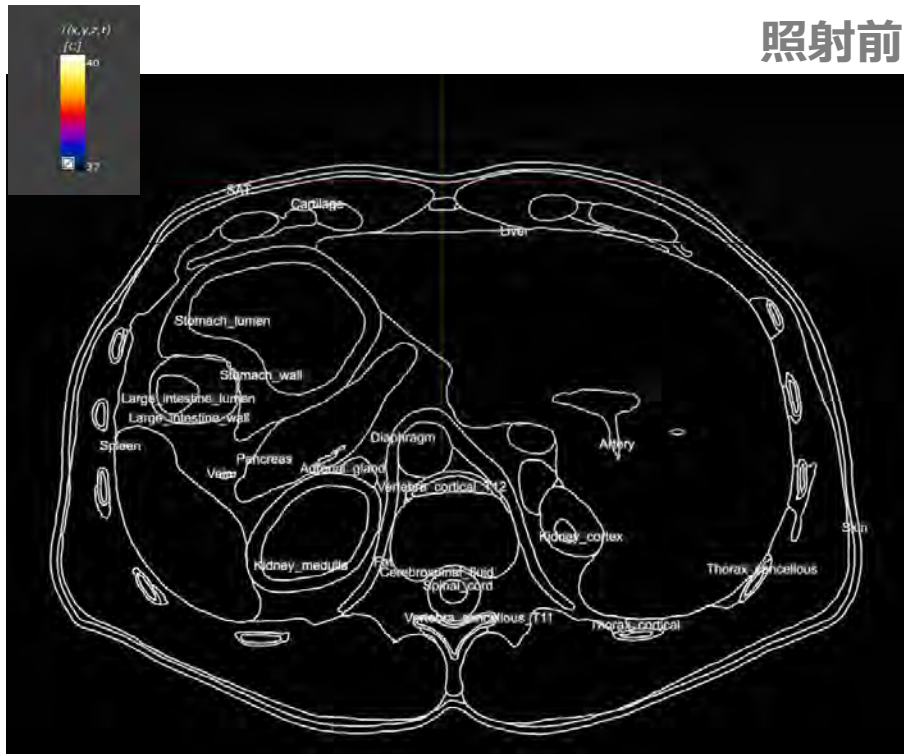
- ・ 出力設定：HI 胃腸内：筋肉（食後想定）
- ・ 血液灌流量（血流量） 422ml/min/kg



第三章 結果

ホットパック_10分間での温度変化

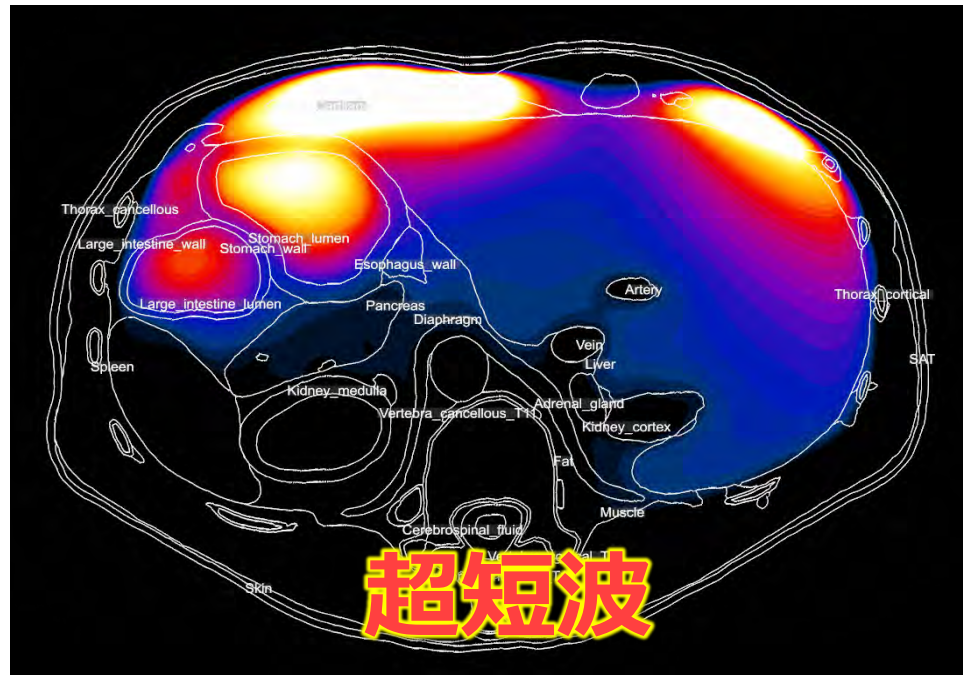
- ・ 出力設定：50℃ 胃腸内：筋肉（食後想定）
- ・ 血液灌流量（血流量） 422ml/min/kg



第三章 結果

超短波とホットパックの比較

血液灌流量（血流量）422ml/min/kgの食後想定



超短波 出力設定：HI、胃腸内：筋肉
血液灌流量422 ml/min/kg



ホットパック 出力設定：50℃、胃腸内：筋肉
血液灌流量422 ml/min/kg

第四章

考察



胃腸内の内容物（食後又は空腹時）によって電界強度分布に違いがあることがわかる



SAR分布では、胃と腸の内容物に関係なく、体表付近においてコイルの磁束密度が集中したためSARが高く、深部では低い結果となった。（SARとは、組織が超短波エネルギーを吸収する能力）



『HI設定、胃・腸の内容物が筋肉（食後）、血液灌流量422 (ml/min/kg)』の条件で肝臓の温度上昇が最も大きい。



『HI設定、胃・腸の内容物が空気（空腹時）、血液灌流量1273 (ml/min/kg)』の条件が最も小さかった。



これは“胃と腸内の電気的特性の影響による熱エネルギーの分散と血液灌流量（血流量）の違いによる熱の持ち去り度合が影響した結果”と考えられる。

第五章 結論

ここまでの研究から、ホットパックに比べて超短波は深部の加温に適していることが検証できた。

我々は、積極的に研究活動を行い超短波治療の効果検証を実施して行きたいと考えています。



皮膚断面イメージ

謝辞

この度の共同研究を実施するにあたり、ご指導を頂きました東海大学情報理工学部 学部長の黒田 輝 教授、
ならびに同教室の齋藤 優太 様、
円道 大貴 様に心からの感謝を申し上げます。