



Radiology Sea Change Vol.3

Autopsy imaging

死後画像読影に向けた取り組み

今井 裕

東海大学 副学長
東海大学医学部附属病院 本部長

兵頭 秀樹

北海道大学大学院医学研究院
死因究明教育研究センター 法医学部門 特任准教授

Introduction 東海大学 今井 裕

死因究明の意義は、一人の人間の死の原因を探るのみならず、今後起こり得る多くの死を防ぐきっかけになり得る極めて重要な作業である。もちろん人体解剖は、肉眼での情報のほかに、細胞レベルでの変化を捉えることができ、死因究明において極めて重要な情報を提供する。一方、死後画像は、ご遺体を損壊することなく、身体内部の変化を捉えることができ、さらに得られたデータを客観的に評価することができる。

Radiology Sea Change Vol.3では、わが国における死後画像の現状と課題、そして今後期待される死後画像の意義や展望について、皆さんとご一緒に考えてみたい。

Mini-Review – Autopsy imaging – 北海道大学 兵頭 秀樹

日本における年間死亡者数は2003年に100万人を突破し、2005年には出生数を上回るようになった¹⁾。少子高齢化などを背景に死亡者数の増加は顕著であり、2015年には130万人を超え、2025年までには150万人に達すると予測されている²⁾。日本はすでに、高齢化社会の次段階に当たる、「多死社会」を迎えつつある。

多死社会の到来を見据え、国民の健康を増進し医療制度を改善していくためには、正確な死因のデータを取得し、死亡に寄与している要因を把握することが重要である。しかし、現状わが国では死因を特定するための解剖の実施率は極めて低い水準にあり、病理解剖、司法解剖、行政解剖の3種類いずれの解剖も各々年間1万例程度に留まっている³⁻⁵⁾。死亡者のうち、死亡時点で死因の明確でない異状死者数は年々増加し、2013年には約17万件にのぼっていることから⁶⁾、死因の究明はむしろ困難な状況に直面していることが明らかである。この解剖実施率の低さは主としてマンパワーの不足によるものであり、行政解剖を行うための監察医制度は現在4都市（東京23区・大阪市・名古屋市・神戸市）でしか運用されておらず、解剖資格を持つ医師の数自体が十分に確保されていない。解剖実施率が低下しているのは世界的な問題ではあるが⁷⁾、日本においてはより深刻な現状となっている。

この状況を受けて、政府は2012年に「死因究明等の推進に関する法律」を制定し、死因究明を推進していくためのフレームワークを定めた。その重点施策のひとつとして科学的な調査の活用がうたわれており、薬毒物検査の充実と並んで取り上げられているのが、死亡時画像診断である。死亡時画像診断はAutopsy imaging (Ai) という用語でも表現され、主としてCTなどを用いた死後画像によって死亡時の病変や器質的变化を検出し、死因となる原因の把握を目指す学問領域を指している。日本ではオートプシー・イメージング学会や法医学会が研究基盤を担っており、海外でもpost-mortem imagingやvirtual autopsyなどの名称で、盛んに研究が進められている。

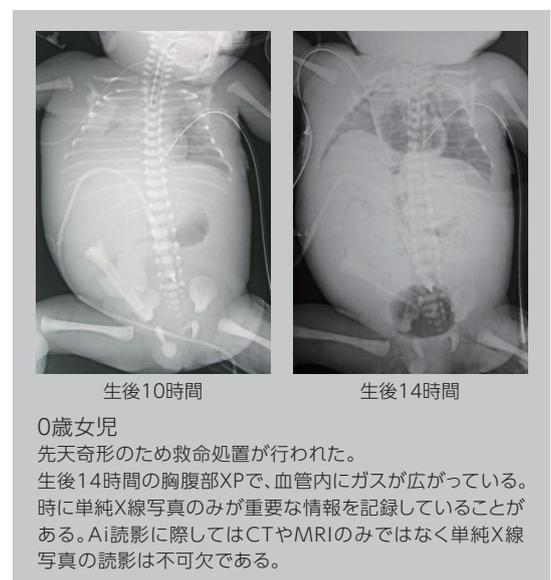
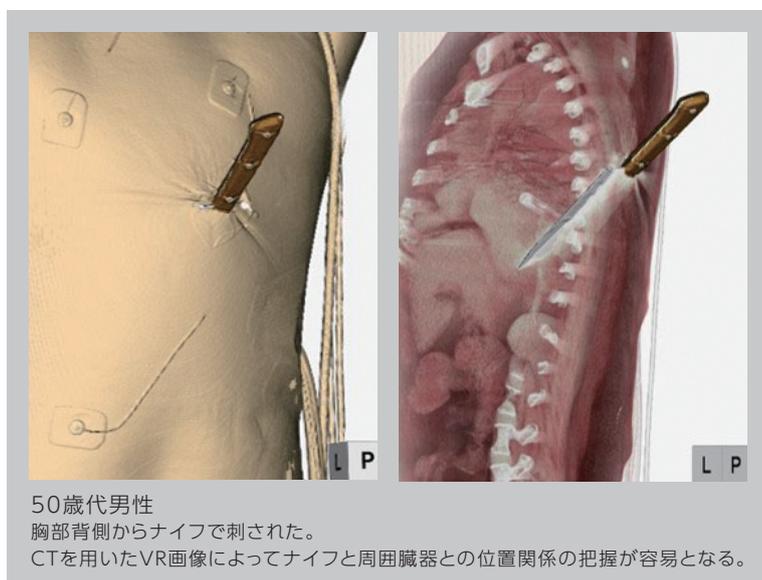
解剖が体系的、肉眼的な検査にとどまるのに対し、Aiでは非外傷性の内臓内部の病変や肉眼では検出しにくい異常も見つけることができる場合があるため、両者を併用することで死因の特定の精度は大幅に改善される。また、遺体の損壊を伴わないAiは侵襲性が低いため、遺族感情の点からは受け入れられやすいと考えられ、死因を特定する機会に寄与すると考えるのである。

