

脳CT画像における 死後変化と最近の研究動向

Postmortem changes and recent findings on brain computed tomography

西山 祐一^{1)*}, 竹下 治男²⁾, 北垣 一¹⁾

1) 島根大学医学部 放射線医学講座

2) 島根大学医学部 法医学講座

*現 徳島大学大学院 医歯薬学研究所 医用理工学分野

Key words: postmortem computed tomography, postmortem change, autopsy imaging, brain

【Abstract】

Postmortem imaging with computed tomography (CT) has become beneficial for forensic investigation because of the worldwide decline in autopsy rate. In Japan, postmortem imaging is referred to as autopsy imaging (Ai), and many general hospitals perform postmortem CT scanning to screen for the cause of unusual death as an alternative or complement to autopsy. Different from diagnostic imaging in living patients, a detailed understanding of postmortem changes is essential for Ai. In this paper, we review the typical postmortem changes and recent findings on brain CT.

【要旨】

世界的な解剖率の低下を背景に、死亡時画像診断の有用性が注目されるようになった。日本では死亡時画像診断はautopsy imaging (Ai) と呼ばれ、解剖の代替あるいは補充手段として主にcomputed tomography (CT) を用いて行われている。生体画像診断と異なり、Aiでは画像に反映される死後変化について熟知している必要がある。本稿では、頭部CT画像で観察される典型的な死後変化について、近年の研究知見を交えて概説する。

1. 諸 言

わが国の全死体解剖率はわずか2% (異状死体については11%) とされ、先進国の中でも極めて低水準である^{1,2)}。多くの異状死体が死因不明のまま処理され、殺人や虐待などの犯罪を見逃す危険性が以前から指摘されてきた。このような背景から、ここ数十年の間に死亡時画像診断が急速に発展してきた。死亡時画像診断はcomputed tomography (CT) やmagnetic resonance imaging (MRI) などの画像診断装置を用いて死体を検査し、死因究明の一助とするシステムのことである。日本ではautopsy imaging (Ai) という独自の名称が用いられ、現在では社会的にも広く認知されるようになってきた。特にCTを利用したAiでは、体内を短時間に広範囲かつ非破壊的に観察でき、解剖を巡るさまざまな問題を解消できる手段といえる。

Aiで得られる死後画像には生前の病変 (死因)、死

後変化、および蘇生術後変化の3者が混在する。生体画像診断の経験豊富な放射線科医であっても、死後変化や蘇生術後変化が死後画像にどのように反映されるかを熟知していなければ、Aiにおいて適切な診断を行うことは困難である。またAiでは画像診断を専門としない解剖医が読影を行う場合もあり、死後画像の特徴を検査部位やモダリティごとに把握しておくことが重要である。

本稿では、島根大学医学部附属病院におけるAiについて紹介するとともに、死後脳CT画像で観察される典型的な死後変化について最近の研究知見を交えながら概説する。

2. 島根大学医学部附属病院における 死亡時画像診断

島根大学医学部附属病院では2011年6月にAiセンターの運営を開始した³⁾。専用の16列CT装置が導入されており、24時間体制で撮影に対応可能となっている (Fig.1)。2015年度までに、2千例を超える撮影実績を残している (Table 1)。Aiは院外で死亡した症例に対する異状死スクリーニングの他、院内死亡に対しては生前に行われた医療行為の妥当性を検討する上でも有用である。当院では院内死亡患者の9割以上に対し、死亡確認から数時間以内にCT撮影が行われている。

Yuichi Nishiyama^{1)*}, Haruo Takeshita²⁾,
Hajime Kitagaki¹⁾

1) Department of Radiology, Shimane University
Faculty of Medicine

2) Department of Legal Medicine, Shimane University
Faculty of Medicine

* Present address : Department of Biomedical
Science and Technology, Graduate School of
Biomedical Sciences, Tokushima University



Fig.1 The CT scanner in the Autopsy Imaging Center at Shimane University Hospital

This 16-row multi-detector CT (Aquilion 16: Toshiba, Tochigi, Japan) has been used exclusively for post-mortem imaging.

3. 死後脳CT画像に見られる死後変化

世界的にも死亡時画像診断ではCTが使用されているため、特にCT画像における死後変化について十分な理解が必要となる⁴⁾。以下、死後脳CT画像に見られる典型的な死後変化の特徴を概説する。

Table 1 Inspection results from 2011 to 2015

Year	In-hospital death	Non-hospital death	Donor	Forensics examination	Total
2011	184	24	31	4	243
2012	285	30	47	31	393
2013	340	35	40	23	438
2014	370	46	47	48	511
2015	383	45	40	49	517

