
原 著

凍死の診断における血中および尿中のアセトン検出の有用性

奈良県立医科大学法医学教室

井上 愛理*, 田村 修平*, 古橋 侑輔*,
工藤 利彩, 勇井 克也, 粕田 承吾, 羽竹 勝彦

UTILITY OF ACETONE DETECTION IN BLOOD AND URINE FOR DIAGNOSIS OF FATAL HYPOTHERMIA

AIRI INOUE, SHUHEI TAMURA, YUSUKE FURUHASHI,
RISA KUDO, KATSUYA YUUI, SHOGO KASUDA and KATSUHIKO HATAKE
Department of Legal Medicine, Nara Medical University School of Medicine

Received March 1, 2018

Abstract : Ketone bodies, such as acetone, are often detected during autopsy in the bodily fluids of those who have died from fatal hypothermia and malnutrition. However, the association between ketone body detection and cause of death has not been fully examined. In this investigation, we assessed the relationship between fatal hypothermia and the detection of acetone in blood or urine. In 446 out of 1,070 autopsies performed in our laboratory over the past six years (January 2011- February 2017), acetone was detected in either blood or urine. In 240 out of 446 cases, acetone was detected in both blood and urine. Among these 240 cases, the most frequent causes of death were cardiovascular disease (20.8%), fatal hypothermia (19.6%), and asphyxia (15.4%). In 1070 cases, the highest rate of acetone detection was associated with fatal hypothermia (76.6%) followed by pneumonia (57.9%), liver disease (44.4%), and starvation (38.1%). Fatal hypothermia was the cause of death in 47 out of the 240 cases. Acetone was detected in 36 of these 47 cases in both blood and urine. Among the 240 cases, 22 showed acetone values of 0.15 mg/mL or more in blood or urine. Of the 22 cases, 6 were associated with fatal hypothermia. Acetone levels in blood and urine did not change until 50 days after death in these 22 cases. The body mass index of those with fatal hypothermia did not differ among those with and without acetone detection. The appearance rate of Wischniewski spots in the gastric mucosa was twice as high in the cases with acetone detection compared to the cases without. These results suggest that the detection rate of acetone in fatal hypothermia is high, and that acetone levels can remain stable for a relatively long time after death. These findings are meaningful as they can help identify the cause of death in patients with fatal hypothermia.

Key words : acetone, fatal hypothermia, blood, urine, Body Mass Index

* 井上愛理、田村修平、古橋侑輔は、第2学年時に、平成28年度リサーチクラークシップとして、法医学教室において本研究における分析及び論文作成の一部を担当し、3者等しく本研究成果に貢献した。

結 言

凍死の診断は特異的な所見がなく、比較的特徴的な所見を組み合わせ判断し、他に死因となる外傷や内因性疾患がないこと、発見状況や現場の環境を考慮し、凍死と判断する。したがって、その診断に役立つ新たな解剖所見あるいは検査所見を見出すことは有意義である。

ケトン体は、アセト酢酸、3-ヒドロキシ酪酸、アセトンを経絡したもので脂肪分解時の中間代謝産物である。アセトンは、脂肪酸の分解亢進により生じるアセト酢酸から非酵素的に生成され、3-ヒドロキシ酪酸はアセト酢酸から酵素的相互転換される。ケトン体は糖が絶対的もしくは相対的に不足した時に産生されるエネルギー源であり、糖尿病や飢餓を始めとする各種疾患や状態において、血液中でケトン体濃度が上昇することが知られており、臨床領域では、血液中や尿中のケトン値が、これらの病態の診断に用いられている。凍死例においてもアセトンや3-ヒドロキシ酪酸が血液や尿から高値を示すことはすでに報告¹⁶⁾されている。一方、解剖時の血液や尿の検査結果を死後診断に用いるためには死因との関連性、試料採取までの死後経過時間、試料の保管状況などが考慮されていなければならず、ケトン体の検査結果を臨床における診断基準にそのままあてはめることはできない。

凍死においてケトン体が検出されても、凍死そのものの病態で上昇しているのか、あるいは凍死の誘引となる栄養状態との関連性など凍死をとりまく種々の条件で上昇しているのか十分に検討されていない。そこで今回、奈良県立医科大学法医学教室で扱った剖検例の血液および尿を用いて、アセトンの濃度を測定し、凍死の診断の指標としての有用性を検討した。