Aiにおけるもっとも主要な科学的課題は、解剖の代替として耐えうる有用性を持つ手法かどうかの検証である。2012年の英国の研究では、検死に供された182例を対象にCT、MRIによる死後診断と剖検の所見を比較し、相違率はCTで32%、MRIで43%であった⁸⁾。また、診断医が剖検の必要がないと判断する自信度も評価しており、これらの症例では相違率が有意に低下していた。概してCTおよびMRIによる診断は正確であったが、虚血性心疾患、肺塞栓症、肺炎、腸管虚血など突然死に多い原因疾患で誤診が認められ、剖検の代替として用いるにはこの点での改善が望ましいと結論づけている。Wichmannらは院内死亡例に対して生前の診断とCTによるAiおよび剖検を比較する研究を行っており⁹⁾、単純CTでは心血管疾患の評価が困難であることを考慮して、多相CT血管造影（CTA）を用いている。その結果、Aiとの一致率は93%、剖検は80%を示し、また、心血管疾患についても生前診断114例に対してAiは110例を検出し、特定の対象によってはCTAによりAiの精度が改善されることが示された。

その後ApitzschらはAiにおけるCTとCTAを直接比較し、CTAで心血管が死因の場合、正診率が有意に改善されたと報告している。Aiの有用性については、胸痛を伴う突然死の死後読影¹⁰⁾、CTとMRIを比較した研究¹¹⁾などによって、徐々にエビデンスが集積されつつある。

一方で、読影技術の向上も重要な取り組みである。Aiの読影において特に考慮すべきなのが、生前からの解剖学的変化である。例えば救急搬送例では蘇生術を行った際に、心臓マッサージによる肋骨骨折や、人工呼吸や輸液などの手技によるガス・液体の貯留を引き起こすことが少なくない¹²⁾。また、死亡に伴う血液就下、脳浮腫、大動脈壁の高吸収化、臓器の自己融解なども特徴的な所見であり¹³⁻¹⁴⁾、診断精度を高めるにはこうした変化についてさらなる研究が必要である。

Aiに今後求められる役割は死因究明だけにとどまらない。研究面では、特に脳神経研究を中心に、死後画像を用いた病変の検証的研究が行われている¹⁵⁻¹⁶⁾。また、社会面では「小児医療の向上、児童虐待の防止、在宅医療等高齢者医療の向上、犯罪の見逃し防止、被災者の身元確認など様々な社会的課題への対応にも有効な方策」¹⁷⁾と位置づけられている。すなわちAiは、画像診断装置の普及率が高い日本の医療施設のインフラを活用して人材の不足を補うのみにとどまらず、さまざまな学問的、社会的インパクトを提供する可能性を持つ研究領域であると言える。



画像ご提供：兵頭秀樹 先生

Experts Dialogue



兵頭 秀樹先生 (左)、今井 裕先生 (右)

I. 死因究明の政策的枠組みと医療現場への導入

今井: オートプシー・イメージング (Ai) は歴史を遡ると古く、レントゲンによりX線が発見された1895年の3年後には遺体から画像を撮影したという報告があります。1970年代に開発されたCTやMRIも、1980年代後半以降から遺体の撮影に使われたという記録が残っています。近年になって、ベルン大学のThaliらの研究を契機として、bloodless (出血がない)、non-invasive (侵襲がない)、without scalpel (メスのいらぬ) の剖検として注目を集めるようになりました。

兵頭: いわゆるVirtual Autopsy、あるいはVertopsyなどと呼ばれる概念ですね。

今井: そうです。日本では、病院で亡くなった方の病理解剖の実施率が非常に低いということに加え、世間を揺るがせた大きな刑事事件や事故、大災害などが契機となって、死因究明に対する社会的なニーズが高まり、Aiが導入されつつあります。従来、死因究明、特に事件性のある事例は警察が中心的な役割を担い、監察医制度に基づいて死体解剖や剖検を行ってきたのですが、実態としては東京を除き非常に少ない人数で運用されており、必要な数の死因究明やその情報公開がなされておらず、地域間格差がかなり大きいという問題がありました。この状況を受けて、まずは警察が取り扱う異状死を含めた医療機関外死亡 (以降、機関外死亡) に対する政策面での取り組みが始まりました。

