

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 29 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870102

研究課題名(和文) 死後MRIの死体検案における有用性の検討

研究課題名(英文) Validation study for postmortem MRI for death investigation

研究代表者

榎野 陽介 (Makino, Yohsuke)

千葉大学・医学(系)研究科(研究院)・特任講師

研究者番号：50725017

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：画像診断による死因究明制度の構築には、死後CTのみでは限界がある。本研究では車載式死後核磁気共鳴画像(MRI; magnetic resonance imaging)を用いて、法医解剖前遺体を撮影し、死後CT所見や解剖所見と比較し、死因究明に利用可能かどうかを検討した。結果、今回検討した全事例において、評価に耐える撮像が可能であり、今回我々が確立した方法が、死因究明に応用できると言えた。また、脳内微小出血病変など、明らかにMRIがCTよりも有用である所見が認められ、死後MRIの有用性も明らかにできた。一方で問題として、偽陽性所見などが認められ、今後さらなる検討が必要であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Postmortem computed tomography (CT) is not enough to establish the death investigation system based on imaging. It is recommended that some other imaging modalities to be performed. In our study, we have used mobile magnetic resonance imaging (MRI) for postmortem imaging prior to autopsy and evaluated its feasibility and utility for death investigation. As a result, all of the scans can be performed properly and it can be said our mobile MRI system is feasible for death investigations. From the comparison with CTs, there are some findings provided only by MRI, which suggests great advantages of this modality but some findings seem to be false positive. Larger numbers of cases must be included for future evaluation.

研究分野：法医学

キーワード：死後MRI 死後CT 死因推定 死後画像診断

1. 研究開始当初の背景

法医学に関する制度の不備を主因として、日本における異状死解剖率は先進国の中でとりわけ低い。近年、剖検率の低さを背景に、連続不審死事件やパロマガス事件等、多数の死者が出現するまで見逃される重大事件や重大事故が発生し、大きな社会問題となっている。解剖数増加の必要性が望ましいが、同時に死体検案の精度向上を進める必要がある。

本邦においては、CT は簡便でありかつ、解剖をしなくても体内を観察できるため、死体検案精度向上のために用いようという動きが活発である(文献 1)。しかし、CT 画像は物質の X 線に対する反応を表現しているに過ぎないため、コントラスト分解能が悪く、CT で指摘できる死因には限りがある。CT で指摘できない重要な所見とその原因として、申請者らはこれまでの検討などから、以下について報告してきた(文献 2-4)。

頸髄損傷及び頸部圧迫にともなう筋肉内の小出血(縊頸、扼頸、絞頸を含む)

CT で指摘できない主因: 頸髄内、頸椎周囲、頸椎椎間板内、あるいは頸部諸筋肉内に解剖で見られる微小な出血をコントラスト分解能が悪い CT で指摘することができない。また、頸部は歯や骨からの CT アーチファクトが形成されやすいため、画質が悪化し、指摘しにくくなる。

肺動脈内の血栓、冠動脈内の血栓

CT で指摘できない主因: 死後に形成された凝血塊との鑑別が CT ではできない。またコントラスト分解能が悪いため、血管壁と内腔の区別が困難である。

急性心筋梗塞における心筋の早期変化

CT で指摘できない主因: コントラスト分解能が悪く、正常心筋と早期の心筋梗塞により、出血などを起こしている心筋との区別が CT ではできない。

一方、核磁気共鳴画像法(MRI)は、既に広く臨床医学に用いられている断層撮影法である。CT に比して、組織コントラスト分解能に優れ、また骨からのアーチファクトがないことから、CT が不得手とする部分の観察に有用であることが臨床事例から知られている。原理的に死後 MRI を用いれば、上述の CT で指摘できない所見に関する問題点が解決できる可能性がある。MRI でこれらの所見が指摘できれば、頸髄損傷・頸部圧迫による窒息・肺動脈血栓塞栓症・急性心筋梗塞が指摘され得、検案の精度が、CT のみによる検案に比べ向上する可能性が考えられる。

