

## 総説 (2018年度横浜市立大学医学研究奨励賞受賞論文)

# 死後変化に影響を与える因子の探索および 死後経過時間の推定式の作成

白 元 洋 介

横浜市立大学大学院医学研究科 法医学

**要 旨**：法医学の分野では、死後経過時間の推定は重要な鑑定項目の1つである。これまでに、死後、死体に現れるさまざまな化学的、物理的な現象を用いて、死後経過時間は推定されてきた。その中でも、現在広く用いられているのは、死斑や死後硬直、直腸温を用いた推定法である。しかしながら、死斑や死後硬直については評価が主観的であり、直腸温については周囲の環境（気温や日当たりなど）の影響を強く受けるため、精密な死後経過時間の推定は容易ではない。筆者は、死後変化に影響を与える因子の探索およびより精度の高い死後経過時間の推定法を確立することを目的として、様々な方法を用いた死後変化の検討ならびに死後経過時間の推定法の研究を行ってきた。本稿では、これまで検討を行った4つの方法（測色、髄液の電解質濃度、臓器重量、CT画像）による死後変化ならびに死後経過時間推定法について詳述する。

**Key words**: 死後経過時間 (post-mortem interval), 測色計 (spectrophotometer), 髄液 (cerebrospinal fluid), 臓器重量 (organ weight), CT (Computed Tomography)

## はじめに

法医学とは「医学的解明助言を必要とする法律上の案件、事項について、科学的で公正な医学的判断を下すことによって、個人の基本的人権の擁護、社会の安全、福祉の維持に寄与することを目的とする医学」とされている<sup>1)</sup>。対象は死体だけでなく、生体の虐待や創傷、物体、さらにカルテ等の書類を扱うこともある。法医学が行う解剖は、根拠となる法律などによって行政解剖、司法解剖、承諾解剖、死因・身元調査法に基づく解剖と4つに分かれている。当教室では主に、刑事訴訟法第223・225条に基づく、警察からの嘱託による司法解剖を行っている。この際、警察からは鑑定項目の記載された嘱託書、裁判官からは鑑定処分許可状が交付される。この鑑定嘱託項目、つまり解剖して警察が知りたいことには、死因や死因の種類、死後経過時間 (post-mortem interval, PMI) などが含まれている。死因は当然のことながら、死後経過時間の推定も死亡の時期や犯罪時刻を知る上で重要な

嘱託項目の1つであり、これまでに様々な推定方法が報告されている。それらは、死後、死体に現れる化学的、物理的な現象を用いて推定する方法である<sup>2)</sup>。現在、法医学の現場で広く用いられているのは、死斑や死後硬直、直腸温を用いた推定法である。死斑や死後硬直については評価が主観的な部分があり、直腸温については周囲の環境（気温や日当たりなど）の影響を強く受けるため、客観的で周囲の環境の影響を受けにくい、死後経過時間の推定法が求められている。筆者は、様々な方法を用いた死後変化に影響を与える因子の探索ならびに死後経過時間の推定法の研究を行ってきた。本稿では、4つの方法（測色、髄液の電解質濃度、臓器重量、CT画像）について詳述する。なお、本稿で紹介した筆者が筆頭著者の研究は、いずれも九州大学医系地区部局臨床研究倫理審査委員会の承認を得て行った。また、死後経過時間等の推定式を作成する際には、重回帰分析でモデルを作成し、変数選択には $p=0.25$ の変数増減法を用いた。