兵頭: 病院内での診療関連死に対する政策としてはいかがでしょうか。

今井: 診療関連死に対する政策としては、2005年に厚生労働省と日本内科学会が中心となって立ち上げた調査分析モデル事業を端緒として、2014年に医療事故調査制度が成立しました。この制度では、調査を行う日本医療安全調査機構医療事故調査・支援センターに届け出があると、院内の事故調査委員会と当該事例の専門家による院外の個別調査部会の2つの報告をもとに、同センターの総合調査委員会が取りまとめて最終報告書を作成します。難しい事例の場合は、さらに専門のオブザーバーを入れることもあります。このように非常に大掛かりなシステムになっているのですが、この院外個別調査部会には放射線科医が専門家として参加することも多く、死因究明やAiについての議論で中心的な役割を担っています。

死因究明のニーズが高まる要因となった事件と政策面での推移

1996 (平成8年)	・パロマ給湯器事件 一酸化炭素中毒死
2007 (平成19年)	・時津風部屋 力士暴行死事件
2011 (平成23年)	・東日本大震災
2012 (平成24年)	・死因究明等の推進に関する法律(議員立法)が成立 ・内閣府に「死因究明等推進計画検討会議」が設置される

兵頭: 一方、医療現場サイドでの取り組みとしては、まずガイドラインの作成が進められました。私が関わったのは2012年からなのですが、その時点では院内死亡の取り扱いについてのガイドラインしかないという状況であったため、医療機関外での異状死に対する画像読影のガイドラインを編集する作業に入りました。その専門委員会の中に先行していた院内死亡を主として対象としたAiワーキンググループからメンバーが参加し、院内での死後画像の使用事例やその方法、読影、さらには感染防止などについてもディスカッションを行いました。ガイドブックではなく、エビデンスベースの学術的なガイドラインに仕上げていくことを意識して、日本医学放射線学会や日本法医学会、オートプシー・イメージング学会、日本救急医学会、あるいは日本小児放射線学会などに所属されている死後画像、Aiの専門家の先生方にも検討委員会に参加していただきました。こうしてできたのが、2015年に出版した「死後画像読影ガイドライン」です。

今井: 多くの学会、多くの先生方にご協力いただきました。

兵頭: ここで「読影」という言葉を使っているのは、死因を「診断」することはできないというご指摘に基づいており、臨床の「画像診断」のガイドラインとは区別するためです。このガイドラインの対象はあくまで機関外死亡なのですが、画像そのものは院内も院外も共通する部分が多いので、院内死亡例についても参考にさせていただけるのではないかと考えています。読者の先生方からも幸いにして大変良い評判をいただいております。海外からのリクエストで現在英訳版を作ることも検討しています。実は国際的にもこのようなエビデンスに基づいた読影のガイドラインはないので面白い取り組みになるのではないかと考えています。

今井: 確かに、興味深いプロジェクトです。

兵頭: 英訳しておけば、米国などでもその国独自に必要なトピックを足して使うことができますし、さらに欧州言語に訳すことも容易で、日本の取り組みが世界に広がるということになります。ただ、この分野は急速に研究が進んでいて論文も次々と出ていますが、ガイドラインの基礎となるような文献は2014年以前のもので、既に古い状態になっています。毎年とはいかないまでも、5年ごとくらいには改訂していきたいと考えており、今その準備を進めているところです。

II. 放射線科医と法医学者の役割

今井: Aiの推進に関しては、学会レベルでの普及の取り組みが進められています。日本医学放射線学会では学術集会で教育

講演やシンポジウムを組んでおり、Aiの重要性を伝えるために大きな役割を担っていると言えます。また、日本医師会は頻繁に研修やセミナーを催していますので、ぜひ多くの先生方に参加していただきたいと思います。また、先述のセンター調査制度を通じて、内科医や外科医と放射線科医が協力して画像の問題を考える機会は増えているので、関連学会との連携も今後さらに進んでいこうと考えています。機関外死亡例に関しては、都道府県内の大学や地域の中核病院、医師会で協力して実施しているのですが、やはり地区によって差があるのは否定できないところで、一般に大学の放射線科と法医学や警察との連携はまだそれほど強いとは言えません。

