

JSPR

Vol.27 No.1 2011

Journal of
Japanese Society of Pediatric Radiology

日本小児放射線学会雑誌



特集／Ai（オートブシーイメージング）

総説

症例報告

日小放誌
J.J.S.P.R.

日本小児放射線学会

<http://www.jspr-net.jp/>



Journal of Japanese Society of
Pediatric Radiology

JJSPR
VOL.27 NO.1
2011

Edited by

Editor in Chief : Eiji Oguma, M.D.

Editorial Board :

Hiroshi Kanamaru, M.D.

Masataka Higuchi, M.D.

Tatsuo Kono, M.D.

Masahiko Urao, M.D.

Takeshi Mouri, M.D.

Yutaka Tanami, M.D.

CONTENTS

Special Articles *Autopsy Imaging*

- Introduction Eiji Oguma 3
1. Ai - current status and making a valid system design - Seiji Yamamoto 4
2. Autopsy imaging (Ai) : Postmortem imaging findings Seiji Shiotani, et al. 14
3. Autopsy imaging (postmortem imaging) in childhood - practical implementation guide -
..... Hideki Hyodoh 25
4. Topics of autopsy imaging (Ai) in patient safety and medical litigation
..... Tsuyoshi Hasegawa, et al. 33

General Remarks

- Clinical application of capsule endoscopy for pediatric patients Tetsuya Nakamura 41
- Significance of pulmonary arterial size measured by echocardiography as a predictor
of outcome in congenital diaphragmatic hernia Tadaharu Okazaki 48
- Pediatric neuroimaging in the condition of acute unconsciousness and convulsion
..... Hideo Yamanouchi 53
- Effectiveness of fetal MRI for the detection of neonatal diseases Shigeko Kuwashima 60

Case Reports

- A case of painful os sustentaculi Toshiaki Yagami, et al. 66
- Two cases of spinal infection in children Akihiro Hoshino, et al. 71



目 次

特集 Ai (オートプシーイメージング)

特集を企画するにあたって	小熊栄二	3
1. Ai -現状と有効な制度設計にむけて	山本正二	4
2. Ai (オートプシーイメージング) 所見と読影の基礎	塩谷清司, 他	14
3. Ai -実施体制について-	兵頭秀樹	25
4. Ai -医療安全・医療紛争に関わる諸問題	長谷川剛, 他	33

総 説

カプセル内視鏡の小児への応用	中村哲也	41
先天性横隔膜ヘルニア：超音波画像からみた肺動脈のサイズと予後	岡崎任晴	48
意識障害とけいれんをきたす小児神経疾患の画像診断	山内秀雄	53
胎児 MRI が役立つ疾患	桑島成子	60

症 例 報 告

Painful os sustentaculi の1例	八神俊明, 他	66
小児脊椎感染症の2例	星野顕宏, 他	71

特集

Ai (オートプシーイメージング)

Autopsy Imaging

特集を企画するにあたって

小熊 栄二

埼玉県立小児医療センター 放射線科

Eiji Oguma

Department of Radiology, Saitama Children's Medical Center

現在、Ai (オートプシーイメージング: Autopsy imaging) という“社会制度”が姿を現しつつある。従来外表所見や死亡状況から死因が推測されてきた多くの死に対し、画像診断により死因究明を進めていこうとするものであり、また最終的な医療の結果の確認を行うものであり、そして小児においては虐待など生前の養育状況に問題がなかったかどうかを併せて探索するものである。

各地に死後画像診断を専門とするCTスキャナーの導入が進められている。どのような社会制度とするのか、厚生労働省において「死因究明に資する死亡時画像診断の活用に関する検討会」が開催されており、今まさに設計図が姿を現しつつある。

本特集の企画は揺籃期にあるAiの現状についての知識の共有を目的とした、本学会を構成する、小児に関心を持つ放射線科医、小児科医、小児外科医はこれまでAiを積極的に推進してきた領域とは言えないが、今後否応なくAiに向き合うことを余儀なくされる可能性がある。日本医師会の医療・医学における死亡時画像診断活用に関する検討委員会は、2010年3月に「小児全例について体表からのみではなくAiで死因を確認すべきである。」との答申を行っており、上記の厚生労働省の検討会の中でもその答申を踏まえた議論がなされている。

小児期死亡(0~15歳未満)は2009年度で年間4,481名、乳児期死亡がその57%にあたる2,556名である。死因は先天奇形が1/4、周産期からの呼吸器障害、悪性新生物など長い経過をたどり死因究明はあまり問題とされないものも多いが、一方、不慮の事故547名(12%)、乳児突然死症候群154名(3.5%)など急速な転帰をたどり、積極的な死因究明が不可欠なものがある。その最たるものが年間50件に達しているとされる虐待による死亡である。これらの対象を前に、どのようにして有効・有益な制度としてAiを確立するかを考える契機にしたいと考えて本特集を

企画した。

今回、大変にお忙しい中、短期日での寄稿をお願いした4人の先生を、誠に手短で失礼ながらご紹介し、あわせて感謝を申し上げたい。

山本正二先生はAi学会理事長、そしてAi読影の第三者機関をめざす一般財団法人Ai情報センターの代表理事として有効な社会制度としてのAiを模索し、確立するための活動に従事されている。今回はAiの概念や制度として目指すところについてご寄稿いただいた。

塩谷清司先生は筑波メディカルセンター放射線科で長年Aiを実践されている第一人者であり、山本先生とともに厚生労働省の検討会に加われ、Ai情報センターの理事となり、日本発のエビデンスを発信されている。本特集ではAiの所見と読影の基礎につきご教示をお願いした。

札幌医科大学の兵頭秀樹先生は放射線医学の様々な分野で精力的にご活躍中であり、Aiにも草創期から係わられている。大学病院の中で実践的な体制の中で運用中のAiにつき、その実施体制を小児・新生児領域の画像を提示されながら、ご紹介をいただいた。

自治医科大学の長谷川剛先生は呼吸器外科医として研究・臨床に従事されながら、医療安全対策部教授も兼務され、医療安全についても広く発信されている。本特集ではAiと医療安全・医事紛争に係わる諸問題についてご寄稿をお願いした。

Aiが死亡数の多い成人中心に行われているため、今回の特集についても症例提示などは成人例中心にならざるを得ない。それを承知でのお願いであり、小児例に焦点を当てていない責めは企画を行った編集委員が負わなければならない。Aiの目的、どのように運営していくのか、現在の実情などについては実践的な情報が得られ、学会員の先生方の施設での議論に役立てていただけるのではないかと願っている。

特集 *Ai* (オートプシーイメージング)

1. *Ai*—現状と有効な制度設計にむけて

山本正二

Ai情報センター

Ai—Current status and making a valid system design—

Seiji Yamamoto

Ai Information Center

Abstract

Diagnostic imaging has been attracting attention as a tool for investigating the cause of death. This is called *Ai* (Autopsy imaging) in Japan, and has become widespread as an alternative to autopsy. More than one million CT systems are available in Japan, and can help determine the cause of death.

The number of expert radiologists who can diagnose on the basis of imaging and have knowledge of changes on imaging after death is limited. We have constructed Ai Information Center that links hospitals with an ensuring security network system.

The data are sent from the CT equipment of each hospital, and image diagnosis is made in Ai Information Center that has centralized administrative control over all of the data. Ai Information Center has radiologists who are proficient in interpreting images after death. We have put a compression transfer system to practical use. It is that dicom data and accompanying clinical information are sent from the Ai gateway system placed at each hospital to Ai Information Center via the internet.

Ai image information is often more than 300MB, because of the whole body image data.

We succeeded in sending images within 10 minutes even from poor line status areas, by compressing these data.

Ai network system is useful for areas where there are many CT devices and few radiologists like Japan. Similar examinations can be conducted anywhere in Japan, and can provide objective information. Ai system will be introduced as a new death investigation system.

Keywords : *Ai, Autopsy imaging, Ai Information Center*

はじめに

海堂尊著「チームバチスタの栄光」「死因不明社会」などのベストセラーにより一般人の認知が先行する形で死後画像(オートプシーイメージング(以下*Ai*))は社会に普及してきた。これは、医療界においてはかなり特異な現象である。医療界で

は、*Ai*が提唱された2000年以降、*Ai*学会にリードされるような形で、日本医師会(2007年)、日本放射線技師会(2008年)などが検討会を立ち上げた。実際の読影に関与する団体である放射線科としては、2009年1月に日本放射線科専門医会・医会(専門医会)が*Ai*ワーキンググループを作り、2009年10月の*Ai*ガイドライン(ベクトルコア)の出版へ

とつながっている¹⁾。臨床学会のAiに関する動きはさらに鈍く、救急学会がやはり2009年に検討会を立ち上げたのが最初で、読影の主体となるべき日本医学放射線学会(日医放)は、2010年6月に始まった厚生省の「死因究明に資する死亡時画像診断の活用に関する検討会」で、Aiに関する研修制度に対する予算が付いてから初めて動き出したというのが実情である。このような状態であるから、小児科医、産婦人科など実際にAiの導入が必要だと思われる部署の認知度はさらに低いというのが現状だろう。今回のような特集を通して、より多くの臨床家にAiの有用性について理解して頂ければと思う。

Ai導入前の死因究明について

医療界において医療過誤ならびに死因究明に焦点が当てられたのは、やはり1999年におきた、横浜市立大の患者取り違え事件と、都立広尾病院の注射器取り違え事件からだろう。これらの事件を契機に医療の安全神話が完全に崩れ、医師や医療機関の権威が失墜した。さらに、患者の権利意識の高まりも加わり、2000年代前半には医療訴訟件数が急増してきた。これに追い打ちをかけたのが、2004年に生じた福島県立大野病院事件だろう。この事件は、産科医が臨床上標準的な医療を行ったのに業務上過失致死罪に問われたことが問題視され、医療団体など医療界全体が抗議した(最終的には、産科医が無罪となり検察も控訴を断念)。このように、異状死届出をすると、刑事事件として医師が罪に問われる可能性があることに危機感を抱いた医療側は、2004年に4学会(日本内科学会、日本外科学会、日本病理学会、日本法医学会)が「診療行為に関連した患者死亡の届出について～中立的専門機関の創設に向けて～」という声明を発表した。これを受け、厚生労働省は、医療事故の原因を究明し、医療の安全と質の向上を図るという目的で、医療事故調査委員会の設立を目指した(ただし、2008年4月第3次試案が公開されて以来、進展はない²⁾。これを支える事業として、2005年9月から2010年3月まで概ね5年の間、日本内科学会が運営主体となり、厚生労働省補助事業として「診療行為に関連した死亡の調査分析モデル事業」が実施された。この事業の目的は解

剖を前提に死因究明と診療行為の医学的評価を行い、診療行為の是非の判断と再発防止の二つを事業の目的としていたが、2010年3月31日時点で、モデル事業対象地域より計105の事例を受け付けたに留まり、終了調査報告書が出たものは82の事例だけであった。また、調査報告書が出るまで掛かる期間は平均10.4か月、1例あたり合計で94.7万円かかっている。問題点としては、①解剖重視の調査と評価の限界、②遺族への説明の難しさ、③費用対効果の悪さ、④評価する医師の資格と人材難、⑤再発防止対策に不可欠な院内調査を第三者機関が代行するなどが挙げられる。十分な効果を上げたとはいえないにもかかわらず、2010年4月からは日本医療安全評価機構と名前を変え存続している³⁾。これらの結果は、解剖を前提とした死因究明制度にはやはり限界があることを示している。

Aiの現状

1. 解剖の限界

なぜ解剖を前提とした死因究明制度には限界があるのだろうか。これは、死因究明の最終手段が剖検であることにはついては異論はないが、実際に日本で剖検ができる数に限界があるからだ。剖検がどの程度行われているかについて再度確認してみる(Fig.1)。2007年時点で、我が国の年間死

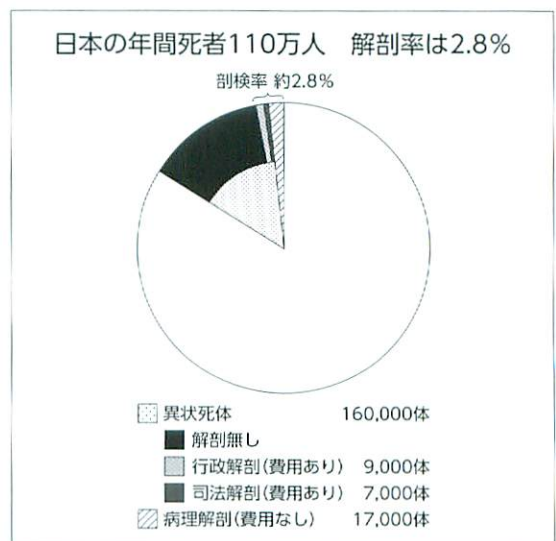


Fig.1 年間死亡者数と解剖

亡者総数は約110万体制である。また、異状死体は年間16万体制発生しているといわれる。病院外で死亡する症例に対しては通常司法解剖、行政解剖が行われるが、司法解剖は7千体制程度で若干増加傾向にある。行政解剖は東京、大阪、兵庫、神奈川、愛知など監察医制度があるところで9千体制、それ以外の地域では480体制(2009年)と地域格差がかなりある。これらをあわせても、1万6千体制程度で、異状死全体の約10%程度しか剖検されていないということになる。それでは、病院内で通常行われる病理解剖はどうか、日本病理剖検輯報によると2005年の19,347件から、2007年の16,797と年々減少している。これらを全てあわせた現時点の剖検率は2.8%となってしまう。これは、100人の症例があったとすると、3人しか正確な死因究明がされてないということである。これでは、いくらモデル事業を制度化したとしても、解剖を前提としては症例が集まらないというのも当然だろう。現実にはモデル事業では5年間で100体制程度しか実施できていないのである。この現状を危惧し、医療の現場でできることは何かと考え、実践されてきたものがAiである。

2. Aiは既に行われている

実は実際の医療現場ではかなり前からAiが実施されていた。それは、救急関連のAiである。Ai学会が行った2005年のアンケートでは、89%の救急病院でAiが実施されているとの回答があり⁴⁾、また、2009年に日本救急医学会診療行為関連死の死因究明等の在り方検討特別委員会Ai作業部会が行った「救急科専門医に対するAiに関するアンケート(救急科専門医2,848名にアンケート、回収率27.7%)」では、救急科専門医の65%がAiの経験があるという結果であった。これは、Aiという言葉が今までなく、心肺停止後に行う画像検査をAiと呼ぶのだと認識されるようになったこと、また、このようなアンケート調査を行うことで初めて実態が明らかになってきた。これはまず、Aiという概念が定着していなかったということもあるが、来院時心肺停止で搬送された症例を保険請求するために「生きていることとして」検査されることが多く、死後画像検査を実施していることをあまり公にしたくなかったことなどもAiが行わ

れている実態が社会にあきらかにならなかった要因として挙げられる。Ai自体は、CT装置などがあればどこでもできる検査であるが、Aiという概念がなかったために学会などで発表する場がなく、症例もまとまらないという悪循環を起こしていた。当然のことながら、Aiが社会に認知されてくると、“Aiを知っている人”は、17%('05年)から89%('09年)に急上昇している(同アンケート結果)。

残念ながら、放射線科医には、死体に画像診断をするという発想はなかった。Aiという言葉を使って死後画像検査を一つの学問にするという発想が重要であり、それを提唱したのは、病理医であり現在作家である海堂尊である。この発想は、まさにコロンブスの卵である。またAiは、どこでも平等にCTを使って客観的な死因究明を行うことが可能で、全国に1万台以上CT装置がある日本の事情によくあった死因究明方法である。これも今後、Aiが日本で普及する一つの要因となるだろう。

3. Aiの実際(Fig.2)

それでは、一般臨床医などが今後経験するであろうAiには、どのようなケースがあるのだろうか。大きく病院内で死亡した症例と病院外で死亡した症例に分けて考えると理解しやすい。

A：院内で死亡した症例に対するAi

現在、病院内ではどのような症例に対してAiが行われているか。大きく2つのパターンが考えられる。

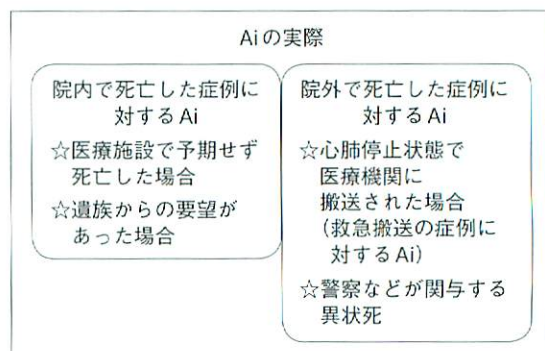


Fig.2 Aiの実際

いずれも医師が必要と思った症例にAiは実施されるべきである。

1. 医療施設で予期せず死亡した場合

2. 遺族からの要望があった場合

院内で死亡した症例については、病歴がわかるし、検査もいろいろしているから、死因などAiをしなくてもわかるのではないかという意見があるかもしれない。ただしこれは医師を過剰に信頼する遺族(医者は神様で何でもわかると思っている遺族も思いの他いる)や、臨床現場をあまり知らない人の意見である。現在の医療制度では、ターミナルの患者に積極的な加療や検査をすることはまずない。このため、死亡前の最終画像検査が3か月以上前であるということは往々にしてある。また、末期のがん患者だからといって必ず癌で死亡するわけではない。誤嚥性肺炎や、思いもよぬ動脈瘤破裂などが起こりえるのである。これらは、臨床経過のみでは判断できない。こういった場合、癌で死亡したのではなくても内因死だから問題ないだろうという意見を言う者もいるだろう。確かにその通りであるが、では遺族にはなんと説明すればよいのだろうか。急変した場合には、患者に何か大きな問題が起きたに違いない、場合によっては、医療ミスかもしれないと遺族は考える。遺族に対して、医師が何が起きたのか説明しないことで(本当は、医師も何が起きたかわからないので説明できないのであるが)、隠し事をしているのではないかという遺族の疑念は、さらに深まるのである。今までに行われている医療過誤の裁判では、多くの場合、何が起きたのか真実を知りたいから裁判を起こしたという意見を多く聞く。これは真実を知りたいというより、医療過誤でないことを確認したいということに他ならないのではないだろうか。それでは、死亡時の客観的な証拠とは何だろうか。カルテの記事?これは医師や看護師がそのときの状況を記録するだけである。解剖?病理解剖の場合は、遺族の承諾が無ければならず、急変し気が動転している遺族に体を切り刻みますがいいですか?という質問にyesと答える人は少ないだろう。また頭部の解剖の承諾は別に必要である。頭部の解剖情報なしで死因究明をしなければならないという実情は、実はあまり知られていない。また、実際に剖検率は3%を切っている。このように、病理解剖がほぼ不可能な現在の医療現場でできる最も客観的な証

拠の一つがAiである(Fig.3)。体を傷つけず、短時間で検査が終了する。CT装置があれば全国どこでもほぼ同一レベルの検査が可能である。また、医療事故が起こった時点で画像が撮影されていれば、これと死亡時のAiを同じモダリティで比較することができ、より精度の高い情報を得ることができる。これに対して解剖は、事故が起こった時期の情報はなく、様々な治療による修飾が加わった状態で初めて行われる。モデル事業の調査報告でも解剖の有効性に疑問符が投げかけられているのはこの点が大きい。院内の死亡事例でもAiが必要であることが理解していただけたらどうか。

Aiが一般に普及してしまうと医療側からの申し出ではなく、遺族からAiをやって欲しいという依頼が発生する可能性がある、というより実際にこういった案件がすでに各地で発生している。各病院では、依頼されても実施したことがない、だからできないという言い訳は許されなくなってくるだろう。Aiができない病院=自分たちの行った医療を公表できない病院というレッテルを貼られてしまう時代が来ているのである。Aiが遺族と医療者側の信頼関係を回復するツールとしても有用なので、是非とも各病院でAiを実施できる環境を整えて欲しい。

B: 院外からの症例に対するAi

これも大きく2つに分かれる。

1. 心肺停止状態で医療機関に搬送された場合(救急搬送の症例に対するAi)
2. 警察などが関与する異状死

救急搬送された症例は、入院患者以上に病歴の入手が困難で、体表からの情報が全てである。監

Aiの利点

- ・生前画像と同じモダリティで比較しやすい
- ・迅速に結果が得られる

剖検の制約

- ・生前との比較は不可能
→様々な医療行為により修飾される
- ・結果を得るのに長時間を要する

Fig.3 院内死亡に対するAiと剖検
剖検では様々な医療行為の修飾が加わった最後の状態での情報しか手に入らない。

察医制度のある地域ならば、そのまま監察医務院に送り監察医による異状死体としての検視・検案に任せればよいが、その他の地域では、搬送された病院で救急の医師が死体検案書を作成しなければならない。この場合、搬送された患者がなぜ死亡したかを確認したいという医学的見地から、また、事件性のある症例を見逃さないためにもAiは実施される。特に小児科領域では、児童虐待症例が最も大きな問題となるだろう。児童虐待自体は家庭など病院外で発生し、その多くが医療機関に救急搬送される。これは、自宅で死亡すると警察がやってきて、虐待の事実が判明してしまうことを加害者が危惧するということも要因としてあるようだ。ただし、児童虐待は、本来最も信頼し、子供の状態についての情報提供者であるはずの両親などによって行われることが多い。当然のことながら、加害者である両親はどのような状況で事故が発生し、救急搬送されたかなどについて、虚偽の申告をすることになる。また、医師が児童虐待を疑ったとしても、病理解剖には遺族の承諾が必要であり、加害者が同意する可能性は低い。

ここにAiを導入するとどうなるだろうか。Aiは非破壊検査であり、短時間で検査も終了する。これに反対する遺族は少ないと思う。ただし、Aiを行うかどうかの判断を、現場の小児科の医師に任せることには抵抗がある。児童虐待が疑われる現場で、加害者の可能性がある遺族に向かって、「児童虐待の疑いがあるのでAiを行いたい」と言わなければならないというストレスを、小児科医にかけなければならないからである。これを避けるためにはどうすればよいだろうか。一つの案として、14歳以下の全例にAiを行うという方法がある。

日本医師会からの提言

- ・1体5万円で試算すると…
- ・小児全例5千件では、2億5千万円必要。
- ・心肺停止救急搬送患者全例10万件では、50億円必要。
- ・異状死全例16万件では、80億円必要。
- ・死亡者全例では570億円必要。消費税約0.03%分である。消費税を上げるなら、こういうところに使うべき。

Fig.4 日本医師会Ai活用検討会から

これは日本医師会のAi検討会から出された答申で(Fig.4)、仮に全例行ったとしても年間5,000体程度であり、一体5万円と仮定しても、2.5億円で検査の実施が可能となる⁵⁾。また、全例行うことが原則となれば、これは異状死の疑いがあるのでAiを行った方がよいかもしれない、でも遺族にそれを説明するのは大変だという現場の小児科医のストレスを軽減することにもつながると思う。

また、2010年に改訂された臓器移植法では、「虐待を受けた児童が死亡した場合に当該児童から臓器が提供されることのないよう、移植医療に従事する者が児童に対し虐待が行われた疑いがあるかどうかを確認し、及びその疑いがある場合に適切に対応するための方策に関し検討を加え、その結果に基づいて必要な措置を講ずるものとする」という文言が付け加えられた。現実には児童虐待でないことを確認することは、児童虐待であることを確認する以上に体表からの検査では困難である(Fig.5)。現実的に可能な検査方法はAi(この場合死の定義は別問題とする)しかないだろう。この判定は、即時性が求められ、また第三者の意見も必要だろう。画像検査であるAiはインターネットを使うことにより、この要求に応えることができる。現状では、対応できる機関はAi情報センターに限られている。各病院とAi情報センターを結ぶネットワークシステムが構築できれば、現場医療機関の負担も軽減できるだろう。

現在各病院が最も困惑している問題が、病院以外からのAi実施についてではないだろうか。院外死亡であるから、既往歴は分からない、またどのような感染症があるかも不明である。そのような症例に対して、一般臨床機を使って検査を実施することについて抵抗があることはもちろんである。多くの場合は、検査は警察などから依頼される。彼らは、Aiがどのように行われるかという知

Aiで行うべき事は…

- ・死因究明であることは当然であるが、
- ・医療事故でないこと、児童虐待でないことなどの陰性所見を客観的な情報として提供すること。
- ・そのためにも、第三者機関が必要である。

Fig.5 第三者機関の必要性

識が充分でないので、実施のための困難を認識せずに各医療機関に対してAi実施のお願いという文章を回すだけという悪循環である。搬送経路の設定、汚染防護の処置、検査受付時間の設定など、院内での取り決めができた段階で検査を引き受けるべきだろう。少なくとも外部からの症例に対しては、汚染防護の観点からも遺体収容袋に入れ、汚染防止処置をとった上で搬送されることが望ましい。また、外部からの搬送症例に関しては、異状死の可能性が高く、読影に関しては、各病院の放射線科医などの負担を軽減させるためにも、第三者の読影機関(Ai情報センターなど)に依頼するのも一つの方策である。

Ai実施の問題点、有効な制度設定

実際の医療現場でAiを実施する場合の問題点は何だろうか。また、それを解決する有効な制度を作るにはどうしたらよいだろうか。いくつかの項目に分けて解説する。

1. Aiの有用性と限界

現在までの報告では、Ai単独の実施で死因が判明するのは3割、MRIを使用すると5～6割といわれている。ある程度研究が進んだとしても、この率はそれほど変化がないだろう。最も重要な点は、解剖との比較ではなく、現在97%以上の死者が体表検視のみで死因究明されているという事態である。この考え方では、当然のことながら、Aiは検視の段階で体表検視を補うものとして使用されるべきである。また、死因究明も重要であるが、大きく内因死であるか、外因死の可能性があるか、また医療過誤の可能性があるかだけではなく、医療過誤ではない(negative findings)ことを第三者が報告することが重要である。この観点からもAiは医療現場で実施されるべきであり、その読影について第三者が遠隔ネットワークを使用して報告できればよい。ここまで実施できれば、その後解剖が必要であるものについては、それぞれ病理解剖、行政解剖、司法解剖と振り分けができる。モデル事業とは切り離して考えるべきである。

犯罪死の見逃し防止に関する特別世論調査でも死因への関心は高いという報告が出ている。これは一般の死についても当てはまるだろう。Aiは、

各個人に1回のみ実施される検査であり、全ての国民が平等にこれを受ける権利があると考えられる。

2. 専門家の育成について：頂点は高く麓は広く

Aiは画像診断であるから、検査が終了した後、読影を行って初めて完結する。本来ならば、画像読影の専門家である放射線科の画像診断医が報告書を作成することが望ましいが、他の診療科同様、人員不足などの問題もあり、現状では多くの病院で、Aiの撮影をオーダーする側である一般臨床医が、同時にAiの読影も行っているという実態がある。このため、読影の専門家である放射線科医の育成以外に、臨床の現場でAiに関与し読影する医師に対する研修も必要となる。また、Aiに関しては単に画像診断医だから読影できるという訳ではなく、死後変化などの知識を習得し、一般臨床医からAiについてコンサルトされた場合、回答できるだけの知識が必要である。撮影に関しては、高度な医療機器を用いて検査を行うので、診療放射線技師の関与が必須である。

大きく分けて3つの柱があると思う。

1. 読影を専門に行う放射線科医向けの専門医研修制度
2. Aiに関わる医師向けの研修制度
3. Aiを撮影する診療放射線技師研修制度

以上の3つが必要なのではないだろうか。

1. 画像診断専門医については、日医放、専門医学会が議論し実施に向けて検討中である。現実的には、2011年1月22、23日に開催された専門医学会のミッドウィンターセミナー(福岡)で、2日間にわたって講習および試験を実施した。今後この読影専門医については、日医放が認定する形になると考えられる。

2. Aiに関わる医師向けの研修制度についてであるが、実際の医療現場では、放射線科医以外にも救急医、病理医などがAiに関与している。また、異状死などの場合、死体検案書の作成を求められる警察医なども今後Aiを行う事例が増えてくる。このような方々に実際にAiを行う場合の汚染防護、撮影方法、読影などについて知識を持ってもらいたい。現状ではこれらの研修が可能な団体として

Ai学会が母胎となることが考えられる。2011年2月5、6日のAi学会総会にあわせた研修会が開催され、これには日本医師会および日本放射線技師会が共同開催を行う。

3. 放射線技師の研修制度については、現在日本放射線技師会が検討に入り、Ai学会、日本医師会と共同開催で講習会を行い、Ai認定技師を養成する方針であることが決定した。2011年2月5日、6日の研修会には、診療放射線技師も参加し、診療放射線技師向けの特別講義も行われた。

このように考えると、研修制度もかなりわかりやすく整理できるだろう。要約すると「頂点は高く麓は広く」という考え方になる(Fig.6)。頂点を高くというのは、Ai読影の専門医たる放射線科診断医を育成するということで、異論はないだろう。麓を広くという部分に対して解説したい。現状での最大の課題は、全国に1万台以上CT装置があり検査が可能であるのに対して、検査をオーダーする側の医師が、Aiに関する知識が不十分であることである。遺族からのAi実施の要望があったとしても、「どうやったらよいかわからない→だからできない」という悪循環になってしまう。この負の連鎖を断ち切るためには、まず、検査をオーダーする側の医師にAiの有用性と限界などについて知ってもらうことが重要である。臨床機を使って行うことが多いため、どのような時間帯に検査を行うか、また、人目につきにくいような搬入経路などについても決める必要がある。また