### (1) 死斑の測色値と死後経過時間の関係

死斑は、循環停止後の血液に重力が作用し、皮膚を通して体の低い部分に集まった血液をみたものである。死後硬直、体温冷却などととも早期死体現象の一つであり、死後経過時間や死因の推定に利用されてきた<sup>3)</sup>。しかし、死斑の色の見え方、表現方法は主観的なものであるため観察者によって異なり、また、色を表現する言葉から想起する色も、人によって異なる。そのため、死斑の色を客観的に評価、記載、伝達するためには、正確で標準化された方法に基づいた色の測定が必要であり、さらに客観的なデータに基づけば、より正確な死後経過時間の推定につながる可能性がある。そこで筆者は、コニカミノルタ製分光測色計CM-2600dを用いて死斑の色を測定した。次に、死斑は発現形状や明るさが経時的に変化することが知られていることから、死斑の測色値が死後経過時間の推定に応用できるのではないかと考え、検討を行った。具体的には、測色計で測色を行うと、色が $L^*a^*b^*$ 表色系 ( $L^*$ が明度を表し、 $a^* \cdot b^*$ が彩度と色相を表す) 上の数値に変換される<sup>4)</sup>。この $L^*$ の値は、死後、時間の経過と共に増加し(明るさが増し)、死後72時間で変化がなくなるという報告がある<sup>5)</sup>。そこで、死後72時間以内の事例について、死後経過時間と皮膚(対照、 $L^*_c a^*_c b^*_c$ )と死斑の測色値 ( $L^*_p a^*_p b^*_p$ ) との関連を検討した。さらに、皮膚や死斑の色に影響を与えることが知られている、年齢や性別、一酸化炭素曝露の有無などの解剖所見と測色値を用いて、死後経過時間を推定する式を作成した。その結果、筆者は、死後経過時間と死斑と対照の彩度( $C^*$ )の差との間に弱い相関があることを見出し、測色値と解剖所見による死後経過時間の推定式の作成に初めて成功した。

$$\text{PMI (時間)} = -30.75 + 1.01 \times L^*_c + 5.30 \times a^*_c + 0.99 \times a^*_p - 6.64 \times \text{性別} (1, \text{男性}; -1, \text{女性}) - 0.35 \times \text{年齢 (歳)} + 11.52 \times \text{一酸化炭素曝露} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) + 8.42 \times \text{死後寒冷曝露} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) + 6.51 \times \text{凝血} (1, \text{軟凝血}; 0, \text{豚脂様凝血およびなし}) - 1.35 \times \text{凝血} (1, \text{なし}; 0, \text{軟凝血および豚脂様凝血}) - 3.12 \times \text{多量出血} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) - 6.03 \times \text{蘇生} (1, \text{あり}; -1, \text{なし})$$

この方法により、死後12時間を越えると1日単位での推定しかできなかった死後経過時間を、 $\pm 4.76$ 時間の精度で具体的な数値で推定可能となった<sup>6)</sup>。この研究の成果などを基に、死後変化と死後経過時間との関係について、さらなる検討を行う発想を得た。

### (2) 髄液の電解質濃度と死後経過時間の関係

髄液は体の深部にあり、周辺の環境温の影響を受けに

くいため、死後経過時間を推定するための試料としてしばしば用いられている<sup>7-9)</sup>。死後経過時間の推定には、髄液よりも硝子体の方が優れているとの報告があるが<sup>10, 11)</sup>、硝子体は粘性が高いため遠心などの前処理が必要なこと、薬物分析のために保存することなどから、筆者は髄液を用いて検討を行った。髄液の電解質濃度について、これまでに死後経過時間との関連を報告した研究はあるが、いずれも単回帰分析によるものであり<sup>8, 9)</sup>、死後経過時間以外の項目との関連も含めて検討した報告はなかった。そこで、髄液の電解質濃度 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ) に影響を与える因子を探索することを目的として、性別、年齢、死後経過時間との関係について検討した結果、髄液の電解質濃度が年齢ならびに死後経過時間と相関していることを見出した(図1)<sup>12)</sup>。具体的には、髄液の電解質濃度について、年齢の上昇と共に $\text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^-$ 濃度は上昇し、 $\text{K}^+$ 濃度は低下していた。一方、死後、時間の経過と共に $\text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^-$ 濃度は低下し、 $\text{K}^+$ 濃度は上昇していた。従って、法医学分野で髄液の電解質濃度について検討を行う際には、これらの因子を考慮する必要がある。また、これらの因子を用いて死後経過時間の推定式を作成し、死後56時間までの範囲で、 $\pm 8.75$ 時間の精度で推定可能となった。

$$\text{PMI (時間)} = 6.502 + 0.2621 \times \text{年齢 (歳)} - 0.1587 \times \text{Na}^+ (\text{mEq/l}) + 0.5163 \times \text{K}^+ (\text{mEq/l})$$