兵頭: ご指摘のとおりで、確かに放射線科と法医学との間に距離があります。そして同時に私が懸念しているのは、読影スキルの差が問題になるのではないかとことです。例えば放射線科医であれば、がんの骨転移を画像から容易に発見することができますが、他科の医師ではなかなか難しいでしょう。そういう慣れていない人が見た情報で検案を進めるということに危うさを感じています。機関外死亡での読影にはもうひとつ難しい点があり、それは死亡後相当の時間が経過しているご遺体が多いということです。その場合、放射線科医でも通常の医学的知識だけで対応することは難しく、法医学的なトレーニングが必要になってきます。一方で院内死亡でも、病理医が病理解剖診断を行っていることが多いのですが、やはり病理医の本務は死因を調べるのではなく病因を突き止めることですので、現場でも苦労しながら対応されていると聞いています。このように機関外死亡と院内死亡の違いを十分に理解しなければならぬのですが、とはいえ現実的に最も明るい可能性を持っているのは放射線科医ということになりますので、主導的な立場を取っていく必要性が高いでしょう。

今井: 逆に私たち放射線科医は、法医学の先生方のように刃物などによる外傷の影響のことには詳しくありませんし、兵頭先生がおっしゃられたような、時間が経過したご遺体での死後変化については、時間だけでなく温度や場所によっても左右されるため、非常に判断が難しいのです。こうした生前の画像との乖離があること自体がまだ十分に浸透していないという問題もあります。

兵頭: 死後変化については海外でも研究している国はほとんどなく、多くは日本発のものです。それはおそらくアプローチの違いであり、日本では亡くなった原因を画像をもとに調べる

という目的から死後画像あるいはAiが出発しているのですが、海外では死亡者の特定や犯罪の証拠を見つけるためのツールとして使うという意味合いが強いです。

今井: 欧米の多くの国では検死官 (coroner) 制度が取られており、監察医や法医学者、メディカル・エグザミナーの権限と責任が明確に細分化されているという特徴がありますね。

兵頭: そういう相違点を踏まえて、日本での研究やその情報発信は重要な意味を持つと思います。また、国内でもやはり学会を活用したり、組織的にも交流ができるようにして放射線科医と法医学者のコミュニケーションを活発にしていけることが望ましいですね。

Ⅲ. Aiの普及推進と人材育成

今井: 設備の面では、救命救急の単純CTで撮影しているケースが多いかと思います。研究によってCTで判断のできる疾患も多くなっているのですが、まだわからない疾患もあるというのが現状です。しかし、今後MRIも普及するようになれば、今までわからなかったような疾患も特定できる可能性があるため、今後はMRIによるAiの知識の蓄積と経験により、診断能を向上できるのではと思っています。

兵頭: MRIがブレイクスルーとなり得ることについては、世界的には報告も出てきておりますし、院内死亡では装置にアクセスできる環境もありますので、期待できると思います。特に心臓での期待が大きく、従来の検視や病理組織解析より早い段階での虚血性障害の検出に優れている事が示されてきています¹⁶⁾。

今井: ただ残念ながら日本でMRIを使用した報告はまだ少なく、海外には後れを取っています。そこをクリアするには日本でもMRIの使用を促進するか、あるいは別の方法を取るかという選択を迫られる時期が来るでしょう。

兵頭: 今井先生がおっしゃる経験と知識という点では、やはり機関外死亡例で時間が経過している場合に、パラメータの設定を変えなければならないという点で難易度が高くなります。また、MRIでのもうひとつの問題は時間がかかるということで、現場での優先順位が関係してくるほか、亡くなられた方の葬儀の段取りなどを考えると、実はAiはスケジュールが非常にタイトなのです。その点では短時間で済むCTの有用性は高いですし、今後も使われていくのではないかと思います。装置以外の部分で今後重要になってくるのは、血液や尿を用いた薬毒物解析や生化学検査でしょう。画像で体内の様子が例えば3割、4割しか

分からないとしても、毒物や内因性の項目、炎症など検査の結果を合わせて考えると、画像では見えなかったものがより高い確信度をもって分かるようになります。解析を画像に加えた新しい領域を作っていけば、より死後画像の価値も高まりますし、日本が目指す死因究明というところにも結びついて行くのではないかと思います。

今井: Aiはあくまでも死因究明のための道具のひとつですから、薬毒物解析や解剖との補完性がなければいけないということですね。例えば、解剖の前にAiを撮っておいて、どのようにすれば正確な解剖ができるかということ Aiの画像から知ることができ、解剖すべき部位とそうでない部位の把握にもつながると思います。特に多くの診療関連死の場合、生前の画像は非常に参考になります。より深く考えていけば、どのような病態が致死的な病態なのかということを知ることができ、ではそれを予防するためにはいかなる治療法が良いのか、新たな治療があり得るのか。そのような今後の医療への洞察につながると考えています。

兵頭: そのような補完性を高めていくには、現状各施設がバラバラでやっているのを、センター方式のような形で解析を集約できれば、コストを抑えながら効率とクオリティを上げることができるのではないか、また今後はそのような方向性で進んでいくだろうと考えています。

今井: センター方式というポイントは内閣府の会議でも話題になりまして、ひとつのアイデアとして出たのは各都道府県に死因究明センターを作ろうという案です。すなわち、解剖、Ai、薬毒物解析のための設備、スタッフを揃えたセンターを作れば非常に効率が良いという意見も出たのですが、やはりインフラ、すなわち誰がお金を出すのかということが非常に難しいようです。死因究明センター等の設置に関しては、やはり各都道府県の財源に期待したいところですが、各都道府県によって設置の必要性に関する考え方や財源も異なります。したがって意見がまとまるには、まだ時間がかかりそうです。

