

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 28 日現在

機関番号：82406

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21790614

研究課題名（和文） 死体温度分布からの死後経過時間推定法に関する研究

研究課題名（英文） Study on postmortem interval estimation by the temperature distribution after death.

研究代表者

金涌 佳雅（KANAWAKU YOSHIMASA）

防衛医科大学校法医学講座・助教

研究者番号：80465343

研究成果の概要（和文）：

死体温度分布から死後経過時間推定法を開発することが本研究の目的である。温度分布測定法として死体頭蓋内温度分布を測定するための多点温度プローブの開発を達成し、今後実務への活用が期待できる。MR 温度画像を用いた死体内部の温度測定では、定量性に問題はあっても、その温度変化を視覚化することが可能となった。また死体頭蓋内の死後冷却モデルのモデルも開発し、実務での死後経過時間推定に応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to develop the method of postmortem interval estimation by the temperature distribution after death. As the novel methods of postmortem temperature distribution measurement, we achieved to develop multi-point temperature probe for measurement the temperature distribution in the postmortem cranial body. In addition, we were able to visualize the postmortem cooling of temperature distribution with magnetic resonance thermometry. Therefore, we developed the mathematical model of postmortem intracranial cooling.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000円	210,000円	910,000円
2010年度	700,000円	0円	700,000円
2011年度	1,700,000円	0円	1,700,000円
総計	3,100,000円	210,000円	3,310,000円

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：社会医学・法医学

キーワード：法医学

1. 研究開始当初の背景

死体検案・法医解剖における死亡時刻の推定は、法医実務において重要な診断項目の1つであり、従来、多くの法医学者は死体現象を根拠に死亡時刻を推定してきた。死体現象の中でも、死体温度低下現象は、死亡時刻推定において最も客観的な方法として広く研究され、実務へ応用がされてきた。その原理は、

死後経過と共に変動する死体温度を、時間間隔において測定し、その差を検出することにある。法医学的には、温度測定部位として、直腸が用いられている。ただ、死体直腸温度の死後冷却は緩慢であり、測定毎の直腸温度の差を捉えるためには、一定の時間を要するため、あらゆる法医実務の場で汎用性が高いとは言えなかった。

これを克服する為、研究代表者は死体の外耳温から死後経過時間を推定する理論と方法の開発、あるいはボタン型温度データロガーによる連続的直腸温測定の手法の開発について報告してきた。この外耳温の研究では、3次元熱伝導方程式を数学モデルとして採用し、研究を進めてきたが、その研究過程で「特定部位の時間毎の温度変化を捉える」という従来の推定アルゴリズムは、「特定時間の部位毎の温度変化を捉える」という推定アルゴリズムと理論的には等価であることに着目した。

図1は、法医学的によく知られている「直腸温逆シフト曲線」を、死後経過時間-温度-死体内部部位の3次元へ拡張させ、逆シフト曲面として図示したものである。従来は、深部に位置する直腸をAとBの2回に分けて測定し、その温度差を検出していた。今回注目したアルゴリズムでは、ある時刻におけるA(身体深部)-C(体表面)間における死体内部の温度分布を測定することで、理論的には死亡時刻の推定が可能であることが説明される。これにより、1回だけの死体温度測定により、極めて精度の高い死亡時刻の推定が可能になり、実務応用上においても大変期待ができる。

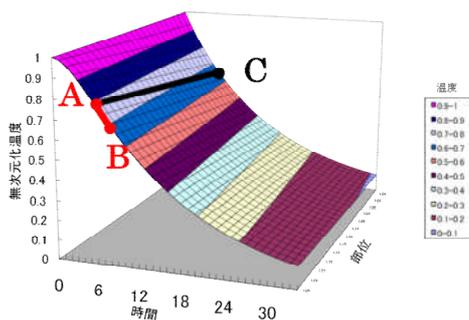


図1 直腸温逆シフト曲面

2. 研究の目的

従来、死体温度分布は侵襲的に測定する他なかったが、研究代表者が所属する日本医科大学では、MRによる温度画像(MR-thermometry)の法医学的な応用についての研究報告がなされ、ラット死体の死後温度分布の測定については画像化が成功している。今回、その研究グループと研究協力の連携を行い、MR温度画像をヒト死体あるいは実験動物の温度分布測定の方法として活用したいと考えている。ただ、MR温度画像の法医学的な応用そのものが現在研究中の課題であり、研究協力者である平川と、MR温度画像技術の基本開発とその応用的側面として相互に連携し、実務応用の可能性が担保されたMR温度画像を用いた温度分布測定の基本技術の開発を行うとした。