対象と方法

1. 調査対象

平成23年1月から平成29年2月までの6年間に当法医学教室で法医解剖に付された全1070例を対象とした。なお本研究は奈良県立医科大学倫理委員会の承認を得て行った(承認番号1516)。

2. 調査項目

a. 全1070例のうち、血液および尿の両方からアセト

ンが検出された240例について死因との関連性を検討した。

- b. 全1070例中の各死因において、その死因に占めるアセトンの検出割合を検討した。
- c. 全1070例のうち446例(41.7%)が血液および尿の両方あるいは一方からアセトンが検出された。446例のうち、ガスクロマトグラフィーでのアセトンのピークの高さから血中あるいは尿中アセトン濃度が0.15 mg/mlを超える予想された22例について、血中および尿中アセトン濃度を測定した。身長と体重からBody Mass Index (BMI)を算出した。
- d. 全1070例中の凍死例において、血液および尿中のアセトンの検出頻度、胃粘膜のWischniewski出血斑(W斑)の出現頻度、アセトン検出とW斑の存在との関連性を検討した。
- e. 血中および尿中アセトン濃度と死後経過時間との関連性について検討した。また、冷凍保存による血中および尿中アセトン値の変化について240例中5例の血液および尿を用い、冷凍保存中に血中および尿中でアセトン濃度が上昇する可能性を疑い、剖検直後、1週間後、2週間後、5週間後の4回測定し比較した。

3. 測定方法

解剖時に採取した血液および尿は-20℃で凍結保存した。アセトン濃度は気化平衡ガスクロマトグラフィー(GC)法を用いて測定した。バイアル瓶に検体0.5mlをとり、内部標準溶液として2-ブタノール(0.39 mg/ml)0.5 mlを加え、55℃で20分加温し、気相1 mlをGC装置に注入した。得られたアセトンのピーク面積を2-ブタノールのピーク面積で割り(AREA比)、あらかじめ作成しておいた検量線からアセトン濃度(mg/ml)を求めた。検量線は3種類の既知濃度のアセトン溶液スタンダード(STD)1(0.079 mg/ml)、STD2(0.158 mg/ml)、STD3(0.79 mg/ml)を用いて作成した(Fig.1)。

4. 測定条件

測定条件は以下に示す。

装置: SHIMADZU GC-8A (島津製作所)、検出器: FID、記録計: CHROMATOPAC C-R6A (島津製作所)、カラム: Porapak Q 100/120 (ジーエルサイエンス)、

カラム温度:140℃, 注入口温度:180℃, 検出器温度:180℃, キャリアガス:N₂ (圧力 200 kPa).

Fig. 2. は1つの測定事例のチャートである。Retention time の早い順からアセトンおよび内部標準である 2-ブタノールの 2本のピークが生じている。

結 果

1. 死因統計

平成 23 年 1 月から平成 29 年 2 月までの 6 年間の当法医学教室での総解剖数は 1070 例であった。1070 例のうち 446 例 (41.7%) が血液および尿の両方あるいは一方からアセトンが検出された。そのうち、血液あるいは尿の一方からアセトンが検出されたのは 206 例 (46.2%) で、両方からアセトンが検出されたのは 240 例 (53.8%) であった (Fig. 3)。240 例の死因の内訳を Fig. 4. に示す。

虚血性心疾患や心筋症などの循環器疾患 50 例 (20.8%), 凍死 47 例 (19.6%), 絞殺や扼殺, 胸部圧迫などによる窒息 37 例 (15.4%) の割合が高かった。

2. 各死因におけるアセトン検出の割合

全 1070 例の各死因別に, その死因中にどれくらいの割合でアセトンが検出されたかを検討した。アセトンが検出された割合が特に高かった死因は, 凍死 47 例中に 36 例 (76.6%), 肺炎 19 例中 11 例 (57.9%), 肝硬変や肝炎などの肝疾患 18 例中 8 例 (44.4%), 飢餓死 21 例中 8 例 (38.1%), 硬膜外血腫, 硬膜下血腫, 脳内出血などの頭蓋内疾患 36 例中 13 例 (36.1%) であった。