兵頭: あとはそれを行う人をどうトレーニングするかということが課題ですね。臨床では人工知能を用いて画像診断をするという動きもあるのですが、Aiではもう少し人間の手でベーシックなことを明らかにしていく作業をしないと行けないという段階です。ですので、最終的にはAiを担う人がどのようなトレーニングを受けているか、そしてあとは関わる人の間で良好なコミュニケーションが取れるかどうかということが重要なファクターだと思います。

IV. Aiの意義と今後の展望

今井: Aiの意義は、冒頭にも述べたとおり解剖の実施率が極めて低くなっている状況で、ある程度の死因に関する情報を担保できるということでしょう。もちろん解剖のデータもあれば望ましいですが、少なくとも死後画像があればそれを死亡診断書の中に反映できますし、それ以後の類似事例に対しても有益ですから。それは法医学の観点から言えば犯罪の見逃しを防止することや、事故や事件の防止、多くの人を巻き込むような食中毒や感染症の同定、また診療関連死においては再発の防止に結びつくだらうと考えています。

兵頭: 検案に際して検視官から死体の検死要請が来る時、書類に画像が添付されていることも非常に多くなりました。むしろ画像がない場合に、検察の方から警察にリクエストが行くようになり、検察サイドからでもCTの撮影を指示するようになりました。法曹界でもAiの重要性については確実に認識されるようになっていきます。英国や豪州などの海外では、すでに画像だけで裁判の証拠として採用されるようになってきているようです。日本ではまだ解剖所見が必要になるとは思いますが、画像を含めて薬毒物解析、あるいは周りの環境捜査という情報を記録していくことの重要性は高まっていくでしょう。

今井: 解剖の代替という意味では、Aiはご遺体の損壊が非常に少ないという利点もありますから、ご遺族の理解と承諾も得やすいですね。

兵頭: 国の見解としては、死後に造影を行うことは、ご遺体の損壊には当たらないという方向性になると聞いています。造影剤を使うことができれば、これまでAiでは診断が難しいとされてきた血管損傷による疾患の判別精度も上がるということが分かっていますので、死因の究明にさらに貢献できるでしょう。また、医学教育に活用する動きも始めています。実例としては、亡くなられた方のご遺体を検体として解剖実習で用いる際に死後画像があれば、手技のトレーニングを行う前にご遺体の状態を把握でき、また学生の手技や理解の向上にもつながるといようなアイデアもあります。

今井: 今後の課題ということで挙げれば、まずはコスト面でしょうか。現在のところ、制度的に撮影料、読影料などAiにかかる費用の扱いが不明瞭になっていて、機関外死亡例については警察の費用負担があるのですが、院内死亡では病院の持ち出しになっています。補助金はあるのですが、装置の設置費用やランニングコストもかかりますので、Ai専用のCTやMRIを維持するのはなかなか難しい状況です。

兵頭: 病院の方はインフラ整備のコストに対する収入源がないので、まだやりくりの余地がある法医学とは差が出ているという

問題がありますね。Aiを継続していくためにも、そのあたりのコストは政策面で解決していくが必要になってくると思います。

今井: もうひとつの課題はやはり人材不足です。死因究明等推進計画検討会議の時点でもすでに課題として上がっていたのですが、死因究明を実施する人材、特に法医学の医師があまりにも少ないので、いかにしてこのような人材をリクルートしていくか。また、放射線科医も繁忙を極めていて、なかなかAiの読影の業務を行う余裕がないというのが現状ですので、そこも戦略的に考えていく必要があると考えています。

兵頭: 放射線科医の役割はますます重要になっていきます。死後画像の読影は形態だけではなく時間軸が重要となるイメージングですが、まだ誰も説明ができない経時変化が手つかずに残っています。放射線科医としてのトレーニングはこれら画像上に見えない変化を読み解き、数値化し記述化するために必須となります。画像診断の能力を医療(病院)以外の広い社会に生かす道があることを感じて放射線科医を志す人が増えてくれることに期待したいです。

今井: 放射線科医というのは、頭の前からつま先まで全身を知っていないといけないと同時に、人が生まれる前の胎児のときから死後まで、今やまさにAiを通じて死因の診断学も学ぶべきだと思います。そういった意味で、非常にスケールの大きなところに魅力がある学問領域だということを伝えたいですね。

兵頭: 放射線科医は読影を通じて付加情報を提供することによって、担当科の医師やチームのパフォーマンスを高めることができます。これはなかなか業績などには反映されない裏方のような仕事に見えるのですが、実は非常に重要なところだと考えています。そのために今大事だと思うのは、単純画像のトレーニングをきっちりやる体制を作るということです。先程も話題に出たように今後はMRIなどの技術にも期待がかかるころなのですが、実際にAiの具体的な事例で目にする画像のほとんどは単純画像であり、それを読み取るための力をつけることが重要です。そういう意味でも、単純画像を読み慣れている私たちの世代が、若い方たちに技術を伝えていくことは重大な使命だと思っています。