遺族の承諾書も必要だろうし、院内の倫理審査を通す必要もあるだろう。これら、Aiをオーダーする側、つまり、入り口部分の医療関係者に対するAiに関する知識の習得が是非とも必要である。これが麓を広くということである。この体制ができて初めてAiの検査は可能となる。CT装置の精度管理および運営はもちろん診療放射線技師が担当すべきである。彼らに精度の高いAiの読影を行うためにはどのような画像が必要なのかということを理解してもらった上で、Ai検査を実施してもらう必要がある。これが、診療放射線技師のための講習である。また、Aiは検査が終了して完結するのではない。Aiは画像診断を行い、画像検査の報告書が作成されて初めて完結する。各病院の画像診断医が十分なAiの知識を持って読影に当たれば問題はないのだが、現状では、マンパワーが不足しており、診断医が存在しない病院すらある。頂点である画像診断医の養成が急務であることも理解して頂けるだろう。ただし、専門医自体の数が限られている。現状では、多くの場合、Aiをオーダーした臨床医が読影を行うことになるだろう。彼らが判断に困った症例あるいは、他者の意見を聞きたいという要望があれば、それに応える方法を用意しないと、全国的なAiの普及は無理だろう。このためには、インターネットを使用した、コンサルティングシステムが必要であり、各地に今後できるであろう、地域Aiセンターあるいは、多くのAi専門医が所属する第三者機関であるAi情報センターなどとネットワークを構築することが必要である。

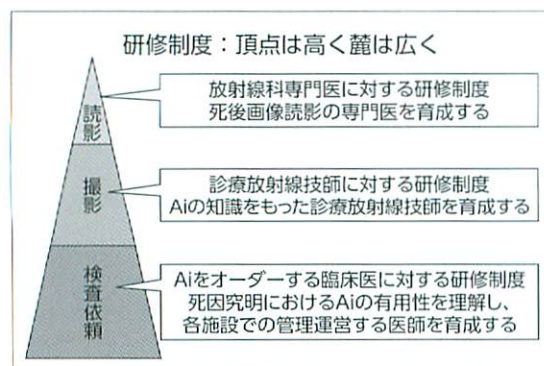


Fig.6 Ai研修制度について
読影専門(頂点)と、入り口部分(麓)とに分離する

3. 有効な制度設定

Aiプリンシプル

Aiは国が主導し導入したのではなく、臨床の現場から必要に迫られて行われてきた死因究明方法の一つである。このため、撮影や読影に関するガイドラインの整備が遅れ、各地で様々な形でのAiが実施されてきた。今後Aiを広く有効に普及するためには、まずAiについての位置づけをはっきりし、各施設でどのように実施し、遺族および社会に役立てるかを確認する必要がある。大きな原則(プリンシプル)をここで提示する(Fig.7)。この原則は至極簡単で、検査は医療機関で医療従事者

(診療放射線技師、臨床医、放射線科医)が行う。行った検査に対しては報告書を作成する。その報告書は皆に開示する。Aiの費用をキチンと払う、その費用は医療費を圧迫しないためにも医療費外から国が支払うべきである、というものである。いずれももっともな意見と思われるかもしれないが、現在各地で行われているAiに関しては、費用が支払われず、病院負担で実施しているケースや、折角Aiを行ったにもかかわらず、遺族に検査の報告が行われない、または撮影した画像情報が外部に出てこないといった事例が見受けられる。とくに法医学関連で導入されたCT装置を使用した場合、他の司法情報と同様の取り扱いをせざるをえず、遺族にも容易に情報を伝達することができなくなってしまう。このような事例が頻発するとしたら、遺族、社会に対するAiの有用性が大きな制限を受けることになってしまうだろう。今後は、このプリンシプルを守る施設をAi認定施設として公認していく方針である。また、各地のAiセンターなどが連絡を密にし、情報を共有化するため、2011年には、連絡協議会を日本医師会主導で開催する予定である。

地域Aiセンター

Aiに関する読影専門医の数が十分でない現状では、まず、Aiの検査実施機関と読影機関を別に考えるべきである。検査の実施については、対費用効果の面からも、既にインフラが整っている日本に1万台以上あるCT装置をまず使用することが検討されるべきである。諸事情により院内装置が使用できない場合には、モバイルCTの利用も選択肢の一つである。これは、(株)フリールが行っ

ている事業で、Ai専用の車載式のモバイルCT装置を各病院へ派遣する方法である(Fig.8)。また、院外異状死などについては、各地域に1~3か所程度外部からのAiを受け付ける地域Aiセンターの設置あるいは承認が望ましい。現状としては、既に20か所程度導入されている大学病院などが、中心的な役割を担うのではないだろうか。1医療圏に1Aiセンターの設置が望まれるが、現在の行政区分を考えても、現実的には県単位でのAiセンターの設置が考えられる。医療圏内の各施設を統合し、検査の実施および二次読影を行う地域Aiセンターの候補としてはいくつかのパターンが考えられる。

1: 佐賀大学方式 附属病院内にAiセンターを設置し、診療放射線技師が装置を管理、運営する。外部からのAi症例も引き受ける施設。

2: 東北大学方式 法医学教室から依頼を受けた放射線科が施設の運営、管理を行い読影結果などについて法医学教室に提供する。

3: 鹿児島方式 県医師会が主導し各病院と遠隔ネットワークを用いて読影をAi情報センターに依頼する。Aiは救急医療と親和性が高いため、圏内の各救急病院と鹿児島県に設置される予定の読影センター(救急画像について実施、AiについてはAi情報センターにコンサルト)との間を遠隔ネットワークを用いて結ぶ。

最も重要な点は、検査の実施と読影を分けること。それぞれの間は遠隔ネットワークシステムを構築し、ある程度の即時性をもった読影報告書の送信が可能であること。この考えで行けば、当然のことであるが、撮影費用と読影費用は別々に拠

Aiのプリンシプル

1. Aiは医療現場のエンドポイントで医療従事者が行う。
2. Aiは医療従事者が診断し報告書を作成する。
3. Ai情報は、医療従事者並びに遺族関係者に中立的かつ公正に提示されなければならない。
4. Aiの費用は医療費外から、医療現場に支払わなければならない。

Fig.7 Aiのプリンシプル



Fig.8 車載式CT装置
フリール株式会社

出されるべきである。財源としては医療費外の一般会計から支出されるべきである。検査が行える施設としては今後制定されるであろう、Ai認定医とAi認定技師が存在することが必須である。また必ず情報提供が出来る体制であること、読影報告書を作成するあるいは外部に作成依頼を行える体制にあることが必要条件である。

Ai情報センター

前述した、地域Aiセンターが各県に1か所ずつ設置されると、その地域での院外異状死に対して検査の実施は可能となる。ただし、全ての地域Aiセンターに死後画像専門の読影が常駐するようになるのは、たとえAi認定読影医制度が出来たとしても、画像診断医の絶対数が不足しており、不可能だろう。法医学会が提唱した死因究明医療センター構想も同じ問題を抱えており、暗礁に乗り上げている。この問題を解決するには、やはり読影できる人材を一極に集中し、効率的に運用する必要がある。このために設立されたものが一般財団法人Ai情報センターである (Fig.9)。Ai情報センターは、国内の低い解剖率の現状を踏まえ、「死因不明社会」の解消を目指して第三者的な診断機関として昨年、設立された。常勤は筆者1名だが、小児放射線科領域のエキスパート2名を含めた、死後画像変化について経験のある放射線科専門医が10名登録されている。各病院で発生したAiの診断の要請に、ある程度即時性を持って対応するため、インターネットを利用し、画像データを圧縮送信するファイルアップロードシステムを開発

した。インターネットに接続出来る環境にあるパソコンがあれば、専用のソフトをダウンロードし (無料)、DICOMの画像情報、臨床情報などをあわせて圧縮送信することが可能である。所要時間は1ギガバイトの情報量ならば光回線で10分程度である。

現在、放射線科医不在の病院からの読影依頼、読影に難渋した症例に対するコンサルト、医療過誤疑いなどで第三者の意見を聞きたい場合、裁判などの場合の画像鑑定業務などを実施している。また各地の地域Aiセンターを統合し、情報を一括管理するデータベースの作成や、ネットワークを用いたオンライン教育システムの開発などを行う予定であり、Ai情報センターがそれらの中心となるであろう (Fig.10)。Aiの情報は社会的な資産になりえる。半永久的に保管し、データベースとして使用可能な状態にすることが望ましい。また客観的な情報であるから、遺族はもとより医療機関側にも情報が提供されることが望ましい。

まとめ

現状に則した有効な制度設計を行うための提言をする。

1. Aiはスクリーニングとして実施する。解剖を行う場合もこのAiを利用する。
2. Aiの実施は、遺族からの希望があるもの、医師が必要だと判断したもの全てに行う。
3. Aiは検査と読影に分けて考える。
4. Aiのネットワークは県単位で整備する。また整



Fig.9 Ai情報センター HP

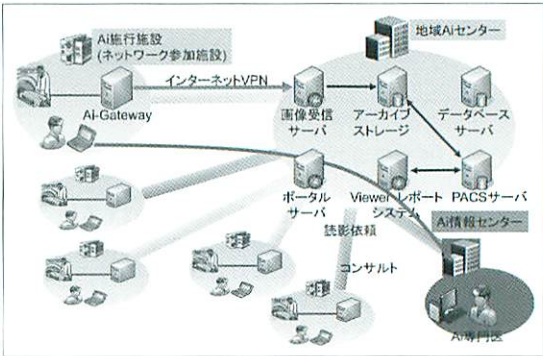


Fig.10 Aiネットワーク
Ai情報センターと地域Aiセンターの関係

備の対象となるのはCT装置などではなく、各機関を結ぶネットワークシステムおよびデータを蓄えるサーバーなどを含める。

5. 各県単位に地域Aiセンターを設置する。また各々のセンターを統括し、情報の整理およびデータベース構築のためのAi情報センターが必要である。
6. Aiは読影が終了して初めて検査が完結する。必ず読影報告書を作成し、遺族、医療機関などに開示できる環境にする。
7. Aiに関する研修は大きく、放射線科読影医に対するもの、Aiを実施する医師に対するもの、撮影を行う診療放射線技師に対するものと分けて考える。
8. Aiを行う施設については今後認定制度を構築する。

このように考えてみると、Aiを中心とした効率的な死因究明制度が構想できるのではないだろうか。各施設で、問題がある症例に対しては、院内調査会を開き、客観的なデータであるAiの情報を遺族および医療機関に公開する、Aiに対する第三者の意見を外部から取り入れ、殺人事件など異状

死が疑われるなら司法解剖へ、公衆衛生、あるいは医学的な見地から解剖が必要なものは病理解剖へ回せば良い。最小のインフラ整備（各病院とAiセンターなどの情報ネットワーク構築）で、全国で平等に実施できる死因究明制度を構築する。このために、Aiは最良の処方箋である。

●文献

- 1) 日本放射線科専門医会・医会 Aiワーキンググループ、社団法人日本放射線技師会 Ai活用検討委員会編：Autopsy imaging ガイドライン。ベクトル・コア、2009。
- 2) 「医療の安全の確保に向けた医療事故による死亡の原因究明・再発防止等の在り方に関する試案－第三次試案－」 <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/isei/i-anzen/kentou/dl/2f.pdf>
- 3) 日本医療安全調査機構 <http://www.medsafe.jp/>
- 4) 阪本奈美子：全国救命救急センターにおける死後画像取得の現状と課題についてのアンケート調査結果報告。The Japanese journal of acute medicine 2009；33：985-989。
- 5) 医療・医学における死亡時画像診断(Ai)の活用について 日本医師会 <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000000c011-att/2r9852000000c03u.pdf>

特集 *Ai* (オートプシーイメージング)

2. *Ai* (オートプシーイメージング) 所見と読影の基礎

塩谷清司, 斎藤久子¹⁾, 阿竹 茂²⁾, 河野元嗣²⁾, 菊地和徳³⁾, 早川秀幸⁴⁾

筑波メディカルセンター 放射線科, 同 小児科¹⁾, 同 救命救急センター²⁾, 同 病理科³⁾
筑波剖検センター 法医学⁴⁾

Autopsy imaging (*Ai*) : Postmortem imaging findings

Seiji Shiotani, Hisako Saitoh¹⁾, Shigeru Atake²⁾

Mototsugu Kohno²⁾, Kazunori Kikuchi³⁾, Hideyuki Hayakawa⁴⁾

Department of Radiology, Pediatrics¹⁾, Critical Care and Emergency Medicine²⁾, Pathology³⁾, Tsukuba Medical Center
Department of Forensic Medicine, Tsukuba Medical Examiner's Office⁴⁾

Abstract

While autopsy is important in determining cause of death, there has been a world-wide decline in the rate of autopsies over the past few decades for various reasons. To offset this trend, postmortem imaging and studies of its effectiveness as an autopsy substitute have become more widespread since around 2000; the procedure uses imaging modalities such as CT, MRI, and ultrasound. Those are referred to as “virtual autopsy” in western countries, and “autopsy imaging” in Japan. Currently, postmortem images are considered to be viable alternatives to autopsy when an autopsy is not performed, or as supplemental data to an autopsy when autopsy is performed. Postmortem CT, MRI, and ultrasound findings are classified into three categories: (1) causes of death (traumatic/non-traumatic), (2) changes occurring due to cardiopulmonary resuscitation ($\equiv$ intravascular gas), and (3) postmortem changes (cessation of blood circulation, low body temperature). Knowledge of typical postmortem imaging findings of (2) and (3) is important when diagnosing them.

Keywords : *Forensic radiology, Virtual autopsy, Autopsy imaging (Ai), Postmortem CT, Postmortem MRI*

欧米のバーチャルオートプシーと 日本のオートプシーイメージング

世界的な解剖率の低下¹⁾に対応するため, 2000年前後に欧米ではThaliらがバーチャルオートプシーの概念を, 日本では江澤らがオートプシーイメージングの概念を発表した^{2~4)}. しかし, 欧米諸国と日本では死後画像に対する考え方の違いがあるため, その発展の仕方が異なっている.

異状死の死因を診断する方法は, 診断率の低い

順から, 検視, 検案(体表観察が主体なので, 少なくとも20%の誤診が起こる⁵⁾)→死後画像→解剖となる. 日本では監察医制度が普及していないため, 異状死に対する解剖率は10%程度にとどまってお⁶⁾. 検視, 検案→死後画像という部分が議論の中心となっている. そして日本における死後画像は, 死因のスクリーニング, 解剖に回さなければならぬ症例のトリアージを期待されている. 実際に警察が医療機関に委託して施行した1,800件の死後CTのうち, 外表からはわからない外傷が

発見されて犯罪見逃しを未然に防いだ事例が数件あったという⁷⁾。これは日本の異状死全例(年間15万人超)を死後CTでスクリーニングするだけでも、数百件の犯罪が発見されることを示している。それに対し、欧米諸外国では異状死の解剖率は概して高い(フィンランド、スウェーデンでは100%、アメリカ、イギリスでは50~60%)⁶⁾ので、死後画像→解剖という部分が議論の中心となっている。そして欧米における死後画像は、解剖のガイド、相補的役割を果たすと認識されている。実際には、スイスのベルン大学法医学教室パートプシー(Virtopsy[®]; virtual autopsy)グループ⁸⁾、オーストラリアのビクトリア州法医学研究所⁹⁾、アメリカの米軍病理学研究所¹⁰⁾、スウェーデンの医用画像科学・可視化センター¹¹⁾、イギリスのロンドン大学病院¹²⁾といった特定の施設が、画像病理相関に関する論文を多数出版している¹³⁾。

本来、異状死は全例解剖に回し、薬毒物検査も施行した上で、総合的に死因を判断すべきなので、解剖率の低い日本の死因究明制度は欧米に大きく後れを取っている。しかし、その制度の不備を補う形で施行されてきた死後CTによる死因スクリーニングは、先進的な方法かもしれない。2008年の北米放射線学会では、日本の2つの救命救急病院の放射線科医が、死後CTによる死因スクリーニングに関する演題を発表した。これらは、全例を解剖で死因を確認するより効率が良く、コストも低いシステムとして注目された¹⁴⁾。

オートプシーイメージングで 使用する主なモダリティはCTである

日本では、主要な救命救急病院の9割、一般病院の1/3強が死後画像を撮影している^{15,16)}。その最多の状況は、救急外来に来院時心肺停止状態で搬送され心肺蘇生術を施行するも死亡した患者(=異状死)に対し、その死因を確定または推定するために、死後CTを撮影するというものである^{17~27)}。CTは、単純X線写真より情報が多く、超音波検査より客観的で、MRIよりも短時間で施行可能なことから、最も利用されている画像診断モダリティである。ここでは、死亡宣告直前または直後で撮影された死後CTの所見を中心に読影ポイントを説明する。

死後画像所見は、死因、蘇生術後変化、 死後変化の3つに大別される²⁸⁾

死後CTの所見は、死因(外傷、非外傷)、蘇生術後変化、死後変化の3つに大別すると読影しやすい。蘇生術後変化、死後変化は、その存在を知っておかないと死因と間違える可能性がある(例:蘇生術後変化、死後変化で生じた血管内ガスを空気塞栓症と診断するなど)。

外傷性死後CT

死後CTは外傷性死因を高率に診断できる^{29~35)}。外傷性死の評価において、死後CTと解剖を比較すると、死後CTは骨折、液体、ガスの検出やその分布評価に、解剖は軟部組織評価に優れている。死後CTと解剖はお互いに相補的な関係にある。

小児で最も問題となる外傷性死因は虐待である。虐待の診断には画像診断が大きな役割を果たすが、死後でも生前と同様の診断基準^{36~38)}が使用できる。単純X線写真やCTは、特に骨折の評価に関して解剖よりも優れている。虐待をスクリーニングするための全身骨X線撮影には時間がかかるが、CTで1mm厚以下の画像データが取得してあれば、その再構成画像が単純X線写真の代替になると予想されている^{39,40)}。日本小児科学会は、虐待死では頭部CTまたはMRIを施行することを推奨している⁴¹⁾。虐待死の解析には既に死後CTデータが用いられている⁴²⁾。

非外傷性死後CT

死後CTによる内因性死のスクリーニングでは、脳出血、くも膜下出血、大動脈解離、大動脈瘤破裂といった出血性病変を死因と診断でき、これらの所見がない場合には、上記死因は除外できる^{17~27)}。死後CTの死因確定率は3割前後といわれているが、この数字は、スクリーニングした全症例のうち死後CTのみで死因と診断できる出血性病変の割合を示している。

いわゆる急性心不全において、死後CTは、冠動脈血栓塞栓子や虚血心筋といった直接死因を描出できないので、その診断には間接所見であるポンプ機能不全による肺水腫を重要視している(Fig.1)⁴³⁾。急激な左心不全が発生し、右心は正

常に機能しているとすれば、大量の血液が体循環系から肺循環系に移行し、肺循環系はうっ血を来す。ヒトの血漿コロイド浸透圧は28mmHgなので、肺毛細血管圧が28mmHg以上に上昇すると毛細血管から水分が肺胞内に滲出して肺水腫が発現する⁴⁴⁾。肺毛細血管圧が50mmHgまで上昇する急性左心不全では、急性肺水腫の発現から30分以内に死に至る⁴⁴⁾。

小児の死亡原因には、不慮の事故、先天奇形、

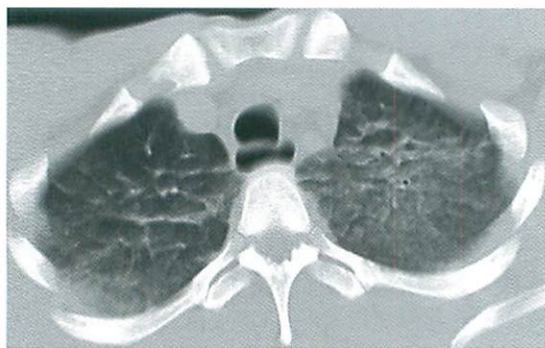


Fig.1 Pulmonary edema

A 16-year-old male with coronary sequela of Kawasaki disease. Postmortem CT of the lung shows bilateral ground-glass attenuation and interlobular thickening suggesting pulmonary edema due to cardiac pump failure.

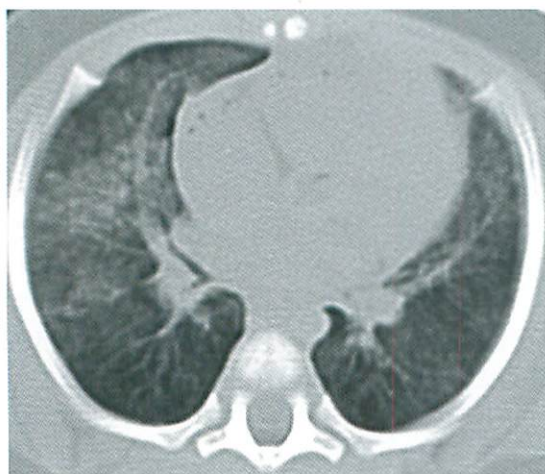


Fig.2 Pneumonia

Postmortem CT of the lung shows bilateral centrilobular nodules.

悪性新生物、肺炎、心疾患、乳幼児突然死症候群が挙がる⁴⁵⁾。われわれの施設では小児突然死の原因として肺炎を経験することが多い⁴⁶⁾。死後CTは、肺炎の広がりや評価できる(Fig.2)。

死後CT上の蘇生術後変化

消化管拡張、肋骨骨折を除く主な蘇生術後変化は、血管内ガス(脳血管内、心大血管内、肝血管内)である。

脳血管内ガス

死後CTの10%弱に認め、その9割近くが、脳静脈ガスである⁴⁷⁾。脳静脈ガスは、輸液ルートから混入した空気が鎖骨下静脈、腕頭静脈、内頸静脈、静脈洞を経由して、主に後頭蓋窩の静脈に達したものである⁴⁷⁻⁴⁹⁾。脳動脈ガスは、胸骨圧迫で生じた右心房、右心室内のガスが右→左短絡(例：心房、心室中隔欠損)から、そして/または人工換気による肺の圧外傷で生じた気管支肺血管瘻のガスが肺静脈から、それぞれ大循環に流入したものであろう⁴⁷⁾(Fig.3)。

心大血管内ガス⁵⁰⁾

死後CTの7割に認める。鎖骨下、腕頭、上大静脈内ガスの成因は輸液ルートからの空気の混入であろう。右心房、右室自由壁(腹側壁)直下ガス

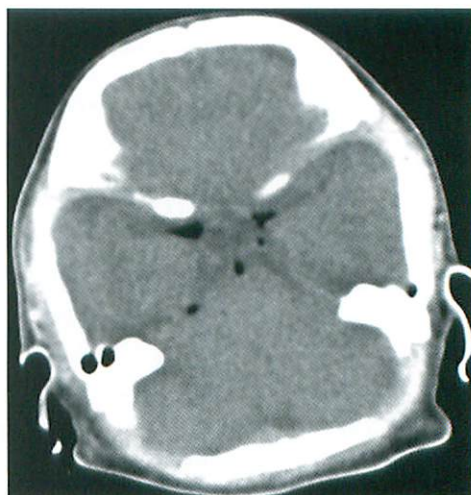


Fig.3 Intravascular gas in the brain

Postmortem CT of the brain shows gas bubbles in bilateral internal carotid arteries and basilar artery.

(Fig.4)のそれは胸骨圧迫による血液内溶存ガスの気化が考えやすい。

肝血管内ガス^{51~54)} (Fig.5)

死後CTの3割程度に認める。門脈ガスは、ショック～心肺停止による循環障害が起こす腸管粘膜損傷とアンビューバッグを用いた換気が起こす消化管拡張が原因となり、消化管内腔のガスが門脈に流入したものである。肝静脈ガスは、心大血管内ガスが下大静脈を通して肝静脈に逆流したものである。門脈ガスと肝静脈ガスは併存していることが少なくない。脾、腎、脾実質の血管内ガスも、早期死後CTで既に出現していることがある。



Fig.4 Intravascular gas in the heart
Postmortem CT of the thorax shows gas bubbles in the right atrium, right ventricle, and left ventricle.

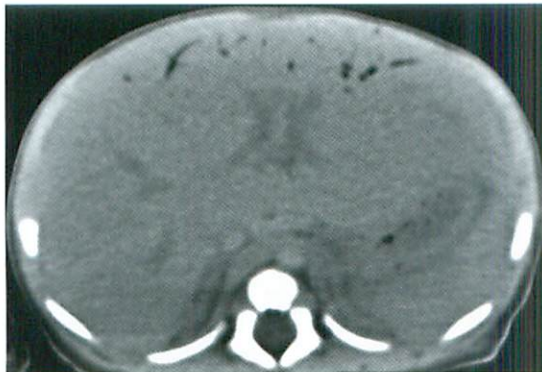


Fig.5 Intravascular gas in the liver
Postmortem CT of the abdomen shows linear and branch-shaped gas in the liver.

死後CT上の死後変化

死後CT上の死後変化は、循環停止による変化(血液就下、右心系拡張、大動脈の高吸収化、脳浮腫)と自己融解である。

血液就下

循環が停止すると、重力により血液は低位部に移動し、赤血球も沈降する(血液就下)。赤血球が沈降するとその部分のヘマトクリット値が上昇(=鉄であるヘモグロビンが集積)、CT値もそれに比例して上昇し、高吸収となる。

生きている人のCT上、頭部の静脈洞(横静脈洞、S状静脈洞、上矢状静脈洞)は軽度高吸収を呈するが、死後CTでは血液就下が同所見を増強する⁵⁵⁾。これは静脈洞内血栓症、硬膜下血腫などと間違えやすい⁵⁶⁾ (Fig.6)。急性死の場合、線溶系の活性が極端に亢進し血液が流動性となるため⁵⁷⁾、死後CT上、心大血管内腔の血液は高吸収水平面形成を示す⁵⁸⁾ (Fig.7)。死戦期が長い場合には、水平面を形成せずに、鋳型のような高吸収凝血塊となることが多い⁵⁹⁾。

生きた人のCTで認める肺の荷重部陰影は、荷重部のうっ血と肺自身の重量による無気肺で生じるとされるが、死後CTでは血液就下が荷重部陰

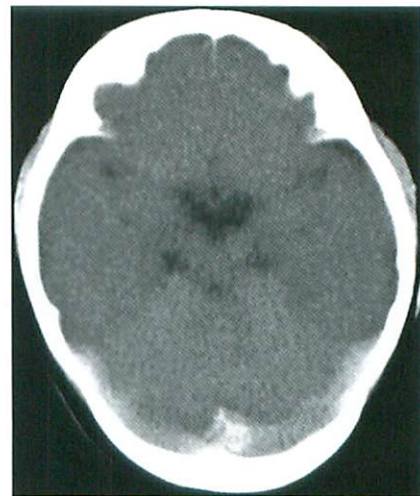


Fig.6 Hypostasis in the brain
Postmortem CT of the brain shows hyperattenuating transverse sinus simulating subdural hematoma.

影を強調する⁴³⁾(Fig.8).

右心系拡張

死後、両心系の圧は平均循環充満圧(=全循環が停止したときに血管の各部が一様に示す静的な平衡圧)の約7mmHgに収束する⁶⁰⁾. この死後の血圧は、血液量が少ないとより低く、多いとより高くなる. 平均循環充満圧は、生前の右心系や左房の拡張圧より少し高いため、死後に右心系は拡張する⁶¹⁾. 例えば、生前の正常な上大静脈圧(中心静脈圧)は4~7mmHg(5~10cmH₂O)で、上大静脈はCT上の水平断で楕円形を示すことが多いが、死後には必ず円形となる.

動脈壁の高吸収化

死後に血圧が平均循環充満圧まで低下すると、



Fig.7 Hypostasis in the heart
Postmortem CT of the thorax shows hyperattenuating fluid-level in the right atrium, right ventricle, and left ventricle.

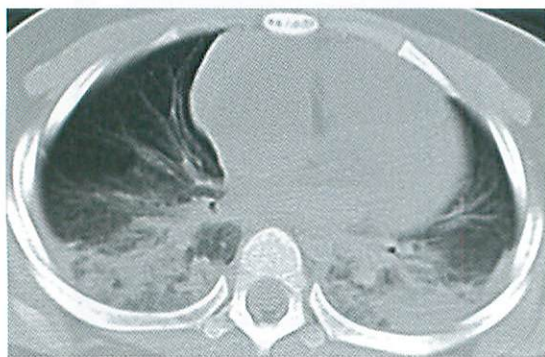


Fig.8 Hypostasis of the lungs
Postmortem CT of the lung shows increased attenuation in bilateral dependent lung.

動脈は収縮し、血管壁は厚く、密度も高くなるため、死後CT上、血管壁の高吸収化が起こる⁶²⁾. 血管壁の高吸収化は、気管分岐部レベル(〜その1cm尾側)の上行大動脈で最も典型的に認める(Fig.9).

脳浮腫

脳梗塞の超急性期(発生から1日以内)では細胞性浮腫、それ以降の急性期では細胞性浮腫と血管性浮腫が混在する⁶³⁾. 生きている人のCT上、超急性期脳梗塞の所見は、白質/灰白質のコントラスト低下、脳回の軽度腫脹による脳溝の不明瞭化である⁶³⁾. 死亡直後に撮影された死後CTは超急性期の全脳虚血状態に相当し、脳実質は正常〜軽度脳浮腫所見を示す⁶⁴⁾. 死後半日以上が経過したような死後CTでは、白質/灰白質のコントラスト低下と脳溝の不明瞭化は増強し、脳室と脳溝が狭小化すると報告されている⁶⁵⁾(Fig.10)が、蘇生後脳症のような低吸収(Fig.11)にはならない. これは、死後には再灌流がないために血管性浮腫が生じにくい状態で自己融解が起こるためであろう⁶⁴⁾.