頸髄損傷に関しては、臨床現場においては MRI によって指摘することが一般的である。死後 MRI に関しては、最近、Yen K らなどにより、上位の頸髄損傷が、指摘可能であったと報告された(文献 5,6)。しかし、これらの報告はいずれも対照事例を置かない小規模の検討数での報告であり、MRI で指摘できない頸髄損傷はあるのかという問題や、逆に

MRI の偽陽性はないのかという問題に対する検案は行われておらず、検案時に MRI を用いれば頸髄損傷がスクリーニングできるか否かについてはなお不明である。また、頸部圧迫の事例に関しても、Thali M らが多数の報告事例の中で、筋肉内の出血が見られた事例を散発的に示してはいるものの、同様に偽陰性事例や偽陽性事例に関しての検討は十分にされていない(文献 7)。

2. 研究の目的

この研究では、剖検施行前に車載式 MRI 装置を用い、

頸髄損傷及び頸部圧迫にともなう筋肉内の小出血の解析

肺動脈内の血栓、冠動脈内の血栓及び梗塞心筋の解析

上記の「死後 MRI 画像」と「剖検診断」の相互関係(偽陰性・偽陽性)の検討

以上の3点を最終的な目標としている。ただし、今回の研究期間では、まず車載式 MRI 装置により、死後 MRI の撮影が可能かどうか、長い撮像時間の中で死後変化が進まないかどうかについて確認することを主たる目的とした。また撮像した事例の中で、死後 MRI 画像と死後 CT 所見、解剖所見を比較し、その有用性を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 車載式 MRI による死後 MRI 撮影体制の確立

車載式 MRI はフリール社からレンタルした。全撮影において同じ MRI 機器 (Intera 1.5T Achieva, Philips, Amsterdam, Netherland) を搭載した車をレンタルした。車載式 MRI は図の様な大きさ 16 m × 4.5 m × 3.8 m 大、重量約 30 t の車両である(図 1)。車両の大きさから、研究施行場所(研究代表者が所属する千葉大学医学部キャンパス内)において、周囲の道路における通行許可の必要であったため、これを取得した。また、構内での設置場所に制限があるため、これを慎重に選定し、使用許可申請を行って、設置した。ご遺体の収納にはポリエチレン素材の遺体袋を用いた。ご遺体の搬送には専用の車両を用いて構内の移動を行った。



図 1: フリール社よりレンタルした 1.5T MRI 搭載車の実際の設置状況

(2) 死後 MRI 撮影が車載式 MRI により可能かどうかの確認

撮影条件決定のため複数撮影を重ね、画像的検討を行った。具体的にはまず、死後 CT 撮影を死後 MRI 撮影前に施行した。撮影条件、画像再構成条件は以下に記す通りである。このとき、MRI に入れる事ができない金属などが体内にないかを確認した。また体内の空気の分布を確認した。次いで、死後 MRI を撮影していくが、まず撮影開始前に、MRI の移動や傾きの影響が出るため、磁場調整を行ってから撮影した。また、適宜、体温・室温および撮影時刻を記載した。撮影には複数の撮影シーケンス（以下に記す）を用いた。解剖は撮影翌日朝に施行した。解剖直前に再度死後 CT を撮影して、最終的な状態を確認した。

死後 CT 撮影プロトコル

管電圧 120 kV、管電流 200 mA、ガントリ回転速度 1 回転/秒、スライス厚 頭頸部 0.625 mm、体幹部 1.25 mm、再構成間隔（全身：5 mm/1.25 mm、頭頸部：0.625 mm）、再構成条件（軟部条件 / 骨条件）

MRI 撮影プロトコル

頭部：ヘッドコイル使用、T1 強調画像（スピンエコー）、T2 強調画像（スピンエコー）、T2*強調画像、Fluid attenuation inversion recovery (FLAIR) 法、拡散強調画像、3DT1 強調画像、3DT2 強調画像