今井: Aiから学ぶ何が、日常診療に生かせる。さらに、致死的な病態に対する予防や新しい治療法の開発につながっていくはずですので、ぜひAiの重要性を多くの人に伝えていきたいと思っています。そして、Aiがその後の解剖実施の有無にかかわらず、責任を持って社会に死因究明につながる重要な情報を提供し、貢献できる学問領域となることを願っています。

Key Paper Summary

Lancet

Post-mortem imaging as an alternative to autopsy in the diagnosis of adult deaths: a validation study.

Roberts IS et al.: Lancet. 2012;379(9811):136-142.

本研究では、成人の死因特定における低侵襲的診断方法として死後CT及びMRIの精度を剖検と比較している。死亡成人に対し剖検前に全身CT及びMRIを実施し、剖検結果を知らされていない放射線科医が独立して読影した。その結果、死亡統計に影響し得る死因特定の重大な相違がCTでは32%、MRIでは43%、両方の読影者のコンセンサスでは30%で認められ、CTの方がMRIよりも精度が高いことが示された。死因特定において画像検査で多かったエラーは、虚血性心疾患、肺塞栓症、肺炎、腹腔内病変であった。ただし、突然死の原因として頻度の高い疾患はCT及びMRIでは見逃されることが多いため、剖検の代替法とするにはこの点を改善する必要がある。

兵頭: 単純にAiが解剖に置き換えられるものではないことを示した論文。Aiと解剖の相補的な利用が始まるきっかけとなったものであり、MRIがCTに“負けた”という点も注目される。MRIの利用はより厳密に行った方がその高い性能を発揮できると考えることができる。

Eur Radiol

Non-invasive or minimally invasive autopsy compared to conventional autopsy of suspected natural deaths in adults: a systematic review.

Blokker BM et al: Eur Radiol. 2016;26(4):1159-1179.

本研究では、系統的文献レビューにより、自然死が疑われる成人に対する非侵襲的又は低侵襲的な検死法と標準的な剖検との比較を行っている。非侵襲・低侵襲法として用いられたのは、CT、MRI、US、組織生検、CT血管造影などで、いずれの方法も剖検を上回る精度は得られなかった。非侵襲法ではCT・MRI併用時に死因一致度が最も高かったが、非侵襲法よりも低侵襲法の方が優れていた。死因に対する感度が最も高かったのはCT・CT血管造影・組織生検の併用であり、生検を含めた低侵襲法が最も優れていると考えられる。今後の研究では、従来の剖検に代わる方法について実施費用に関する検討も必要である。

兵頭: 解剖検査に代わりうる方法はCT・CTA・biopsyである、という論文。世界は解剖を減らす方向に向かっているが、それは現状の高い実施率を低下させようとする目的であり、日本のように10%前後からはじまる議論とは異なる点に注意が必要である。

PLoS One

The use of contrast-enhanced post mortem CT in the detection of cardiovascular deaths.

Apitzsch JC et al.: PLoS One. 2014;9(4):e93101.

本研究では、心血管死の死因の検出における造影死後CT (PMCT) と従来の非造影PMCTの比較を行っている。20例を対象に、新規に開発されたバリウム含有造影剤による動脈内灌流及び肺換気の前後に64列マルチスライスCTによる撮影が全身に実施された。造影前後のCT画像について死因及び信頼度を判定し、PMCTの結果について盲検下で実施した剖検結果と比較した。その結果、造影画像では非造影画像と比べて、信頼度および診断精度が有意に高かった。20例中16例が心血管死であり、全例が造影CTにより死因が特定された。造影PMCTは心血管死の死因を診断する上で実施が容易で信頼性が高いことが示された。

兵頭: 複数の論文が示すように、死後早期例 (本論文では死後24時間以内) では、死後造影が情報を得る上で必要条件であろうと考えられる。院内死亡例での死後画像の活用法について示唆している論文である。

Virtual autopsy with multiphase postmortem computed tomographic angiography versus traditional medical autopsy to investigate unexpected deaths of hospitalized patients: a cohort study.

Wichmann D et al.: Ann Intern Med. 2014;160(8):534-541.

本研究は、multiphase CT血管造影による仮想剖検と従来の剖検を比較した単一施設の前向きコホート研究である。予期しないまたは心肺蘇生を要するイベント後48時間以内に死亡した入院患者を対象に、生前診断と剖検診断を比較したところ、仮想剖検で93%、従来剖検で80%が生前診断を特定した。また仮想および従来剖検により、重要な診断16件と軽微な診断238件が新たに特定された。仮想剖検による診断中73件は、multiphase CT血管造影のみによるものであった。以上から、仮想剖検にmultiphase CT血管造影を加えることは予期しない死亡の死因特定能を改善し、従来剖検に代わる実施可能な手段となることが示された。

兵頭: 院内死亡例に対する解剖（日本でいう病理解剖）に比べ、造影を用いたPMCTがより多くの情報をもたらすと報告しており、“病理解剖を超えた”とする内容。世界は解剖を減らすためにエビデンス作りが必要であり、造影CTにその可能性を見いだそうとしている。

Changes in aortic shape and diameters after death: comparison of early postmortem computed tomography with antemortem computed tomography.