3. 死後経過時間および冷凍保存における血中および尿中アセトン濃度との関係

死後 50 日までの死後経過時間と血中および尿中ア

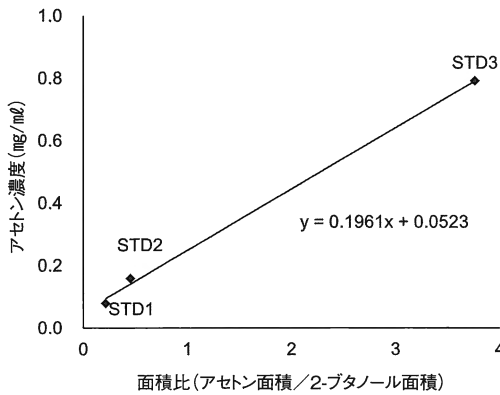


Fig. 1. Calibration curve of acetone.

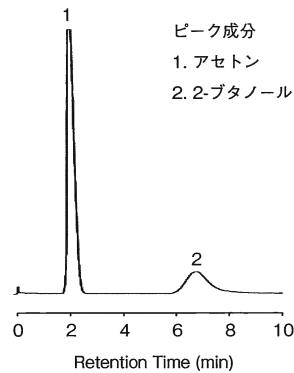


Fig. 2. Representative chromatogram of a case of acetone detection.

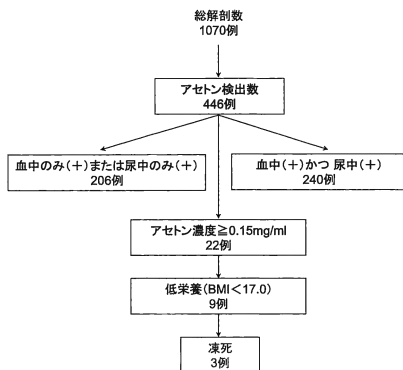


Fig. 3. Details of 446 cases in which acetone was detected in blood or urine.

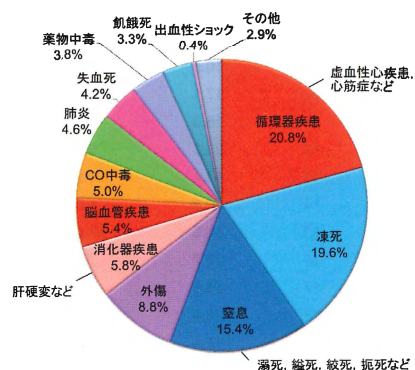


Fig. 4. Details of the cause of death in 240 cases where acetone was detected in blood or urine.

(4)

セトン濃度の間には相関が見られなかった (Fig.5). また, 冷凍保存による血中および尿中アセトン値の変化については, 保存期間による血中および尿中アセトンの濃度の変化は見られなかった.

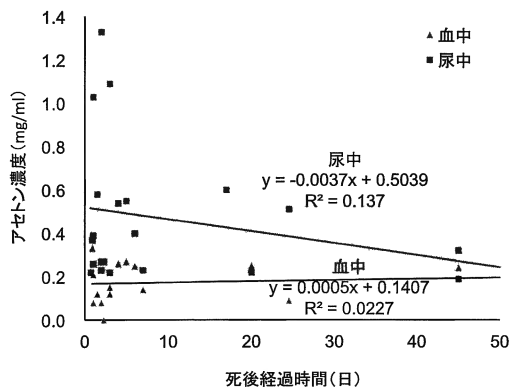


Fig. 5. Relationship between acetone concentration in blood or urine and elapsed time after death.

4. 高いアセトン値が検出された22例の血中あるいは尿中アセトン濃度と死因の内訳

22例は, 全例の血液あるいは尿から0.15 mg/mlを超えるアセトン値が検出された (Table 1). また血中と尿中アセトン濃度を比較すると尿中で有意に高値を

示した. 22例中, 循環器疾患7例 (31.8%), ついで凍死6例 (27.3%) の割合で高かった.