髄液の電解質濃度は、 $\text{Na}^+ \text{-K}^+ \text{ATPase}$ ,  $\text{K}^+$ チャネル,  $\text{Na}^+ \text{-} 2 \text{Cl}^- \text{-K}^+$ 共輸送体などにより一定に保たれており<sup>13)</sup>、死後はこれらの機能が消失するため、電解質濃度の変化が生じると考えられる。一方、年齢と髄液の電解質濃度については、これまでにほとんど報告がなく、検索しえた限りでは、Arroyoらが、70歳以下と以上では、 $\text{K}^+$ 濃度に差があると報告しているだけである<sup>7)</sup>。生体でも同様の結果となるのか、或いは死後変化によるものなのか、更なる検討が必要である。

### (3) 臓器重量と死後経過時間の関係

次に、臓器重量についての検討を行った。被虐待児の胸腺重量の低下<sup>14)</sup>、高血圧や肥満などによる心肥大<sup>15)</sup>、肝硬変時の脾腫など<sup>16)</sup>、病態を反映する場合もあり、臓器重量は解剖の基礎である。これまでも臓器重量について研究は行われているが、多くは性別や年齢で分類して平均値を出したものである<sup>17-25)</sup>。この方法は簡便ではあるが、臓器重量に影響を与えられ、身長や体重等の体格に関する項目について考慮されていない。そこで、より正確な臓器重量の推定式の作成を目的として、年齢、性別、身長などを因子として含めた臓器重量の推定式を作成した。さらに、乾燥等の影響で、死後、時間の経過と共に臓器重量が変化することを想定し、因

