

死後外耳温からの死亡時刻推定に関する研究

The study on the estimation of the time since death from postmortem outer ear temperature

○金涌 佳雅、金武 潤、高橋 識志、橋谷田真樹、境 純、舟山 眞人
○Yoshimasa Kanawaku, Jun Kanetake, Shirushi Takahashi, Masaki Hashiyada,
Jun Sakai and Masato Funayama

東北大学大学院医学系研究科社会医学講座法医学分野
Department of Forensic Medicine, Tohoku University School of Medicine

キーワード：死後経過時間(postmortem interval), 外耳温(outer ear temperature)

連絡先：〒980-8575 仙台市青葉区星陵町 2-1 東北大学大学院 医学系研究科 社会医学講座 法医学分野
金涌佳雅, Tel. : (022)717-8110, Fax.:(022)717-8112, E-mail: ykanawaku@nifty.com

1. 序

犯罪の疑いが持たれた場合の検死や解剖において、死因を診断することに加えて、死亡時刻を推定することは法医実務上、大変重要な項目である。死亡時刻の科学的推定は、ヒトの死亡後に発現する化学的、生物学的、物理学的現象の経時的变化を捉えることで行われている。

その現象には今までに様々なものが報告されているが、死亡時刻推定に応用し得る代表的な現象として、「死後の冷却」が挙げられる。生体は体温を一定幅に保たせようとする恒常性の機能があるが、死によってこの機能が破綻すると、外界の温度に応じて死体温が降下する。この体温降下の程度を実際に測定し、死後経過時

間を推定することは、19 世紀中頃から行なわれてきた。

法医学的に最も好まれる死体温度の測定部位としては、直腸が挙げられる。実際に、今まで多くの法医学者が、死後直腸温の冷却動態についてモデル化を行い、また死後経過時間推定に関する公式や nomogram を発表してきた^{1~4)}。

ところで、直腸温に限らず、死体温から死亡時刻を推定する場合の重要な前提として、死体発見前の環境的条件と、発見以降における直腸温測定中のそれとの間に大きな違いはないということが挙げられる。ただ、実際の鑑識業務や検死において、死体に存在するあらゆる異状を検査するために、脱衣が必須であり、その時点で両者の環境

的条件に大きな違いが生じてしまう。

これを解決するには、直腸温の冷却動態に影響を及ぼさないような鑑識や検死活動を行うか、別の測定部位を候補に入れるという選択肢があるが、我が国の場合、前者の方法は困難であることから、直腸以外の部位の測定が望まれることになる。

通常、人間の身体区域において着衣の影響を考慮しなくてもよい部位として頭頸部が挙げられることから、今回、我々は温度測定が非侵襲的である外耳道温に注目した。死体におけるこれらの温度変化に関する研究は、現在までのところ、数報の報告はあるものの^{5,6)}、法医実務に直ちに適用できるまでの十分な検討が行われているとはいえない。すなわち、これらの温度の一定環境下での冷却動態の把握が未知であるという問題がある。確かに、多くの死体を一定温度下で、かつその他の環境条件が一定のまま長時間にわたり安置させ、死体温度を測定することは容易ではない。そこで本研究では、外耳温の死後冷却動態を検証する目的で、ヒト頭部モデルをコンピュータ上に作成し、シミュレーションにより外耳温の死後温度値の変化を再現させることとした。そして、その結果から、死後外耳温の冷却動態を説明するモデルとしてどのようなものが選択できるか、また、そのモデルから実際に死後経過時間を推定した場合にどの程度の精度のものが得られるかを検証した。

2. 方法

2.1 外耳温の測定

当分野で行われた症例のうち、腐敗や焼損若しくは頭部に著しい損傷を受けていな

い症例を対象に、外耳温・直腸温・外気温を測定した。外耳温の測定器具として、TR-71/72U(温度データロガー:T&D社)とTR-1106(テフロン被覆センサー:T&D社)を用いた。