5. 凍死事例について

a) 凍死と血液および尿のアセトン検出の関係

全1070例中, 死因が凍死であった例は47例で, そのうち, 血液および尿の両方が採取できた例は46例で, 残り1例については, 血液は採取できたが, 尿は採取できなかった. 46例中, 血液と尿のいずれからもアセトンが検出された例は36例 (78.3%) であり, 残り10例 (21.7%) は血液と尿のいずれからもアセトンが検出されなかった. 血液のみを採取できた1例ではアセトンは検出されなかった. したがって, 47例中36例は血液と尿の両方からアセトンが検出され, 片方からのみアセトンが検出される例はなかった. 36例のうち, 血液あるいは尿において0.15 mg/mlを超える例はTable 1.に示すように6例 (16.7%) であった (Fig. 6).

b) 凍死, 低栄養およびアセトン値との関連性

栄養状態の指標としてBMIを求め, BMI値が17.0未満を低栄養とした^{7,8)}. アセトンが検出された凍死36例中17.0未満10例 (27.8%), 17.0~18.5未

Table 1. Details of 24 cases where acetone at 1.5 mg/ml or higher was detected in blood or urine.

サンプルNo.	BMI	死後経過時間 (日)	死因	血中アセトン濃度 (mg/ml)	尿中アセトン濃度 (mg/ml)
1	28.9	24.5	溺死	0.09	0.51
2	11.8	45.0	肝硬変	サンプルなし	0.19
3	18.0	1.5	凍死	0.12	0.58
4	17.6	3.0	凍死	0.15	1.09
5	18.4	6.0	虚血性心疾患	0.25	0.40
6	15.1	1.0	肺炎	0.21	1.03
7	11.3	5.0	凍死	0.27	0.55
8	16.1	2.3	内因性くも膜下出血	0.00	0.27
9	10.5	20.0	慢性虚血性心疾患	0.25	0.22
10	17.1	150.0	虚血性心疾患	0.24	サンプルなし
11	16.3	17.0	虚血性心疾患	サンプルなし	0.60
12	22.2	0.9	拡張型心筋症	0.33	0.37
13	43.4	1.0	心肥大	サンプルなし	0.26
14	20.5	1.0	薬物中毒	0.08	0.39
15	12.5	45.0	凍死	0.24	0.32
16	22.7	7.0	凍死	0.14	0.23
17	15.8	3.0	窒息	0.12	0.22
18	25.4	2.0	心筋症	0.08	0.23
19	14.4	4.0	凍死	0.26	0.54
20	21.2	0.7	溺死	0.15	0.22
21	19.5	2.0	糖尿病性ケトアシドーシス	0.64	1.33
22	25.2	2.0	アルコール性肝硬変	0.10	0.27

満7例 (19.4%), 18.5以上19例 (52.8%)であった。非検出例11例中, 17.0未満3例 (27.3%), 17.0~18.5未満3例 (27.3%), 18.5以上5例 (45.4%)であった (Table 2)。アセトン検出例と非検出例のBMI値に明らかな差はなかった。

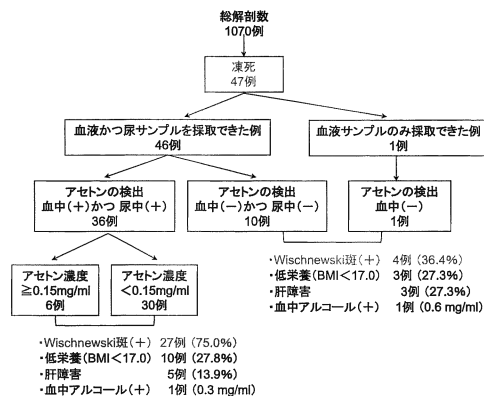


Fig. 6. Details of detection of blood or urinary acetone, presence of Wischnewski blood spots in the gastric mucosa, existence of malnutrition, liver disorder and blood alcohol in 47 cases of fatal hypothermia.

Table 2. Comparison between body mass index and cases of detection- or non-detection of acetone.

アセトンの検出	BMI		
	~17.0未満	17.0~18.5未満	18.5~
検出数	36例	10例	7例
	27.8%	19.4%	52.8%
非検出数	11例	3例	3例
	27.3%	27.3%	45.4%

c) Wischnewski 出血斑 (W 斑) とアセトン検出との関連性

血液および尿からアセトンが検出された凍死36例中27例 (75%)の胃粘膜にW斑を認めた。一方, アセトンを検出しなかった11例中, W斑を認めたのは4例 (36.4%)であった。すなわちアセトン検出例において非検出例の約2倍のW斑を認めた (Fig. 6)。

d) 凍死47例中の肝障害およびアルコール検出例

血液および尿からアセトンが検出された凍死36例中, 1例から0.3 mg/ml, 非検出例11例中, 1例から0.6 mg/mlのアルコールが検出された。また肝硬変および肝障害を有していた例は, アセトンが検出された凍死36例中5例 (13.9%), 非検出例11例中3例 (27.2%)であった (Fig. 6)。