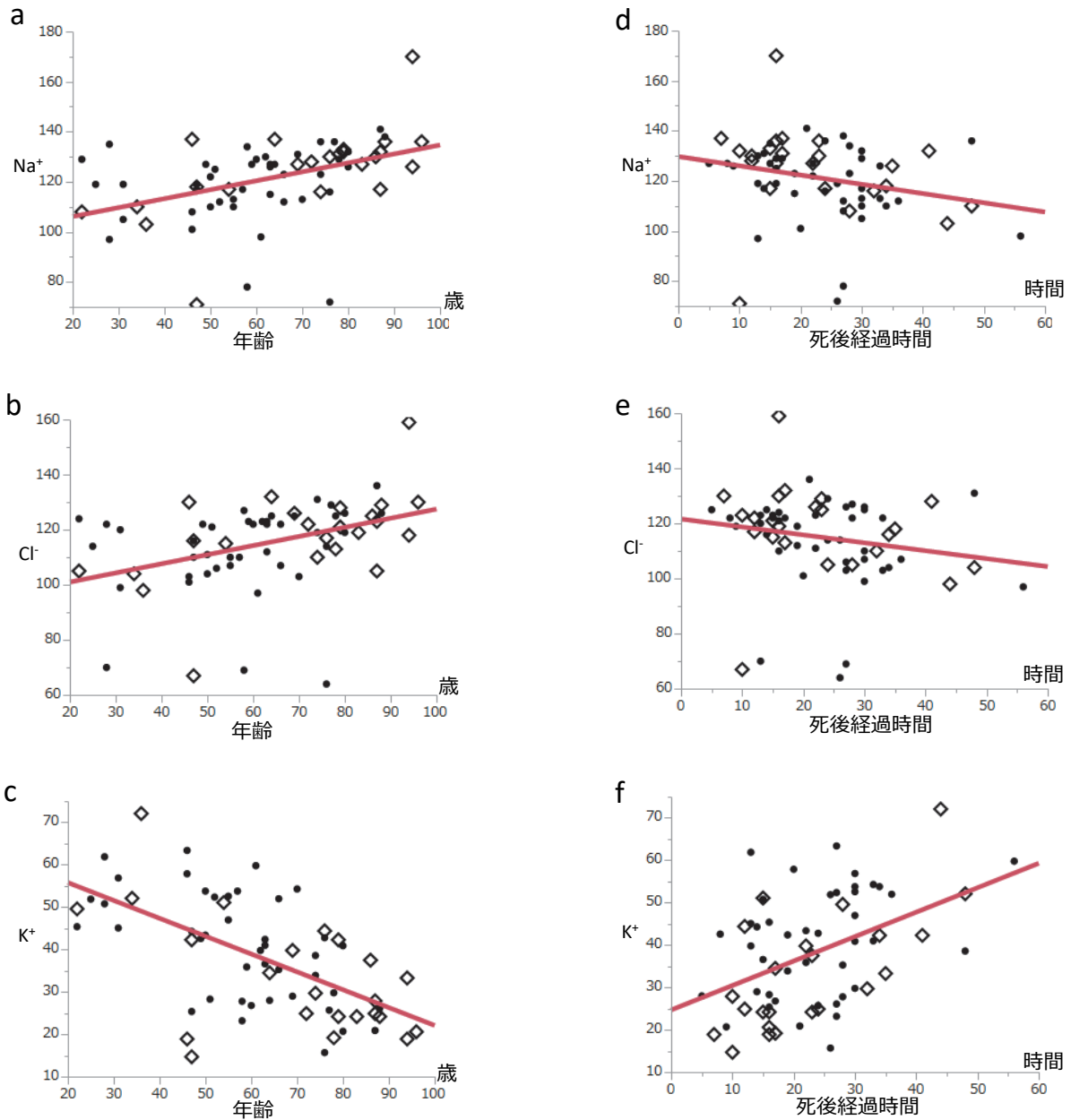


図 1

髄液の電解質濃度(Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>)と年齢(a-c)ならびに死後経過時間との関係(d-f). 実線: 回帰直線, ●: 男性, ◇: 女性(図 d-f は文献12より引用, 改変).

子の中に死後経過時間も含めた推定式を作成した<sup>26, 27)</sup>. この結果, 心臓・肝臓のadjusted  $R^2$ が0.5, 脳が0.46, 腎臓・脾臓が0.38, 肺・脾臓が0.18程度の精度で推定式が作成できた<sup>27)</sup>. さらに, 死後1日以内の事例について検討を行った結果, 脳と肺に関しては, 「死後経過時間」の係数が陽性になった(表1-3)<sup>27)</sup>. つまり, 死後1日以内では, 時間の経過と共に, 脳と肺の臓器重量は増加していくことが示唆された. これまでにCTを用いた研究などにより, 脳と肺について, 死体現象として死後に浮腫が生じるとの報告があるが<sup>28-32)</sup>, このことを統計学的に示した初めての研究となった. また, 肺の臓器重量に

ついて, 死因に関しても検討を行い, 死因が頭蓋内損傷や頭蓋内出血, 溺死, 心臓性突然死の場合は重量が増加し, 出血性ショックや凍死の場合は減少しており, これらを考慮することで, 肺の臓器重量推定式のadjusted  $R^2$ は0.32程度にまで上昇した<sup>27)</sup>.

#### (4) CT画像と死後経過時間の関係

近年, 法医学の領域において, 死後画像診断が積極的に行われるようになってきており, 特にCTを用いた死体現象の報告が相次いでいる<sup>28, 30, 33, 34)</sup>. 筆者らは, ラット

表 1 死後経過時間が1日以内の脳重量推定式の係数

変数	偏回帰 係数	95%信頼区間		p値	VIF
		下限	上限		
性別 (男性 = 1, 女性 = - 1)	19.81	-2.47	42.09	0.0811	1.947
年齢 (性別)	-2.32	-3.36	-1.27	< 0.0001	1.54
死後経過時間 (日)	73.44	4.82	142.1	0.0361	1.033
身長 (cm)	5.139	2.72	7.558	< 0.0001	2.598
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	2.899	-0.734	6.532	0.1172	1.067
頭蓋縦径 (cm)	22.9	7.265	38.54	0.0043	1.241
頭蓋横径 (cm)	39.12	18.86	59.38	0.0002	1.342
切片	-429.4	-933.4	74.5	0.0945	-

VIF, variance inflation factors; BMI, body mass index.

表 2 死後経過時間が1日以内の左肺重量推定式の係数

変数	偏回帰 係数	95%信頼区間		p値	VIF
		下限	上限		
性別 (男性 = 1, 女性 = - 1)	25.33	-4.48	55.13	0.0955	1.688
死後経過時間 (日)	158.2	62.06	254.2	0.0013	1.013
身長 (cm)	7.021	4.183	9.86	< 0.0001	1.708
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	4.346	-0.668	9.358	0.0891	1.05
"重い"	81.13	36.38	125.9	0.0004	1.119
"軽い"	-173.6	-229.8	-117.5	< 0.0001	1.118
切片	-836.6	-1295	-378.5	0.0004	-

重い, 死因が頭蓋内損傷・頭蓋内出血・溺死・心臓破裂突然死の事例; 軽い, 死因が出血性ショック・凍死の場合; VIF, variance inflation factors; BMI, body mass index.