3.1 灰白質-白質間コントラストの消失

生体脳CT画像では、水分および脂肪含有量の差により灰白質は白質に比べて高吸収（高CT値）を示し、両者の境界が判断できる⁵⁾。しかし、死後脳CT画像では、典型的な死後変化として灰白質-白質間コントラストが消失する（Fig.2）。Takahashiらは、死後およそ1時間以内では、灰白質のCT値が白質のCT値に近づくことで両者の境界が不明瞭になることを明らかにしている⁶⁾。これは、血液循環停止に起因する浮腫性変化により、灰白質の含水量が増加することで生じると結論付けている。組織の自己融解によっても灰白質

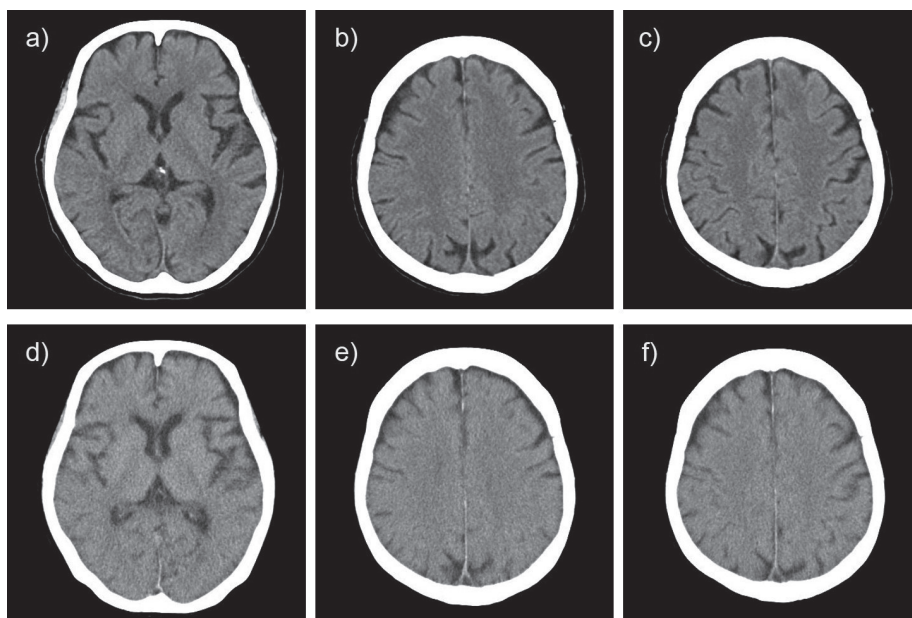


Fig.2 Antemortem CT scans and postmortem CT scans of a 72-year-old woman (a, d) basal ganglia level (b, e) centrum semiovale level (c, f) high convexity level

Antemortem CT (a, b, c) and postmortem CT (d, e, f) were performed 39 days before death and 433 min after death, respectively. Compared with antemortem CT scans, postmortem CT scans showed an unclear gray matter-white matter interface and slight loss of cerebral sulci without ventricular narrowing (Modified from ref.10).

濃度の低下は生じるが、これは主として死後24時間以降に生じるとされる⁷⁾。

死亡前に心肺蘇生術が行われた突然死の場合、白質CT値が上昇することで灰白質-白質間コントラストが消失する⁸⁾。心停止下の脳は虚血（低酸素）状態にあり、代償性に髄質静脈が拡張する。この際、胸骨圧迫による心肺蘇生術が施された場合、拡張した髄質静脈が充血し、白質が高密度となる⁹⁾。一方、心肺蘇生術を施していない場合であっても、白質CT値が上昇する例がいくつか報告されている^{10,11)}。近年、われわれは非突然死（院内死亡患者）における死後画像について、死後約1時間後から白質CT値が上昇することを明らかにした¹⁰⁾。しかし、その具体的な機序を特定するまでには至っていない。Shirotaらは、非突然死では心停止直前の死戦期呼吸が胸骨圧迫と同様の効果をもたらす可能性を指摘しており、今後の詳細な検証が望まれる¹¹⁾。

3.2 脳腫脹

死後脳組織の浮腫性変化が顕著になるにつれ脳溝および脳室が狭小化し、脳腫脹が観察される¹²⁾。脳浮腫は細胞性脳浮腫と血管源性脳浮腫に大別することができる。細胞性脳浮腫では個々の脳細胞が膨張することで細胞間隙が狭小化するため、脳全体の容積は大きく変化しにくい¹³⁾。死後早期の脳は超急性期脳梗塞に近い状態にあり、細胞性浮腫により灰白質-白質間コントラストの消失を認めることがあっても、高度の脳腫脹を伴うことは少ない⁶⁾。死後早期に強い脳腫脹を伴う浮腫性変化が認められる場合、生前に重度の低酸素脳症であった可能性が示唆される^{14,15)}。