考 察

法医解剖事例において, 低栄養, 凍死, 糖尿病やアルコール性脂肪肝あるいは脂肪性肝硬変などの症例で血液や尿からケトン体が検出される。通常, 血中のアセト酢酸やアセトンは量的に少なく, ケトアシドーシスという病態をひきこす原因となるケトン体は主として3-ヒドロキシ酪酸であるが, 3-ヒドロキシ酪酸値とアセトン値は相関する²⁾。また, 実務上ガスクロマトグラフィーにより, 随時アルコールの定量をおこなっているが, 試料中にアセトンがあれば同時に検出されるため, 網羅的にすべての解剖時例のアセトン値を測定できる利点がある。したがって死後の死因判断の指標としてアセトンに着目した。

解剖時に得られた血液および尿の検査結果については死後経過に伴う変化を考慮に入れる必要がある。ケトン体においても同様である。そこで測定されたアセトン値が死後変化の影響を受ける可能性を検討したところ, 死後50日以内までは血中および尿中濃度のいずれも死後経過による影響はほとんど認められなかった。また3-ヒドロキシ酪酸値においても死後経過時間の影響はないと報告されており²⁾, ケトン体は死後変化の影響を受けにくいものと考えられる。したがって解剖時に採取された血液および尿中のアセトン値は, 少なくとも死後50日以内では, 死後変化の影響を考慮せずに評価できるものと判断された。

今回の検討において, 血液および尿の両方からアセトンが検出された240例のうち, 虚血性心疾患や心筋症などの循環器疾患が20.8%と最も多く, 次いで凍死例が19.6%であった。循環器疾患は, 日本の死因統計で上位3位に入っており, 法医学でも解剖の対象となる事例が多い。また, 循環器疾患では, 糖尿病や肝障害などの合併によってアセトン値が高くなっていることが推測される。したがって, 循環器疾患で死亡した事例でのアセトン値の評価は, 個々の事例の生前の病歴の把握が必要であるため, 今回の検討対象から除外した。循環器疾患について凍死例の検出割合が高く, さらに凍死46例中36例 (78.3%)と高頻度に血液および尿からアセトンが検出されたこと, 血液あるいは尿から0.15 mg/ml以上の高いアセトンが検出された22例中, 6例が凍死であることを考慮すると, 凍死例においてアセトンが高率に検出される。したがって,

アセトンの検出の有無は、凍死の診断に有意な補助診断となり得ることを示している。しかし、アセトンが検出されない例もあり、アセトンの検出が認められないことは凍死を否定するものではなく、この場合は総合的な判断が求められる。

Table 1. に示したように 22 例中 9 例 (40.9%) が低栄養状態 (BMI 値が 17.0 未満) であった。全国統計では BMI 値が 17.0 未満の割合は 2.3%⁸⁾ であるからこの割合はかなり高いと言える。したがって、アセトンが検出された場合、死因以外に合併する低栄養がアセトン検出に関与している可能性がある。今回、低栄養の 9 例中 3 例 (33.3%) が凍死で、高率に認められた。凍死は低栄養や痩せがその誘因になるので、凍死例におけるアセトンの検出は、凍死者にしばしばみられる低栄養状態がアセトンの産生に関与している可能性がある。低栄養時にはエネルギー基質として糖質の利用率が低下し、内因性脂質の利用率が增大するようになる⁹⁾ ことからアセトン値が上昇する。そこで、凍死 47 例の BMI を評価すると、BMI 値が 17.0 未満例はアセトンが検出された 36 例中 9 例 (25.0%) であり、非検出例 11 例中 3 例 (27.3%) で、アセトン検出例と非検出例では低栄養の割合がほぼ 25.0% と同じであったことから、凍死にしばしば合併する低栄養によってアセトンが生じた可能性は低いと判断された。また、アセトン濃度 0.15 mg/ml 以上の 22 例中 9 例 (40.9%) が低栄養であったが、死因としての飢餓死は含まれなかった。このことは低栄養が単に痩せてはいるが死因になるほどの栄養不良ではなく、他に死因となる病変や外傷を有している状態であり、飢餓死は栄養状態の不良そのものが生命に危険をおよぼすほどの状態で、その他死因となる内因性疾患や外傷がない状態と考えられる。したがって飢餓死では体内に蓄えていた脂肪酸をほとんど消費してしまい、ケトン体の産生すらできなくなった状態で死に至るため、アセトン値が高くないのではないかと推測される。