表 3 死後経過時間が1日以内の右肺重量推定式の係数

変数	偏回帰 係数	95%信頼区間		p値	VIF
		下限	上限		
性別 (男性 = 1, 女性 = - 1)	38.44	3.83	73.05	0.0296	1.688
死後経過時間 (日)	130.4	18.86	242	0.0021	1.013
身長 (cm)	7.461	4.165	10.757	< 0.0001	1.708
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	7.401	1.579	13.22	0.0129	1.05
"重い"	61.25	9.28	113.2	0.0211	1.119
"軽い"	-207.7	-272.9	-142.5	< 0.0001	1.118
切片	-879.3	-1411	-347.3	0.0013	-

重い, 死因が頭蓋内損傷・頭蓋内出血・溺死・心臓破裂突然死の事例; 軽い, 死因が出血性ショック・凍死の場合; VIF, variance inflation factors; BMI, body mass index.

を用いた経時的なCT撮影により, 門脈内のガスや腸管のガスが, 死後, 時間の経過と共に増加していくことを報告した<sup>35)</sup>. また, 遺体のCT画像データを用いて, 肝臓内のガス体積を推定する式を作成したところ, 死後経過時間の項目が採択され, 肝臓内のガス体積が死後経過時間と正の相関を示す, つまり死後, 時間の経過と共に肝臓

内のガス体積が増加することを明らかにした<sup>36)</sup>. この結果は, 先の動物実験の結果とも一致している. 次に, CT画像データと年齢, 性別などを用いて死後経過時間を推定する式を作成したところ, 肝臓内のガス体積が推定式に採択され, やはり相関があることが示唆された. 死後経過時間とCT画像上の死体現象の関係はまだ研究され

始めてから日が浅く、今後、更に多くの検討がなされる分野だと考えられる。

### (5) 血液の測色値と死後経過時間の関係

最後に、血液の測色値と死後経過時間との関係について検討し、死後経過時間の推定式を作成した。(1)に記載の通り、死斑は皮膚を通して血液をみたものであるため、血液の色が直接的に死斑の色に影響を与えていると考えられる。従って、血液の色そのものが死後経過時間と関係があるのではないかと考え、血液の色も含めて死斑の $L^*$ 値ならびに死後経過時間の推定式を作成した<sup>37)</sup>。左心血 ( $L^*_a, b^*_i$ )、右心血 ( $L^*_a, b^*_r$ )、大腿血 ( $L^*_a, b^*_f$ ) は、コニカミノルタ製のプラスチックセルCM-A130に入れて測色を行った。対照の皮膚や血液の測色値、解剖所見などを用いて死斑の $L^*$ 値を推定する式を作成したところ、adjusted  $R^2$ 値が0.64、つまり死斑の $L^*$ 値の64%を説明可能であった。

$$L^*_p = 0.7148 \times L^*_c + 0.2623 \times L^*_i - 1.027 \times \text{性別} (1, \text{男性}; -1, \text{女性}) + 0.9606 \times \text{死後寒冷曝露} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) + 9.025$$

ところで、推定式の精度も重要だが、死斑の色に影響する因子の特定もまた重要である。本研究では、対照の皮膚の $L^*$ 値、左心血の $L^*$ 値、性別、死後寒冷曝露という因子が推定式に採択され、いずれも説明可能な因子であった。続いて、死斑の測色値や解剖所見などに加え、血液の測色値を用いる場合と用いない場合、それぞれで死後経過時間を推定する式を作成した。血液の測色値を用いた方が精度は改善するという想定であったが、用いない場合のadjusted  $R^2$ 値が0.5255で精度が $\pm 10.29$ 時間、用いた場合のadjusted  $R^2$ 値が0.5379で精度が $\pm 10.72$ 時間と、想定とは異なり精度は数字上低下していた。試料採取の関係で同じ事例で検定できていないなど、様々な理由が考えられるが、今後の検討課題である。