死後生検、造影死後CT、死後MRI

非外傷性死において、死後CTの死因確定率は決して高くない. 遺体に対して必要最小限の侵襲で、解剖に匹敵する情報を得る方法として、死後生検、造影死後CT、死後MRIがある.

死後生検

画像ガイド下に病変部位を選択的に針生検し、組織検体を得る方法である^{66,67)}. 癌死患者において、全身CT、MRI、そして超音波ガイド下生検(太



Fig.9 Hyperattenuating aortic wall
Postmortem CT of the thorax shows hyperattenuating aortic wall.

さ12ゲージの針で心臓、両側肺、肝臓、両側腎臓、脾臓を生検)を組み合わせた minimally invasive autopsy (MIA)は、高い感度と特異度を示し、高い死因診断能を持つ⁶⁸⁾。



Fig.10 Postmortem brain
Delayed postmortem CT of the brain shows loss of distinction between gray matter and white matter, and decrease in sulcal size.

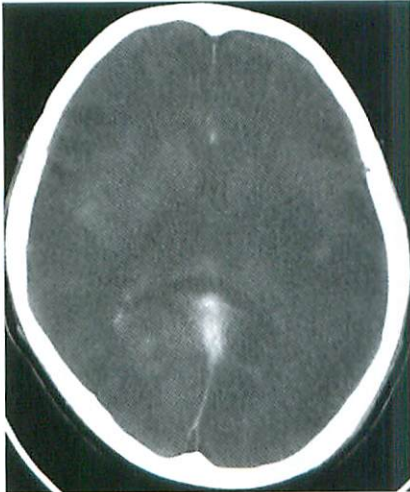


Fig.11 Cerebral postresuscitation syndrome
Postmortem CT of the brain shows hypoattenuation of the whole brain without visible ventricles or sulci.

造影死後CT

死後、経静脈的に造影剤を注入しても心臓を素通りしてしまい、大循環には流入しない²⁸⁾。この問題に対してベルン大学法医学教室は、大腿動、静脈のカニューレーション後に循環装置で造影剤を循環させて、死後血管造影を施行している⁶⁹⁻⁷¹⁾。この方法は血管系を詳細に描出するものの、解剖することが前提になっていないと施行することが難しい。心肺蘇生術の際に留置した輸液ルートから造影剤を注入しながら2分間胸骨圧迫すると、脳動脈、冠動脈を含む血管系が造影されることが最近わかり、日本の救急外来で施行され始めている (Fig.12)⁷²⁻⁷⁶⁾。しかし、小児における造影死後CTの正式な報告はまだない。

死後MRI

1990年にRosらは、摘出臓器ではなく遺体全体に対する最初の死後MRIの論文を出版した⁷⁷⁾。彼らは、遺体6例(死産児3例、幼児1例、大人2例)を0.15テスラの常伝導MRI装置で撮像し、MRI所見と解剖所見を対比した。対象人数は少なくMRI磁場強度も低いですが、この時点で既に以下を報告した。①MRIは解剖による肉眼病理を反映し、臨床的に重要な主病変の検出は解剖と同等である②体腔内のガス、液体の検出やその分布様式の把



Fig.12 Contrast-enhanced postmortem CT
Contrast-enhanced postmortem CT of the thorax shows aortic dissection. (Courtesy of Dr Namiko Sakamoto, Department of Critical Care and Emergency Medicine, National Hospital Organization Tokyo Medical Center)

握においては解剖より優れている ③解剖できる部位が制限されたり(特に頭部), 解剖自体が施行できない場合にはMRIが解剖の代替となりうる ④解剖が施行される場合にはMRIがそのガイド, 相補的役割を果たす。

MRIはCTと比較してコントラスト分解能に優れている。これにより, CTでは評価困難な脳幹梗塞, 頸髄浮腫や損傷, 肺動脈血栓塞栓, 虚血心筋, 肝損傷などが検出でき, 画像による死因確定率を上げることができる⁷⁸⁻⁸⁴⁾。

小児(胎児, 幼児)のみの死後MRIに関する報告は, 1995年にBrookesらの報告以降に複数出版さ



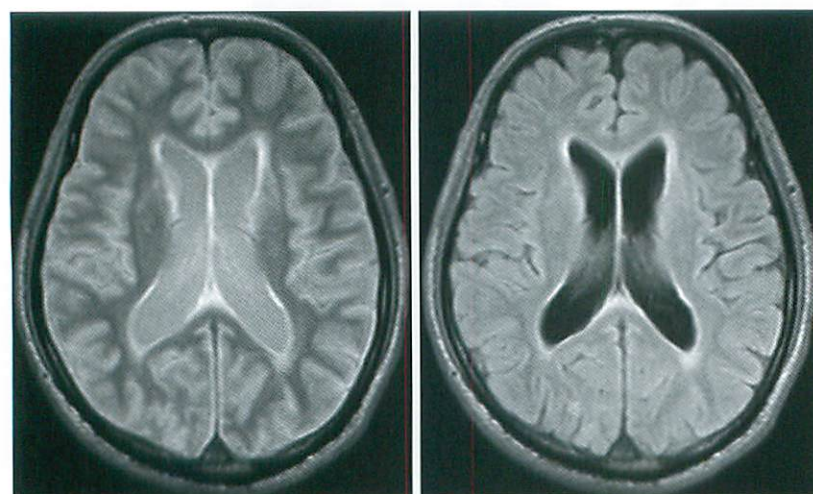
Fig.13 Cardiac anomaly
T2 weighted-image on postmortem MRI of the thorax shows ventricular septal defect.

れた⁸⁵⁻⁹³⁾。小児の死後MRIは大人のそれよりも早期から積極的に施行されてきた。その理由には, 大人と比べて, ①解剖の承諾を得ることが難しい ②小さいので解剖自体が難しいが, 小児専門解剖医が少ない ③小さいので搬送や撮像しやすい ④死因に奇形が多いので評価しやすい (Fig.13) が挙がる。

死後MRIは特に胎児の中枢神経系の評価に有用である。胎児の脳は水分が多いので軟らかくて壊れやすく, 解剖で無傷のまま取り出すことが難しいため, 水中で取り出したり, ホルマリン固定後に切り出したりする。死後MRIは解剖と比較し, 以下の点で優れている。①非侵襲 ②短時間で施行可能 ③永久保存可能 ④再現性があり, 客観的 ⑤全体を一目で把握可能 ⑥空気, 液体貯留の検出に優れる ⑦位置情報を保存したまま観察可能。

低温がMRI信号に与える影響

死後MRIで得た信号や組織間コントラストは, 生体におけるそれらとしばしば異なる。原因の一つは, 低温(死後変化と冷蔵庫保存による)である⁹⁴⁻⁹⁶⁾。例えば, 生体と同じ条件で死体頭部のFluid Attenuated Inversion Recovery (FLAIR)を撮像すると, 脳脊髄液の信号が抑制されない (Fig.14)。温度が低下するとT1値は短縮するので, 温度の低い脳脊髄液の信号を抑制するためには, T1値を小さくする必要がある。また, 生体と同じ



a | b

Fig.14

Cold fluid-attenuated inversion recovery (cold FLAIR)

a: The CSF signal is insufficiently suppressed at an inversion time of 2,300ms (setting the parameter for a FLAIR image of a living person).

b: The CSF signal is well suppressed when the inversion time is set at 1,500 to 1,700 ms.

条件でT2強調像を撮像すると、脂肪信号が抑制される。温度が低下すると、T2値は短縮するからである。読影の際には、死後経過時間や保存状態(できれば直腸温)を把握しておく必要がある。

死後超音波検査^{97, 98)}

超音波検査は、CTやMRIと比較すると、携帯できる機種があるほど機動性に優れ、しかも安価である。得られる情報は限られるものの、死体の検索で重要なのは死因となりうる所見なので、解剖時に肉眼で確認できる程度の形態的变化が評価できればよい。死後超音波検査で診断できる主な病態、状態には、心嚢水、胸水、腹水、心内腔拡張、心肥大、腹部大動脈瘤、大腿静脈血栓、脂肪肝、肝硬変、肝癌、胆石などである。小児の死亡原因は大人と異なるが、小児の死後超音波検査の正式な報告はまだない。また著者自身にも小児の死後超音波検査の経験がなく、その有用性に言及できない。

謝辞：「大和証券ヘルス財団研究助成金」の助成を受けた。

●文献

- Burton J, Underwood J : Clinical, educational, and epidemiological value of autopsy. *Lancet* 2007 ; 369 : 1471-1480.
- Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, et 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* 2003 ; 48 : 386-403.
- Ezawa H, Yoneyama R, Kandatsu S, et al : Introduction of autopsy imaging redefines the concept of autopsy : 37 cases of clinical experience. *Pathol Int* 2003 ; 53 : 865-873.
- 塩谷清司, 菊地和徳, 早川秀幸, 他 : Autopsy imaging—日本医学放射線学会が日本医師会宛に提出した「死亡時画像診断に関する意見書」に沿った解説—。日獨医報 2008; 53: 440-464. http://www.bayer-diagnostics.jp/html/auth/publications/nichidoku_icho/2008_53_03/53_03_14.pdf
- Hayakawa M, Yamamoto S, Motani H, et al : Does imaging technology overcome problems of conventional postmortem examination? A trial of computed tomography imaging for postmortem examination. *Int J Legal Med* 2006 ; 120 : 24-26.
- 警察庁トピックス：犯罪死の見逃し防止に資する死因究明制度の在り方に関する研究会(第1～9回議事要旨、資料) <http://www.npa.go.jp/topic/>
- 共同通信(2009年5月19日付)：Ai—遺体画像で事件暴く 死因究明の実績1800件。 <http://www.47news.jp/CN/200905/CN2009051901000188.html>
- Virtopsy ホームページ：<http://www.virtopsy.com/>
- Victorian Institute of Forensic Medicine (VIMF) ホームページ：<http://www.vifm.org>
- Armed Forces Institute of Pathology (AFIP) ホームページ：<http://www.afip.org>
- Center for Medical Image Science and Visualization (CMIV) ホームページ：<http://www.cmiv.liu.se/>
- University College London Elizabeth Garret Anderson Institute for Women's Health ホームページ：http://www.instituteforwomenshealth.ucl.ac.uk/academic_research/neonatology/pmmri
- Oesterhelweg L, Thali MJ : Experiences with virtual autopsy approach worldwide. The virtopsy approach (1ed), Ed by Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P. Boca Raton, CRC Press, 2009, p475-477.
- 高橋直也：RSNA2008トピックス「死亡時画像診断(Ai)・法医学画像関連レポート」～放射線科医の立場から～。Rad Fan 2009 ; 7 : 52-53.
- 阪本奈美子, 大橋教良, 濱邊祐一, 他 : 全国救命救急センターにおける死後画像取得の現状と課題についてのアンケート調査結果報告。救急医学 2009 ; 33 : 985-989.
- 日本医師会 死亡時画像病理診断(Ai = Autopsy imaging) 活用に関する検討委員会：死亡時画像病理診断(Ai)の実態の把握及び今後の死亡時医学検査の具体的な展開の方途について：http://dl.med.or.jp/dl-med/teireikaiken/20090401_4.pdf
- 大橋教良：DOAの原因疾患の診断：死亡後CT撮影の有用性と問題点について。日救急医学会誌 1989 ; 10 : 604-605.
- 土田晋也, 山中龍宏, 土田里香, 他 : 死因が不明であったDOA 7症例の死後頭部CT像についての検討—乳幼児突然死の症例を中心に—。小児科診療 1995 ; 58 : 1091-1095.
- 白川洋一, 荻坂邦彦, 山下正人, 他 : 交通事故で急死した症例に対する死後全身CT撮影の意義。日救急医学会誌 1996 ; 7 : 273-280.
- 菅原俊祐, 水沼仁孝, 加藤弘毅, 他 : 死因推定におけるCT(Postmortem CT)の有用性。臨床放射線 2006 ; 51 : 845-850.
- 音見暢一, 金只賢治, 向所敬文, 他 : 来院時心肺

- 停止患者107例の死後CT撮影の検討. 臨床放射線 2008; 24: 514-518.
- 22) 杉村 宏, 矢野正美, 竹智義臣, 他: 心肺停止症例の死因検索におけるCTの有用性. 救急医学 2008; 32: 861-864.
 - 23) 高橋直也, 樋口健史, 塩谷 基, 他: 死後CT (オートブシー・イメージング) 360例における死後所見・心肺蘇生術後所見の検討. 臨床放射線 2008; 53: 1840-1845.
 - 24) 横田 元: 外傷性死の画像診断. 映像情報メディカル 2009; 41: 441-447.
 - 25) 高橋直也, 樋口健史, 塩谷 基, 他: 死後CT読影用チェックシートの開発と使用経験. 臨床放射線 2010; 55: 334-340.
 - 26) 新川慶明, 杉村 宏, 湯川修弘, 他: 溺死におけるCT所見の検討. 臨床放射線 2010; 55: 1147-1150.
 - 27) 西原圭祐, 杉原修司, 森岡伸夫, 他: オートブシーイメージングを施行した4例 - 死後CTと剖検との比較 -. 臨床放射線 2010; 55: 574-578.
 - 28) 塩谷清司, 早川秀幸, 菊地和徳, 他: オートブシー・イメージング - 死後画像所見は死因, 蘇生術後変化, 死後変化に大別される -. 画像診断 2010; 30: 106-120.
 - 29) Donchin Y, Rivkind AI, Bar-Ziv J, et al: Utility of postmortem computed tomography in trauma victims. J Trauma 1994; 37: 552-556.
 - 30) Farkash U, Scope A, Lynn M, et al: Preliminary experience with postmortem computed tomography in military penetrating trauma. J Trauma 2000; 48: 303-308.
 - 31) Aghayev E, Sonnenschein M, Jackowski C, et al: Postmortem radiology of fatal hemorrhage: measurements of cross-sectional areas of major blood vessels and volumes of aorta and spleen on MDCT and volumes of heart chambers on MRI. AJR Am J Roentgenol 2006; 187: 209-215.
 - 32) Hoey BA, Cipolla J, Grossman MD, et al: Postmortem computed tomography, "CATopsy", predicts cause of death in trauma patients. J Trauma 2007; 63: 209-215.
 - 33) Shiotani S, Shiigai M, Ueno Y, et al: Postmortem computed tomography findings as evidence of traffic accident-related fatal injury. Radiat Med 2008; 26: 253-260.
 - 34) Sochor MR, Trowbridge MJ, Boscak A, et al: Postmortem computed tomography as an adjunct to autopsy for analyzing fatal motor vehicle crash injuries: results of a pilot study. J Trauma 2008; 65: 659-665.
 - 35) Christie A, Ross S, Oesterhelweg L, et al: Abdominal trauma-sensitivity and specificity of postmortem noncontrast imaging findings compared with autopsy findings. J Trauma 2009; 66: 1302-1307.
 - 36) 小熊栄二, 相原敏則: 児童虐待の画像診断. 画像診断 2002; 22: 544-560.
 - 37) 小熊栄二: 小児例における読影のコツ. オートブシー・イメージング読影ガイド (初版), 大友 邦監修. 東京, 文光堂, 2009, p147-149.
 - 38) 小熊栄二: 院内: 小児. オートブシー・イメージングガイドライン (初版), 日本放射線科専門医会・医会Aiワーキンググループ, 社団法人日本放射線技師会Ai活用検討委員会編集. 東京, ベクトル・コア, 2009, p39-41.
 - 39) 第2回死因究明に資する死亡時画像診断の活用に関する検討会: 小児医療の現場からの問題提起 (相田先生提出資料)
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000000c011.html>
 - 40) 第3回死因究明に資する死亡時画像診断の活用に関する検討会: 第2回死因究明に資する死亡時画像診断の活用に関する検討会議事録
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000000i0yx.html>
 - 41) 日本小児科学会「子ども虐待診療手引き」
<http://www.jpeds.or.jp/guide/project.html#2>
 - 42) 犯罪からの子供の安全ホームページ: 虐待など意図的傷害予防のための情報収集技術及び活用)
http://www.anzen-kodomo.jp/program/research/t_yamanaka.html
 - 43) Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, et al: Non-traumatic postmortem computed tomographic (PMCT) findings of the lung. Forensic Sci Int 2004; 139: 31-48.
 - 44) Guyton AC, John EH: 肺循環, 肺水腫, 胸水. ガイトン臨床生理学 (1版), Guyton AC, John EH編 (監訳 早川弘一). 東京, 医学書院, 1999, p493-500.
 - 45) 厚生労働省ホームページ: 平成21年 (2009) 人口動態統計 (確定数) の概況
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei09/index.html>
 - 46) Oyake Y, Aoki T, Shiotani S, et al: Postmortem computed tomography for detecting causes of sudden death in infants and children: retrospective review of cases. Radiat Med 2006; 24: 493-502.
 - 47) Shiotani S, Ueno Y, Atake S, et al: Non-traumatic postmortem computed tomographic demonstration of cerebral gas embolism following cardiopulmonary resuscitation. Jpn J Radiol 2010; 28: 1-7.

- 48) Imanishi M, Nishimura A, Tabuse H, et al : Intracranial gas on CT after cardiopulmonary resuscitation : 4 cases. *Neuroradiology* 1998 ; 40 : 154-157.
- 49) Schlomp CJ, Loimer T, Rieger M, et al : The potential of venous air embolism ascending retrograde to the brain. *J Forensic Sci* 2005 ; 50 : 906-909.
- 50) Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, et al : Cardiovascular gas on non-traumatic postmortem computed tomography (PMCT) : the influence of cardiopulmonary resuscitation. *Radiat Med* 2005 ; 23 : 225-229.
- 51) Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, et al : Postmortem computed tomographic (PMCT) demonstration of the relation between gastrointestinal (GI) distension and hepatic portal venous gas (HPVG). *Radiat Med* 2004 ; 22 : 25-29.
- 52) Jackowski C, Sonnenschein M, Thali MJ, et al : Intrahepatic gas at postmortem computed tomography : forensic experience as a potential guide for in vivo trauma imaging. *J Trauma* 2007 ; 62 : 979-988.
- 53) Takahashi N, Higuchi T, Shiotani M, et al : Intrahepatic gas at postmortem multislice computed tomography in cases of nontraumatic death. *Jpn J Radiol* 2009 ; 27 : 264-268.
- 54) Yokota H, Yamamoto S, Horikoshi K, et al : What is the origin of intravascular gas on postmortem computed tomography? *Legal Med* 2009 ; 11 : 252-255.
- 55) Takahashi N, Satou C, Higuchi T, et al : Quantitative analysis of intracranial hypostasis : comparison of early postmortem and antemortem CT findings. *AJR Am J Roentgenol* 2010 ; 195 : 388-393.
- 56) 小林雅彦, 渡辺 慎, 高田 綾, 他 : 頭部CTにて外傷性頭蓋内出血と診断され, 剖検で否定された乳児CPA症例. *救急医学* 2003 ; 27 : 617-619.
- 57) 武市早苗 : 内因性急死. *臨床のための法医学* (第5版), 澤口彰子, 福永龍繁, 武市早苗編著. 東京, 朝倉書店, 2005, p37-46.
- 58) Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, et al : Postmortem intravascular high density fluid level (Hypostasis) : CT findings. *J Comput Assist Tomogr* 2002 ; 26 : 892-893.
- 59) Patriquin L, Kassarian A, Barish M, et al : Postmortem whole-body magnetic resonance imaging as an adjunct to autopsy: preliminary clinical experience. *J Magn Reson Imaging* 2001 ; 13 : 277-287.
- 60) Guyton AC, John EH : 心拍出量, 静脈還流, およびその調節. *ガイトン臨床生理学* (1版), Guyton AC, John EH編 (監訳 早川弘一). 東京, 医学書院, 1999, p241-253.
- 61) Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, et al : Dilatation of the heart on postmortem computed tomography (PMCT) : comparison with live CT. *Radiat Med* 2003 ; 21 : 29-35.
- 62) Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, et al : Hyperattenuating aortic wall on postmortem computed tomography (PMCT). *Radiat Med* 2002 ; 20 : 201-206.
- 63) 井田正博 : 脳血管障害. 新版よくわかる脳MRI (2版), 青木茂樹, 相田典子, 井田正博, 他編. 東京, 秀潤社, 2006, p180-199.
- 64) Takahashi N, Satou C, Higuchi T, et al : Quantitative analysis of brain edema and swelling on early postmortem computed tomography : comparison with antemortem computed tomography. *Jpn J Radiol* 2010 ; 28 : 349-354.
- 65) Sarwar M, McCormick WF : Decrease in ventricular and sulcal size after death. *Radiology* 1978 ; 127 : 409-411.
- 66) Farina J, Millana C, Fdez-Acenero MJ, et al : Ultrasonographic autopsy (echopsy) : a new autopsy technique. *Virchows Arch* 2002 ; 440 : 635-639.
- 67) Aghayev E, Thali MJ, Sonnenschein M, et al : Postmortem tissue sampling using computed tomography guidance. *Forensic Sci Int* 2007 ; 166 : 199-203.
- 68) Weustink AC, Hunink MGM, van Dijke CF, et al : Minimally invasive autopsy : an alternative to conventional autopsy? *Radiology* 2009 ; 250 : 897-904.
- 69) Jackowski C, Sonnenschein M, Thali MJ, et al : Virtopsy : postmortem minimally invasive angiography using cross section techniques-implementation and preliminary results. *J Forensic Sci* 2005 ; 50 : 1175-1186.
- 70) Grabherr S, Djonov V, Yen K, et al : Postmortem angiography : review of former and current methods. *AJR Am J Roentgenol* 2007 ; 188 : 832-838.
- 71) Ross S, Spendlove D, Bolliger S, et al : Postmortem whole-body CT angiography : evaluation of two contrast media solutions. *AJR Am J Roentgenol* 2008 ; 190 : 1380-1389.
- 72) 阪本奈美子, 妹尾聡美, 上村吉生, 他 : 造影死後CTを行ったCPAOAの1例. *日救急医学会関東誌* 2009 ; 30 : 114-115.
- 73) 阪本奈美子, 菊野隆明 : 14 急性大動脈解離(造影CT). *オートプシー・イメージング読影ガイド* (1版), 大友 邦監修. 東京, 文光堂, 2009, p78-79.
- 74) 横田 元, 藤本 肇 : 診療放射線技師のためのAi (Autopsy imaging) 入門 第7回 地方病院にお

- けるAiの実際—沼津市立病院の取り組み—, 日本放射線技師会雑誌 2009 ; 56 : 993-997.
- 75) 清水健太郎, 小倉裕司, 中堀泰賢, 他 : CTを用いた心肺蘇生時の胸骨圧迫による臓器血流に関する検討. 脳死・脳蘇生 2009 ; 21 : 63-66.
 - 76) 飯塚一則, 阪本奈美子, 川崎博司, 他 : CT装置を用いた造影死亡時画像診断の有用性の検討. インナービジョン 2009 ; 24 : 89-92.
 - 77) Ros PR, Li KC, Vo P, et al : Preautopsy magnetic resonance imaging : initial experience. Magn Reson Imaging 1990 ; 8 : 303-308.
 - 78) Bisset RAL, Thomas NB, Turnbull IW, et al : Post-mortem examinations using magnetic resonance imaging : four year review of a working service. BMJ 2002 ; 324 : 1423-1424.
 - 79) Roberts ISD, Benbow EW, Bisset R, et al : Accuracy of magnetic resonance imaging in determining cause of sudden death in adults: comparison with conventional autopsy. Histopathology 2003 ; 42 : 424-430.
 - 80) Shiotani S, Yamazaki K, Kikuchi K, et al : Postmortem magnetic resonance imaging (PMMRI) demonstration of reversible injury phase myocardium in a case of sudden death from acute coronary plaque change. Radiat Med 2005 ; 23 : 563-565.
 - 81) Yen K, Lovblad KO, Scheurer E, et al : Post-mortem forensic neuroimaging : correlation of MSCT and MRI findings with autopsy results. Forensic Sci Int 2007 ; 173 : 21-35.
 - 82) 塩谷清司, 仁科秀崇, 野口祐一, 他 : 12 陳旧性心筋梗塞・急性心筋梗塞, オートプシー・イメージング読影ガイド (1版), 大友 邦監修, 東京, 文光堂, 2009, p74-75.
 - 83) Jackowski C, Warntjes MJB, Berge J, et al : Magnetic resonance imaging goes postmortem : non-invasive detection and assessment of myocardial infarction by postmortem MRI. Eur Radiol 2011 ; 21 : 70-78.
 - 84) Cha JG, Kim DH, Kim DH, et al : Utility of post-mortem autopsy via whole-body imaging : initial observations comparing MDCT and 3.0T MRI findings with autopsy findings. Korean J Radiol 2010 ; 11 : 395-406.
 - 85) Brookes JA, Hall-Craggs MA, Sams VR, et al : Non-invasive perinatal necropsy by magnetic resonance imaging. Lancet 1996 ; 348 : 1139-1141.
 - 86) Hart BL, Dudley MH, Zumwalt RE : Postmortem cranial MRI and autopsy correlation in suspected child abuse. Am J Forensic Med Pathol 1996 ; 17 : 217-224.
 - 87) Woodward PJ, Sohaey R, Harris DP, et al : Postmortem fetal MR imaging : comparison with findings at autopsy. AJR Am J Roentgenol 1997 ; 168 : 41-46.
 - 88) Brookes JA, Deng J, Wilkinson ID, et al : Three-Dimensional Imaging of the Postmortem Fetus by MRI : Early Experience. Fetal Diagn Ther 1999 ; 14 : 166-171.
 - 89) Huisman TA, Wissner J, Stallmach T, et al : MR autopsy in fetuses. Fetal Diagn Ther 2002 ; 17 : 58-64.
 - 90) Whitby EH, Paley MN, Cohen M, et al : Post-mortem fetal MRI : What do we learn from it? Eur J Radiol 2006 ; 57 : 250-255.
 - 91) Cohen MC, Whitby E : The use of magnetic resonance in the hospital and coronial pediatric post-mortem examination. Forensic Sci Med Pathol 2007 ; 3 : 289-296.
 - 92) Thayyil S, Cleary JO, Sebire NJ, et al : Post-mortem examination of human fetuses : a comparison of whole-body high-field MRI at 9.4T with conventional MRI and invasive autopsy. Lancet 2009 ; 374 : 467-475.
 - 93) Sieswerda-Hoogendoorn T, van Rijn RR : Current techniques in postmortem imaging with specific attention to paediatric applications. Pediatr Radiol 2010 ; 40 : 141-152.
 - 94) Tofts PS, Jackson JS, Tozer DJ, et al : Imaging cadavers : cold FLAIR and noninvasive brain thermometry using CSF diffusion. Magn Reson Med 2008 ; 59 : 190-195.
 - 95) Kobayashi T, Shiotani S, Kaga K, et al : Characteristic signal intensity changes on postmortem magnetic resonance imaging of the brain. Jpn J Radiol 2010 ; 28 : 8-14.
 - 96) Kobayashi T, Isobe T, Shiotani S, et al : Postmortem magnetic resonance imaging dealing with low temperature objects. Magn Reson Med Sci 2010 ; 9 : 101-108.
 - 97) 内ヶ崎西作 : 画像診断と死亡時医学検案5 超音波画像診断の応用について. モダンメディア 2008 ; 54 : 347-352.
http://www.eiken.co.jp/modern_media/contents/2007.html
 - 98) 内ヶ崎西作, 船山一寿 : 死因究明への超音波画像診断の応用について. 法医病理 16 ; 103-108, 2010.

特集 *Ai* (オートプシーイメージング)

3. *Ai* –実施体制について–

兵頭秀樹

札幌医科大学 放射線科

Autopsy imaging (postmortem imaging) in childhood – Practical implementation guide –

Hideki Hyodoh

Department of Radiology, Sapporo Medical University

Abstract

Autopsy imaging (postmortem imaging) (*Ai*) is the key imaging study to detect the underlying disease (death). To start *Ai* in each institute, prior consultation is necessary to deal with issues such as ethical code, legal basis, financial support, epidemic disease protection, patient safety, and so on. Cooperation with the department of Pathology and Forensic medicine is the key to advance the *Ai* system. In this issue, we review the *Ai* system in our institute and imaging features contrasting *Ai* CT/MR image with pathological findings.