外耳温の測定方法としては、上記センサーを外耳口から愛護的に挿入し、鼓膜と思われる抵抗を感じたら、挿入を止め、センサーをテープで固定し、1分毎の外耳温変化を測定記録した。

なお、外耳内の温度を厳密に考えると、鼓膜温度、外耳道壁温度、外耳内空気温度に分けられるが、温度プローブを盲目的に挿入しているので、センサーの先端が実際にどの部分の温度を測定しているか明確ではない。実際にこれを確認する方法はないことから、深部外耳における鼓膜温度、外耳道壁温度、外耳内空気温度を総称して「外耳温 outer ear temperature」と本稿では定義している。

2.2 3次元ヒト頭部モデルによる

コンピュータシミュレーション⁷⁾

解剖学上精巧に再現させたヒト頭部モデルを以下のように構築した。

【頭部 CT 撮影】

男性成人ボランティアの頭部から肩部までの単純CT(スライス幅0.1cm)を撮影した。撮影した画像はJPEG形式へ変換した。

【サーフェイスポイントの描点】

上記JPEG画像を1cm間隔(耳介が跨る高さでは、0.1cm間隔)に抽出し、それぞれの画像について、Microsoft®ペイントを用いて、外表皮膚と外耳道壁の形状を再現するようにサーフェイスポイントを任意に描点し、このx-y座標値を記録していった。

【形状特徴線の作成】

ヒト頭部の形状を構成するように、各サーフェイスポイントを結ぶ形状特徴線を引いた。

【GAMBIT への出力】

これら全てのサーフェイスポイントの x - y 座標値、形状特徴線のデータは、流体解析プリプロセッサ GAMBIT®(フルエント社)へ出力した。

【ジオメトリの作成とメッシュの生成】

解剖学的な妥当性を考慮しながら、上下平面間のサーフェイスポイントを結ぶ線を作成し、ジオメトリモデルを構築した。更に、このモデル内部にメッシュを生成させた。

【FLUENT への出力ならびシミュレーション計算】

上記のジオメトリモデルのデータは、汎用熱流体解析ソフト FLUENT®(フルエント社)へ出力させた。モデルの熱物性値として、熱伝導率 $0.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 、密度 1050 kg/m^3 、比熱 $3800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ とし、死亡時の体温は、 37.2°C と仮定した。

シミュレーション上で 780 分になるまで、計算を継続させた。

シミュレーション結果は、成人と小児の実測例との比較により、計算の妥当性を評価した。なお、熱伝達率は本計算のパラメータとなり、実測例との比較検討において、いくつか代表的な熱伝達率値で計算し、実測例と最も一致する値を求めた。また、小児症例との比較検討の際には、モデルを当該小児の頭部サイズの寸法へ縮小させた。

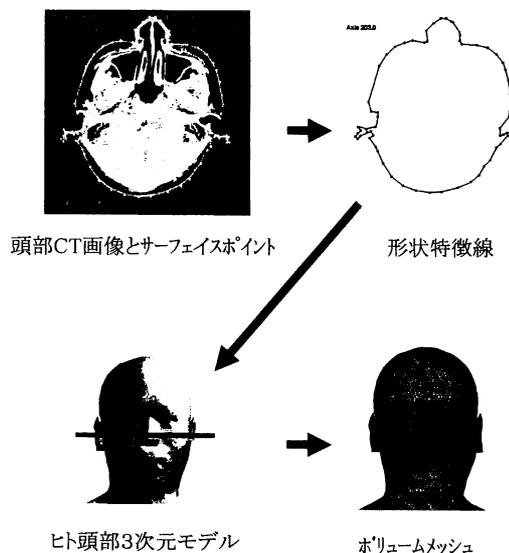


図1 3次元ヒト頭部モデル作成の工程 7)