頸部：ヘッドネックコイル使用、T1 強調画像（スピンエコー）、T2 強調画像（スピンエコー）、T2*強調画像、拡散強調画像、3DT1 強調画像、3DT2 強調画像、脂肪抑制 T2 強調画像

体幹部および下肢：ボディコイル使用、T1 強調画像（スピンエコー）、T2 強調画像（スピンエコー）、T2*強調画像、拡散強調画像、T2map（心筋）、3DT2 強調画像

CTによる死後変化のMRI前後の比較評価の指標として、右心室内のガス量と、肝臓内のガス量を視覚的にそれぞれ3段階の視覚的評価レベルに分類した。

右心室 0:ガスなし 1:バブル状のガスあり
2:多量のガスあり

肝臓 0:ガスなし 1:血管内のガスあり
2:臓器内多量ガスあり

(3) 撮影画像、組織切片などの資料をもとに、それぞれご遺体の解剖結果もあわせて、研究協力法医学者、放射線科医、放射線科技師と討議し、死後 MRI 撮影を、死後 CT、解剖所見と比較評価した。

4. 研究成果

(1) 車載式 MRI による死後画像撮影の可能性
今回の研究期間内に撮影したご遺体に關

して、設置場所周囲からの苦情、構内での予期せぬ事故、ご遺体袋からの液体漏出や異臭などによる MRI レンタル業者からの苦情など、本研究を中止せざるを得ない様な問題は生じなかった。

(2) 撮影事例の詳細、撮影時間、死後変化と撮影実現可能性

今回の研究期間で撮影できたご遺体は 6 例であった。6 例の詳細を下表に記す。

| No. | 年齢 | 性別 | 撮影開始 | 撮影終了 |
|-----|----|----|-------|-------|
| 1 | 82 | 女性 | 10:30 | 18:30 |
| 2 | 77 | 男性 | 9:30 | 13:30 |
| 3 | 26 | 女性 | 14:00 | 18:00 |
| 4 | 4 | 男性 | 9:00 | 12:30 |
| 5 | 69 | 男性 | 10:00 | 14:00 |
| 6 | 66 | 女性 | 9:30 | 15:00 |

表: MRI 撮影事例の詳細

年齢は 4 歳から 82 歳までであり、平均年齢 54 歳であった。性別は、男性 4、女性 2 であった。

撮影時間は、3 時間半～8 時間までであり、平均して約 5 時間要した。プロトコルを最も多く使用し、撮影に長時間を要した事例 1 を除くと平均撮影時間は約 4 時間であった。

MRI 車の室温は 22-23 で設定され、温度を変えることはできなかった。各事例の撮影前後の直腸温を下図 2 に示す。撮影前後の直腸温度変化は 0.5-4 で、平均して 2.5 であった（図 2）。

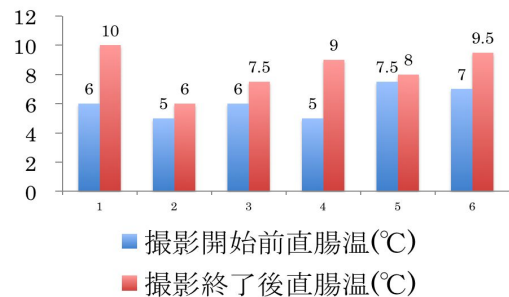


図 2：撮影開始前後の直腸温の変化

MRI 撮影前後の CT による空気の所見を比較したが、いずれの事例でも右心室内ガス、肝臓内ガスに大きな変化は認められなかった。一部の事例ではむしろガスの減少が認められた。（図 3, 4）