理論的にはその可能性が示される「死体温

度分布からの死後経過時間推定法」だが、3次元熱伝導方程式そのものは、等方性物質の定物性問題を扱うことを前提としているので、筋肉・臓器・脂肪・骨といった熱物性に異質物同士で構成されるヒトでそのまま応用はできない。そこで本研究では、前述のMR温度画像により、実験動物の死体温度分布を実験的に測定し、より実際のヒト死体構造に即した死体温度分布の数学モデルを構築する必要がある。

3. 研究の方法

(1) 死体内部温度分布測定の基本技術の開発

①MR温度画像を用いた温度測定技術

MR温度画像については、マイクロ波凝固壊死療法などで生体への応用がなされているが、死体への適応は発展途上であり、寒天などを素材にしたファントムを用いたMR温度画像測定の基本技術開発を、研究協力者である栗林らと行なった。

②多点温度センサーを用いた温度測定技術

ファントム内部の温度分布について、多点センサー入り温度プローブによる実測を行ない、これを前述のMR温度画像測定結果と比較し、MRによる温度測定値の精度と信頼性について評価を行なった。更に、多点センサー入り温度プローブは、MR温度画像を用いない温度分布測定法として応用も期待できるから、MR温度画像の実務応用化への進捗状況をみつつ、より侵襲性の低いプローブ測定法への開発も並行して行なった。

(2) 実験動物における死体温度分布の実験的測定

① 小型実験動物での実験的測定

MR温度画像の基本技術を確立させたMR温度画像法をラット等の小型実験動物の死後温度分布経時変化の連続測定を実施し、MR温度画像法の死体試料への応用を図った。

② 中型実験動物での実験的測定

小型実験動物での撮像実験の結果を踏まえて、人体に近い程度の大きさの中型実験動物を用いて、同様に、死後温度分布経時変化の連続測定を実施し、MR温度画像法の死体試料への応用を図った。

(3) MR温度画像による温度分布挙動のシミュレーション・モデル構築

法医実務への応用が最終的な目標である本研究では、ヒト死体やヒトに相当する大型実験動物でのMR温度画像法の実験的測定が必要だが、これらを被験体として、多くの事例で温度分布を実測することは、実務上難しい。従って、MR温度画像による温度分布挙動をコンピュータ・シミュレーションによ

り再現し、これを解析することも大変有用である。ただし、複雑な形状・内部構造をもつヒト死体等の温度分布については、単純化されたモデルでシミュレーションしても現実に即したものは云えず、より実物に近いモデルにより数値計算が必要である。

4. 研究成果

(1) 死体内部温度分布測定の基本技術の開発

① MR温度画像を用いた温度測定技術

MR温度画像は、位相画像法により撮像できるが、これは内部の温度絶対値を測定するのではない。時間 t の位相画像を参照画像とすると、時間 $t + \Delta t$ での画像と参照画像との温度差 ΔT で計算される。

DICOM形式で取得された位相画像(参照画像と計算画像)から、MATLAB®上でその内部の温度分布を計算・可視化することが可能となった。

② 多点温度センサーを用いた温度測定技術

多点温度センサーは、その測定部位が増大すれば全体としてのセンサー径が増すことになる。法医実務の場では、多点温度センサーは、カテラン針で頭蓋内へ誘導する必要があるため、測定部位を徒に増やすことはできない。このことから、カテラン針の中に挿入できる径を上限とした多点温度センサーの開発を実施し、8点の多点センサーを作製した。測定精度も十分確保されたが、測定に際しては、零点補正が必要であり、操作上やや煩雑であったため、更に改善を重ね、現在は、5点の多点センサーと測定数は減少したが、零点補正は必要でないタイプのものを作製できている。死体検案での髄液採取に際して、併せて頭蓋内温度測定が容易に可能となり、実務への応用が可能であるが、温度データロガーを別に用意する必要はあるため、技術の普及のために、更なる改良を検討しているところである。

(2) 実験動物における死体温度分布の実験的測定

① 小型実験動物での実験的測定

SDラット(250g以下)を対象とし、その骨盤断面について、MRI画像としてSPGR画像、T2*画像を撮像した。撮像は、麻酔中ならび安楽死させた後、死後2時間まで撮像した。併せて、直腸温も実測した。撮像実験の結果、ラットの死後冷却が温度画像として視覚化され、また、死体姿勢の違いによる死体内部の不均衡についても視覚的に確認できた。

② 中型実験動物での実験的測定

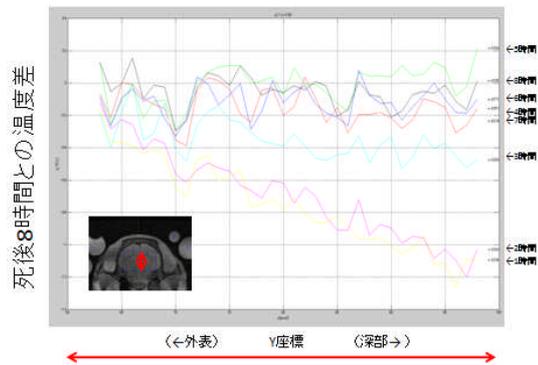


図2 ブタ脳内温度動態
(死後8時間との温度差)