Keywords : *Autopsy imaging (Ai), Legal radiology, Implementation guide*

札幌医科大学で実施している死後画像(オートプシーイメージング(以下*Ai*))は、放射線科が主体となり他診療科に働きかけ実現している点特徴である。院内死亡例で*Ai*が実施される症例は放射線科で院内搬送・読影を実施しており、画像所見について病理解剖前に病理担当医へブリーフィングを行っている。一方、院外死亡例に対しての*Ai*は2010年7月より法医学教室に導入された*Ai*専用CT装置を使用した検討が始まっており、放射線科は法医学講座と週1回のデス・カンファレンスを実施し、画像所見はもとより画像再構成法や撮像方法についてもサジェスチョンを行っている。解剖所見が得られたご遺体では、*Ai*で観察が難しい色調変化や血液検査データを得たうえで*Ai*/剖検所見を再検討し、*Ai*読影の死因究明に関する妥当性やその限界について検証を重ねている。

本項では、札幌医科大学で実施している院内死亡に対する*Ai*(病理*Ai*)および院外死亡に対する*Ai*

(法医*Ai*)についてその実施体制作りに必要な項目やその実際をご紹介します。また、病理*Ai*症例を提示し、*Ai*の実際を紹介したいと思う。日本医師会からの“小児・新生児死亡全例検査”の提言にもあるように、小児分野での*Ai*の充実が強く求められている。その体制作りの参考になれば幸いである。

院内死亡に対する*Ai*実施(病理*Ai*)

*Ai*実施体制作り

札幌医大で検討委員会が始まったのは2004年冬であり、当時は*Ai*という概念が広く認知されているものではなく、死亡した患者を通常の臨床診断装置で撮像するための院内倫理審査会の許諾を得るところから始まった。放射線医師/技師の中には「生きている患者さんだけで手いっぱいなのに亡くなった患者さんまで検査するのは大変だ」「亡くなった患者さんを撮影/読影することは業務でない(めんどくさい)」[病院で死んだ人を撮影し

ていることが知れると一般の患者さんからクレームが入る」という意見が寄せられた。一方、医療者でない一般の方からは「大学病院なのだからAiぐらい実施しなくてどこができるのだ」と叱咤激励されたりもした。メディアがAiの必要性を取り上げるようになると、次第にAi実施を要望する声が大きくなってきた。現時点ではおそらく読者の先生の施設ではきちんとした準備が整っている(整いつつある)ものと思われるが、私は“社会から要請されているAiについて真摯に向き合って実施している施設である”という評価を得ることは施設の信用を高めることにつながると考えている。そのためには、Aiの実施時間・院内の連絡体制・撮影/表示/記録管理・読影について定まった手順を準備しておく、院内他診療科/看護部/病院事務にAi発生後のフローチャートを提示しておくことが不可欠と考えている。また、Ai実施後病理解剖を実施できる施設では、解剖前にAi実施を組み込んだオーダー体制の再設定・画像情報提供方法・記録管理・従来までの病理解剖とのすみわけについても、病理医との間で十分な意見交換が必要であり、両診療科の協力が不可欠と考えられる。

倫理委員会

日本医師会からの“小児・新生児死亡全例検査”の提言にみるように小児分野でのAi充実の機運が高まっている現在では、倫理委員会で事前審査が必要か否かの議論はもはや時機を逸しているかもしれない。しかし、Ai実施後の検査装置で、状態の悪い患者を検査することについて事前に検討しておくことは、死亡患者さんを撮影することと同様に重要であり、全実施施設であらかじめ検討されるべき項目と考えている。とくに、感染防護はAi実施に際して絶対条件であり、検査室の衛生的な保全を確保するための遺体収容バック(セレモバック*・ライヘバック**等)を準備するまでは、診療用装置でAi検査は実施してはいけないと考えている。現在までに複数社が遺体専用バックを販売しており、ウィルス非透過性素材のものもあり、実施前の十分な準備が必要となる。

*セレモバック：<http://ceremobag.jp/index.html>

**ライヘバック：<http://www.katoman.co.jp/product-09.html>

承諾書(Fig.1)

法医/行政解剖以外でAiを実施するためには、主治医から家族に対してAiを実施する目的・その利点と限界・検査所要時間について説明し、承諾書に記名していただき意思表示を得る必要がある。従って、承諾書にはあらかじめ説明に必要な項目を提示しておき、主治医が不慣れな場合でもAiについて説明可能なように承諾書に加えて説明用文章を用意しておくことも一考と考えられる。長期療養中の患者では感染症の有無判断は可能であるが、救急搬入後に急死した患者の場合も考慮しておく必要がある。承諾書内には感染症の記入項目を作成し、選択枝には“不明”を設けておく必要がある。Ai実施の際には全例感染防護のため専用バックに封入する必要があるが、封入前処置の際の注意喚起に利用することになる。

死亡時画像検査に関するご遺族の承諾書

札幌医科大学附属病院 病院長 奥

1. 故人 氏 名：
生年月日：
住 所：

2. 死亡年月日：平成 年 月 日

3. 死亡された場所：札幌医科大学附属病院

4. 感染症の有無 無 有(具体的に) 不明

死亡時画像検査(Ai：オートブシーメーキング)はなくなった方の死因を確認し、病気の成り立ちを解明するために行われる画像検査です。

説明を受け、承諾された項目にチェックを付けてください。

☐ 死亡時画像検査では、CTやMRIといった画像診断装置を用いて体内の様子を撮影します。所要時間は1～2時間程度を要する予定です。

☐ 得られた画像情報について医学教育や学術研究に使用させていただくことがあります。また、引き続き病理解剖を実施する際に利用されます。研究に使用するには、必要に応じて倫理委員会の審査を受けます。

☐ 学会や紙上発表の際には匿名化して、個人情報は公開されません。

☐ 教育目的で札幌医科大学の学生が検査に立ち会うことがあります。

☐ 上記の承諾事項に異議があれば、検査を実施する前でしたら、いつでも取り消すことができます。

死亡時画像検査の趣旨を理解し検査することを承諾しました。

署 名 日：平成 年 月 日
氏 名：
故人との関係：
住 所：
説明者所属： 担当医名：

Fig.1 Ai Acceptance Letter

Before Ai imaging, the physician should obtain this acceptance letter from the bereaved family. The category of infection should be noted.

MPR画像による頭尾方向の画像評価も必須となるため、撮像装置での最も薄いスライスおよび最大照射線量を利用して詳細な撮影が実施される。老朽化CT装置でAiを実施する計画を立てている施設があるかもしれないが、撮像中に待機時間が長時間となる、アーチファクトが強くCT値が計測困難となる等、悪条件での読影評価が強いられることとなる。従って、あらかじめ最新のCT装置(64列以上の装置が望ましい)に更新しておくことが必要となり、場合によっては当該施設に近い他施設でAiを実施することが望まれる。

CTに追加してMRIが撮像できる場合は、CT画像で評価が難しい領域(頭部・心臓・軟部組織)の撮影の必要性が検討され実施されることが望まれる。その際、事前に撮像されたCT画像を可能な限り読影し、臨床情報から疑わしい病態に則した撮像部位およびシーケンスを選択することが必要となる。頭部撮影の際には頭部コイルはサイズが小さいためあらかじめ遺体収容バック封入前に枕を除いておく必要がある。CT同様ポジショニングによる損壊の恐れがない場合には正面を向くように位置調整を行うことで、撮像時間の短縮が可能となる。

放射線技師はプロトコルに従って撮像し、得られた画像データをCTでは軸位断/MPRをルーチ

ンとして作成し、Ai専用サーバーに専用IDを振りつけた後転送/保存する。また、検査室内の環境保全状況について確認者の役割を担い、検査室内が汚染の疑いがある場合には次の患者さんの検査を始める前に消毒・清拭等措置を行うように感染防護室に連絡/実施することとなる。

読影

放射線科担当医は撮像コンソールもしくは読影モニターで迅速読影を行う。札幌医大病院ではAiに引き続き病理解剖が実施されるため、撮像終了後約30分しか読影の時間的猶予がない。従って、生前の臨床検査情報がある場合にはこれを参照し読影を実施している。従ってAi画像と臨床画像が対比できる環境で迅速読影を実施する必要がある。Ai画像で観察する所見は、死因になりえる異常の有無・予期せぬ所見の同定・骨折がある場合にはその範囲と周囲組織との関連性である。迅速読影では所見の見逃しが生じやすく注意が必要であるが、チェックシート¹⁾の利用は網羅的な所見の把握に有用と考えられている。放射線科担当医は、得られた画像所見並びに臨床経過から推定される死亡原因について病理解剖前に提示し、病理解剖に際して注意する所見(病理解剖によって失われる所見)についても説明を行う。これをもと

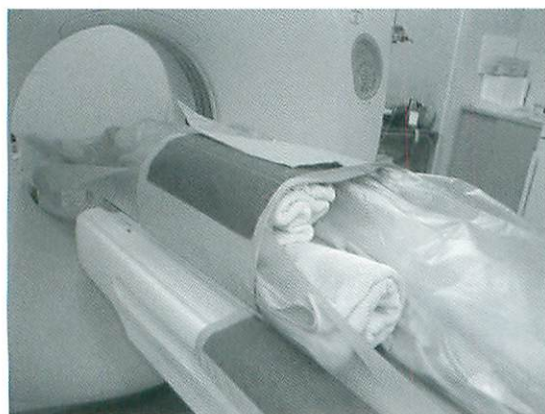


Fig.4 Ai imaging; CT

Using an anti-viral penetrating bag, the corpse is examined on MDCT. To reduce the beam hardening artifact, both upper arms are moved ventrally.



Fig.5 Pathological autopsy room

Pathological autopsy room. In Sapporo Medical University, a wide PC monitor is installed in front of the dissecting table. The operator refers to the Ai image without interrupting the procedure.

に病理担当医は病理解剖を実施することとなる。尚、当院の病理解剖室には常設の46インチモニターが用意されているので、執刀位置からAi画像を直接参照することが可能であり、インタラクティブな病理解剖が実現されている(Fig.5)。病理解剖で判定困難な所見(たとえば摘出臓器と周囲血腫の相対的な位置関係等)は画像所見に立ち戻り確認することが可能であり、Ai画像が剖検の“アンカー”的な役割を果たすことが経験されている。また、病理解剖肉眼所見で確認できた異常をAi画像で再確認することも可能であり、剖検前状態との比較が客観的に可能であるという利点が経験されている。

主治医・遺族への報告

札幌医大病院のAiは引き続き実施される病理解剖があるため、Ai画像報告は病理解剖報告とともに主治医に届られる。遺族への説明は窓口を一本化することが、遺族の誤解を回避するために重要であり、必ず主治医が説明する必要がある。医療事故が疑われる所見がある場合の対応については、あらかじめ医療安全室等で定まった手順に従い報告されることになるが、Aiのみでは医療事故を隠す有力なツールになりえること²⁾を、実施者は十分理解しておく必要がある。

施設内外への広報(Fig.6)

実施に際しては、全職員(医師・技師・看護師・



Fig.6 Public relations magazines
Ai information is distributed using magazines and HP on the internet.

コメディカル・医療事務職、他)に対してAi実施施設であることを通知し、感染防護等の観点から安全に十分配慮していることについてコンセンサスを得ておく必要がある。院内研修会/広報は定期的実施し、新職員の入れ替わりがある際にも必要な情報が容易に入手できるよう、医療施設内LANやHPへの掲示が必要となる。入院患者や家族から問い合わせがあった際には、すべての職員がAiの有用性を説明できる状態になることが望まれる。Aiに関するパンフレットを各病棟や外来患者待合に配備しておき、過度の期待や誤った情報が広まらぬよう準備しておくことが必要である。広く社会制度としてAi実施が始まっていることを周知する必要がある。

院外死亡に対するAi(法医Ai)

Ai実施

院内死亡に対するAi実施が始まったことと前後し、社会的な死因究明に対するAiの可能性についての関心が高まっている。札幌医大では法医学講座を中心とした死因究明に対するAi活用が積極的に議論され、法医学講座・放射線医学講座・中央放射線部で院外死亡に対するAi実施についての意見交換が複数回にわたって実施されてきている。そこでは、病院診療装置での院外死亡例に対するAi実施は倫理的な制限があるため困難であり、実施にはAi専用装置の導入が必要との意見集約が行われた。導入後の技術的なサポートおよび読影に関するサポートについては放射線科医/技師ともに可能な限りの協力を行うことになった。

2010年7月に道内初となるAi専用CT装置が法医学講座に導入され、院外死亡に対するAi実施体制が開始された。導入後のAi画像読影については財政的/人的にも不十分な体制でスタートせざるを得ないため、まずは法医解剖/行政解剖前にAi撮影を実施し、これを解剖に生かす方法でのAi実施が始まった。

連絡体制

警察を通じて法医学教室に連絡が入り、法医学担当医はAiの実施並びに解剖の手配を行う。Ai装置は実施日毎(同一日は1例目の前)にキャリブレーションが行われ、撮像装置の安定した運用が

行われている。そのほとんどは法医学担当医が実施にあたり、あらかじめ放射線技師・放射線科医とのディスカッションで決定されたプロトコールに従って撮像が実施されている。

Aiセンター化構想、すなわち院外死亡に対するAi撮影を放射線技師が実施、画像を放射線診断医が読影、画像所見を基に死因を鑑定し解剖の要否を判定/実施する法医学医師の協力体制が実現していない現段階では、法医学担当医がAi撮像・読影・剖検まですべてを実施し事後カンファレンスにて放射線診断医が所見をレビュー・画像クオリティーコントロールを行っている。近い将来、各都道府県(あるいは道州制区域)にAiセンターが設置され、死亡例に対する全例Ai実施が実現することが検討されており、その場合には撮像後早期にAi読影を実施できる体制づくりが必要となる。その際には、Ai読影認定医が読影を担当することになると考えられており、法医学医師の協力のもと解剖を追加する必要性の有無を協議することとなり、Ai読影認定医の役割はとても重要なものになると考えられる。

搬送・撮影

ご遺体は通常警察等を通じて搬送され、そのまま検査テーブルに乗せられるため、搬入・搬送に際して放射線科担当医が直接手を下すことはない。法医Aiでも予期せぬ所見が観察されることが経験されているため、体表観察で異常がなくとも撮像範囲は頭部～足底部までの全身撮像が必要となる。特に頸部領域は3方向での再構成画像の作成が必要であり、細小スライス、十分な線量で高精細画像をraw dataとして取得できる最新装置での撮像が必須となる。

読影

法医Aiで扱うご遺体は、病理Aiとは全く別物との認識で読影にあたる必要がある。特に、事故・焼死・溺死・腐敗・凍死等が遺体に与える影響は大きく、現時点ではAiのみをもって死因を究明することは難しい場合があると考えている。死因には薬物等画像検査では識別不能となるものもあり、画像で死因と考えられる所見がない場合には特に注意を要し、法医解剖による評価が必須と考

えられる。

法医Aiの際には、個人識別が重要な要件となることも経験されている。口腔領域の画像再構成による個人識別は知られているが、骨関節表面の形状を基にした年齢推定や手術器材の体内分布を基にした個体特定も重要となっている。ご遺体の一部しか得られない場合もあり、画像記録として法医Aiデータが有用性を発揮することも経験している。

法医Aiが病理Aiと異なる点は、ご遺体に晩期死後変化が生じている場合が多い点と考えられる。病理Aiでは死後の早期変化が観察されるため、その変化に関する十分な知識を有しておくことで読影が可能となる。法医Aiでは死後変化が時間経過とともに更に変化し修飾される。特に、ご遺体の置かれた環境によっては外傷と判断されかねない所見が生じる場合(例:生物の捕食による遺体損壊)があり、読影に際しては医療現場で経験される知識だけでは不十分なことが多く経験されている。Ai所見について科学的裏付け作業が行われている現時点では、可能な限り剖検所見との対比を行い、画像から得られる所見を明らかにすることに加えてその限界を明らかにしていくことが必要となると思われる。

死因究明

Ai画像に異常所見があるならば、多くの場合放射線診断専門医にとってそれを指摘することは難しい作業ではない。しかし、その所見が死亡原因に如何に関係したかについて考察することはとても難しく、いまだに十分なトレーニングが実施されている施設はなく、Ai画像診断の域を超える課題と考えている。死因究明の経験を多く積んでいる法医学医師と協力し、死因究明の判定材料として客観的なAi画像所見を利用していくことは可能であり、正しい画像所見を提示するために放射線診断医がAi画像診断に関わっていかなければならないと考えている。

症例:9歳男児

主病名:若年性全身性エリテマトーデス(SLE)

現病歴:5月より、両眼周囲に発赤・膿疱疹出現。6月より肘・膝・殿部に拡大。8月より38℃台の熱

発みとめ、近医受診、不明熱として入院。抗菌薬を使用し解熱・退院。その頃より頬部の紅斑出現し次第に顔全体に拡大。同年9月より右中指に皮下結節出現したため、不明熱精査目的に同年10月札幌医大に入院した。

入院後経過：治療を開始し、一旦は心機能の正常化が確認された。しかし、肺炎所見が出現し増悪が認められ、治療の甲斐なく入院後4か月に死亡した。

入院後胸部CT：死亡2か月前では舌区に含気低下

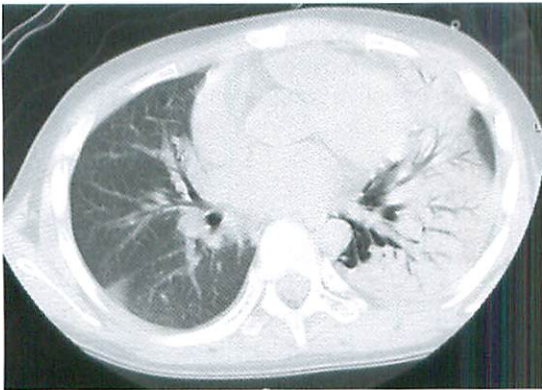


Fig.7 9-year-old boy with juvenile SLE
1 week pre-mortem chest CT. Alveolar pattern with air bronchogram is presented on left lower lobe. The medial part of middle lobe also shows decreased aeration.

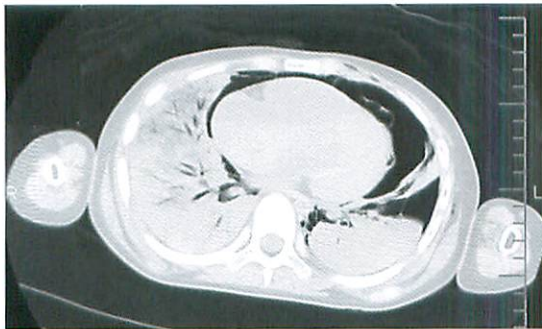


Fig.8 9-year-old boy with juvenile SLE
Postmortem 3 hours chest CT. Aeration has vanished in almost all lung fields. Pneumo-mediastinum and -thorax are presented due to the positive-pressure respiration.

域が出現しており、徐々にすりガラス状濃度上昇域が広がる様子が観察される。死亡1週間前になると左肺には肺泡性変化が広がり air bronchogram が観察され含気の低下が進行している。右肺門部にも肺泡濃度上昇が観察されており含気の低下が右肺にも広がっている (Fig.7)。

死後CT (死後3時間) (Fig.8)：中葉の肺泡濃度がごくわずかに保たれているが、両側肺野の含気はほとんど観察されていない。気胸・気縦隔が観察されており、気管挿管の影響と考えられる (死亡前より陽圧換気されている)。縦隔条件では肺野濃度の上昇が観察されており、肺泡出血を伴っていることが考えられる。心腔内には液面形成があり死後変化と考えられる。

死後MR (死後4時間) (Fig.9)：CTで観察される肺泡濃度異常はT2強調像で辺縁部の低信号・肺門部の高信号として描出されており、水腫のみによる含気低下ではないことが推定される。両肺ともに同様の所見が観察されており、気胸・気縦隔部分は無信号を呈している。

右室と右房には液面形成があり流動血の貯留が考えられる。心腔内と肺野の信号パターンが同様であり、肺泡に血性成分が貯留していることが推定される。

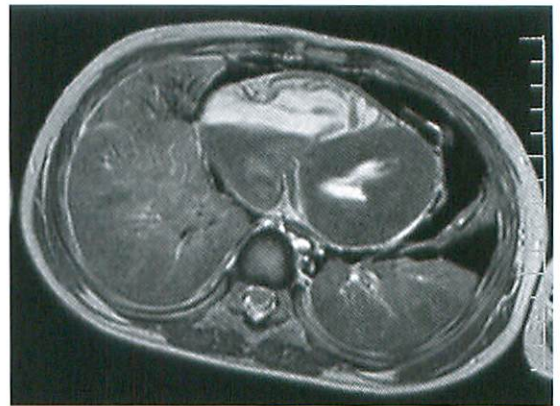


Fig.9 9-year-old boy with juvenile SLE
Postmortem 4 hours chest MR T2 weighted image. Both lungs present moderately high intensity at hilum and low intensity in the periphery. Fluid level is present in the RV-RA due to blood sedimentation.



Fig.10 9-year-old boy with juvenile SLE
Lung pathological dissection; macro.
Lung congestion is visible bilaterally.

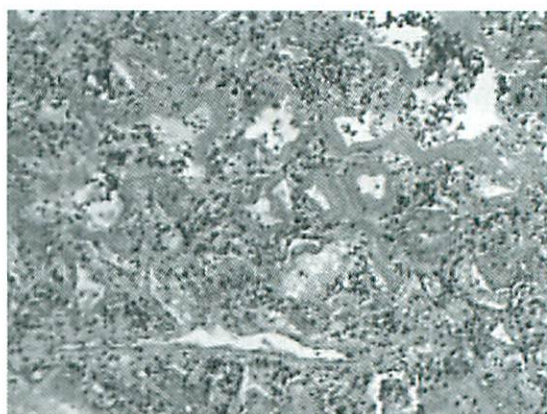


Fig.11 9-year-old boy with juvenile SLE
Lung pathological dissection; micro.
Mal-respiration is confirmed due to
congestive lung edema on pathological
inspection.

病理解剖所見：病理解剖にて両肺には著明な鬱血が肉眼的に確認された (Fig.10)。組織学的検討では肺胞内に鬱血所見が観察され、鬱血水腫による呼吸不全状態であることが確認された (Fig.11)。

●文献

- 1) 高橋直也, 樋口健史, 塩谷 基, 他: 死後CT読影用チェックシートの開発と使用経験, 臨床放射線 2010; 55: 334-340.
- 2) 兼児敏浩: Ai実施に伴う現場からの問題提起, Ai学会 1000字提言 2010年7月21日.
<http://plaza.umin.ac.jp/~ai-ai/>

特集 *Ai* (オートプシーイメージング)

4. *Ai* -医療安全・医療紛争に関わる諸問題

長谷川剛, 鈴木義彦¹⁾

自治医科大学 医療安全対策部, 同 メディカルシミュレーションセンター¹⁾

Topics of autopsy imaging (*Ai*) in patient safety and medical litigation

Tsuyoshi Hasegawa, Yoshihiko Suzuki¹⁾

Division of Patient Safety Promotion, Jichi Medical University
Medical Simulation Center, Jichi Medical School¹⁾

Abstract

We discuss some topics of Autopsy imaging (*Ai*) in the field of patient safety, medical litigation and child abuse. *Ai* may be a new social system in Japan and we still have many problems to solve.

Keywords : *Autopsy imaging (Ai), Patient safety, Medical litigation*

はじめに

2000年に米国において『人は誰でも間違える (To Err is Human)』が出版された。本書は出版と同時に世界中で話題となった。反響が大きかったのはそこで入院中に医療行為による傷害を受けた患者が少なくとも2.9~3.7%存在しており、その約半数は何らかのエラーに起因していたという報告がなされていたからである。米国において年間44,000~98,000人の患者が防げる可能性のある医療に伴う傷害を原因として死亡しているということになる¹⁾。

日本では1999年1月に横浜市立大学附属病院において心臓の手術を予定していた患者と肺の手術を予定していた患者が取り違えられて手術をされてしまうという事故が発生した。また翌2月には都立広尾病院において末梢輸液ラインのヘパロック用のヘパリンを希釈した生理食塩水と消毒用のヒビテンが誤って取り違えられて準備され、ヒビテンの静脈注射により肺塞栓で患者が死亡するという事故が発生した。この2つの事故以後、日本でも多くの医療事故が報道され医療における安全

対策が注目されるようになった。

並行して医療紛争も増加し、医療に関わる裁判事例も年間500件以下だったものが一時は1,000件を超えるまで増加した²⁾(ただし2004年以降は医事関係訴訟件数は減少傾向となっている)。民事訴訟のみならず、帝王切開によって産婦が死亡した事案では業務上過失致死容疑で産科医が逮捕されるという事件も発生した。本件は医療界全体に大きな波紋を呼び、以後医師法21条による異状死体の届け出の問題や医療事故に関する第三者機関の問題へと発展し、医療事故調査委員会の設立の是非という形で現在も議論が続いている。

こういった状況の中で死亡後の画像診断であるオートプシーイメージング(*Ai*)にはどのような役割が期待されるのか、またどのように*Ai*を関与させるべきなのかについて検討するのが編集者からの依頼である。しかしながら期待される役割についても、またどのように関与させるべきかという問題も非常に広範でかつ奥深い内容を含むため、本稿では議論の若干の整理を行うことを目的とする。

医療安全の領野

医療安全や患者安全という用語でどういったことを指示しているかは、論者によって若干の相違がある。米国医学研究所では、患者安全 (Patient Safety) という用語を用いて、「患者に不必要な傷害を与えることを予防する」という定義をしている³⁾。傷害は身体的・物理的なものと精神的なものの双方を含むとしている。本稿でも原則としてこの定義を医療安全や患者安全という用語の語義として使用する。

もう少し具体的に医療安全という名のもとで各医療機関で実践されている活動を見ると、いわゆる質改善活動や医療紛争対応が含まれている。こういった観点から筆者は3つの方向軸を定めて医療安全推進活動を考察するのがよいと考えている⁴⁾。病院等医療機関において医療安全管理体制を構築するに当たって、エラーマネジメント、クオリティマネジメント、コンフリクトマネジメントの3つのベクトルを考えるということである。

エラーマネジメントの範疇では、薬の取り違いや患者の取り違い等のエラーの発生確率を低下させるための管理や手法が議論される。手術患者に対するチェックリストの利用や、電子的オーダーシステムやバーコード利用等がこのベクトルでの具体的な活動に当たる。

次に個別の医師や看護師等の能力管理や組織管理的なものをクオリティコントロールのベクトルに含める。医療における有害事象では、医師や看護師の能力に依存している部分が多い。手術の失敗や診断の誤りによる有害事象や、看護師の身体評価の誤り (血圧低下を放置したなど) による患者への傷害などである。そのため例えば専門医制度や認定看護師制度による質の担保などが重要となる。論者によっては質概念には安全も含まれるとして、筆者のような概念の区分けに反対の意見もある。しかし個別の現場においては、エラーの発生確率を下げるための活動と個別の医師や看護師の技量を向上させ自由度を高める活動は相反する方向性を持つことが多いため、敢えて細分化して議論した方がよいというのが筆者の立場である。そういう意味では狭義のクオリティコントロールと呼んでもよい。

医療行為の説明のプロセス (インフォームドコンセント) や有害事象発生後の対応は、患者側から医療への期待が高まり、納得を求められる昨今の状況では、特段に高いレベルでのものが求められる。こういった領域の管理をコンフリクトマネジメントと呼ぶ。多種多様なメディアが発達した現代社会においては、説明責任が強く求められており組織として適切に対応できることは重要である。従来病院組織にはこういった部分を担当する部署が存在してこなかったため、医療安全管理部門が紛争の初期対応を担っていることも多い。このように医療機関の実際の活動に照らし合わせて医療安全を考えると、エラーの発生確率を下げる活動、個別の医療従事者の能力を高め組織全体の臨床指標を向上させる活動、そして初期対応を含めた紛争対応的な活動というように3つのベクトルを設定することは、議論を分かりやすくし具体的な方策を考えやすいというメリットがある。もちろん病院等医療機関の医療水準向上のためには、感染管理や検査・治療機器の精度管理も重要なことは当然である。

そこでエラーマネジメント、クオリティマネジメント、コンフリクトマネジメントという3つのベクトル (Fig.1) を参照しながらAiがどのように寄与するかを考えてみる。

医療安全にAiは寄与するか？

先ほどの3つのベクトルに即して考えてみよう。Aiが直接医療行為におけるエラーの発生確率を下

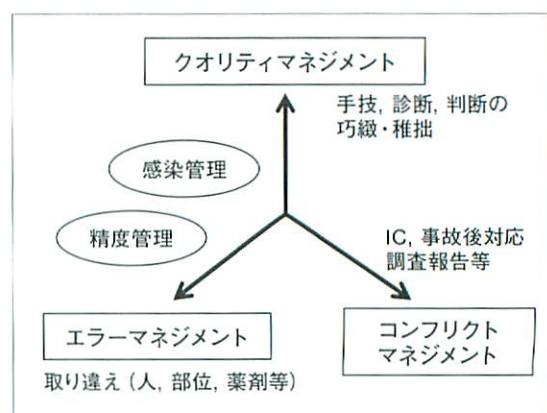


Fig.1 Scheme shows three directions of patient safety promotion

げる作用を有するだろうか。これは明確に「否」である。Aiは画像診断の一つであるから直接にはそういった作用は無い。現在の医療安全対策では取り違えのエラーの発生を低減させるためには、チェックリストや指差し呼称、バーコード等電子システムによる確認作業が有効とされている。Aiは死亡事例等に対する事後的な検証の過程では有効なツールであるが、医療行為自体のエラーの発生確率を下げるための反省的効果しか持ちえない。

クオリティマネジメントという観点からは、部分的に有効であるという言い方が適切であろう。個別の医師や看護師の技量や判断力の向上に関しては、様々な学習理論によって研究されているところである。その中で手術や内視鏡など専門職の技能獲得過程においては、反省的思考が重要であるとされている。リフレクションと称され、行う行為のプロセスについて反省的思考を繰り返しながら専門職としてのスキルが獲得されると考えられている⁵⁾。動画記録の技術が進歩した現状では、手術や内視鏡等の手技の質向上に、記録された動画のレビューやリアルタイムでの動画観察が非常に有効である。すでに外科系の学会の多くでビデオセッションが導入されており大変な盛況であることは周知の事実である。