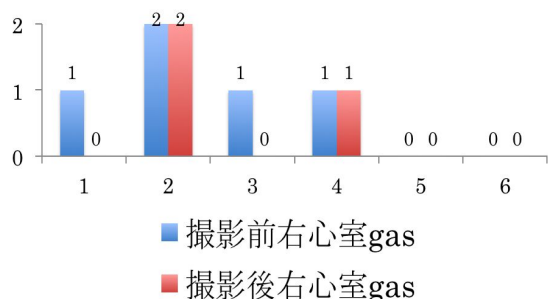


図 3：撮影前後の右心室内 gas の変化

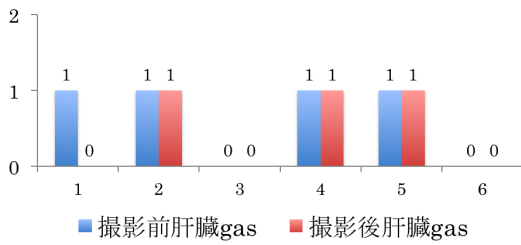


図4：撮影前後の肝臓内 gas の変化

(3)死後 CT、死後 MRI 所見、解剖所見の比較
現在詳細に解析中であるが、以下に列举する
ような死後 CT では発見できず、死後 MRI で
発見された所見が認められた。

脳内微小出血性病変 (図5)

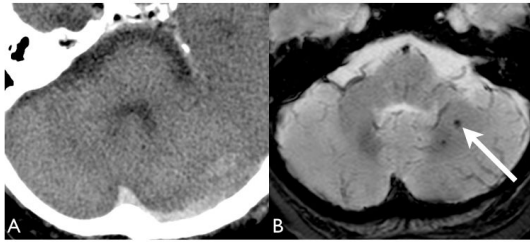


図5：同一事例の後頭蓋窩 CT(A)及び MRI (B, T2*強調画像)。MRI では CT で描出できない微小出血性病変が矢印の部分に示されている。

脳内血管奇形

急性期胸椎圧迫骨折による骨髄浮腫 (図6)

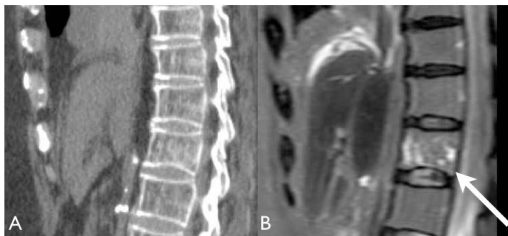


図6：同一事例の下位胸椎矢状断 CT(A)及び MRIT2 強調画像 (VISTA による) 矢状断。MRI では CT ではっきりしない骨髄の浮腫ないし出血による変化を明瞭に信号変化としてとらえている (矢印)。

また、以下のような画像所見は死後 CT でも指摘できるが、死後 MRI の方が死後 CT に比べて判定しやすいと考えられた。

脳ヘルニア (図7)

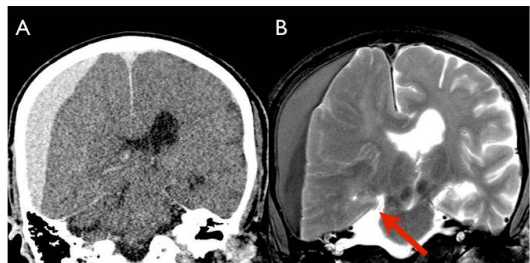


図7：同一事例の脳冠状断 CT(A)と MRI (B, T2 強調画像)。テントを超えて右海馬鉤回が押し出している。いわゆるテント切痕ヘルニアであり、その詳細が高い組織コントラスト描

出能によって描出されている (赤矢印)。
胸水等の貯留液の指摘及びその性状 (図8)

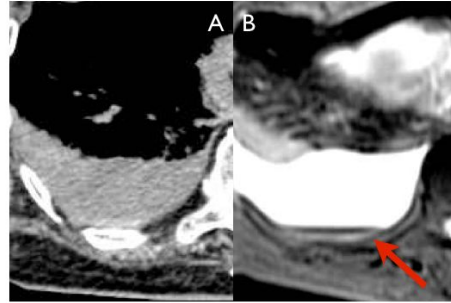


図8：同一事例の右胸水 CT(A)及び MRI (B, T2 強調画像)。MRI では赤矢印の部分に血性成分が水平面を作る黒い信号として明瞭に描出されるが、CT ではやや不明瞭で、骨のアーチファクトなどの様にも見える。