次に、血液の測色値と死後経過時間の関係を検討し、死斑の測色値を用いずに、血液の測色値と解剖所見のみで死後経過時間を推定する式を作成した<sup>38)</sup>。検索し得た範囲では、これまでに血液の色と死後経過時間の関係を検討した報告は見当たらない。また、死斑の測色値を使用しない方法は、(1)で紹介した方法と異なり、死斑の測色値ならびに対照の皮膚の測色値を用いる必要がない、つまり皮膚の色を測色する必要がないため、簡便である。血液の測色値のうち、年齢と正の相関を示す項目や死後経過時間と負の相関を示す項目があったが、いずれも $r^2$ は小さい値であった。血液の測色値と解剖所見を用いて作成した死後経過時間の推定式により、死後67時間までの範囲で、 $\pm 8.84$ 時間の精度で推定可能となった。

$$\text{PMI (時間)} = 1.759 \times a^*_r - 3.022 \times a^*_f + 2.492 \times \text{性別}$$

$$(1, \text{男性}; -1, \text{女性}) + 0.09141 \times \text{年齢 (歳)} - 3.512 \times \text{一酸化炭素曝露} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) + 6.652 \times \text{寒冷曝露} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) - 8.523 \times \text{凝血} (1, \text{ありおよびなし}; -1, \text{豚脂様凝血}) - 3.373 \times \text{蘇生} (1, \text{あり}; -1, \text{なし}) + 33.51$$

### おわりに

死後経過時間との関係について、これまで測色値や髄液の電解質濃度、臓器重量、CT画像で検討を行い、死後変化に影響を及ぼす因子の探索並びに死後経過時間の推定式の作成を行ってきた。髄液の電解質濃度が年齢と相関があることを見だし、また死後経過時間とも相関があるため、死後経過時間の推定式は理解しやすい結果となった。臓器重量については、死後経過時間を推定するためというよりも、臓器重量を推定する式に死後経過時間の因子を加えることで、死後経過時間が臓器重量に及ぼす影響を示すことができた。CT画像については、死後経過時間を推定する式を作成したものの、まだ研究が始まったばかりの分野であり、実用レベルに到達しているとはいえない。測色値については、死斑の測色値から始まり、死斑の測色値を使わずに血液の測色値で死後経過時間を推定するところまでできた。いずれの研究も、今後は事例数を増やすことが課題の1つである。また、髄液であれば電解質濃度だけではなく、その他の蛋白濃度との関係の検討や、胸腔内液や心嚢液などの他の体液での検討を行うなど、新しいマーカーの検索を行うことによって、より精度の高い死後経過時間の推定式を作成することが可能であると考えている。さらに、当教室にCT装置が設置されたことから、CT画像データについて、死後変化に影響を及ぼす因子、CT上の死体現象についての研究をさらに進め、より詳細な検討を行う予定である。次に、これまでは測色値であれば測色値のみ、髄液であれば髄液のみで検討を行ってきたが、今後は、それら全てを同時に考慮した死後経過時間の推定式を作成することで、精度の向上が期待できるのではないかと考えている。

法医学実務では死後変化を避けて通ることはできず、死後変化のよりよい理解は法医学実務への大きな貢献となる。より精度の高い死後経過時間の推定式を作成することで、死後変化に影響を与える因子が明らかとなり、そのことがさらに精度の高い推定式の作成につながり、このサイクルをまわしていくことで、死後変化、死体現象、死後経過時間などに関する法医学研究が進歩するものと考えている。

### 謝 辞

横浜市立大学医学会医学研究奨励賞の受賞にあたり、

選考委員の先生方、並びに会員の皆様に心より御礼申し上げます。本研究にあたり、ご指導いただきました九州大学大学院医学研究院法医学分野の池田典昭教授と研究室の方々、横浜市立大学大学院医学研究科法医学教室の井濱容子教授と研究室の方々に、深謝いたします。