日常診療においては緩和医療の段階に入ると検査を頻回には行わなくなる。また在宅医療が推進されると画像診断の機会は減少する。つまり患者に対する医療行為の評価機会は減少する傾向にある。患者死亡後の画像診断は、最終段階の医療的介入の適切さを評価する材料となりうる。Aiはこういった評価を通して、診療に従事するものが自らの診療行為を反省するという契機を作ることができる。Aiはこういった間接的な経路で個別医療従事者の質改善に寄与するだろう。

医療紛争で期待される役割

次にコンフリクトマネジメントのベクトルを検討するが、ここでは医療事故後あるいは医療経過が思わしくないときに紛争化していく要因を取り上げる。医療紛争化する非常に重要な要因はコミュニケーションの途絶や欠乏と言われている。それまで適切に説明してくれていた医師や看護師がベッドサイドに来なくなる。掛けられる言葉が

少なくなる。これは双方にとって相応の理由がある。医療者にとっては、事故や思わしくない結果が発生したときにすべての状況や原因がわかっていない。むしろ原因が不明のことが多い。そこで中途半端な説明を行えば事後的に説明が違うとか嘘をついたということになり、あえてそこで必要なことは話さない方が良くと教育される。また複数の説明者がいる場合には、あの人はこう言ったのにこの人は違った言い方をするというような微妙な表現の相違が必ず発生し、その齟齬が不信感を増強するということがある。そのため有害事象後ほとんどの医療機関では説明者を限定し他のスタッフは余計な話をしないように指導される。一方、家族にすれば突然の望ましくない結果について、なぜこんなことになったのかを知りたいし、そこでは今まで以上の濃厚で頻回のコミュニケーションが必要となる。この双方のコミュニケーションに対する態度の違いが紛争発生の大きな要因となる。

患者が予想外の経過で突然亡くなった状況を考えてみよう。病理解剖を行ったときにこのコミュニケーションの齟齬は解消されるであろうか？実は齟齬の解消は容易ではない。その一つの要因は時間経過である。解剖においては、マクロ所見での説明は遺体返還時に担当医から可能であるが、解剖の最も有力な情報源であるミクロ所見は数週間待たなくてはならない。この時間経過が家族の不信感を増強することがある。

家族の立場になればなるべく早く事実を知りたい、あるいは、今、ここでの説明を求める。さらに説明がなされても1回だけで納得し満足することはまれである。しかし従来の解剖の手法や、あるいは法的に限定された開示範囲しか有しない司法解剖にいたっては、説明つまりコミュニケーションの契機を減少させる誘因となり、むしろ紛争を激化させる可能性もある。

事例

小児の突然死事例を紹介する。(事例は個人情報保護のため若干の修正を施してある。)

乳児期の男児。16時から寝ていた。19時頃児が起きたため、抱っこして、また、布団に仰向けで寝かせた。母親も一緒に寝た。22時頃母親が

起きたところ、本人がうつぶせの状態で、足が冷たいことに気づく。仰向けにしたところ息をしていなかった。

救急要請。覚知：21：49。来院22：22。

既往歴：特記事項なし。すぐさま心肺蘇生が開始されたが、反応せず23：10に死亡確認された。

死後撮影された頭部CT及び胸部CTでは、脳溝がはっきりせず脳質も狭く軽度の脳浮腫を示唆する所見と肺の浸潤影の所見のみであった (Fig.2)。この事例ではその後警察が身柄を引き取り、病院側にはその後の経過や死因究明の内容は知らされていない。

担当医からの画像の説明が迅速になされて以後は警察による事務的な処理が遂行され、家族にとっては極めて不快かつ納得の得られない状況となる。

通常の院内死亡と異なり、院外死亡事例では異状死体としての取り扱いが必要になるため、本事例のようにAiを行った後の情報については捜査上の秘密扱いとなる。原則として病院側にも家族にも十分な内容が伝えられないことが多い。現在Aiの制度化が進められようとしているが、乳幼児の突然死事例に対しては両親の悲嘆体験へのケアという視点を含めていかないと社会的に納得の出来る制度になるとは思えない。

小児領域での問題点：虐待

小児領域では成人に比して虐待の問題を特段に配慮する必要がある。全国の児童相談所で取り扱った児童虐待に関する相談件数では、2005年度は34,472件であり把握されている件数の推移は増加傾向である。死亡例は3歳未満の乳幼児が多い。虐待の診断・判断に画像診断は有効である⁶⁾。被虐待児の死因で最多である頭部損傷では、硬膜下血腫、脳挫傷、頭蓋骨骨折といった所見を容易に診断できる。骨折に関しても肋骨骨折等でみられる虐待に特徴的な骨折は微細な変化が多く、解剖ではむしろ診断が困難なことが多い。腹部CTは虐待の検出にはそれほど有効ではないという報告もある⁷⁾。

来院時心肺停止事例では、虐待など事件性も加味した診断・判断が重要となる。その際死因検索に関する親の同意の問題が生じる。

また異状死体として警察に届け出た場合、現状保存や検死が優先され、担当医や親の意向が反映されない状況となる。また司法解剖と一体となったAiが実施されると、その情報は原則非公開となり家族や病院側には死因を含めた情報が知らされないということになる。これは死因究明という観点からAiを考えた場合、その価値を著しく減少させることになる。

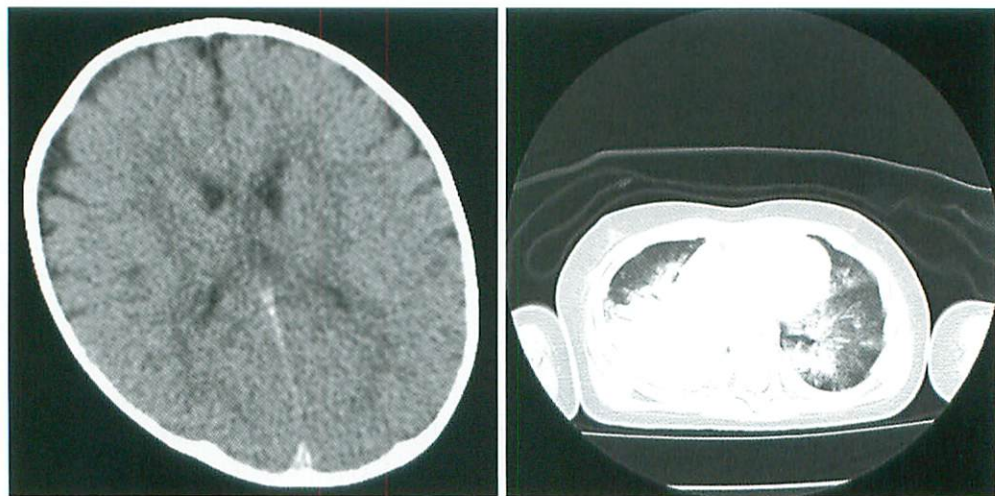


Fig.2 CT scans show decreasing cortical sulci findings which may suggest brain edema and patchy pulmonary consolidations and dilatation of pulmonary vessels which may suggest pulmonary congestion.

小児領域での問題点：脳死移植

2010年より改正臓器移植法が施行された。これによって以前には不可能であった15歳未満の小児に対する脳死臓器移植への道が開かれた。このことは小児虐待による死亡児を臓器提供者から除外する必要性が生じたことを意味する。単なる言葉の問題となるが、脳死判定後に行われた画像診断はAiということになり、脳死判定前に行われればそれは通常の医療における画像診断となる。もちろんその実態は同じ行為である。

小児領域での問題点：親

来院時心肺停止や院外死亡例での親への対応は難しい一面を持つ。それは一方で突然愛する家族を失った悲嘆体験者としての親であるが、もう一方には虐待によって子供を死なせた加害者の可能性も有するからである。前者の親に対して虐待の可能性を疑う言動を示すことは、精神的に大きなショックを与えることになる。逆に虐待の加害者が親の愛情を示す態度で自らの犯罪を隠そうとする場合には、医療者の配慮が隠蔽を助長することもありうる。子供の権利を守るという観点から虐待の発見は重要だが、親を含む家族の関係性を見据える態度が医療者側に必要である。

院内死亡事例でのAi

成人を含めた院内死亡事例の一般的な状況を考えてみる。院内で突然の予想外の死亡事例に遭遇した場合、Aiを行うことのメリットは多い。第一に出血性疾患等の診断に寄与する。第二にAiによって診断が確定しなくても、医療者側が誠意を持って死因検索を行う意思表示となる。家族からすれば予想外の状況に動揺し、不信感も持っているであろう。そういった状況で遺体への侵襲を配慮しながら、段階的に死因検索の方法の提示が可能となる。しかもそれを死亡直後から継続可能なコミュニケーションとして開始することができる。結果については撮影直後に説明を行うことができる。その結果を踏まえて、さらに次のステップである解剖の説明やその他の選択肢等の情報提供が可能となる。これは通常の事故後の紛争対応にとって有効な手段と考えられる。

医療事故・医療過誤・医療紛争の概念

本節では医療事故、医療過誤、医療紛争といった用語について簡単に解説を加えておく。

通常、診療過程において患者に傷害が及んだ場合、有害事象 (adverse events) と呼ぶ。有害事象は医療事故と同義で用いられる。

一般的には、医療事故、医療過誤、医療紛争といったカテゴリーで、医療における有害事象や患者・患者家族との感情的軋轢の問題を整理している。通常、「医療事故」という用語はあらゆる有害事象を含んでおり、そこに過失や過誤の有無は考慮されない。医療従事者が医療を行ったことに関連して、あるいは管理上の問題から発生したすべての傷害を意味する。一般的には医療事故という用語は有害事象と同義と考えてよい。一方「医療過誤」は過失の存在を前提としたものである。医療行為における過失という概念は、科学的な観点からは決して明確ではない。通常法廷では医療水準に満たない医療行為や判断が問題視されるわけだが、法曹関係者では判例などをもとに次のような指摘が為されている。まず医療関係者は、人の生命及び健康を管理すべき業務(医業)の性質に照らして危険防止のために実験上必要とされる最善の注意を求められる(最判昭和36年2月16日民集15巻2号244頁)が、ここでいう最善の注意の内容は、実施された処置が治療時のいわゆる臨床医学の医療水準に照らして適当であったか否かである(最判昭和57年3月30日判時1039号66頁)。それゆえ当時の臨床医学の医療水準に達していない行為や判断は過失として認定されるということになる。

だがこの記述に依拠するだけでは、医療行為の可否についての明快な区分は困難である。具体的には手術中の癒着剥離において出血が多量になったときの過失の有無、訴えのはっきりしない急性心筋梗塞やくも膜下出血の診断などは、十分な経験を有する医師でも難しい場合が多い。これらの判断の過失性を医学水準なるものでどのように判断するのか不明なのである。科学的には何%で診断できなかった例があると実証的に議論されるわけだが、法的な過失判断においては、白か黒しかない。法廷でなされる過失の判断とは、こういった記述を根拠に種々の証人や文献をもとにその判

断が為されているのが現実である。多くの医師が裁判によって医療行為を判断することに批判的になる理由はこういったところにある。

「医療紛争」は実施された医療に関連して発生するすべての紛争であり、いわゆるクレームなども含む概念である。この概念では、医療行為の内容や結果に関わらず、傷害(精神的なものも含む)があると認知され、それについての申し立てが有った場合をすべて含むことになる。

以上、医療事故・医療過誤・医療紛争(医事紛争も同じように用いられる)の概念について簡潔に解説をした。厚生省から出された病院のリスクマネジメント推進に関するマニュアルでも上述の定義を使用している⁸⁾。「医療事故」という用語は通常用いられるときには感情的かつ価値判断的な意味が込められていることが多い。メディア報道などでは混乱して用いられることがあるので注意が必要である。

医療訴訟の限界

多くの国民は裁判が公明正大で納得のできる解決手段だと考えている。ところが裁判制度が活発に利用されているアメリカでも、現在Alternative Dispute Resolution (ADR) つまり裁判外紛争解決に対する関心が高まっている。それは訴訟という法的解決によって、医療事故に関係した当事者達が必ずしも満足を得ているとは言い難いこと、訴訟における事実認定が医療事故の発生経緯の全体像の解明とは論理的に異なり、医療事故防止に必ずしもつながらないことなどが理由とされている。

具体的に訴訟という解決方法の欠点を考えてみるとコストやアクセス、手続き上の観点、そして社会的影響等の3つの焦点があるように思われる。

訴訟は多額の費用(コスト)を要求する。弁護士への相談費用、着手金など数十万から数百万円を要するとされている。これは一般人にとっては決して低額ではない。金銭のみならず時間も要する。平均訴訟期間は1995年の約38か月から2004年の27か月へと短縮しているが、それでも決して短い期間とは言えない。さらに医療事故を扱う専門弁護士の数は極めて限られており、弁護士へのアクセス自体も問題となる。

和田らによれば⁹⁾、訴訟手続きに内在する問題

として、(1)法的論点への限定、(2)法的責任への限定、(3)金銭賠償への限定、(4)対決型対審構造、等が指摘されている。訴訟はあくまでも法的紛争に決着をつける場として設計されているため、あらかじめ法によって定義された問題のみが扱われるという限界がある。そこでは医療者の考える医学的事実も患者家族の求めるナラティブ(narrative)な観点からの事実も検討されることはない。ナラティブという意味は、一人の人間の個性、人生の一回性に関わる物語、ストーリーである。一般的な事故や傷害は、多数の人に共通の意味とは別に、一人の当事者である人間にとってはその人だけの意味を有する。これを明らかにするためにはその人の話を十分に聴き、受容する態度が必要である。

一方、法は法的責任を確定し負わせるが、個別の人間の事情や物語は軽視する。これはその人固有の痛みや事情には目をつむり、他の責任には関与しないということである。それは社会常識的な責任、生活者の観点からの責任については、逆説的ではあるが一定の無責任を生み出すことになる。「弁護士に相談してあるから」という一言で医療者側が患者側との関与を拒否するということが起こる。すでに係争中であるとのことで、いっさいの関係を遮断するということも起こりうる。これによって当事者達は大きく傷つけられていく。こういった弊害は、法的解決の限界の一側面を指し示している。また金銭賠償は、金銭という象徴的な意味合いを考えたとき、解決の一つの手段として重要である。だがその象徴的な側面を生かすためには対話促進の手続き(プロセス)が必要なのだが、現行の裁判体系ではそれはあえて捨象されている。裁判の場は対審構造と呼ばれるように、向かい合っただけの殴り合いのようなものである。必要以上に相互の主張の違いをぶつけあい対決を強めていく。これは結果として両者の感情的な傷を深めていく効果を有する。

とんでも判決と呼ばれる、医学的に考えてとても承服できない判決内容が出されていることも問題点の一つである。

訴訟という解決方法にこういった問題がある以上、これとは別の解決方法が求められるということは至極当然のことであるし、社会は実は以前か

らそういった解決方法も有してきたということの方が正しい。表面には出てこないが医療現場においても、良心的な病院においては有害事象発生後適切な情報開示がなされ、示談交渉や補償交渉が多数行われていたことは事実である。

Ai実践上の諸問題

医療紛争に関連してAi実践上のいくつかの問題を紹介しておく。Aiの画像は民事訴訟において証拠となりうるのだろうか。診療録やレントゲンフィルム等と同様の扱いとなるのだろうか。

法律家によると一般的に民事訴訟では証拠物の証拠能力に制限はなく、その証明力は裁判所の自由心証に任せられている。したがって、Aiによって獲得された情報も、電子カルテと同様の扱いを受けると考えられる。電子情報のため改変歴等が争われる場合もあるかも知れないが、裁判所が証拠として採用し、それが事案の結論の判断に利用されるだろう。

CT画像のような電子データを証拠法上どのように位置づけるかに関しては実務上、争いがあるところだが、それはあくまで訴訟法学上の議論にとどまる。結論として、紙媒体に準じて扱い、証拠採用されることについては疑いがない。

通常はプリントアウトしてそれを用いることになるが、電子媒体でプリントアウトできないならば、CDなど電子媒体に取り込みコンピュータで見ることができるようにするなど、当該画像を裁判所で再現できるようにしたうえで、病院のサーバーに存在する情報と電子媒体上の記録との同一性を確認する手続が加わることになるだろう。よってAiは訴訟において、通常のレントゲンフィルムやCTのフィルムと同様の証拠能力を有していると考えべきである。

最近ではCTやMRI撮影に際して承諾書に署名をもらうことが多い。病理解剖については解剖の承諾書に家族から証明をもらう。それではAiでは同意書や承諾書は必要なのだろうか。現状では家族に説明するに際して、説明の用紙をあらかじめ用意して承諾書に署名をもらっている施設の方が多いようである。法的な関連からは死後CT自体

は遺体に何ら侵襲を加えるものではなく、それにとどまるものであれば、承諾書はいらないという立場もありうる。しかしながら、遺体に対する処置を実施するのと外形的には区別がつきにくく、そこから死亡した者の情報を得るという死後CTの内容は、患者の死亡によって遺族が取得した、遺体に対する支配権に抵触する側面が絶無とはいえないこと、死後CTの結果を受けて解剖に発展する可能性もあることも考慮に入れば、承諾書をとっておくことが、事後の紛争予防にも、後の解剖にスムーズに進展するのにも有益だと考えられる。

Aiを実施するための医療機関間での遺体搬送については、いまだ適切な考え方は存在しない。一方では死体検案書を発行しそれを遺体に添えた形で患者搬送用のタクシーなどを用いるという考えから、いったん警察に連絡した上で特例として遺体を搬送しCT撮影後に主治医が死亡診断書を作成するという考え方もある。Aiセンター構想が地方都市等で実現されつつある状況では、Aiに関連する遺体搬送は早急に議論し一定の見解を出すべき重要な問題である。

最後に

Aiは遺体に対する画像診断である。死亡時医学的検索の方法論の一つと考えてよい。科学技術の進歩とともに死因検索の方法が解剖以外の手法も含めて統合的になされ、より精度を高めていくことも当然の流れであろう。一方で医師不足等に象徴されるように現時点で人的にも費用的にも多くの医療資源は欠乏しており、加えて専門分化や縦割りの文化の残存によって効率的な運用ができていないのが実情である。

そんな中でAiは単なる画像診断を指示する用語ではない。むしろ新しいシステムによる死因検索制度や、現在の社会が喪失している死後の医療的な、あるいは社会的な関わりや創造を求める暗黙の意思が潜んでいるように思える。

Aiという言葉を通して個別の専門家が従来の領域を超えて議論し、協働するための契機となることが期待される。

●文献

- 1) Kohn LT, Corrigan J, Donaldson MS : To err is human : Building a safer health system. Washington D.C., National Academy Press, 2000.
- 2) http://www.courts.go.jp/saikosai/about/iinkai/izikankei/toukei_01.html
- 3) Aspen P, Corrigan J, Wolcott J, et al : Patient safety : Achieving a new standard for care. Washington D.C., National Academy Press, p5, 2004.
- 4) 長谷川剛 : 医療安全推進のための3つの問題軸. 質安全誌 2007 ; 2 : 173-175.
- 5) Schon DA : The reflective practitioner : How professionals think in action. London, Temple Smith, 1984.
- 6) Erfurt C, Hahn G, Rousner D, et al : Pediatric radiological diagnostic procedures in cases of suspected child abuse. Forensic Sci Med Pathol 2011 ; 7 : 65-74. [Epub 2010 Feb 27]
- 7) Hilmes MA, Hernanz-Schulman M, Greeley CS, et al : CT identification of abdominal injuries in abused pre-school-age children. Pediatr Radiol. 2010 Nov 24. [Epub ahead of print]
- 8) 厚生省保健医療局国立病院部政策医療課 : リスクマネジメントマニュアル作成指針. 2000.
- 9) 和田仁孝, 中西淑美 : 医療コンフリクトマネジメント. 東京, シーニュ, 2006.

カプセル内視鏡の小児への応用

中村 哲也

獨協医科大学医療情報センター

Clinical application of capsule endoscopy for pediatric patients

Tetsuya Nakamura

Department of Medical Informatics, Dokkyo Medical University School of Medicine

Abstract Capsule endoscopy (CE) is a swallowable pill-sized endoscope especially for the detection of the small bowel disease. This review article explains the mechanisms, examination method, indications and contraindications of CE for the small bowel (PillCam SB : Given imaging Ltd., Endo Capsule: Olympus Medical Systems Corporation) in Japan. The present status in clinical use of CE for the pediatric patients, in USA and Europe, CE is approved as a diagnostic tool for children aged 10 years and over. The main limitation of CE for children is difficulty in swallowing the capsule (27 × 11mm). The most important adverse event of CE is retention in case of stricture. Therefore, clinical application of CE for children especially younger than 10 years is not popular at the present time. In the near future, a smaller capsule will be developed and younger children will be able to use it for detection of small bowel diseases.

Keywords Capsule endoscopy, Pediatric patients, Small bowel, Retention

はじめに

カプセル内視鏡は、患者がみずから飲み込むだけで消化管内腔の撮影ができるカプセル型の小型内視鏡である。飲み込まれたカプセル内視鏡本体が蠕動に従って消化管を通過しながらその内部を撮影していくため患者の苦痛がほとんどなく、生理的な状態に近い消化管、特に小腸を比較的容易に観察することができる、新しい内視鏡診断法である。

イスラエルのギブン・イメージング株式会社が開発した小腸用カプセル内視鏡 (PillCam SB, Fig.1a)¹⁾ は、2001年に欧米で認可されて臨床応用が始まった²⁾。当初は小腸病変の評価における補助的検査法とみなされていたが、2003年からは小腸の検査における第一選択と位置づけられ、2004年には10歳以上の小児に対する診断機器として承認された。その後、急速に開発が進み、2011年1月時点

で食道用、小腸用、大腸用の画像撮影専用モデルが実用化され、臨床応用されている。

日本では、上部および下部消化管の検査を行っても原因が不明の消化管出血を有する主に成人患者に対して、2007年10月1日にギブン画像診断システム (Fig.1)³⁾ が、2008年10月1日にオリンパスメディカルシステムズ株式会社のカプセル内視鏡システム (Fig.2)⁴⁾ が保険適用となった。カプセル内視鏡による検査は、2001年からこれまでにPillCam SBを中心に、世界でのべ100万件以上も行われている。

本稿では、まず小腸用カプセル内視鏡のシステムと原理、検査方法と日本における保険適用・禁忌について概説し、カプセル内視鏡の小児への応用について国内外の現状と将来展望について解説する。

小腸用カプセル内視鏡のシステムと原理

Fig.1にギブソン画像診断システムを、Fig.2にオリンパスカプセル内視鏡システムを示す。いずれ

も、大きく分けて以下の4つの機器で構成されている。

1. カプセル内視鏡本体 (PillCam SB : Fig.1a, Endo Capsule : Fig.2a).
2. リアルタイム観察用機器 (RAPID (Reporting and

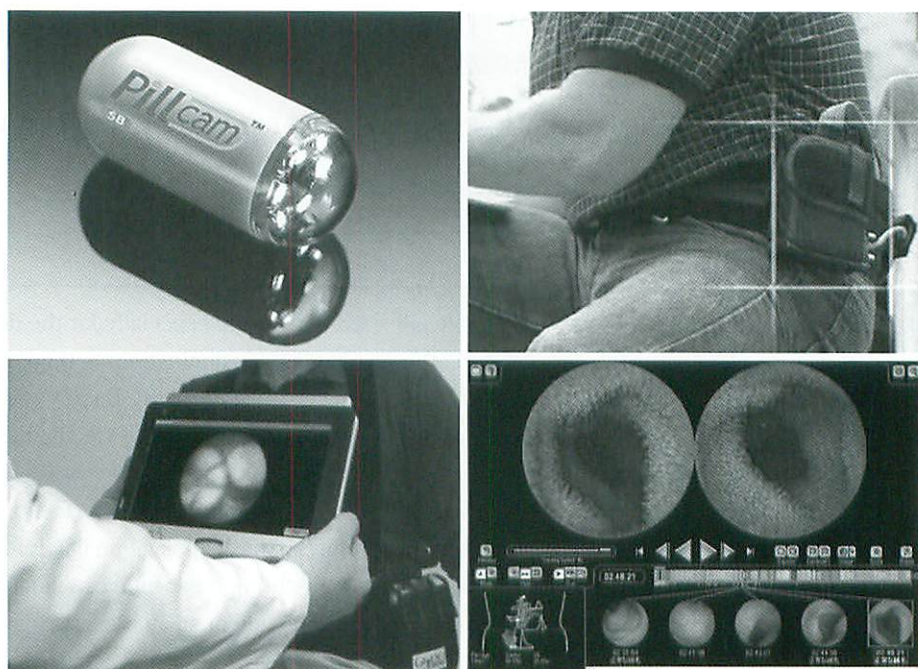


Fig.1 Given PillCam SB system
a : PillCam SB capsule
b : RAPID Real Time
c : Data recorder DR2
d : RAPID 5 Access software

a	b
c	d

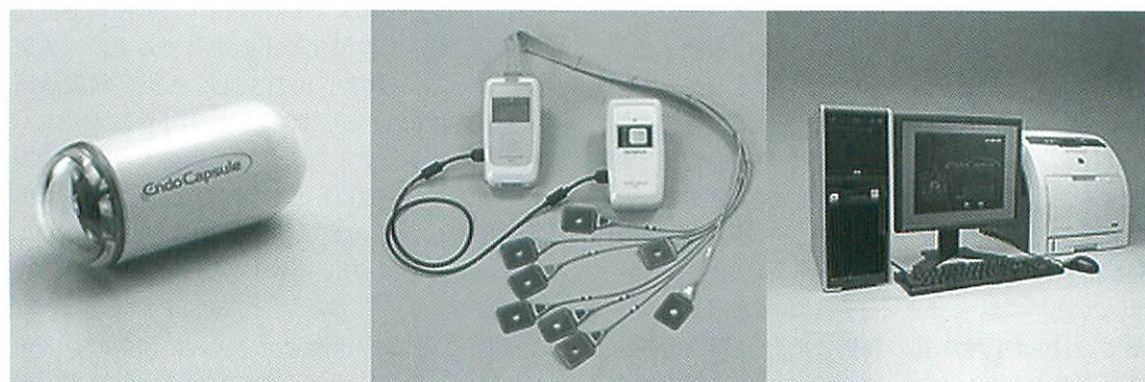


Fig.2 Olympus capsule endoscopy system
a : Endo Capsule
b : Real time viewer VE-1 (upper right), Receiver RE-1 (upper left), Antenna (lower)
c : Workstation

a	b	c
---	---	---

Processing of Images and Data) リアルタイム：Fig1b, リアルタイムビューワー：Fig.2b右).

3. カプセル内視鏡本体から送信された画像データを受信するセンサアレイまたはアンテナユニット (Fig.2b下) と、外部記憶装置 (データレコーダ：Fig.1c, 受信装置：Fig.2b左).
4. 患者のデータや撮影された画像を処理し解析する専用のコンピュータ (RAPID ワークステーション：Fig.1d, オリンパスワークステーション：Fig.2c).