なお、メッシュの生成から数値計算の工程については、千代田アドバンスト・ソリューションズ株式会社に委託した。

3. 結果

3.1 外耳温の測定

20 症例につき、外耳温測定が行われた。その代表例として、成人症例と小児症例を図 2、3 に示す。

(成人症例)

50 代男性。病死。卒倒後、直ちに医療機関へ搬送され、死亡確認から約 5 時間後、脱衣状態で冷蔵庫内に約 18 時間保管されていた。測定開始時の外耳温は 30.9°C で、測定中の外気温は 3.3°C でほぼ一定であった。

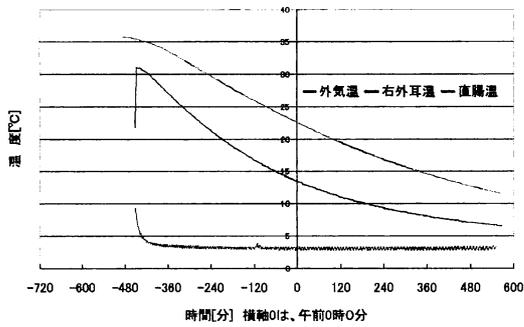


図2 成人症例の測定結果 7)

※この成人症例は、室温に暫くおいていたものを、冷蔵庫内に保管したということから、環境条件が著しく変化している。しかし、死後冷却の相似性を仮定し、温度を無次元化するには、初期値を37.2℃ではなく、この30.9℃として計算した。

(小児症例)

小学生。外傷死。受傷後、医療機関へ搬送され、死亡確認から約3時間後、脱衣後に毛布が掛けられていた状態で、室内に約10時間保管された。

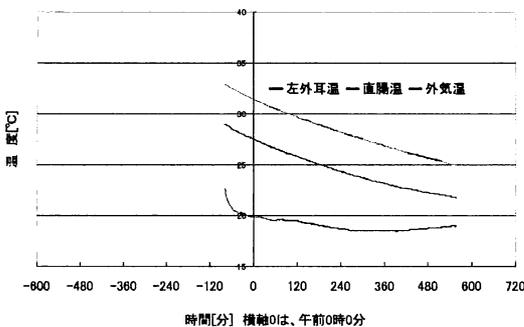


図3 小児症例の測定結果

3.2 3次元ヒト頭部モデルによる コンピュータシミュレーション (成人症例との比較)

成人症例の実測曲線と、シミュレーション曲線との比較は図4に示した。熱伝達率を6.0 W/m²℃とした時、実測曲線と最も一致した。両者の挙動はほぼ一致し、この熱

伝達率は妥当と判断された。

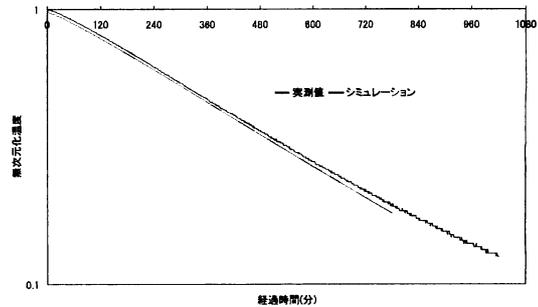


図4 成人症例とシミュレーション曲線 7)

(小児症例との比較)

小児症例の実測曲線と、シミュレーション曲線との比較は図5に示した。熱伝達率を5.0 W/m²℃とした時、実測曲線と最も一致した。本例でも、両者の挙動はほぼ一致し、この熱伝達率は妥当と判断された。

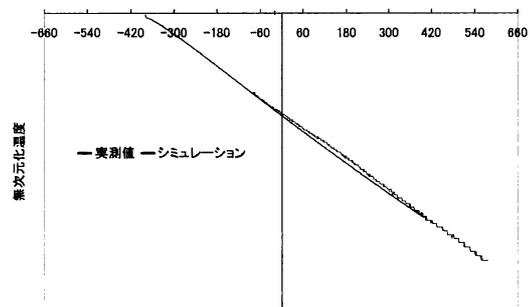


図5 小児症例とシミュレーション曲線

なお、熱伝達率が5.0 W/m²℃の時、無次元化温度が0.5となる時間は、5時間30分要するのに対し、熱伝達率が6.0ならび4.0 W/m²℃の時は、それぞれ4時間50分、6時間50分との違いを認めた。