心血管内の凝血の有無の判定

筋肉内出血

骨折周囲の出血

一方で、以下に挙げる様な所見の中で偽陽性と考えられた。

心尖部の T2 強調画像における高信号病変：MRI では心筋浮腫性病変が疑われたが、実際には脂肪であった。

筋肉や皮下脂肪の T2 強調画像高信号 (図9)

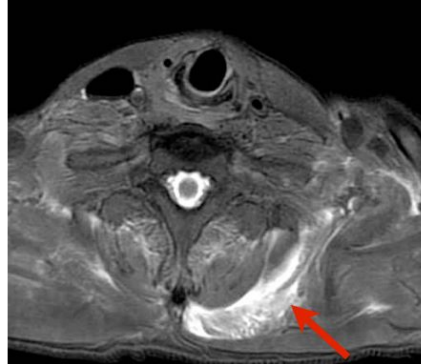


図9：図の如く MRIT2 強調画像では筋肉とその周囲の信号変化が認められ、外傷性変化が疑われたが、実際には出血など外傷を疑う変化はなく、死後変化等による非特異的所見と推定された。

(4)まとめ

我々は今回の研究で、車載式 MRI による法医学解剖前のご遺体の撮影方法を確立した。少なくとも今回施行した様に一度冷蔵庫に保管し、十分に直腸温が下がったご遺体においては、今回施行したプロトコルで長時間 MRI を撮影しても大きな死後変化 (直腸温上昇 4 以内、右心室及び肝臓内の腐敗ガス増加がない) を伴わず、研究を続けることができると考えられた。MRI は撮像時間が長ければ長いほど、様々なシーケンスが撮影でき、また加算回数を増やすことにより、良好な画質の撮影が確立できるため、今回の結果は今後死後 MRI 研究を進める上で非常に重要であると言える。

我々はまた今回の研究から、少ない対象事例ながら、死後 MRI の死後 CT に対する有用性を多数拾い上げることができた。脳内微小血管病変の指摘は、びまん性軸索損傷、びまん性血管損傷、脳内出血の責任病変の同定、アミロイドアンギオパチーなど致死的病態が指摘できる可能性が示唆された。これらはときに解剖所見でも拾い上げることが難しいものであり、非常に有用性が高いと考えられる。

脳ヘルニア、骨折の出血や浮腫、体腔内に貯留した液体の性状の判定なども法医学的に重要でありかつこれまで CT が不得手としてきた部分であり、死後 MRI の可能性の高さを示すことができたと言える。

一方で、MRI は撮影時間が非常に長くなるという限界と、偽陽性所見が出てしまうという限界も認められた。今後、どのようにこういった限界に対処していくかが、今後の検討課題である。また今回最終的な目標であった、頸髄損傷、心筋梗塞、肺血栓塞栓症などは、今回の研究期間に検査することができなかった。今後症例数を増やして、こういった問題を解決していきたい。

<引用文献>

Takahashi N et al, The effectiveness of postmortem multidetector computed tomography in the detection of fatal findings related to cause of non-traumatic death in the emergency department, *Eur Radiol*, 22 巻, 2015, 152-160

Hayakawa M et al, Does imaging technology overcome problems of conventional postmortem examination? *Int J Legal Med*, 120 巻, 2005, 24-26.

Iwase H et al, Can cervical spine injury be correctly diagnosed by postmortem computed tomography? *Leg Med (Tokyo)*, 11 巻, 2009, 168-174.

Kasahara S et al, Diagnosable and non-diagnosable causes of death by postmortem computed tomography: A review of 339 forensic cases, *Leg Med (Tokyo)*, 14 巻, 2012, 239-245.