カプセル内視鏡本体の大きさは両社とも26×11mmであり、先端の透明ドームは小腸内で絨毛と接触することによって透明な状態に保たれ、6個の白色LED (Light Emitting Diodes) から発光される照明光がドームに反射して写り込まないような形状に設計されている。画像センサとして、ギブンは省電力で安価なCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) を採用し、オリンパスはCMOSより画像が鮮明なCCD (Charge-coupled Device, 電荷結合素子) を採用している。カプセル内視鏡本体から外部記録装置にデータを実線送信するために、両社とも人間の身体にほとんど影響のないラジオ波を使用している。

カプセル内視鏡本体が撮影した内視鏡画像は、腹部の所定位置 (Fig.3：オリンパスもほぼ同じ位置) に貼り付けた8個のセンサアレイまたはアンテナユニットを介して外部記録装置に送信され保存される。RAPIDリアルタイムあるいはリアルタイムビューワーによって、カプセル内視鏡画像をその場で観察することも可能である。

小腸用カプセル内視鏡の検査方法

患者に8時間以上12時間程度絶食させ、腹部に8個のセンサアレイまたはアンテナを貼り付け、それに接続した外部記録装置をセットする。機器の動作を確認してから、カプセル内視鏡本体を適量の水とともに飲み込ませる。患者は、カプセルを飲み込んで2時間後には水分が飲め、4時間後には軽い食事をする事ができる。激しい運動をしたり、強い磁気にさらされたりさえないければ、自由に行動することが可能である。カプセル内視鏡本体は、作動してから1秒に2回発光すると同時に写真撮影を始める。カプセル内視鏡に内蔵された電池寿命は8時間以上あるため、1回あたり60,000枚以上の静止画像 (JPEG画像) が撮影できる。カプセル内視鏡から送信されたすべての画

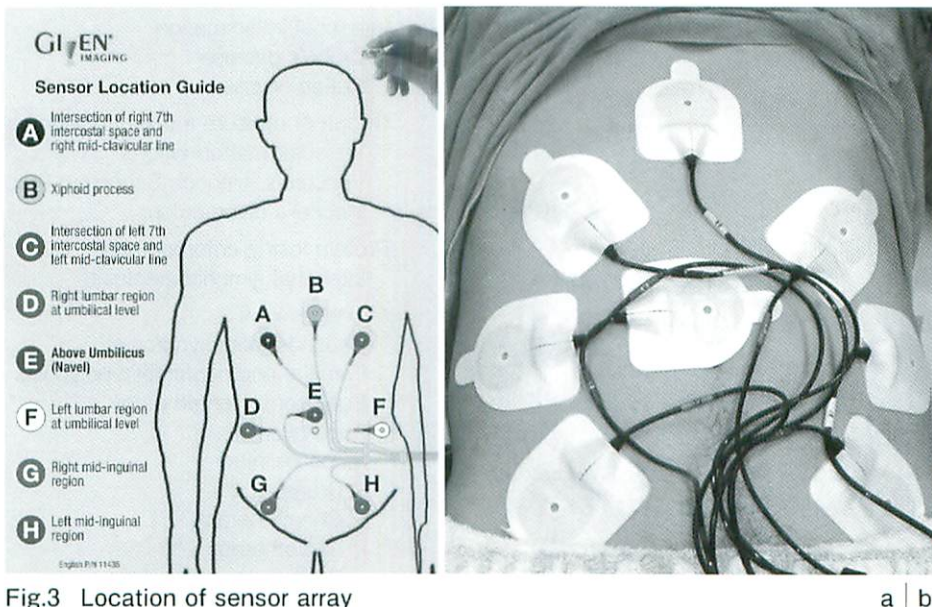


Fig.3 Location of sensor array
a: Sensor location guide (Given Imaging)
b: Attached sensor arrays on the abdomen

像データは、外部記録装置に保存される。カプセル内視鏡本体は排便とともに患者の体外に排出され、使い捨てである。

撮影された画像データはワークステーションに転送し、画像解析用のソフトウェアによって、静止画像は特殊フォーマットのビデオ画像に変換される。医師はワークステーションのビデオ画面で、画像を動画として解析し、レポートを作成する（読影法の詳細については省略する）。

小腸用カプセル内視鏡の 保険適用および禁忌

小腸用カプセル内視鏡の保険適用の対象は、内視鏡検査を含む上部および下部消化管検査を行っても原因不明の消化管出血を伴う患者である^{3,4)}。カプセル内視鏡特有の偶発症として滞留(retention)があり、それは「カプセル内視鏡検査において、カプセルが消化管の狭窄の口側に少なくとも2週間以上とどまること」と定義されている⁵⁾。腹部X線検査、腹部超音波検査、病歴や手術歴、臨床所見などで消化管の閉塞、狭窄、瘻孔が認められる、または疑われる患者と、診断確定済みのクローン病患者、放射性腸炎による狭窄が疑われる患者、腹腔内の外科的手術歴があり、小腸検査を含む適切な検査にて同検査実施に問題がないことを確認できない患者では、腸管狭窄によりカプセル内視鏡が滞留する恐れが高いために禁忌である。滞留以外の理由として、心臓ペースメーカーまたは他の電気医療機器が埋め込まれている患者や、嚥下障害を有する患者も禁忌になっている^{3,4)}。

適用年齢については、ギブンは「18歳未満の患者への使用には注意すること」となっている³⁾。オリンパスの場合、「22歳から84歳までの範囲を超える年齢層の患者への適用は、以下の点を考慮したうえで医師の判断により行うこと」と明記され、①体格的に小腸用カプセル内視鏡を安全に嚥下可能か、②体格的にホルダーが装着可能か、③検査中、常時ホルダーを装着し続け、使用上の注意事項を遵守可能か、が判断基準になっている⁴⁾。

小児への応用

1. 海外における現状

ギブンの小腸用カプセル内視鏡 PillCam SB は、

2004年に欧米で10歳以上の小児に対する診断機器として承認され、体格の小さい小児用のセンサアレイも市販されているが、小児への臨床応用の報告は比較的限られている。Table 1に、小児に対するカプセル内視鏡の海外における適応を示す⁶⁾。

カプセル内視鏡本体は27×11mmと大人と同じ大きさのものが使用されているため、小児に対して検査を行う場合に最も問題となるのは、患者がこの比較的大きなカプセルを嚥下できるか否かという点である。2歳半の原因不明消化管出血患者に対して全身麻酔下で通常の内視鏡検査を行い、カプセルを胃や十二指腸に送り込むことで空腸の毛細血管腫が発見できたという報告⁷⁾や、6人の10歳未満の患者に対してカプセル内視鏡検査を行ったという報告⁸⁾もあるが、低年齢患者に対する検査はまだ一般的ではない。

また、主に消化管狭窄がある場合に生じる偶発症である滞留にも注意が必要である。成人の場合、診断確定済みのクローン病患者における滞留の割合は13%であるのに対し、クローン病疑い患者では1.6%にとどまると報告されている⁹⁾。しかし

Table 1 Pediatric indications for the use of capsule endoscopy

Intestinal inflammation
Crohn's disease
Celiac disease
Occult or obscure intestinal bleeding
Vascular malformations
Vasculitis (Henoch-Schönlein Purpura)
Meckel's diverticulum
Protein-losing enteropathies
Intestinal lymphangiectasia
Miscellaneous
Peutz-Jeghers syndrome
Familial and nonfamilial polyposis
Eosinophilic enteropathy
Food allergy
Mucosal injury
Drugs
Chemotherapy
Radiotherapy
Graft versus host disease
Malignancy
Chronic abdominal pain

小児のクローン病疑い患者では成人よりも滞留の割合が高く、手術が必要な症例があったとの報告もある¹⁰⁾。

海外では、カプセル内視鏡は小児の小腸診断における有望な検査方法とみなされ、低年齢患者に対しては小型のカプセル内視鏡の開発が期待されている。

2. 日本における現状

2003年に獨協医科大学病院と社会保険中央総合病院において、クローン病などの小腸疾患を対象としたカプセル内視鏡の日本初の臨床治験が行われた¹¹⁾。カプセル内視鏡の認可まで長期間を要したため、獨協医科大学を中心としてカプセル内視鏡研究会 (Capsule Endoscopy Study Group, Japan) を立ち上げて、2004年から2007年に保険認可されるまで小腸疾患および原因不明の消化管出血など小腸疾患が疑われる患者を対象にして多施設共同研究を行った¹²⁾。その際に、筆者が経験した小児症例を2例提示する。

症例1：13歳女子。

主訴：右側腹部～下腹部痛

家族歴：父方祖父、食道癌。母方祖父、胃癌。

既往歴：12歳時、てんかん、起立性低血圧。

現病歴：右側腹部～下腹部痛が出現し、生理痛が疑われて消炎鎮痛薬を投与されたが軽快せず、精

査目的で入院して小腸造影を行ったところ、回腸末端に敷石状に近い小隆起性病変の集簇を認め小腸クローン病が疑われた。通常内視鏡検査では侵襲が高いため、カプセル内視鏡検査目的で紹介された。

初診時現症：156cm, 53kg

画像所見：カプセル内視鏡画像をFig.4に示す。小腸にはびらんや潰瘍などの炎症所見はみられず、特に回腸末端においてリンパ濾胞の過形成を認めた (Fig.4a)。回盲弁付近にも異常は認めず (Fig.4b)。カプセル内視鏡は検査後日排出された。経過：カプセル内視鏡所見よりクローン病は否定的で、その後腹痛も軽快したため経過観察を続けている。

症例2：15歳男子。

主訴：鉄欠乏性貧血、便潜血陽性、上腹部痛

家族歴：母、全身性エリテマトーデス。母方祖母、腎不全。母方祖父、糖尿病。父方祖母、白血病。父方祖父、肺癌・胃癌。

既往歴：生後まもなく動脈管開存症手術。4歳時、右手骨折手術 (転倒による)。

現病歴：4歳時より便潜血陽性で貧血が続き、上部消化管内視鏡、大腸内視鏡、CT、MRI、メッケル憩室シンチなどの諸検査を受けたが出血源不明であった。10歳頃から上腹部痛が出現し、現在は毎週2回の鉄剤静注を継続している。カプセ

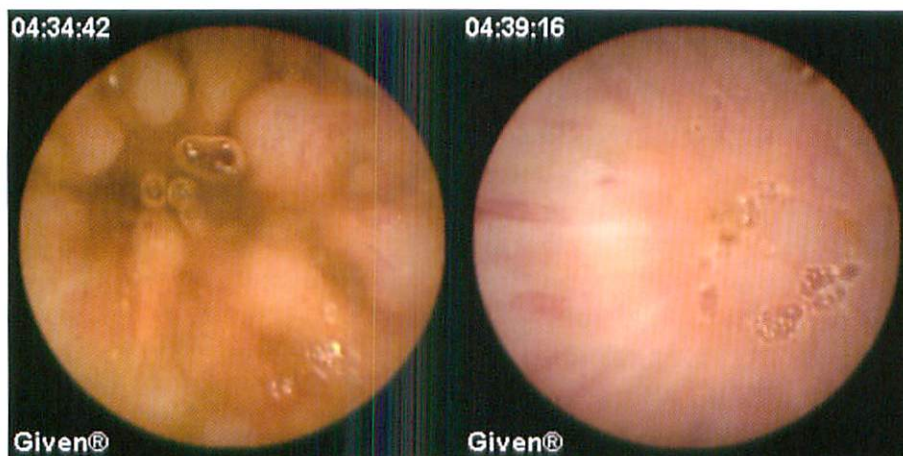


Fig.4 Case 1 13-year-old girl

a: Capsule endoscopic image of lymphoid hyperplasia

b: Capsule endoscopic image of the terminal ileum

a | b

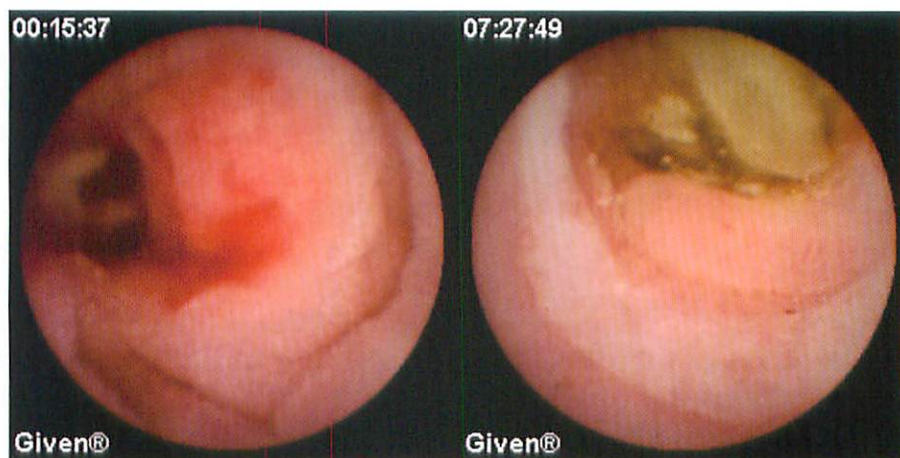


Fig.5 Case 2 15-year-old boy
 a: Capsule endoscopic image of a large ulcer with bleeding
 b: Capsule was retained by stenosis

a | b

ル内視鏡検査目的で紹介された。

初診時現症：160 cm, 54 kg

画像所見：カプセル内視鏡画像を Fig.5 に示す。胃および十二指腸球部には異常を認めなかったが、十二指腸下行脚付近で出血を伴う潰瘍を認め (Fig.5a: カプセル嚥下後15分37秒)、同部位付近の潰瘍による狭窄のためカプセルは長時間とどまっていた (Fig.5b: カプセル嚥下後7時間27分49秒)。
 経過：カプセル内視鏡所見から狭窄を伴うクローン病を疑い、専門病院へ再紹介した。紹介先で上部消化管内視鏡検査を行ったところ、十二指腸下行脚に全周性の潰瘍を認め、同部位にとどまっていたカプセルは内視鏡的に回収された。その後の精査の結果、輪状膵による十二指腸圧迫が原因の潰瘍と診断され、抗潰瘍薬の投与で経過観察されている。

2007年にカプセル内視鏡が保険適用となりその適用範囲が制限されたため、少なくとも保険診療での小児に対するカプセル内視鏡検査は困難になったのが現状である。しかし、原因不明の消化管出血で困っている10歳以上で比較的体格が大きな患者に対しては、滞留のリスクに気をつけながらも、むしろ積極的にカプセル内視鏡を行った方が良いと思われる。

おわりに

日本で使用可能な小腸用カプセル内視鏡のシステムと原理、検査方法、保険適用と禁忌について述べ、カプセル内視鏡の小児への応用について症例提示をまじえながら国内外の現状について紹介した。カプセル内視鏡はハードの面でもソフトの面でも日進月歩であり、次々と新しい機器が開発されている。近い将来には、小児領域においてもカプセル内視鏡が広く応用されるようになるものと期待される。

●文献

- 1) Iddan G, Meron G, Glukhovskiy A, et al : Wireless capsule endoscopy. Nature 2000 ; 405 : 417.
- 2) Cave DR : Technology Insight : current status of video capsule endoscopy. Nat Clin Pract Gastroenterol Hepatol 2006 ; 3 : 158-164.
- 3) ギブン画像診断システム (医療機器承認番号21900 BZY00045000) 添付文書, 2007.
- 4) オリンパスカプセル内視鏡システム (医療機器承認番号22000BZX01300000) 添付文書, 2008.
- 5) Cave D, Legnani P, de Franchis R, et al : ICCE consensus for capsule retention. Endoscopy 2005 ; 37 : 1065-1067.
- 6) Shamir R, Eliakim R : Capsule endoscopy in pediatric patients. World J Gastroenterol 2008 ; 14 : 4152-4155.

- 7) Kavin H, Berman J, Martion TL, et al : Successful wireless capsule endoscopy for 2.5-year-old child : obscure gastrointestinal bleeding from mixed, juvenile, capillary hemangioma-angiomatosis of the jejunum. *Pediatrics* 2006 ; 117 : 539-543.
 - 8) Ge ZZ, Chen HY, Gao YJ, et al : Clinical application of wireless capsule endoscopy in pediatric patients for suspected small bowel diseases. *Eur J Pediatr* 2007 ; 166 : 825-829.
 - 9) Cheifetz AS, Kornbluth AA, Legnani P, et al : The risk of retention of the capsule endoscope in patients with known or suspected Crohn's disease. *Am J Gastroenterol* 2006 ; 101 : 2218-2222.
 - 10) Moy L, Levine J : Wireless capsule endoscopy in the pediatric age group: experience and complications. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2007 ; 44 : 516-520.
 - 11) 中村哲也, 白川勝朗, 中野道子, 他 : カプセル内視鏡の現況と未来. *Gastroenterol Endosc* 2005 ; 47 : 305-312.
 - 12) 中村哲也, 荒川哲男, 後藤秀実, 他 : 小腸用カプセル内視鏡の日本人における多施設共同研究報告—原因不明消化管出血症例を中心に—. *Gastroenterol Endosc* 2007 ; 49 : 324-334.
-

先天性横隔膜ヘルニア： 超音波画像からみた肺動脈のサイズと予後

岡崎任晴

順天堂大学医学部 小児外科

Significance of pulmonary arterial size measured by echocardiography
as a predictor of outcome in congenital diaphragmatic hernia

Tadaharu Okazaki

Department of Pediatric Surgery, Juntendo University School of Medicine

Abstract Despite recent advances in neonatology and pediatric surgery, the mortality rate for infants with congenital diaphragmatic hernia (CDH) remains high. Persistent pulmonary hypertension (PPH) is intimately associated with the pathophysiology of cardiopulmonary distress in CDH. To predict the severity of PPH, we have introduced echocardiography and evaluated PPH in CDH. Herein, we describe our management protocol of CDH and show the significance of pulmonary artery size and blood flow as predictors of outcome in CDH.

Keywords Congenital diaphragmatic hernia, Echocardiography, Pulmonary artery

はじめに

先天性横隔膜ヘルニア (congenital diaphragmatic hernia: CDH) は、近年の周産期医療の進歩にも関わらず、新生児外科領域のなかで最も治療に難渋する疾患の一つである。出生前診断や母体・新生児搬送システムの普及に伴い、重症例も増加しており、重症度判定や予後因子を確立することは、治療戦略のみならず、両親への対応も含めて重要なことである。

CDHの予後は、肺低形成と肺高血圧の程度により左右されるが、これらを直接測定・評価することは困難である。したがって、臨床的には胎児超音波による胎児診断時期、羊水過多の有無、lung-thorax transverse area ratio, lung area to head circumference ratio, 胃・肝の脱出の有無など¹⁻⁶⁾が、従来から出生後の重症度判定や予後因子に用

いられてきている。しかしながら、これらの因子の有用性に関して、一定した評価は得られていないのも事実である。また、CDHの治療戦略に関して、施設間に相違があることも、予後因子の評価を困難とさせている要因の一つであろう。

CDHの周術期管理への心臓超音波検査の導入は、1991年Haugenら⁷⁾による肺動脈圧の測定に始まり、1994年Hasegawaら⁸⁾が初めて肺動脈径測定の有用性を報告している。以来、我々も胎児あるいは出生後の肺動脈 (PA) 径やPA血流の状態に注目し、CDH患児の管理・治療を行ってきた。特に、2002年以降は、胎児期から出生後のCDHの治療をプロトコール化し統一した治療^{9,10)}のもとで、PA径やPA血流の状態と、臨床経過や予後との相関を検討してきた。その結果として今日まで、出生時の患側および健側のPA径、妊娠後期のPA径の変化が予後因子として有用であること、また、患

側PA血流が手術のタイミング、左右PA径の比が一酸化窒素吸入療法の適応に有用であることなどを報告してきている⁹⁻¹²⁾。

本稿ではCDHの予後因子として肺動脈の評価の有用性を中心に、今日の我々のCDHの治療戦略、外科治療の実際について紹介する。

当科における治療の実際： 当科のプロトコール

今日までCDHの治療に関し、高頻度振動換気法(HFOV: high frequency oscillatory ventilation)、膜型人工肺(ECMO: extracorporeal membrane oxygenation)、一酸化窒素吸入療法(NO: nitric oxide)などの呼吸管理や、プロスタグランディン製剤やPDE-5阻害薬などの血管作動薬など、さまざまな治療が導入されているが、治療戦略は施設間に相違があり、統一されたプロトコールは確立されていない。

当院では、産科・小児科(新生児科)・小児外科の周産期医療チームにて、①予定帝王切開、②胎児麻酔を行い、出生直後からのHFOV下にNO吸入療法を行う呼吸管理、③フェンタニルによる鎮静、④強心剤(ドーパミン、ドブタミン)投与、⑤心臓超音波検査による循環動態の評価(Fig.1)と手術時期の決定などをプロトコール化し、一定した治療を行っている。Table 1に我々のプロトコールを示す。原則として、筋弛緩薬、体血圧に影響を与えるプロスタグランディン製剤その他の血管拡張剤は使用していない。治療戦略の基本は、呼吸

障害と肺高血圧に対しては、HFOVによるgentle ventilationとNO吸入療法を基本とし肺高血圧の軽

Table 1 Management protocol of CDH at our institution

1. 予定帝王切開
2. 呼吸管理
HFOV
初期設定 FiO₂: 1.0, 振動数: 15Hz,
平均気道内圧: 15cmH₂O, Stroke volume: 15ml
NO濃度 投与の場合は 10~30ppm
(以上にてpre-ductal SpO₂ > 75%を維持)
3. 薬物療法
1) 鎮静剤
フェンタニル 5~10μg/kg/h
2) 昇圧剤・膠質液
ドーパミン 5μg/kg/min
ドブタミン 5~10μg/kg/min
25%アルブミン 1g/kg/d
(以上にて収縮期血圧>50mmHgを維持)
エピネフリン 0.05~0.20μg/kg/分(収縮期血圧>50mmHgを維持できない場合)
4. 心臓超音波検査
ルーチンの心機能評価
左右肺動脈径と血流の有無
動脈管径の血流方向
5. 手術時期
1) 心臓超音波所見
i) 動脈管の自然閉鎖または狭小化
ii) 動脈管の血流方向が左右シャント化
iii) 患側肺動脈に血流を確認
2) 呼吸器(HFOV)条件
i) FiO₂ < 0.6
ii) 平均気道内圧 < 15cmH₂O
iii) Stroke volume < 15ml
以上の1), 2)を満たした時点で手術を施行

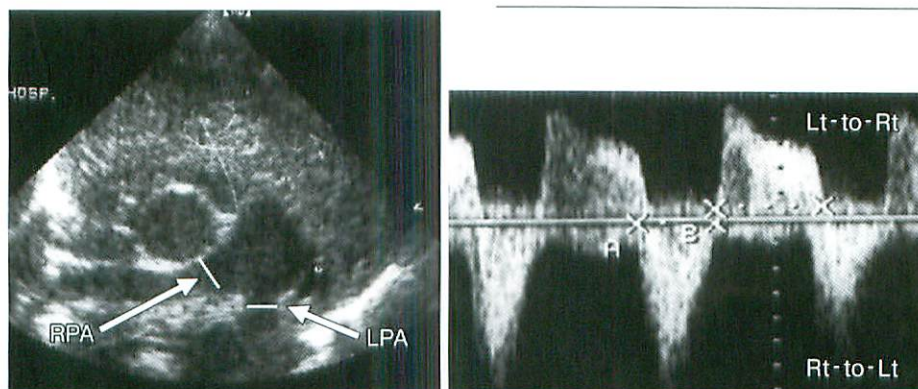


Fig.1 a: Ultrasound image of right pulmonary artery (RPA) and left pulmonary artery (LPA)
b: Blood flow pattern through patent ductus arteriosus

減と肺損傷を予防すること、強心剤を投与し体血圧を維持し、動脈管・卵円孔を介する血流の短絡を左右短絡に向けることにある^{9,10)}。したがって、心臓超音波検査は、管理上不可欠となっている。このプロトコルの導入により、胎児診断CDH症例の生存率は38.1%から70.0%へ改善した¹⁰⁾。

NO, PGE1の投与に関して

前述した我々のプロトコルの特徴の一つは、肺血管拡張を目的とした薬物はNO吸入療法のみとし、プロスタグランディン製剤を使用しない点にある。すなわち、体血圧をドーパミン、ドブタミンなどを用いて維持しつつ、肺血圧を基本的にはHFOV+NOの管理で低下させ、動脈管の圧勾配を左>右にすることで動脈管の短絡方向を左右

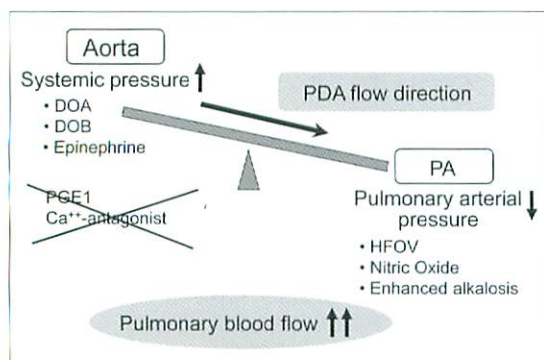


Fig.2 Scheme of our management strategy
Our strategy is to increase pulmonary blood flow by decreasing the gradient of blood pressure between the pulmonary and systemic circulatory systems.

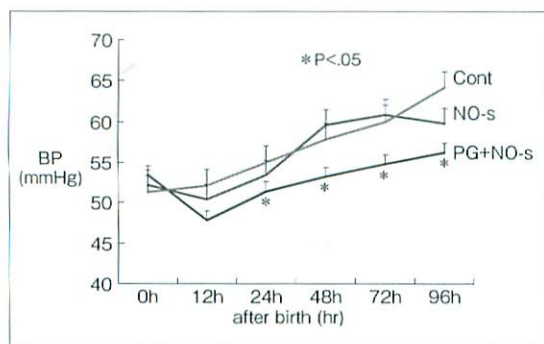


Fig.3 Changes in blood pressure overtime in the PG+NO-s, NO-s and Cont groups
* $p < 0.05$ versus Cont and NO-s

短絡とし、肺血流を増加させるように管理する (Fig.2)。

このプロトコルを検証する目的で、当科においてHFOVにNOとプロスタグランディンE1 (PGE1)を併用していた1997~2001年の症例 (I期: $n=19$), 2002~2008年においてPGE1を使用していない現在のプロトコル治療した症例 (II期: $n=30$), ならびにこの間で肺高血圧を認めないかごく軽度でPGE1やNOを使用せずに治療を行った症例 (Cont群: $n=12$) で臨床経過を比較した¹¹⁾。生存例はI期: 12例 (63.2%: PG+NO-s群), II期: 21例 (70%: NO-s群), Cont群: 12例 (100%) で、PG+NO-s群はCont群に比し有意に低かった ($p < 0.05$)。Cont群とNO-s群はPG+NO-s群に比し、生後24時間以降において有意に体血圧を高く維持でき (Fig.3), 手術時期も有意に早期であった (Fig.4)。

近年、PDE-5阻害薬 (シルデナフィルクエン酸塩), エンドセリン受容体拮抗薬 (ボセンタン) など、新しい血管拡張薬がCDHの治療に導入されており、今後の検討が必要と考えられる。

予後因子としての肺動脈径測定の意義

今日まで、CDHにおける重症度判定や予後因子として肺動脈径の検討を行った報告をみると、胎児肺動脈径については、肺低形成の程度や出生後の呼吸障害の程度に関係するという報告がある^{13,14)}。また、Hasegawaら⁸⁾や我々^{9,10,12)}は、出生後の肺動脈径と血流が予後に影響を与えることを示している。その中で、我々は出生後の経時的な肺

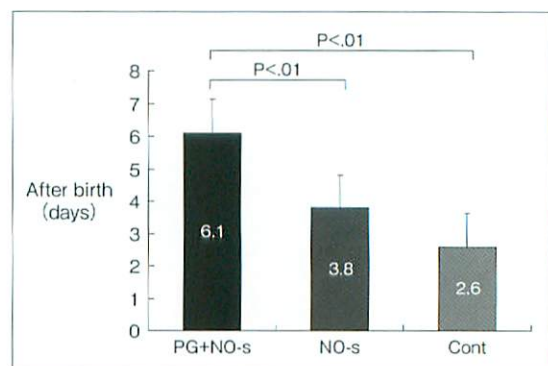


Fig.4 Age at operation in the PG+NO-s, NO-s and Cont groups

動脈径と血流の変化を観察しているの、ここで提示する。

2002～2007年に当科で経験した43例のCDHのうち、遅発例(生後24時間以降発症例)、致死性的染色体異常合併例、右CDHを除いた28例の左CDH症例について、肺動脈径と血流、左右の肺動脈径の比(L/R比:左肺動脈径を右肺動脈径で除した値)と臨床経過を比較検討した¹²⁾。28例中22例が生存、6例が死亡した。生存例のうち15例は肺高血圧に対しNOを使用し(NO(+)-s群)、7例はNOを要しなかった(NO(-)-s群)。死亡例は全例肺高血圧を合併しNOを要した(NO(+)-d群)。出生時の肺動脈径を3群間で比較すると、健側である右肺動脈径(RPA)はNO(+)-d群はNO(-)-s群やNO(+)-s群に比し有意に細かった。一方、患側の左肺動脈径(LPA)は、NO(-)-s群とNO(+)-d群との間でのみ有意差を認めた(Fig.5)。また、出生時のL/R比をこの3群間で比較してみると、NOを使用せず救命し得たNO(-)-s群は、NO(+)-s群やNO(+)-d群に比し、有意に高値であった。次に、この3群間における肺動脈径と血流の経時的変化を見てみると、左右の肺動脈径とL/R比については、出生時(日齢0)、日齢2、5で有意な変動はなかった(Fig.6)。左右肺動脈の血流についてみてみると、NO(-)-s群では全例において患側のLPAにも日齢0から血流が確認されたが、NOを要した他の2群ではLPAには血流を確認できなかった。しかしながら、生存例であるNO(+)-s群においては、日齢が進むにつれてLPAに血流が確認でき、日齢5では15例全例で血流が確認されたが、NO(+)-d群では日齢0、

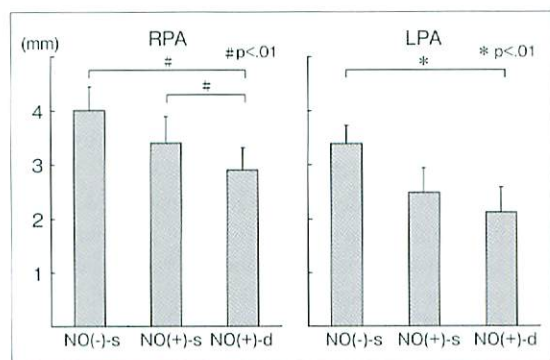


Fig.5 Comparison of RPA and LPA diameter in NO(-), NO(+)-d groups at birth

2では1例も血流が確認できず、日齢4までに4例が死亡していた(Table 2)。

以上の結果より、出生後の肺動脈径と血流は臨床経過と相関し、予後因子として有用であると考えられた。また、出生時のL/R比はNO吸入療法の適応判定の指標となる可能性が示唆された。

最近の治療と今後の展望

近年、小児外科領域においても内視鏡下の低侵襲手術が導入されており、CDHにおいても鏡視下手術の報告が散見される^{15,16)}。当科ではCDHに対して胸腔鏡下手術を行っている¹⁷⁾。しかしながら、その適応に関しては十分な検討がされていない。