3.3 死後外耳温のモデル化と死亡時刻の推定

・死後外耳温のモデル化

無次元化された死後外耳温の挙動は、片対数グラフ上で、ほぼ直線状であり、単純な1指数関数をモデルとして選択可能と考えられた。

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = e^{-Zt}$$

T :外耳温、 T_0 :死亡時の外耳温、
 T_{∞} :環境温、 Z :冷却因子、 t :時間

・死亡時刻の推定

前述の通り、死後外耳温モデルとして1指数関数が選択されたが、このモデルを用いて実測症例の測定結果から死後経過時間を計算した結果は、表1の通りである。尚、症例匿名化を図るため、この表の死後経過時間は、どの段階を基準にしているかについての定義は、各症例で異なっている。

表1 外耳温からの死後経過時間推定結果

症例	死後経過時間	
	真の値	推定値
初老、男	7時間 20分	7時間
中年、女	16時間 40分	21時間 30分
小児、女	5時間	4時間 30分
高齢、女	14時間	11時間 50分
乳児、女	6~11時間	6時間 30分
高齢、女	7時間 40分	8時間

4. 考察

本症例で作成したヒト頭部モデルは、寸法の異なる死体頭部の死後外耳温冷却動態

をよく説明し、汎用性の高いモデルと考えられる。

死後外耳温の測定結果から、死亡時刻を推定する場合、単項の指数関数をモデルとして用いても、実務上許容できると考えられる幅に収まっている。しかし、外耳温を最初に測定した段階で、冷却が進行していると、誤差幅は著しく大きくなる。

シミュレーション上で、熱伝達率値を僅かに変えただけで、その冷却動態は大きく変動することが判明した。これは熱伝達率の値を暫定的に決定し、モデルに代入することは危険であることであることを示唆している。

謝 辞

本研究の伝熱工学的側面について、東北大学流体科学研究所 圓山重直教授ならび小宮敦樹助手から様々な御助言を頂きました。

参考文献

- 1) Henssge C : Death time estimation in case work. I. The rectal temperature time of death nomogram, *Forensic Sci Int*, **38-3**, 209/236 (1988)
- 2) Marshall TK, Hoare FE : Estimating the time of death – the rectal cooling after death and its mathematical representation, *J Forensic Sci*, **7-2**, 56/81(1962)
- 3) Hiraiwa K, Ohno Y, Kuroda F, Sebetan IM, Oshida S : Estimation of postmortem interval from rectal temperature by use of computer. *Med Sci Law*, **20-2**, 115/125(1980)
- 4) Al-Alousi LM, Anderson RA, Worster DM, Land DV : Factors influencing the precision

of estimating the postmortem interval using the triple-exponential formulae (TEF). Part I. A study of the effect of body variables and covering of the torso on the postmortem brain, liver and rectal cooling rates in 117 forensic cases, *Forensic Sci Int*, **125-2**, 223/230 (2002)

- 5) Baccino E, De Saint Martin L, Schuliar Y, Guilloteau P, Le Rhun M, Morin JF, Leglise D, Amice J : Outer ear temperature and time of death. *Forensic Sci Int*, **83-2**, 133/146 (1996)
- 6) Nokes LD, Flint T, Jaafar S, Knight BH : The use of either the nose or outer ear as a means of determining the postmortem period of a human corpse. *Forensic Sci Int*, **54-2**, 153/158(1992)
- 7) Kanawaku Y, Kanetake J, Komiya A, Maruyama S, Funayama M : Computer simulation for postmortem cooling processes in the outer ear(accepted). *Leg Med*,(2006)