雌ブタ(24.0 kg, 生後2-3か月相当)に麻酔を導入し、人口呼吸管理下で、眼球から第1頸椎の範囲まで、位相画像に加えて、T₁強調画像、T₂強調画像、拡散強調画像を撮像した。安楽死させた後、死亡直後でこれらの画像を撮像し、1時間毎、死後8時間まで撮像を継続した。

図2は、ブタ死体脳内の温度について、死後8時間との温度差としてグラフ化したものである。時間経過と共に温度差は減少していく様子が視覚化され、死後温度動態は撮像されていると認められる。

しかし、死後5時間が最も温度差が少ない結果となるなどのその定量性については精度が補償されているわけではなかった。

これについては、小型実験動物の撮像実験では認められなかった、死後変化としての生じた筋肉組織の硬直があり、組織の死後体動が顕著に認められたことによるものと考えられた。

現在のMR温度画像は、死後に各組織の位置の変動がないことが計算の前提であるため、座標の位置の変動を加味した計算アルゴリズムの開発が必要と認められた。

今回の実験であわせて撮像したT₁強調画像、T₂強調画像から、生前から死後の画像変化について、拡散強調画像からADCマップも生成し、血液就下の影響について解析することができたが、これらの解析結果は、MR温度画像での新規計算法の基礎資料として今後活用できると期待できる。

(3) MR温度画像による温度分布挙動のシミュレーション・モデル構築

頭部を球体の形状に近似した場合、その内部の温度は、

$$\left[\frac{t}{t_0} \right] = \sum_{n=1}^{\infty} 2 \frac{\sin v_n - v_n \cos v_n}{v_n - \sin v_n \cos v_n} e^{-v_n^2 \frac{a r}{R^2}} \frac{\sin(v_n \cdot \frac{r}{R})}{v_n \cdot r/R}$$

の非定常熱伝導方程式で示されるが、汎用性を高めるため、その温度変化を観察できるシミュレーション・モデルとしてExcelファイルを作成した。

多点温度センサーを用いたファントムの実験測定やヒト死体での実測例、MR温度撮像での結果と、シミュレーション・モデルでの理論値との比較検討として実施し、それらの結果を踏まえて実務での死後経過時間推定式やモノグラフの開発へ進展することが期待できる。

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)

[雑誌論文] (計1件)

1. H. Kuribayashi, F. Cui, K. Hirakawa, Y. Kanawaku, and Y. Ohno, Measurement of temperature changes in cooling dead rats using magnetic resonance thermometry. *Leg Med.*13.314-317.2011, 査読有

[学会発表] (計6件)

1. 金武潤, 井上幹康, 金涌佳雅, 酒井清孝, 直腸温連続測定による死後経過時間推定プログラムの開発, 第78回日本法医学会学術関東地方集会, 2009年10月31日, 東京
2. H. Kuribayashi, F. Cui, K. Hirakawa, Y. Kanawaku, and Y. Ohno, The Use of MR Thermometry in Legal Medicine: A Feasibility Study utilizing Rat Rectal Temperature, ISMRM2010, May, 2010, Stockholm
3. 金涌佳雅, 平川慶子, 松岡雄一郎, 黒田輝, 大野曜吉, 金武潤, MRIを用いた死体内温度分布の実験的連続撮像, 第94次日本法医学会学術全国集会, 2010年6月23日, 東京
4. 金涌佳雅, 平川慶子, 森山剛, 大野曜吉, 金武潤, ブタ頭部の死後拡散強調画像の連続撮像, 第95次日本法医学会学術全国集会, 2011年6月15日, 福島
5. 金武潤, 金涌佳雅, 村山学子, 死体トレースシステムの開発 データ採取過程の可視化に向けて, 第95次日本法医学会学術全国集会, 2011年6月15日, 福島
6. 金涌佳雅, 森山剛, 松岡雄一郎, 平川慶子, 小池薫, 黒田輝, 大野曜吉, 金武潤, ブタ頭部の死後拡散強調画像の連続撮像ならび同画像処理による死後変化の評価, 第39回日本磁気共鳴医学会大会, 2011年9月30日, 小倉

[アウトリーチ活動情報]

1. 金涌佳雅, 温度測定技術の法医学的応用, 第9回国際バイオEXPO, 2010年6月30日, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金涌 佳雅 (KANAWAKU YOSHIMASA)
防衛医科大学校・法医学講座・助教
研究者番号: 80465343