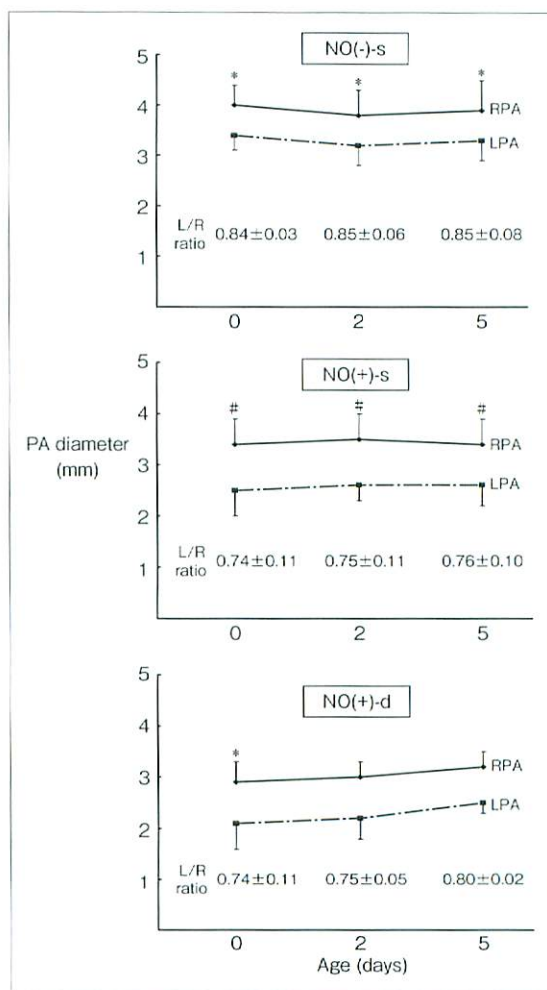


Fig.6 Changes in PA diameter and L/R ratio over time

* p<0.05, #p<0.01 RPA v.s. LPA

Table 2 The number of patients whose RPA blood flow was detected by echocardiography

		日 齢		
		0	2	5
NO(-)-s (n=7)	RPA	7/7 (100%)	7/7 (100%)	7/7 (100%)
	LPA	7/7 (100%)	7/7 (100%)	7/7 (100%)
NO(+)-s (n=15)	RPA	15/15 (100%)	15/15 (100%)	15/15 (100%)
	LPA	0/15 (0%)	13/15 (87%)	15/15 (100%)
NO(+)-d (n=6)	RPA	3/6 (50%)	3/6 (50%)	2/2 (100%)
	LPA	0/6 (0%)	0/6 (0%)	2/2 (100%)

今日まで報告されているCDHの重症度判定・予後因子の指標から、また我々としては、心臓超音波検査：肺動脈径や肺血流の状態から、鏡視下手術の適応等に検討を加えていきたいと考えている。

●文献

- 1) Adzick NS, Vacanti JP, Lillehei CW, et al : Ultrasound diagnosis and clinical outcome in 38 cases. J Pediatr Surg 1989 ; 24 : 654-657.
- 2) Newman KD, Anderson KD, van Meurs K, et al : Extracorporeal membrane oxygenation and congenital diaphragmatic hernia : should any infant be excluded? J Pediatr Surg 1990 ; 25 : 1048-1052.
- 3) O' Rourke PP : Congenital diaphragmatic hernia : are there reliable clinical predictors? Crit Care Med 1993 ; 21 : S380-381.
- 4) Metkus AP, Filly RA, Stringer MD, et al : Sonographic predictors of survival in fetal diaphragmatic hernia. J Pediatr Surg 1996 ; 31 : 148-152.
- 5) Hedrick HL, Danzer E, Merchant A, et al : Liver position and lung-to-head ratio for prediction of extracorporeal membrane oxygenation and survival in isolated left congenital diaphragmatic hernia. Am J Obstet Gynecol 2007 ; 197 : 422.e1-422.e4.
- 6) Kitano Y, Nakagawa S, Kuroda T, et al : Liver position in fetal congenital diaphragmatic hernia retains a prognostic value in the era of lung-protective strategy. J Pediatr Surg 2005 ; 40 : 1827-1832.
- 7) Haugen SE, Linker D, Eik-Nes S, et al : Congenital diaphragmatic hernia : determination of the optimal timing for operation by echocardiographic monitoring of the pulmonary arterial pressure. J Pediatr Surg 1991 ; 26 : 560-562.
- 8) Hasegawa S, Kohno S, Sugiyama N, et al : Usefulness of echocardiographic measurement of bilateral pulmonary artery dimensions in congenital diaphragmatic hernia. J Pediatr Surg 1994 ; 29 : 622-624.
- 9) Okazaki T, Kohno S, Hasegawa S, et al : Congenital diaphragmatic hernia : efficacy of ultrasound examination in its management. Pediatr Surg Int 2003 ; 19 : 176-179.
- 10) Okawada M, Okazaki T, Yamataka A, et al : Efficacy of protocolized management for congenital diaphragmatic hernia. A review of 100 cases. Pediatr Surg Int 2006 ; 22 : 925-930.
- 11) Shiyanagi S, Okazaki T, Shoji H, et al : Management of pulmonary hypertension in congenital diaphragmatic hernia : nitric oxide with prostaglandin-E1 versus nitric oxide alone. Pediatr Surg Int 2008 ; 24 : 1101-1104.
- 12) Okazaki T, Okawada M, Shiyanagi S, et al : Significance of pulmonary size and blood flow as predictor of outcome in congenital diaphragmatic hernia. Pediatr Surg Int 2008 ; 24 : 1369-1373.
- 13) Sokol J, Bohn D, Lacro RV, et al : Fetal pulmonary artery diameters and their association with lung hypoplasia and postnatal outcome in congenital diaphragmatic hernia. Am J Obstet Gynecol 2002 ; 186 : 1085-1090.
- 14) Sokol J, Shimizu N, Bohn D, et al : Fetal pulmonary artery diameter measurements as a predictor of morbidity in antenatally diagnosed congenital diaphragmatic hernia : a prospective study. Am J Obstet Gynecol 2006 ; 195 : 470-477.
- 15) Yang EY, Allmendinger N, Johnson SM, et al : Neonatal thoracoscopic repair of congenital diaphragmatic hernia : selection criteria for successful outcome. J Pediatr Surg 2005 ; 40 : 1369-1375.
- 16) Liem NT, Dien TM, Ung NQ : Thoracoscopic repair in the neonatal intensive care unit for congenital diaphragmatic hernia during high-frequency oscillatory ventilation. J Laparoendosc Adv Surg Tech 2010 ; 20 : 111-114.

意識障害とけいれんをきたす小児神経疾患の画像診断

山内秀雄

埼玉医科大学医学部 小児科学

Pediatric neuroimaging in the condition of acute unconsciousness and convulsion

Hideo Yamanouchi

Department of Pediatrics, Saitama Medical University, School of Medicine

Abstract Altered states of consciousness and convulsive seizures are commonly encountered conditions in the field of pediatric emergency medicine. Here I highlight these two key words from the neuroimaging points of view. Diffusion MR image soon after episodes of prolonged febrile seizures sometimes show high intensity in the hippocampus as well as pulvinar thalami. They are known to show hippocampal atrophy and sclerotic changes on follow-up studies. CNS infections and their related neuroimmunological disorders include bacterial meningitis, acute encephalitis, acute encephalopathy and acute disseminated encephalomyelitis (ADEM). Acute encephalitis is characterized by varied distribution of lesions according to the type of viral agent. Both ADEM and MS show disseminated inflammatory lesions throughout the CNS, and there are several points to differentiate them on MR images. The margins of the lesions in ADEM are often poorly defined, whereas MS lesions have sharp margins. The distribution of the lesions of ADEM is characteristically in the corpus callosum, periaqueductal and periventricular white matter, whereas those of MS are noted in the deeper white matter with periventricular sparing. Acute encephalopathy in children is divided into several categories based on the etiology, including metabolic error, cytokine storm, excitotoxicity and others. MR images of each type of acute encephalopathy have characteristic features.

Keywords Unconsciousness, Convulsions, MRI, Pediatrics

緒言

けいれんと意識障害は小児救急医療において特に迅速な対処が求められるキーワードである。救急医療の現場における正確で迅速な診断は患児の予後を大きく左右する。小児救急医療において頻回に遭遇するこの2つの重要な症候を示す神経疾患について、神経放射線学的見地から概説する。

けいれん重積状態

けいれんとは全身または一部の筋肉の不随意か

つ発作的収縮を示す症候である。「てんかん性けいれん」と「非てんかん性けいれん」があり、大脳神経細胞の同期した異常興奮によってもたらされるものが前者であり、後者はそれ以外のものである。大脳神経細胞の異常興奮状態が何らかの要因で一時的に生ずることによってけいれんに至った場合は機会性けいれんと呼ぶ (Table 1)¹⁾。てんかんとは大脳神経細胞の異常興奮状態が慢性的に存在し、結果として再現性のある発作を繰り返すもので、その発作症状がけいれんであればけいれん性てんかん、発作症状がけいれんでなければ非けいれん

性てんかんと呼ばれる。「けいれん遷延状態」とはけいれんが5分以上継続して認められる場合を指し、「けいれん重積状態」とはけいれん発作が30分以上継続する場合、ないし30分以上意識を回復することなしにけいれん発作が断続的に出現する状態と定義される²⁾。「けいれん遷延状態」という言葉を定義するのは5分以上けいれんが継続する場合、即効性のある抗けいれん薬を投与しなければ「けいれん重積状態」に至る可能性があるからである。けいれん重積状態治療において第二選択静脈薬を投与後も重積状態が持続する場合は「難治性けいれん重積状態」と呼ばれる。なお、ここでいうけいれんは上記のてんかん性けいれんのことを指す。けいれん発症中には脳血流、酸素消費量ともに急激に増加するが、けいれん重積状態となった場合、酸素消費量はそのままであるが、脳血流が減少してくるため、相対的に脳の消費可能エネルギーが不足する状態となる。さらにけいれんが遷延すれば脳組織のエネルギーは枯渇し、非可逆的な病態となりうる。

小児けいれん重積状態で、小児の救急医療施設への受診に関する前方視的研究は意外に乏しい。米国ワシントン州内で行われた研究結果によれば、急性症候性疾患(熱性けいれん、中枢神経感染症、脳血管障害など)が49%、てんかんが33%、慢性症候性疾患(脳形成異常、先天性代謝異常症、先天的脳血管構築異常、海馬硬化症、染色体異常など)が18%であった³⁾。熱性けいれんが最も頻度が

高く全体の32%を占めるが、けいれん重積状態の児が救急外来を受診した場合は、7割は熱性けいれん以外の中枢神経疾患ないしその関連疾患を迅速に診断する必要性を示している。なおこの統計では急性脳症が熱性けいれん重積状態に包括されている可能性がある。

けいれん(てんかん)重積状態自体による脳組織変化は、重積状態終了後のMRIによって示される場合がある。すなわち海馬に片側性ないし両側性に拡散強調画像で高信号を示す。さらに視床枕も高信号を認める場合があるが、興奮性同期を示す大脳皮質と視床枕の間に異常放電が巡回(cortico-pulvinar circuits)することによってなされることが推察される^{4,5)}。重積状態がさらに遷延化すれば病理学的にも示されるような非可逆性の変化をきたす⁶⁾。熱性けいれん、特にその重積状態の既往が、年長児ないし成人のてんかん発症に関連するかにについては議論のあるところであった。熱性けいれん重積状態の後にMRI拡散強調画像で海馬に異常信号を認めた場合、その経時的画像経過を観察すると海馬硬化を示唆する海馬の委縮とT2延長像の認められることが明らかになっている⁷⁾。熱性けいれん重積状態をきたした場合、少なくとも一部では海馬硬化をきたし、その後側頭葉てんかんを発症していく場合のあることを示す結果であり、急性期のMRI拡散強調画像診断の重要性を示している。

中枢神経感染症関連疾患

細菌性髄膜炎

小児・成人を問わず重篤な中枢神経感染症であり、迅速に診断され治療が開始される必要があるが、新生児から乳児早期においては年長児にみられる典型的な髄膜刺激症状を必ずしも認めず、意識状態の変容はあるものの非特異的な症状のみを認める場合がある。MRIではT1強調画像においてガドリニウムによる髄膜の異常増強効果を示し、FLAIR画像において脳溝の高信号を認める(これは髄液蛋白濃度に依存する)。FLAIRにおける髄膜増強効果所見はT1強調画像におけるそれよりも髄膜炎所見としての特異性において勝る可能性がある^{8,9)}。細菌性髄膜炎の合併症として水頭症、静脈血栓症(静脈洞血栓症)、脳梗塞、硬膜下水腫、硬膜下膿瘍、脳室炎、脳膿瘍などがある(Fig.1)。

Table 1 機会性てんかん性けいれん発作

1. 熱性けいれん
2. 良性乳児けいれん
3. 中枢神経感染症: 急性脳炎・髄膜炎
4. 急性脳症: Reye症候群, Reye様症候群, 出血性ショックと脳症を伴う症候群, 急性壊死性脳症, けいれん重積型急性脳症(前頭葉を主として障害する乳幼児急性脳症, 片側けいれん-片麻痺症候群), その他
5. 代謝疾患: 低血糖, 電解質異常(低Na血症, 高Na血症, 低Ca血症, 低Mg血症), 先天性代謝異常症
6. 中毒: 尿毒症, 肝性脳症, 糖尿病性ケトアシドーシス, 高血圧性脳症, 薬物中毒
7. 頭部外傷: 脳震盪, 乳児ゆすぶられ症候群
8. 急性低酸素性虚血性脳障害
9. 急性脳血管障害

文献1)より著者改変

急性脳炎

原因となるウイルスによりそれぞれ特徴的な画像所見を示す。単純ヘルペス脳炎は新生児期に発症するものは白質全体にT2延長像を示し、脳全体の広範な炎症所見を呈するが、幼児期以降に発症するものは側頭葉、島、帯状回にT2強調画像で高信号を示す。水痘脳炎は白質や皮質白質境界域に高信号を認める。サイトメガロウイルス脳炎では脳室壁に沿った部位の造影効果を認める。日本脳炎の起炎ウイルスであるフラビウイルスによる脳炎では、皮質下白質、視床、黒質にT2強調画像で高信号を示す。エンテロウイルス脳炎では脳幹と小脳歯状核を中心とした脳炎のパターンをとる¹⁰⁾。

神経免疫性中枢神経疾患

急性散在性脳脊髄炎(acute disseminated encephalomyelitis : ADEM)は中枢神経の炎症と脱髄を主体とする神経免疫の疾患である。ウイルス感染症ないしワクチン接種から2日～4週以内に急性ないし亜急性に発症し、身体症状として継続する発熱、嘔吐、倦怠感、頭痛が見られる。中枢神経において通常多巣性に障害部位を認め、行動異常や意識状態の変容など多彩な神経学的症状を呈する。神経放射線画像では0.5cm以上の新しい白質病変が多巣性に認められるといった特徴をもつ¹¹⁾。なお発症から3か月以内の新たな所見は一連の急性事象と捉える。しばしば多発性硬化症との鑑別が問題と

なり、鑑別が困難な場合もある(Table 2)¹²⁾。神経放射線学的には小病変が多発するもの、比較的大きな病変を認めるもの、視床・基底核に左右対称性に病変を認めるもの、出血を伴うものなどに分類される。

小児急性脳症

小児急性脳症は小児において急激な脳の機能不全により意識状態の変容をきたす疾患概念で、しばしばウイルス感染などによる発熱を伴うけいれんで発症する場合が多い。水口ら¹³⁾によれば病因別に、1)代謝異常を主病態とする群、2)サイトカインの嵐を主病態とする群、3)神経興奮毒性を主病態とする群(けいれん重積型急性脳症)、4)その他に分類される。1)は脂肪酸、有機酸、尿素サイクルなどにおける先天性代謝異常が感染、飢餓などにより惹起され顕在化し急性脳症として発症するものである。神経学的症候は急性期まで潜在し目立たないか、あっても顕著でない場合もありうる。2)はサイトカインの嵐により脳をはじめ全身臓器に障害をもたらすタイプのもので、共通した臨床所見として脳障害以外にその程度の差はあるが多臓器不全、DICなど凝固能異常、そして血球貪食症候群などをきたす予後不良の急性脳症のタイプで、Reye様症候群、出血性ショック脳症(hemorrhagic shock and encephalopathy : HSE)、急性壊死性脳症(acute necrotizing encephalopathy :



Fig.1 Subdural effusion (H. influenzae)

Table 2 急性散在性脳脊髄炎(ADEM)と多発性硬化症(MS)の臨床的鑑別

	ADEM	MS
症候	多くは単相性	多相性
先行感染	通常	まれ
年齢	5～10歳	10歳以上
性別	男>女	女>男
視神経炎	両側が多い	片側が多い
症状	多様性	巣症状
けいれん	多い	まれ
髄膜刺激症状	多い	まれ
灰白質病変	あり	なし
脳室周囲白質病変	まれ	あり
脳梁病変	まれ	あり
CRP 上昇	多い	少ない
Oligoclonal IgG 陽性	少ない	多い

文献12)より著者改変

ANE) などが含まれる。いずれも脳浮腫の原因としてサイトカインによる血液脳関門の破たんにより血管透過性の亢進する病態が推測されている。3) けいれん重積型急性脳症 (acute encephalopathy with febrile convulsive status epilepticus : AEFCSE) そのものである。4) その他は、病因が不明で脳症の分類にいれるべきか議論のあるところのものであり、可逆性脳梁膨大部病変を有する脳炎脳症 clinically mild encephalitis/encephalopathy with a reversible splenial lesion (MERS)¹⁴⁾、難治頻回部分発作重積型急性脳炎 (acute encephalitis with refractory, repetitive partial seizures : AERRPS)¹⁵⁾ などがある。

代謝異常を主病態とする群 (Table 3)¹³⁾

脂肪酸転送異常、 β 酸化障害、有機酸代謝異常症、解糖系酵素異常症や尿素サイクル異常症などの先天性代謝異常症の一部は急性脳症として発症する可能性がある。Glutaric aciduria I 型は常染色体劣性遺伝形式をとり、tryptophan, lysine, hydroxylysine の異化に参与するミトコンドリア酵素 glutaryl-CoA dehydrogenase の異常によるが、放射線画像ではシルビウス溝の開大、前頭葉側頭葉の委縮と T2 強調画像において前頭葉白質と基底核の高信号を示す¹⁶⁾。ミトコンドリア DNA ポリメラーゼ γ (POLG) 遺伝子異常による脳症

(POLG 脳症) は急性脳症として発症し、後頭葉、視床、小脳半球、下オリーブ核に対称的な T2 延長像を示す¹⁷⁾。

サイトカインの嵐を主病態とする群

(a) Reye 様症候群

細胞内ミトコンドリア機能不全を主病態とする Reye 症候群とは異なる。Reye 症候群と臨床的に類似する点は共に肝障害を伴う点にあるが、好発年齢が幼児期であること (Reye 症候群は学童期)、アスピリンの関連が無いこと、低血糖や高アンモニア血症の無いこと、肝細胞内に微小空胞脂肪変性とミトコンドリアの形態異常を認める病理所見のないことなどが挙げられる。神経画像診断はびまん性脳浮腫を認めるが、神経放射線画像のみでは両者の鑑別は困難である。

(b) 出血性ショック脳症

原著¹⁸⁾に基づけば、乳児に発症し、有熱性けいれん、中枢性呼吸停止、意識障害で発症し、DIC に伴う出血性素因、循環血液量減少性ショック、肝不全 (高アンモニア血症を認めない)・腎不全など多臓器不全を伴う急性脳症症候群である。遷延する高乳酸血症を伴う代謝性アシドーシスを伴う。鑑別すべき疾患として敗血症性ショック、中毒性ショック症候群、Reye 症候群、溶血性尿毒症症候群などがある。神経放射線画像では脳全体広範の浮腫性変化が CT で認められ、出血を認める場合もある。発症早期の MRI 拡散強調画像では大脳半球皮質下白質の広範な高信号が認められた後、白質の高信号の消失と隣接する皮質の高信号が認められ¹⁹⁾、さらに回復期には皮質層状壊死が認められる。

(c) 急性壊死性脳症²⁰⁾

脳全体の非特異的な浮腫に加えて、選択された部位における組織壊死を左右対称性に認める。すなわち左右側視床、被核、大脳・小脳深部白質、脳幹被蓋に CT で低吸収像、MRI で T2 延長像を認める (Fig.2)。類似した基底核に病変を呈する疾患として Leigh 脳症、グルタル酸血症、メチルマロン酸血症、乳児両側性線条体壊死症 (infantile bilateral striatal necrosis)、急性散在性脳脊髄炎、一酸化炭素中毒、低酸素性虚血性脳症などがある。

Table 3 急性脳症をきたす先天性代謝異常症

脂肪酸転送・ β 酸化障害	
	Systemic carnitine deficiency
	Carnitine palmitoyltransferase II deficiency
	Medium chain acyl-CoA dehydrogenase deficiency
	Glutaric aciduria type II
有機酸代謝異常症	
	Propionic acidemia
	Methylmalonic acidemia
	Isovaleric acidemia
	Glutaric aciduria type I
解糖系酵素異常症	
	Pyruvate dehydrogenase deficiency
	Fructose-1, 6-bisphosphatase deficiency
尿素サイクル異常症	
	Ornithine transcarbamylase deficiency
	Carbamoylphosphate synthetase deficiency
	Argininosuccinate synthetase deficiency

文献 13) より著者改変

けいれん重積型急性脳症

わが国における小児急性脳症の中では最も多いサブタイプで、発熱を伴うけいれん重積状態で発症し、その後の意識回復中途(第4病日付近)において意識障害の悪化と群発けいれん(遅発けいれん)を認めるといった二相性パターンが典型的だが、けいれん重積状態が重篤であったり十分な鎮静が継続されたりした場合、一相性パターンを示す場合もある²¹⁻²³⁾。英語表記はacute encephalopathy with febrile convulsive status epilepticus (AEFCSE)²²⁾であり、その特徴的な画像所見から「二相性けいれんと遅発性拡散能低下を呈する急性脳症: acute encephalopathy with biphasic seizures and late reduced diffusion (AESD)」とも呼ばれる²³⁾。遅発けいれん時期(けいれん反復期)にCTで脳葉性浮腫を認め、MRI拡散強調像で一過性の皮質下白質に高信号(bright tree appearance BTAと呼ばれる)を認めた後、この白質高信号は消失しそれに代わって隣接する皮質(灰白質)が高信号を認めるといった所見を示す^{22, 23)}。脳のさまざまな脳葉部位に病変を認めるが、通常中心溝付近、後頭葉にはこの所見が乏しいことが多い^{23, 24)}。また、前頭葉を主体とする障害を示すタイプが多い^{25, 26)}。白質に一過性の拡散能低下所見を示す急性神経疾患は本症のみならず、出血性ショック脳症、低酸素性虚血性脳症、一酸化炭素中毒、びまん性軸索損傷などがある。AEFCSEにおいて拡散強調画像で示されるこれらの特徴的所見は一過性であるため、撮像時期によっては捉えられない可能性がある。SPECTを用いた脳血流測定検査

では第10日目以降に大脳障害部位優位に血流の低下を認める。けいれん重積状態直後ではバイタルが安定せず、治療上の制限などから急性期のMRIが施行できない場合も少なくないが、後日SPECTを施行することにより主たる障害部位の同定は可能であると考えられる。血流低下部位はBTAを示す領域よりもより限局している場合が多く、両側大脳半球に広範囲にBTAを認める例でも、脳血流低下部位は両側前頭葉を主とした領域である場合が多い。これらの神経放射線の所見と、前頭葉障害としての神経心理学的臨床症状とその経過(意識回復後の自発性の欠如、感情の不安定さ、奇異な常同運動、言語能力の退行とその回復・獲得遅延など)を考慮にいれたものが「前頭葉を主として障害する乳幼児急性脳症: acute infantile encephalopathy predominantly affecting the frontal lobes (AIEF)」である(Fig.3, 4)²⁶⁻²⁸⁾。AIEFはAEFCSEの概念に包括されるが、厚生労働省研究班急性脳症全国調査の結果に基づく臨床的な特徴を明確に記述しており、診断基準も定まった一疾患単位ないし症候群である。「片側けいれん-片側麻痺-てんかん症候群: hemiconvulsion hemiplegia epilepsy syndrome (HHES)」はAIEFと同系列でありAEFCSEに含まれるが、その約10%を占めるに過ぎない²⁶⁾。一側の大脳半球全体において、MRI拡散強調画像で拡散の低下がまず白質に認められ、その後隣接する皮質を中心とした灰白質に移行することや、血流の変化などの特徴はAEFCSEに共通したものでありAIEFと同様である。

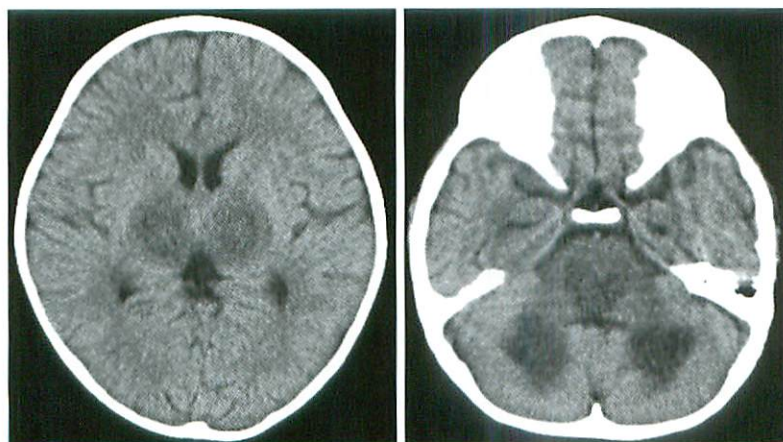


Fig.2
Acute necrotizing encephalopathy

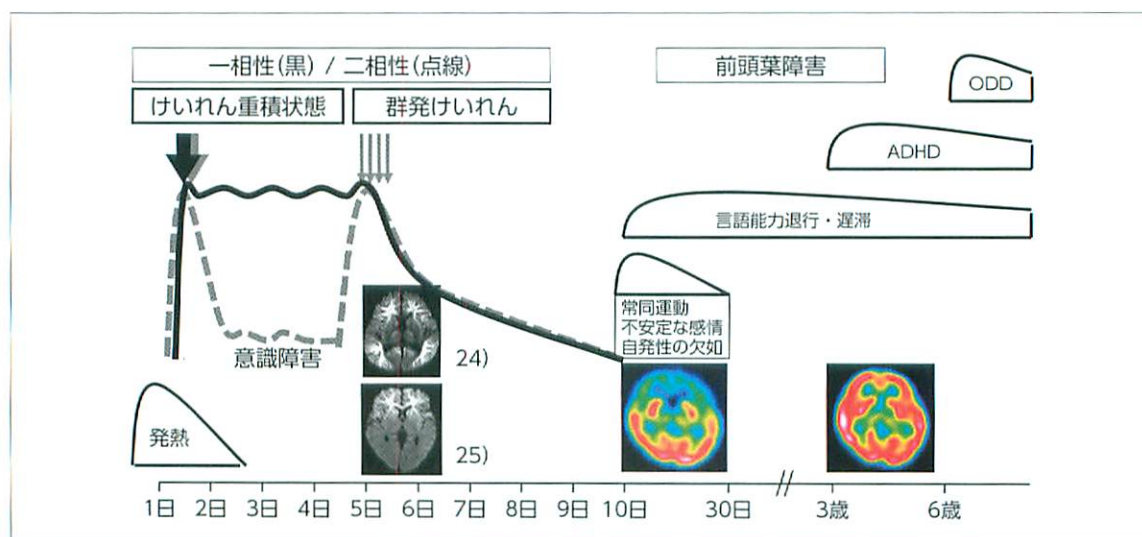


Fig.3 けいれん重積型急性脳症前頭葉型 (AIEF)

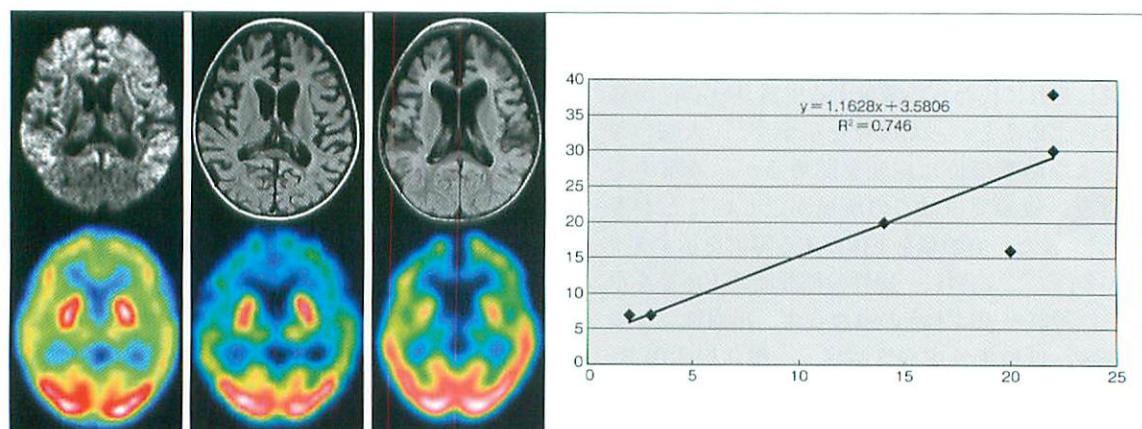


Fig.4 AIEFの経時的画像所見と言語発達改善の関連(文献26より著者改変)

a-c: 11か月男児。D発症後第15日, E第35日, F第26か月

上段 a: 拡散強調画像, b, c: FLAIR画像

下段ECD-SPECT画像 本症候群としては程度は最重症であるが第35日に血流低下のピークを認めておりその後回復する傾向をしめしている。

d: 発症から有意語獲得までの期間(単位: 月)を横軸に, 脳血流正常化までの期間を縦軸にとった場合, 決定係数0.746となる回帰式で両者が相関している。

結 語

小児救急医療の現場においてけいれんと意識障害に対する適切な鑑別診断を行い迅速な治療を施行するために, 小児救急神経疾患の臨床的特徴と放射線学的画像所見に精通しておくことは重要である。

●文献

- 1) Fenichel GM: Paroxysmal disorders. In: Fenichel G: Clinical pediatric neurology, 5th ed. Philadelphia, Elsevier, 2005, p1-45.
- 2) EFA Working Group on Status Epilepticus: Treatment of convulsive status epilepticus. Recommendations of the Epilepsy Foundation of America's Working Group on status epilepticus. JAMA 1993; 270: 854-859.