## 文 献

- 1) 日本法医学会:「1982年 日本法医学会教育委員会報告」<http://www.jslm.jp/about/definition.html> (アクセス日 2019/7/28)
- 2) Henssge C, Madea B: Estimation of the time since death. *Forensic Sci Int*, **165**: 182 – 184, 2007.
- 3) Saukko P, Knight B: Chapter 2 : The pathophysiology of death. *Knight's Forensic Pathology*. 4 th ed, Saukko P, Knight B (Ed) , 55 – 93, CRC Press, London, 2015.
- 4) Weatherall IL, Coombs BD: Skin color measurements in terms of CIELAB color space values. *J Invest Dermatol*, **99**: 468 – 473, 1992.
- 5) Vanezis P, Trujillo O: Evaluation of hypostasis using a colorimeter measuring system and its application to assessment of the post-mortem interval. *Forensic Sci Int*, **78**: 19 – 28, 1996.
- 6) Usumoto Y, Hikiji W, Sameshima N, Kudo K, Tsuji A, Ikeda N: Estimation of postmortem interval based on the spectrophotometric analysis of postmortem lividity. *Leg Med (Tokyo)* , **12**: 19 – 22, 2010.
- 7) Arroyo A, Rosel P, Marron T.: Cerebrospinal fluid: postmortem biochemical study. *Clin Forensic Med*, **12**: 153 – 156, 2005.
- 8) Swain R, Kumar A, Sahoo J, et al: Estimation of post-mortem interval: A comparison between cerebrospinal fluid and vitreous humor chemistry. *Forensic Leg Med*, **36**: 144 – 148, 2015.
- 9) Yadav J, Deshpande A, Arora A, Athawal BK, Dubey BP: Estimation of time since death from CSF electrolyte concentration in Bhopal region of central India. *Leg Med (Tokyo)* , **9**: 309 – 313, 2007.
- 10) Coe JI: Postmortem chemistry update. Emphasis on forensic application. *Am J Forensic Med Pathol*, **14**: 91 – 117, 1993.
- 11) Thierauf A, Musshoff F, Madea B: Post-mortem biochemical investigations of vitreous humor. *Forensic Sci. Int*, **192**: 78 – 82, 2009.
- 12) Usumoto Y, Kudo K, Tsuji A, Okumura M, Ihama Y, Ikeda N: Estimation of postmortem interval using electrolyte concentrations in the cerebrospinal fluid via multiple regression-based equations. *Acta Crim Japon*, **84**: 103 – 109, 2018.
- 13) Brown PD, Davies SL, Speake T, Millar ID: Molecular mechanisms of cerebrospinal fluid production. *Neuroscience*, **129**: 957 – 970, 2004.
- 14) Fukunaga T, Mizoi Y, Yamashita A, et al: Thymus of abused/neglected children. *Forensic Sci Int*, **53**: 69 – 79, 1992.
- 15) Arnal JF, el Amrani AI, Chatellier G, Ménard J, Michel JB: Cardiac weight in hypertension induced by nitric oxide synthase blockade. *Hypertension*, **22**: 380 – 387, 1993.
- 16) David-West AS: Spleen weight distribution in Ibadan and its relationship to disease. *Afr J Med Med Sci*, **11**: 53 – 59, 1982.
- 17) Aimi S, Yasoshima S, Sugai M, Sato B, Sakai T, Nakajima Y: Studies on the weight and size of internal organs of normal Japanese. *Acta Pathol Jpn*, **2**: 173 – 200, 1952.
- 18) Furutani A, Noda H, Yamaguchi M, Tatsumi S, Yasui M: Standard weight of the normal brain, spleen and pancreas in Japanese. *Acta Med Kinki Univ*, **24**: 19 – 25, 1999.
- 19) Hitosugi M, Takatsu A, Kinugasa Y, Yakao H: Estimation of normal heart weight in Japanese subjects: development of a simplified normal heart weight scale. *Leg Med (Tokyo)* , **1**: 80 – 85, 1999.
- 20) Investigation Committee of the Medico-Legal Society of Japan: Reports on medico-legal data from massive investigation performed by the Medico-legal Society of Japan: weight and size of internal organs of normal Japanese today. *Jpn J Legal Med*, **46**: 225 – 235, 1992. [in Japanese]
- 21) Kurihara K, Kuroda N, Murai T, Yanagida J, Watanabe H: Reconsideration of organ weight in Japanese ( I ) . *Heart Acta Anat Nippon*, **64**: 495 – 499, 1989. [in Japanese]
- 22) Ogiu N, Nakamura Y, Ijiri I, Hiraiwa K, Ogiu T: A statistical analysis of the internal organ weights of normal Japanese people. *Health Phys*, **72**: 368 – 383, 1997.
- 23) Tanaka G, Nakahara Y, Nakazima Y: Japanese reference man 1988-IV. Studies on the weight and size of internal organs of normal Japanese. *Nihon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi*, **49**: 344 – 364, 1989. [in Japanese with an English abstract]
- 24) Yoshimura M, Furutani A, Konishi S, et al: Normal weight of the heart, liver and kidneys in Japanese (1988 – 1992). *Med J Kinki Univ*, **19**: 297 – 302, 1994. [in Japanese with an English abstract]
- 25) Planning and Investigation Committee of the Japanese Society of Legal Medicine: Questionnaire research performed by the Japanese Society of Legal Medicine: Weights and Sizes of Internal Organs Measured in