ケトーシスの病態として糖尿病やアルコール性肝障害などがある。本例では 47 例の凍死例において、独居、あるいは医者嫌いなどにより生前の病歴や生活状況が不詳であるものが多く、糖尿病の既往歴は完全には把握できていないが、少なくとも生前の病歴や組織検査などから糖尿病を疑わせる事例はなかった。また解剖時の血中アルコール濃度が 1.0 mg/ml を越える例

では 3-ヒドロキシ酪酸値は高く、1.0 mg/ml 未満例では 3-ヒドロキシ酪酸値は高値ではなかったという報告²⁾ を考慮すると、本研究でアルコールが検出された凍死 2 例ともに 0.6 mg/ml 以下であったことから、アセトン値がアルコールによるケトーシスによって高くなっている可能性は低いと考えられた。また肝硬変を含む肝障害例はアセトン検出例では 36 例中 5 例 (13.9%) であるが、非検出例でも 11 例中 3 例 (27.2%) に認められていることから、本研究での凍死例において、アセトン検出には直接関連しているとは考えられなかった。したがって凍死においてアセトンが検出される機序として、凍死本来の病態によることが推測される。凍死に至る過程でケトン体が上昇する機序としては、シバリングによって血液中のグルコースが過剰に消費されることや、インスリン拮抗ホルモンの分泌によってグルコースの細胞への取り込みが低下することでケトン体が上昇するという報告¹⁰⁻¹²⁾ がある。

一方、凍死の診断の解剖所見の 1 つとして、寒冷暴露によるストレスにより胃粘膜に W 斑という米粒大の潰瘍性の出血が認められる。本研究でアセトンが検出された凍死 36 例中 27 例 (75%) に W 斑を認め、一方、アセトン非検出例 11 例中、W 斑を認めたのは 4 例 (36.4%) であり、明らかにアセトンの検出例に W 斑出現頻度が高かった。この結果は W 斑の出現とアセトンの形成に関して共通の機序が考えられ、上記報告の機序以外の機序の存在も考えられた。W 斑の形成機序としては、低温時の酸素解離や酸素需要の減少により胃腸粘膜の血液循環が障害を受け、毛細血管の透過性亢進により、粘膜のうっ血が高度になり点状出血きたす¹³⁾ こと、また Takada¹⁴⁾ らは寒冷にさらされると、まず交感神経刺激により毛細血管が収縮し、さらに低体温が持続すると毛細血管の拡張が起これ、そのために同部に多量の再灌流が起き、強い出血が生じると報告している。しかし、これらの W 斑の生成機序は、アセトンの検出機序と直接関連性はないと考えられる。一方、W 斑の生成には生前に加わった低温によるストレスが関与しているため、出血の有無は外気温や低温に暴露されていた時間が大きく関与するものと考えられる¹³⁻¹⁵⁾。いいかえると寒冷ストレスを感じて、長い時間生存していた例の方が W 斑を生じやすく、寒冷ストレスを感じる前に死亡する例では W 斑が生じにくいと考えられる。また、アセトンが検出

される例も W 斑と同様，長時間寒冷に暴露された事例でみられ，短時間に死亡する例ではアセトンが肝臓で生合成され，血液に流れ出る前に死亡するため検出されないと推測される。したがって，寒冷暴露から死亡にいたる時間が長い例に W 斑やアセトンが生じるのではないかと思われる。

凍死 47 例中，46 例が血液および尿の両方が採取され，1 例が血液しか採取できなかった。46 例ともに血液と尿の両方からアセトンが検出されているため，どちらか一方のみアセトンが検出された例はなかった。また Table 1. に示すようにアセトン濃度は死因に関わらず，過去の報告⁴⁵⁾と同様，血中と比較して尿中で有意に高値を示した。アセトンが血液あるいは尿の一方から検出された場合，どちらの結果に信頼性を置くかという観点から，尿中アセトン値が高値を示す原因をさぐることは意義がある。その原因の一つとして，解剖時に採取した尿を冷凍保存し，後日測定するために，冷凍保存中に尿中アセトン濃度が上昇する可能性を疑い，解剖直後，1 週間後，2 週間後，5 週間後の 4 回測定し比較したが，濃度は変わらなかった。本研究においても，その原因は解明されなかったが，今後の検討課題である。