Takahashi N et al.: Forensic Sci Int. 2013;225(1-3):27-31.

本研究では、同一患者で実施した生前CTとPMCTとを比較し、大動脈の死後変形について検証している。非外傷性死因による死亡例58例を対象に、生前及び死亡直後に多列検出器型CTで撮像した体幹部画像に基づいて、大動脈径及び水平断面における長軸/短軸比 (Ma-MiR) を比較した。その結果、検査した大動脈（上行、下行及び腹部）では死後に径の有意な縮小が、下行大動脈及び腹部大動脈で死後Ma-MiRの有意な増加がそれぞれ認められた（いずれも $p < 0.001$ 、Wilcoxon signed-rank test）。検査したすべての大動脈径は、生前及び死後CTとも66歳以上の方が65歳以下より大きく、減少率は65歳以下の方が大きかった。したがって、死後画像所見の解釈では大動脈の死後変形を認識しておく必要がある。

兵頭: 生前と死後を比較して、血管形状の死後変化を報告している。日本のAi研究の特徴である、同一例で生前と死後の画像を検討した貴重な報告。

Postmortem pulmonary edema: a comparison between immediate and delayed postmortem computed tomography.

Shiotani S et al.: Leg Med (Tokyo). 2011;13(3):151-155.

本研究では、異なる時点で実施したPMCT画像の解釈の一助となる情報を得る目的で、非外傷性死因による死亡例3例に対し、PMCTを死亡直後及び数時間後の2回実施（剖検前）し、肺のPMCT所見の経時的変化を検証している。即時PMCT画像と比較して、遅延PMCT画像ではうっ血性肺浮腫に一致する進行した荷重部高吸収域（dependent opacity）と浸潤影（consolidation）が認められ、肺における血液沈査が確認された。死亡後時間が経過するほどPMCT所見が大きくなるため、死因同定には即時PMCTの方が望ましい。一方、遅延PMCTは剖検所見をより正確に反映する。即時及び遅延PMCTでの所見の特性理解により、それらの有用性が高められる。

兵頭: 死亡直後と数時間後に撮像したAi画像を比較し、死後の肺野の変化を病理組織学的に検証している。死後画像が経時的に変化する“4次元画像”であることが理解できる。

Time-related course of pleural space fluid collection and pulmonary aeration on postmortem computed tomography (PMCT).

Hyodoh H et al.: Leg Med (Tokyo). 2015;17(4):221-225.

本研究では、法医学におけるPMCT所見の解釈を助ける目的で、PMCT上の胸部所見経時的变化について検証している。12例を対象に4～164時間(平均30.8時間)間隔でPMCTを2回実施し、胸腔内液体体積、肺実質体積、含気肺体積減少(DLV)、%DLV(=DLV/肺実質体積)、胸腔体積を比較した。2回目PMCT上の胸腔内液体体積と%DLVは1回目に比べ有意に増加した($p=0.0469$ と $p=0.0161$, Wilcoxon signed-rank test)。胸腔内液体体積の増加速度は、死後30時間に増加かつピークに達した後低下し、死後42時間にはほぼゼロとなった。DLV速度は死後30時間の間に低下してほぼゼロとなった。死後の胸腔内液体貯留体積及びDLVの経時的变化を理解することは、正確な読影のために重要である。

兵頭: Aiで胸水貯留があった場合、生前からの胸水か、死後に生じた胸膜液なのか判断する際、死後経過時間が目安となるとしている。

Post-mortem CT and MRI: appropriate post-mortem imaging appearances and changes related to cardiopulmonary resuscitation.

Offiah CE et al.: Br J Radiol. 2016;89(1058):20150851.

検死や法医学調査において、死因特定や本人確認のためにCTやMRIが用いられるようになっている。本文では、検死症例を対象に、PMCT及びMR画像における適切な変化、並びに心肺蘇生に関連する医原性変化についてレビューしている。PMCT及びMRIでは造影剤が用いられないことに加え、死後の通常プロセスとして組織及び臓器に様々な変化が生じるだけでなく、死亡時に受けた心肺蘇生によりPMCT及びMRI所見に大きな変化が認められる。画像読影に携わる放射線医及び病理医は、こうした変化について知っておくことで、死後の通常変化を病理学的プロセスや外傷に起因するものと誤って解釈することを回避できる。

兵頭: 英国発。死後変化の簡単なレビュー。レファレンス21文献中11論文が日本発であり、日本のAi研究(特に死後経過に関する研究)は、この領域で重要な知財となっている。

Diagnostic accuracy of post-mortem CT with targeted coronary angiography versus autopsy for coroner-requested post-mortem investigations: a prospective, masked, comparison study.