Yen K et al, Postmortem multislice computed tomography and magnetic resonance imaging of odontoid fractures, atlantoaxial distractions and ascending medullary edema, *Int J Legal Med*, 119 巻, 2005, 129-136.

Okuda T et al, A case of fatal cervical discoligamentous hyperextension

injury without fracture: Correlation of postmortem imaging and autopsy findings, *Forensic Sci Int*, 225 巻, 2013, 71-74.

Thali Met al, Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)--a feasibility study, *J Forensic Sci* 48 巻, 2003, 386-403.

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計5件)

Yamaguchi R, Makino Y, Chiba F, Torimitsu S, Yajima D, Shinozaki T, Iwase H, Fluid-Fluid Level and Pericardial Hyperdense Ring Appearance Findings on Unenhanced Postmortem CT Can Differentiate Between Postmortem and Antemortem Pericardial Hemorrhage, *American Journal of Roentgenology*, 査読有, 205 巻, 2015, W568-77
DOI:10.2214/AJR.15.14808

Makino Y, Yamamoto S, Shiotani S, Hayakawa H, Fujimoto H, Yokota H, Horikoshi T, Iwase H, Uno T. Can ruptured abdominal aortic aneurysm be accurately diagnosed as the cause of death without postmortem computed tomography when autopsies cannot be performed? *Forensic Science International*, 査読有, 249 巻, 2015, 107-111.
DOI:10.1016/j.forsciint.2015.01.022

Makino Y, Abe H, Yokoyama M, Torimitsu S, Chiba F, Yokota H, Oka T, Iwase H. Mercury embolism of the lung and right ventricle revealed by postmortem computed tomography and X-ray analytic microscopy. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 査読有, 11 巻, 2015, 464-467.
DOI:10.1007/s12024-015-9696-2

Makino Y, Inokuchi G, Yokota H, Hayakawa M, Yajima D, Motomura A, Chiba F, Torimitsu S, Nakatani Y, Iwase H, Sudden death due to coronary artery dissection associated with fibromuscular dysplasia revealed by postmortem selective computed tomography coronary angiography: A case report, *Forensic Science International*, 査読有, 253 巻, 2015,

e10-5.
DOI:10.1016/j.forsciint.2015.05.015

Inokuchi G, Makino Y, Motomura A, Chiba F, Torimitsu S, Hoshioka Y, Iwase H, Fatal right coronary artery rupture following blunt chest trauma: detection by postmortem selective coronary angiography, International Journal of Legal Medicine, 査読有, 130 巻, 2015, 759-63
DOI:10.1007/s00414-015-1215-1

〔学会発表〕(計 5 件)

Makino Y, Differences between postmortem CT and autopsy findings in forensic investigation of cervical spine injuries, 5th Congress of the International Society of Forensic Radiology and Imaging (国際学会), 2016 年 5 月 12 日, Amsterdam, Netherland.

榎野陽介、横田元、矢島大介、猪口剛、本村あゆみ、千葉文子、鳥光優、宇野隆、岩瀬博太郎、頸損傷事例の解剖所見と CT 所見の比較検討、第 51 回日本医学放射線学会秋季臨床大会、2015 年 10 月 2 日、アイーナ(岩手県、盛岡市)

榎野陽介、死後 CT による死因究明のピットフォール、札幌医科大学大学院医学研究科主催死因究明先端研究セミナー(招待講演)、2015 年 9 月 16 日(北海道、札幌市)

榎野陽介、死後 CT 検査から得られる情報の有用性と限界について、日本医学写真学会(招待講演)、2015 年 7 月 4 日、アルファあなぶきホール(香川県、高松市)

Makino Y. Metallic particles in the lung and the right heart wall detected by post-mortem computed tomography: Two case reports, 4th Congress of the International Society of Forensic Radiology and Imaging (国際学会), 2015 年 5 月 15 日発表, Leicester, UK.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎野 陽介 (MAKINO Yohsuke)
千葉大学・大学院医学研究院・特任講師
研究者番号：5 0 7 2 5 0 1 7