結 論

今回，凍死例では高い割合でアセトンが検出された。少なくとも死後経過時間が 50 日以内の血液および尿では死後変化の影響を認めず，凍死の補助診断としての価値が高いと判断された。凍死例でのアセトン検出は，誘因となる低栄養によるというよりはむしろ，凍死自身の病態で生じるものと推測される。

参 考 文 献

- 1) 木下 博之・窪田 彬・西口 美紀・大内 晴美・南 貴子・山村 武彦・内海 隆生・本村 浩之・阿比留 義勝・石井 敏文・菱田 繁：凍死の一剖検例—ケトン体分画測定の意義—。法医学の実際と研究。47：59-64, 2004.
- 2) 高橋識志・高田 綾・原正昭・米山克美・中西宏明・齋藤一之・黒須 明：法医連続剖検例における血清ケトン体値の統計的観察。法医学の実際と研究。57：109-18, 2014.
- 3) 迫恒志・嶋村 菜央・大塚洋輔・西尾 元：剖検診断における血中 3-ヒドロキシ酪酸値の有用性。兵医大医学会誌。40：69-72, 2016.
- 4) 舟山真人・加藤幸久・鈴木英樹：屍体血におけるアセトン値の診断的意味。法医学の実際と研究。33：145-150, 1990.
- 5) Rothschild, M. A. and Schneider, V. : "Terminal burrowing behaviour"—a phenomenon of lethal hypothermia. *Int. J. Legal Med.*, **107** : 250-256, 1995.
- 6) Teresinski, G. Buszewicz, G. and Madro, R. : The influence of ethanol on the level of ketone bodies in hypothermia. *Forens. Sci. Int.*, **127** : 88-96, 2002.
- 7) Kanetake, J. Kanawaku, Y. Mimasaka, S. Sakai, J. Hashiyada, M. Nata, M. and Funayama, M. : The relationship of a high level of serum beta-hydroxybutyrate to cause of death. *Leg Med (Tokyo)* , **7** : 169-74, 2005.
- 8) 厚生労働省：平成 27 年国民健康・栄養調査報告。Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare. Available at : www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkouzoushinka/kekagaiyou.pdf. 2015.
- 9) 桂巻正・平田 公一・向谷充宏：【外科と輸液・栄養管理 最近の考え方と管理の実際】 肝不全時の輸液・栄養管理。外科治療。88 (3) : 295-301, 2003.
- 10) Hanhela, R. Hollmen, A. Huttunen, P. and Hirvonen, J. : Plasma catecholamines, corticosterone, glucose and fatty acids concentrations and mean arterial pressure and body temperature in haemorrhagic hypovolaemia, hypothermia and a combination of these in the rabbit. *Acta. Physiol. Scand.*, **139** : 441-449, 1990.
- 11) Hirvonen, J. and Huttunen, P. : Hypothermia markers : serum, urine and adrenal gland catecholamines in hypothermic rats given ethanol. *Forensic. Sci. Int.*, **72** : 125-133, 1995.

(8)

Airi INOUE *et al.*

- 12) Lamke, L. O. Lennquist, S. Liljedahl, S. O. and Wedin, B. : The influence of cold stress on catecholamine excretion and oxygen uptake of normal persons., *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **30** (1) : 57-68, 1972.
- 13) 塩野 寛・清水恵子 : 凍死の法医学診断. **50** : 1-7, 2007.
- 14) Takada, M. Kusano, I. Yamamoto, H. Shiraishi, T. Yatani, R. and Haba, K.. : Wischnewski's gastric lesios in accidental hypothermia, *Am. J. Forensic Med Pathol.*, **12** (4) : 300-305, 1991.
- 15) 羽場喬一・山本秀隆・高田 実 : 寒冷死 (凍死) における死体所見, とくに Wischnewski 出血斑と局所損傷について. *法医学の実際と研究*. **32** : 83-289, 1989.