3.3 脳脊髄液の高濃度化

死後脳CT画像では、生前画像に比べて脳脊髄液のCT値が上昇することも知られている。生前の病態(死因)や遺体が静置された環境条件によって程度は異なると考えられるが、脳脊髄液のCT値がおおよそ30HUまで上昇する例も報告されている¹⁶⁾。この機序としては、脳室周囲の組織からタンパク質様物質や血液成分が脳脊髄液へ浸出している可能性などが考えられているが、詳細については明らかになっていない。Hasegawaらは、同一の遺体に対して経時的にCT撮影を実施し、死後24時間以内であれば脳脊髄液のCT値と死後経過時間の間に強い正の相関があることを明らかにしている¹⁷⁾。死後早期の遺体については、脳脊髄液のCT値を測定することで死亡時刻をある程度推

定することが可能になるかもしれない¹⁸⁾。

4. 結 言

本稿では、死後脳CT画像で観察される死後変化を中心に概説したが、近年の死亡時画像診断ではMRIなどの複数のモダリティを組み合わせて行う例も増加している⁴⁾。今後は、さまざまなモダリティで得られる死後画像の特徴に関する知見を継続的に蓄積し、それらを体系化していくことが求められる。

5. 謝 辞

本稿を執筆するに当たり、JSPS科研費 JP17K17891 を活用させていただいたことに謝意を表したい。

表の説明

Table 1 検査実績 (2011~2015年)

図の説明

- Fig.1 島根大学医学部附属病院AiセンターにおけるCT装置東芝製16列CT装置をAi専用機として使用している。
Fig.2 72歳女性の死亡39日前および死後433分の頭部CT画像 (a, d) 基底核レベル (b, e) 半卵円中心レベル (c, f) 高位円蓋部レベル
生前画像 (a, b, c) に比べ、死後画像 (d, e, f) では灰白質と白質の境界が不明瞭化し、脳溝が狭小化している。脳室の大きさは生前と同程度である (文献10より改変)。

参考文献

- 1) Okuda T, et al.: Background and current status of postmortem imaging in Japan: short history of "Autopsy imaging (Ai)". Forensic Sci Int 225: 3-8, 2013.
- 2) Wichmann D, et al.: Virtual autopsy as an alternative to traditional medical autopsy in the intensive care unit: a prospective cohort study. Ann Intern Med 156: 123-130, 2012.
- 3) 金山秀和, 他: 実施施設一島根大学医学部附属病院一, Autopsy imaging検査マニュアル 第2版. 126-129, ベクトル・コア, 2015.
- 4) Baglivo M, et al.: The rise of forensic and post-mortem radiology—Analysis of the literature between the year 2000 and 2011. J Forensic Radiol Imaging 1: 3-9, 2013.
- 5) Brooks RA, et al.: Explanation of cerebral white-gray contrast in computed tomography. J Comput Assist Tomogr 4: 489-491, 1980.

- 6) Takahashi N, et al.: Quantitative analysis of brain edema and swelling on early postmortem computed tomography: comparison with antemortem computed tomography. *Jpn J Radiol* 28: 349-354, 2010.
- 7) Levy AD, et al.: Postmortem imaging: MDCT features of postmortem change and decomposition. *Am J Forensic Med Pathol* 31: 12-17, 2010.
- 8) Torbey MT, et al.: Quantitative analysis of the loss of distinction between gray and white matter in comatose patients after cardiac arrest. *Stroke* 31: 2163-2167, 2000.
- 9) Iida K, et al.: Delayed hyperemia causing intracranial hypertension after cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med* 25: 971-976, 1997.
- 10) Nishiyama Y, et al.: Whole brain analysis of postmortem density changes of grey and white matter on computed tomography by statistical parametric mapping. *Eur Radiol* 27: 2317-2325, 2017.
- 11) Shirota G, et al.: Brain swelling and loss of gray and white matter differentiation in human postmortem cases by computed tomography. *PLoS One* 10: e0143848, 2015.
- 12) Ishida M, et al.: Common postmortem computed tomography findings following atraumatic death: Differentiation between normal postmortem changes and pathologic lesions. *Korean J Radiol* 16: 798-809, 2015.
- 13) Liang D, et al.: Cytotoxic edema: mechanisms of pathological cell swelling. *Neurosurg Focus* 22: E2, 2007.
- 14) Fujioaka M, et al.: Specific changes in human brain following reperfusion after cardiac arrest. *Stroke* 25: 2091-2095, 1994.
- 15) Dedouit F, et al.: Reversal sign on ante- and postmortem brain imaging in a newborn: report of one case. *Forensic Sci Int* 182: e11-14, 2008.
- 16) Morikawa K, et al.: Time-related change evaluation of the cerebrospinal fluid using postmortem CT. *Leg Med* 22: 30-35, 2016.
- 17) Hasegawa I, et al.: Evaluation of post-mortem lateral cerebral ventricle changes using sequential scans during post-mortem computed tomography. *Int J Legal Med* 130: 1323-1328, 2016.
- 18) Koopmanschap DH, et al.: The radiodensity of cerebrospinal fluid and vitreous humor as indicator of the time since death. *Forensic Sci Med Pathol* 12: 248-256, 2016.