- Forensic Autopsy Cases from 2009 to 2013 in Japan; 2015. Available from: <http://www.jslm.jp/problem/zouki.pdf>. [Last retrieved on 2019 July 28].
- 26) Usumoto Y, Omura K, Sato K, et al: A statistical analysis of standard organ weights and their changes during post-mortem interval using forensic autopsy cases. *Acta Crim Japon*, **81**: 1 – 6, 2015.
  - 27) Usumoto Y, Kudo K, Tsuji A, Ihama Y, Ikeda N: Effects of post-mortem interval and cause of death on organ weights. *Saudi J Forensic Med Sci*, in press.
  - 28) Takahashi N, Satou C, Higuchi T, Shiotani M, Maeda H, Hirose Y: Quantitative analysis of brain edema and swelling on early postmortem computed tomography: Comparison with antemortem computed tomography. *Jpn J Radiol*, **28**: 349 – 354, 2010.
  - 29) Berger N, Ampanozi G, Schweitzer W, et al: Racking the brain: Detection of cerebral edema on postmortem computed tomography compared with forensic autopsy. *Eur J Radiol* **84**: 643 – 651, 2015.
  - 30) Shiotani S, Kobayashi T, Hayakawa H, Kikuchi K, Kohno M: Postmortem pulmonary edema: A comparison between immediate and delayed postmortem computed tomography. *Leg Med (Tokyo)* , **13**: 151 – 155, 2011.
  - 31) Durlacher SH, Banfield WG Jr., Bergner AD: Post-mortem pulmonary edema. *Yale J Biol Med*, **22**: 565 – 572, 1950.
  - 32) Durlacher SH, Banfield WG Jr., Bergner AD: Post-mortem pulmonary edema. *Am J Pathol*, **27**: 688 – 689, 1951.
  - 33) Zerbini T, da Silva LF, Lobato Baptista PA, et al: Estimation of post mortem interval by tomographic images of intra-cardiac hypostasis. *J Forensic Leg Med*, **38**: 111 – 115, 2016.
  - 34) Hyodoh H, Shimizu J, Watanabe S, Okazaki S, Mizuo K, Inoue H: Time-related course of pleural space fluid collection and pulmonary aeration on postmortem computed tomography (PMCT) . *Leg Med (Tokyo)* , **17**: 221 – 225, 2015.
  - 35) Iwamoto C, Ohuchida K, Okumura M, et al: Postmortem interval estimation using the animal model of postmortem gas volume changes. *Leg Med (Tokyo)* , **32**: 66 – 70, 2018.
  - 36) Okumura M, Usumoto Y, Tsuji A, Kudo K, Ikeda N: Analysis of postmortem changes in internal organs and gases using computed tomography data. *Leg Med (Tokyo)* , **25**: 11 – 15, 2017.
  - 37) Usumoto Y, Kudo K, Tsuji A, Ihama Y, Ikeda N: Predictive equation for post-mortem interval using spectrophotometric values of post-mortem lividity: A pilot study. *Forensic Sci Int*, **297**: 47 – 55, 2019.
  - 38) Usumoto Y, Kudo K, Tsuji A, Ihama Y, Ikeda N: Predictive equation to estimate post-mortem interval using spectrophotometric blood-colour values. *Med Sci Law*, **59**: 36 – 41, 2019.

### Abstract

#### IDENTIFYING THE FACTORS THAT AFFECT POST-MORTEM CHANGE AND CREATING AN EQUATION FOR ESTIMATING THE POST-MORTEM INTERVAL

Yosuke USUMOTO

*Department of Legal Medicine, Yokohama City University Graduate School of Medicine*

Estimating the post-mortem interval (PMI) is essential in forensic pathology. In forensic practice, we usually use post-mortem changes such as post-mortem lividity and rigor mortis, which occur after death of the body, and the rectal temperature. However, the assessment of post-mortem lividity and rigor mortis is subjective, and the rectal temperature is markedly affected by the surrounding environment, such as the environmental temperature and the extent of sun exposure. In this paper, the four different approaches that I have developed for accurate PMI estimation and how post-mortem changes can be assessed using a spectrophotometer, the concentrations of electrolytes in cerebrospinal fluid, organ weights, and computed tomography are presented.