Rutty GN et al.: Lancet. 2017;390(10090):145-154.

本研究では、英国成人(18歳以上)で「自然死」および「疑問の余地のない非自然死」の検死症例210例を対象に、冠動脈造影併用死後CT(PMCTA)の死因を特定する精度を剖検と比較し前向きに評価している。検証の結果、193例(92%)でPMCTAにより死因が特定された。剖検とPMCTAで特定された死因の不一致率に有意差はなかった(χ^2 test)が、PMCTAは外傷及び出血の特定に優れ($p=0.008$, χ^2 test)、剖検は肺血栓塞栓症の特定に優れていた($p=0.004$, χ^2 test)。成人の自然突然死の場合、PMCTAにより侵襲的剖検を回避できる可能性がある。本研究では、検死の標準法として、PMCTAと剖検の両方を含めるべきと提案している。

兵頭: PMCTAを用いた死因判定では、カルテ、体表所見、薬毒物、生化学の結果と合わせて可能性を探らなければならない、としている。Aiの進むべき方向性を示している。

Conclusion 東海大学 今井 裕

死後画像は、診療関連死と機関外死亡いずれにおいても死因究明において重要な意義を担うことは間違いない。しかし、それには政策的な枠組みの中での実施体制の確立、地域における大学・医療機関や警察等の協力態勢の充実、そして何よりも実際に死因究明を担当する人材の育成が重要である。今後は死後画像をはじめとする種々の科学的な技術を用いた死因究明から得られる多くの情報が、これからの社会の発展に大きく貢献することを心から願っている。

Reference

- 1) 厚生労働省「平成 27 年(2015) 人口動態統計の年間推計」2016
- 2) 内閣府「平成28年版 高齢社会白書」2016
- 3) 日本病理学会「年度別の剖検数」2014年
- 4) 警察庁「司法解剖の実施」2014年
- 5) 警察庁「都道府県別死体取扱状況」2013年
- 6) 内閣府「死因究明等推進計画」2014年
- 7) Shojania KG et al.: N Engl J Med.2008, 358, 873-875
- 8) Roberts IS et al.: Lancet 2012, 379, 136-142
- 9) Wichmann D et al.: Ann Intern Med.2014, 160, 534-541
- 10) Ross SG et al.: Radiology 2012, 264, 250-259
- 11) Offiah CE et al.: Br J Radiol.2016, 89, 20150851
- 12) 厚生労働科学研究費補助金地域医療基盤開発推進研究事業「診療行為に関連した死亡の調査分析」における解剖を補助する死因究明手法(死後画像)の検証に関する研究「死後変化を病変と誤認しないための読影ガイドライン」2009
- 13) Okuma H et al.: PLoS One 2013, 8, e76026
- 14) Ishida M et al.: Radiol Med.2015, 120, 662-669
- 15) Kilsdonk ID et al.: Brain 2016, 139, 1472-1481
- 16) Smith R et al.: Brain 2016, 139, 2372-2379
- 17) オートプシー・イメージング学会「Ai(オートプシー・イメージング)適用ガイドライン(Ai学会案)」2012
- 18) Ruder TD et al.: Br J Radiol. 2014, 87, 20130567

Resume



今井 裕

東海大学 副学長
同 医学部付属病院本部長
同 専門診療学系画像診断学 教授

- 1978年 慶應義塾大学医学部 卒業
- 1978年 慶應義塾大学医学部放射線科 入局
- 1988年 米国ペンシルヴァニア大学医学部放射線科 訪問講師
- 1995年 国家公務員共済組合連合会立川病院放射線科 部長
- 2000年 慶應義塾大学医学部放射線科学教室 専任講師
- 2001年 東海大学医学部総合診療学系放射線医学 教授
- 2010年 東海大学医学部 学部長
- 2016年 東海大学 副学長
- 2017年 東海大学伊勢原校舎・付属病院本部 本部長



兵頭 秀樹

北海道大学大学院医学研究院 死因究明教育
研究センター(法医学部門) 特任准教授
ベオグラード大学Clinical Center of Serbia
客員教授

- 1990年 愛媛大学医学部医学科 卒業
- 1990年 自治医科大学付属病院レジデント
- 1994年 自治医科大学放射線医学教室 病院助手
- 1997年 米国Texas MD Anderson Cancer Center留学
- 2000年 札幌医科大学医学部放射線医学講座 助手
- 2007年 札幌医科大学医学部放射線医学講座 講師
- 2012年 札幌医科大学医学部法医学講座 特任講師
- 2016年 北海道大学大学院医学研究院 死因究明教育研究センター
(法医学部門) 特任准教授

Clear Direction. > From Diagnosis to Care.



Bayer

資料請求先

バイエル薬品株式会社

大阪市北区梅田2-4-9 〒530-0001

<http://bayer.co.jp/byl>