- 3) Singh RK, Stephens S, Berl MM, et al : Prospective study of new-onset seizures presenting as status epilepticus in childhood. *Neurology* 2010 ; 74 : 636-642.
- 4) Parmar H, Lim SH, Tan NC, et al : Acute symptomatic seizures and hippocampus damage : DWI and MRS findings. *Neurology* 2006 ; 66 : 1732-1735.
- 5) Szabo K, Poepl A, Pohlmann-Eden B, et al : Diffusion-weighted and perfusion MRI demonstrates parenchymal changes in complex partial status epilepticus. *Brain* 2005 ; 128 : 1369-1376.
- 6) Boyd JG, Taylor S, Rossiter JP, et al : New-onset refractory status epilepticus with restricted DWI and neuronophagia in the pulvinar. *Neurology* 2010 ; 74 : 1003-1005.
- 7) Provenzale JM, Barboriak DP, VanLandingham K, et al : Hippocampal MRI signal hyperintensity after febrile status epilepticus is predictive of subsequent mesial temporal sclerosis. *AJR Am J Roentgenol* 2008 ; 190 : 976-983.
- 8) Parmar H, Sitoh YY, Anand P, et al : Contrast-enhanced flair imaging in the evaluation of infectious leptomeningeal diseases. *Eur J Radiol* 2006 ; 58 : 89-95.
- 9) Kamran S, Bener AB, Alper D, et al : Role of fluid-attenuated inversion recovery in the diagnosis of meningitis : comparison with contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Comput Assist Tomogr* 2004 ; 28 : 68-72.
- 10) Gilden DH : Brain imaging abnormalities in CNS virus infections. *Neurology* 2008 ; 70 : 84.
- 11) Krupp LB, Banwell B, Tenenbaum S : International Pediatric MS Study Group : Consensus definitions proposed for pediatric multiple sclerosis and related disorders. *Neurology* 2007 ; 68(16 Suppl 2) : S7-12.
- 12) Dale RC, Branson JA : Acute disseminated encephalomyelitis or multiple sclerosis : can the initial presentation help in establishing a correct diagnosis? *Arch Dis Child* 2005 ; 90 : 636-639.
- 13) Mizuguchi M, Yamanouchi H, Ichiyama T, et al : Acute encephalopathy associated with influenza and other viral infections. *Acta Neurol Scand* 2007 ; 115 : 45-56.
- 14) Tada H, Takanashi J, Barkovich AJ, et al : Clinically mild encephalitis/encephalopathy with a reversible splenial lesion. *Neurology* 2004 ; 63 : 1854-1858.
- 15) Sakuma H, Awaya Y, Shiomi M, et al : Acute encephalitis with refractory, repetitive partial seizures (AERRPS) : a peculiar form of childhood encephalitis. *Acta Neurol Scand* 2010 ; 121 : 251-256.
- 16) Harting I, Neumaier-Probst E, Seitz A, et al : Dynamic changes of striatal and extrastriatal abnormalities in glutaric aciduria type I. *Brain* 2009 ; 132 : 1764-1782.
- 17) Tzoulis C, Neckelmann G, Mørk SJ, et al : Localized cerebral energy failure in DNA polymerase gamma-associated encephalopathy syndromes. *Brain* 2010 ; 133 : 1428-1437.
- 18) Levin M, Hjelm M, Kay JD, et al : Haemorrhagic shock and encephalopathy : a new syndrome with a high mortality in young children. *Lancet* 1983 ; 2 : 64-67.
- 19) Toyoshima M, Maegaki Y, Sugihara S, et al : Serial diffusion-weighted MRI in hemorrhagic shock and encephalopathy syndrome. *Pediatr Neurol* 2007 ; 36 : 66-69.
- 20) Mizuguchi M : Acute necrotizing encephalopathy of childhood : a novel form of acute encephalopathy prevalent in Japan and Taiwan. *Brain Dev* 1997 ; 19 : 81-92.
- 21) Kimura S, Ohtuki N, Nezu A, et al : Clinical and radiological variability of influenza-related encephalopathy or encephalitis. *Acta Paediatr Jpn* 1998 ; 40 : 264-270.
- 22) 塩見正司 : インフルエンザ脳症. *日本臨床* 2003 ; 61 (増刊2) : 100-105.
- 23) Takanashi J, Oba H, Barkovich AJ, et al : Diffusion MRI abnormalities after prolonged febrile seizures with encephalopathy. *Neurology* 2006 ; 66 : 1304-1309.
- 24) Akasaka M, Sasaki M, Ehara S, et al : Transient decrease in cerebral white matter diffusivity on MR imaging in human herpes virus-6 encephalopathy. *Brain Dev* 2005 ; 27 : 30-33.
- 25) Yoshikawa H, Kitamura T : Serial changes on diffusion-weighted magnetic resonance imaging in encephalitis or encephalopathy. *Pediatr Neurol* 34 : 308-311, 2006.
- 26) 山内秀雄 : 前頭葉を主として障害する乳幼児急性脳症. *脳と発達* 2008 ; 40 : 135-140.
- 27) Yamanouchi H, Kawaguchi N, Mori M, et al : Acute infantile encephalopathy predominantly affecting the frontal lobes. *Pediatr Neurol* 2006 ; 34 : 93-100.
- 28) Yamanouchi H, Mizuguchi M : Acute infantile encephalopathy predominantly affecting the frontal lobes (AIEF) : a novel clinical category and its tentative diagnostic criteria. *Epilepsy Res* 2006 ; 70 : S263-265.

胎児MRIが役立つ疾患

桑島成子

獨協医科大学病院 放射線科

Effectiveness of fetal MRI for the detection of neonatal diseases

Shigeko Kuwashima

Department of Radiology, Dokkyo Medical University

Abstract Ultrasound (US) and MRI are complementary non-invasive imaging methods that are used for the evaluation of potential abnormalities in high-risk pregnancies. If some anomalies are detected by US, MRI may demonstrate additional findings that may alter patient counseling and case management. Fetal MRI is particularly helpful in improving anatomical definition, clarifying diagnosis, and identifying associated abnormalities. Although MRI has several advantages over US for imaging fetal anomalies, careful consideration should be given to which method to use: there are some limitations with regard to both techniques and interpretation of the subsequent results.

MRI techniques like half-Fourier acquired single-shot turbo spin-echo (HASTE) or single-shot fast spin-echo (SSFSE) are mainly used. Using these rapid pulse sequences, a single T2-W image can be acquired in less than 1s, reducing the likelihood of fetal motion.

Ventriculomegaly is the most common central nervous system (CNS) abnormality identified on prenatal US. Fetal MRI is superior to US in identifying, for example, X-linked hydrocephalus, chiari II malformation and abnormalities of the corpus callosum.

Fetal chest abnormalities have characteristic MRI appearances. MRI is accurate in distinguishing congenital diaphragmatic hernia from CCAM. Fetal MRI can also confirm the diagnosis of congenital high airway obstruction syndrome.

We refer to some important neonatal diseases that are indicated for fetal MRI.

Keywords Fetus MRI ventriculomegaly

はじめに

胎児の画像診断の第一選択は超音波検査である。胎児MRIは、肥満や羊水過少で十分な検査が行えない場合や、超音波所見で判断が難しい場合にそれを補う検査として施行される。

胎児MRIは組織コントラストに優れており、超音波検査で指摘された異常所見の詳細な評価や、超音波検査で指摘されていない異常所見が描出さ

れる場合がある。また、胎児の全体像、羊水、胎盤を同時に客観的に評価することができるなどの利点がある。機器の高速化に伴い前処置を行うことなく良好な画像が得られるようになり、胎児MRIの有用性は確立され、適応は拡大している。

撮影法

撮影法の基本は、モーションアーチファクトの

影響が少なく、胎児と羊水のコントラストが良好なT2強調像である¹⁾。消化管疾患が疑われる場合は、胎便が高信号を示すT1強調像も施行する。

脳室拡大を来す疾患^{2~4)}

胎児MRIが依頼される頻度が最も高い超音波所見が脳室拡大である。胎児MRIでは、脳室拡大の原因、シャント術の適応性、他の中枢神経異常の有無を診断する。胎児MRIを施行することによって17~50%に脳室拡大以外の中枢神経異常が描出され⁵⁾、MRIの結果によって治療方針やカウンセリングが変わる場合がある。

胎生早期では脳室が大きく、23週頃から前角が狭小化し、28週を過ぎると後角も狭小化する。側脳室三角部の幅は週数を問わず10mm未満が正常といわれている。脳室拡大のみと他の中枢神経奇形の合併では神経学的予後が異なるので、MRIによる他の中枢神経奇形の有無の評価は重要である。24週以前では脳回、脳溝が未熟で、一見、消脳症のような脳を呈する。脳室周囲には胚芽細胞層が低信号域として認められる。

1. X連鎖性遺伝性水頭症

遺伝子が確立した疾患である。細胞接着因子

L1CAM遺伝子異常を示す^{6,7)}。患者は男児のみである。男児中脳水道狭窄の25%ともいわれている。中枢神経画像所見として進行性の脳室拡大が認められる(Fig.1a)。その他、脳梁低形成、四丘体腫大、視床間橋の拡大、小脳低形成、シャント後の脳室壁の波状変形がある⁸⁾。特徴的所見として母指の内転屈曲があり、この所見は超音波やMRIでも確認できる(Fig.1b)。男児の高度水頭症では母指の内転屈曲の確認が必要である。

2. Chiari II型奇形

Chiari II型奇形は後脳、脊椎、頭蓋底の間葉を含む複雑な先天奇形である。後頭蓋窩は小さく、小脳・脳幹・第四脳室が大後頭孔から下垂し、第四脳室が小さい。ほとんど全例に脊髄髄膜瘤を伴う(Fig.2)。超音波検査では水頭症のみが気づかれることも少なくない。このため脳室拡大例ではMRIで脊髄髄膜瘤を確認することが必要である。脊髄髄膜瘤を見逃さないためには全脊椎の矢状断像と横断像が必要である。

3. 脳梁欠損

脳梁は胎生8~20週にかけて膝部から膨大部に向かって形成される。胎生早期に障害が起こり脳

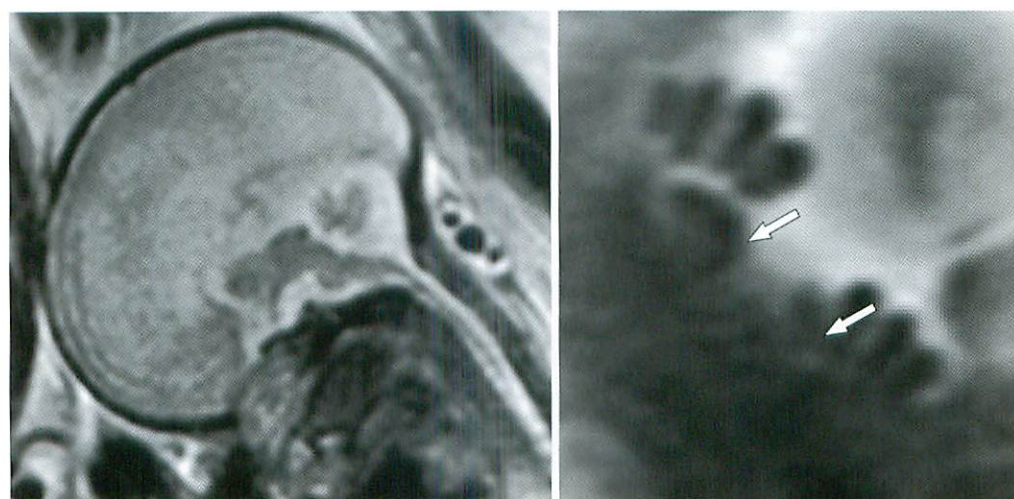


Fig.1 X-linked hydrocephalus

a: Sagittal T2-weighted image shows severe ventriculomegaly due to aqueduct stenosis. Enlarged quadrigeminal plate and hypoplastic cerebellum are also revealed.

b: Axial T2-weighted image shows bilateral adducted thumbs (arrows).

a | b

梁原基が全く形成されない場合は完全欠損となり、吻側部分のみが形成されれば部分欠損となる。脳梁欠損では脳梁が認められず、側脳室は後角優位



Fig.2 Chiari II malformation

Sagittal T2-weighted image shows small posterior fossa with hindbrain herniation and posterior spinal defect with lumbar myelomeningocele.

に拡大する。矢状断像では脳梁が欠損し、脳回が第三脳室に向かって垂直に走行する (Fig.3a)。側脳室前角は冠状断像で正常と異なり先端が細く内側を向く。側脳室前角内側に低信号を示す probst bundle を認める。超音波検査では、脳室拡大のみが指摘され MRI で脳梁欠損が診断される症例がある反面、超音波検査で脳梁欠損が疑われ MRI で脳梁に異常が認められない頻度が約 20% みられる。脳梁欠損のみの異常では handicap のリスクは 15~20% である。脳梁欠損では半球間裂嚢胞、後頭蓋窩奇形、脳回形成異常などの合併が認められる場合がある (Fig.3b)。

4. 全前脳胞症

胎生 4~6 週にかけて前脳分割の過程が障害される奇形である。終脳は holoshere (全球) の状態を示す。重症度順に 3 型に分類されているが、いずれの型も前頭葉に相当する皮質には左右の連続性が認められる。Alobar 型が最も重症で、単脳室を示し、単脳室が背側の dorsal cyst に連続する (Fig.4)。半球間裂はなく、視床は分離していない。

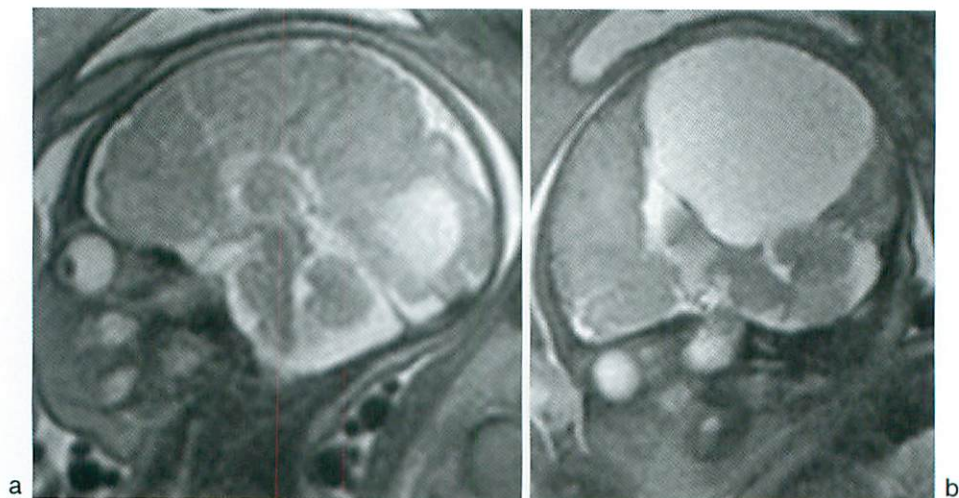


Fig.3 a: Agenesis of corpus callosum

Sagittal T2-weighted image shows medial sulci radiating perpendicular to the expected course of the corpus callosum.

b: Callosal agenesis with interhemispheric cyst

Sagittal T2-weighted image shows absence of the corpus callosum with a large CSF collection inferiorly displacing the quadrigeminal plate

5. 鞍上槽クモ膜嚢胞

クモ膜嚢胞は全ての sequences で脳脊髄液と等信号を示す (Fig.5). 特徴的所見は拡散強調像の著明な低信号である.

胸 部

正常の肺は24~26週にかけて肺液を反映して低から均一な高信号へと変化する⁹⁾. 心臓は低信号を



Fig.4 Alobar holoprosencephaly
Axial T2-weighted image shows the crescentic monoventricle leading into a large dorsal cyst



Fig.5 Suprasellar arachnoid cyst
Sagittal T2-weighted image shows large arachnoid cyst with displaced brain stem.

示す. 胃は左上腹部に高信号に, 肝は右上腹部に低信号に描出される.

1. 先天性横隔膜ヘルニア

横隔膜の先天的欠損部から腹腔内臓器が胸腔内に脱出する奇形である. 15~45%に染色体異常や他の奇形の合併がある. 腹腔臓器の脱出は患側のみではなく健側肺の形成にも影響する. MRIでは腹腔から胸腔に連続して腸管が認められ, 胎便を含む腸管はT1強調像で高信号を示す¹⁰⁾. 胸腔内に脱出した胃は高信号を示し, 肝は低信号を示す (Fig.6). 26週以降になっても肺の信号強度が均一な高信号を示さない場合は肺低形成の可能性が高い. ほとんどの例で患側の肺は低形成のため低信号を示す. 健側の肺も低信号を示す場合は予後不良で手術不可能例が多い. ただし, 横隔膜ヘルニアの予後因子は肺低形成の他に肺高血圧, 心大血管奇形, 染色体異常などが複数関連しているため正確な予後判定は難しい. 肺低形成の評価に胎児MRIによる肺の体積測定も行われる. しかし, 全



Fig.6 Left diaphragmatic hernia
Coronal T2-weighted image shows herniated low signal bowel and high signal stomach into the left hemithorax.

ての機器でできるわけではなく、信号高度の評価と異なり即時に判定ができない。

2. CCAM (congenital cystic adenomatoid malformation)

現在、広い範疇でCPAM (congenital pulmonary airway malformation) を用いる場合もある¹¹⁾。先天性横隔膜ヘルニアの鑑別疾患となる。胎生7～15週に生じる終末細気管支の発育障害による過誤腫様の奇形である。自然経過は不明で自然消失する例から、嚢胞が拡大する例や致死例もある。肺に異常高信号を示す嚢胞性病変を認める (Fig.7)。横隔膜に欠損はない。病変が片肺の50%以上で縦隔偏位がある場合は出生時、呼吸障害の可能性が高い¹²⁾。ただし、MRI所見は変化するので、この判定は妊娠31週以降で行う。

3. CHAOS (congenital high airway obstruction syndrome)

稀な先天性上気道閉塞症候群で初期治療を誤ると致死性である。先天性喉頭閉鎖が主な原因であるが、喉頭嚢胞や喉頭webも原因となりうる。胎

児の肺は肺液を分泌し喉頭を通して排泄される。喉頭閉鎖があると肺液は排泄できず肺に貯留し、横隔膜を反転させるほど過膨脹になる¹³⁾。超音波やMRIで両側の肺の腫大、肺の高エコー (高信号)、横隔膜の反転、胎児腹水が認められる。MRIでは喉頭閉鎖の所見も描出することができる (Fig.8)¹⁴⁾。

おわりに

MRIはいくつかの点でUSより胎児の画像診断法として優れているが、技術面や解釈には限界があり万能ではない。MRIの結果により治療方針やカウンセリングが変わる可能性がある。診断には超音波所見との比較や経過の画像所見などから慎重に行うべきである。

●文献

- 1) Glenn OA : MR imaging of the fetal brain. *Pediatr Radiol* 2010 ; 40 : 68-81.
- 2) Bulas DI, Farmer DL : Prenatal diagnosis of central nervous system anomalies. *Caffey's pediatric diagnostic imaging*, 11 th, Slovis TL ed. Philadelphia, Mosby, 2008, p387-397.

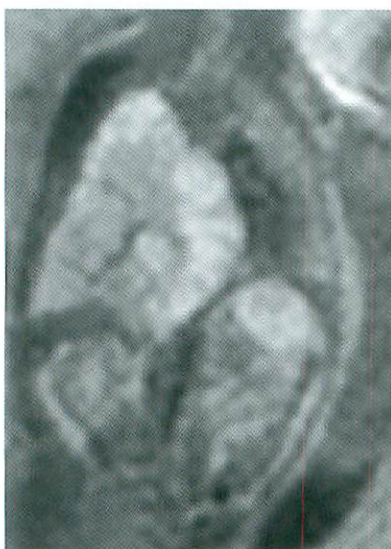


Fig.7 Right cystic adenomatoid malformation

Coronal T2-weighted image shows a multicystic high signal mass involving almost the entire right lobe with mediastinum shift to the left.



Fig.8 CHAOS

Sagittal T2-weighted image shows high signal enlarged lung causing flattening of the diaphragm. Ascites is seen below the diaphragm. Laryngeal atresia is visible.

- 3) Vazquez E, Mayolas N, Delgado I, et al : Fetal neuroimaging : US and MRI. *Pediatr Radiol* 2009 ; 39 (Suppl) : S422-435.
- 4) 桑島成子 : 胎児MRI. 小児神経の画像診断, 大場洋編著. 東京, 秀潤社, 2010, p124-131.
- 5) Griffiths PD, Reeves MJ, Morris JE, et al : A prospective study of fetuses with isolated ventriculomegaly investigated by antenatal sonography and in utero MR imaging. *AJNR* 2010 ; 31 : 106-111.
- 6) Takahashi S, Makita Y, Okamoto N, et al : L1CAM mutation in a Japanese family with X-linked hydrocephalus : a study for genetic counseling. *Brain & Development* 1997 ; 19 : 559-562.
- 7) Piccione M, Matina F, Fichera M, et al : A novel L1CAM mutation in a fetus detected by prenatal diagnosis. *Eur J Pediatr* 2010 ; 169 : 415-419.
- 8) Kanemura Y, Okamoto N, Sakamoto H, et al : Molecular mechanisms and neuroimaging criteria for severe L1 syndrome with X-linked hydrocephalus. *J Neurosurg* 2006 ; 105 : 403-412.
- 9) Kuwashima S, Nishimura G, Iimura F, et al : Low-intensity fetal lungs on MRI may suggest the diagnosis of pulmonary hypoplasia. *Pediatr Radiol* 2001 ; 31 : 669-672.
- 10) Hubbarad AM, Adzick NS, Crombleholme TN, et al : Congenital chest lesions : diagnosis and characterization with prenatal MR imaging. *Obstet Imaging* 1999 ; 212 : 43-48.
- 11) Bulas DI, Farmer D : Prenatal diagnosis and therapy of chest anomalies. *Caffey's pediatric diagnostic imaging*, 11 th, Slovis TL ed. Philadelphia, Mosby, 2008, p78-92.
- 12) Gornall AS, Budd LS, Draper ES, et al : Congenital cystic adenomatoid malformation : accuracy of prenatal diagnosis, prevalence and outcome in a general population. *Prenat Diagn* 2003 ; 23 : 997-1002.
- 13) Kalache KD, Chaoui R, Tennstedt C, et al : Prenatal diagnosis of laryngeal atresia in two cases of congenital high airway obstruction syndrome (CHAOS). *Prenat Diagn* 1997 ; 17 : 577-581.
- 14) Kuwashima S, Kitajima K, Kaji Y, et al : MR imaging appearance of laryngeal atresia (congenital high airway obstruction syndrome) : unique course in a fetus. *Pediatr Radiol* 2008 ; 38 : 344-347.

症例報告

Painful os sustentaculi の1例

八神俊明, 相原敏則¹⁾, 本多正徳済生会宇都宮病院 放射線科, 自治医科大学とちぎ子ども医療センター 小児画像診断部¹⁾

A case of painful os sustentaculi

Toshiaki Yagami, Toshinori Aihara¹⁾, Masanori Honda

Department of Radiology, Saiseikai Utsunomiya Hospital

Department of Pediatric Medical Imaging, Jichi Children's Medical Center Tochigi¹⁾

Abstract The os sustentaculi is a rare supernumerary bone (accessory bone and sesamoids) which is located on the medial side of the talocalcaneal joint, posterior to the sustentaculum tali¹⁾. Many supernumerary bones are known in the foot. Among them, os tibiale externum and os trigonum are relatively frequently encountered on plain radiographs. Os sustentaculi, however, is rarely found^{2,3)}. This small bone has two characteristics different from the others. First, it is much more frequently symptomatic²⁾. Second, routine radiographic study fails to detect it. So a physician might easily overlook this bone as a cause of ankle pain. Multidetector-row CT (MDCT) provides easy recognition of this small bone. Knowing the os sustentaculi as a cause of ankle pain, the diagnosis of "painful os sustentaculi" would be easily made. Therefore we presented a pediatric case of painful os sustentaculi clearly demonstrated on MDCT. Embryological considerations will be briefly discussed as well to explain the relationship among three similar conditions, that is, os sustentaculi, talocalcaneal coalition, and assimilated os sustentaculi.

Keywords Painful os sustentaculi, Sustentaculum tali, Subtalar coalition, Assimilated os sustentaculi, Multidetector-row CT(MDCT)

はじめに

多検出器型CT (Multidetector-row CT. 以下, MDCT) にて診断し得た Painful os sustentaculi の小児例を経験したので報告する.

Os sustentaculi は距踵関節内側に存在する過剰骨(注)で, 載距突起の後面に付着している(Fig.1白矢頭). 適切な訳語がなく, 邦文文献でも Os sustentaculi と表記されている. 足部の過剰骨のうち,

注) Supernumerary bone 過剰骨:

鶴田らの文献²⁾では, 足の主たる構成骨である跗節骨, 中足骨, 足根骨以外の骨を一括して「過剰骨」と表記し, それぞれについて詳細な報告がなされている. 著者らが文献検索した Os sustentaculi にかかる内外の文献は6篇^{2,8-12)}であるが, これらのうち, この文献以降に発行されたものは4篇で, ほとんど全てに引用されている. それゆえ, 著者らもこの文献を引用する形で, 過剰骨 (Supernumerary bone) を用いることとした.

原稿受付日: 2010年6月18日, 最終受付日: 2010年9月9日

別刷請求先: 〒321-0974 宇都宮市竹林町911-1 済生会宇都宮病院 放射線科 八神俊明

外脛骨 Os tibiale externum や三角骨 Os trigonum などは比較的頻度が高く、足、あるいは足関節の単純X線写真にてしばしば目にする。しかし、Os sustentaculi の頻度はこれらに比べると低い^{2,3)}。加えて、他の過剰骨に比べて有症状(痛み)であることが多い²⁾、「足関節正面・側面」、「足部正面・斜位」などの足部のルーチン撮影では認識しがたい²⁾などの特徴がある。有症状ゆえ日常臨床の場で遭遇する可能性があり、診断に難渋しうる。しかし、MDCTの普及に伴い、多断面再構成画像(multiplanar reconstruction, 以下MPR)を作成することが容易になった現在、Os sustentaculi の存在と病

的意義を知っていれば、「載距突起後面に付着する過剰骨」を画像上明らかにすることは難しいことではない。我々はPainful os sustentaculi の小児例を経験し、MDCTにて特徴的な所見を描出して診断につなげることができた。画像診断医にこの過剰骨の存在と病的意義を広く周知する目的で、その画像を提示し報告する。あわせて、Os sustentaculi の成り立ちを発生学的に考察し、Subtalar coalition, Assimilated os sustentaculi との関連について述べる。

症 例

患者：10歳男児

主訴：左足関節内側部の痛み

画像所見：足関節単純X線写真正面像・側面像(Fig.2a, b)では、明らかな異常は指摘し得ない。MDCT MPR画像にて、載距突起と距骨に嘴状の骨性隆起を認め、その間に小さな過剰骨を認めた。(Fig.3a, b 白矢頭)。2つの断面、すなわち冠状断と矢状断のいずれにおいても距骨・踵骨とは連続していないことがわかる。

考 察

足部には主たる構成骨である趾節骨、中足骨、足根骨以外にも数多くの小骨が存在する。比較的よく知られており、単純X線写真を撮影すれば必

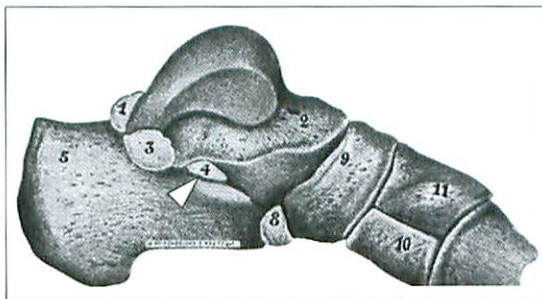


Fig.1 Os sustentaculum (white arrowhead)
Reprinted from the textbook (Kopsch FR : Die Knochen des Fußes. Rauber-Kopsch Anatomie des Menschen [19ed], Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1955, p234.)¹⁾



Fig.2 Radiographs of the left ankle ; AP (a) and lateral (b) projections
Prior to X-ray exposure, a radiopaque marker (X) was put on the skin just over the pain. In spite of the marker, it is difficult to point out any abnormality around it.

ず目にするのは種子骨である。種子骨以外にも、種々の小骨があって、教科書にも掲載されている⁴⁻⁶⁾。鶴田らはこれらを一括して過剰骨と呼称している²⁾。著者らもそれに倣うことにする(注)。

Os sustentaculiは載距突起後部と距骨との間に位置する小さな過剰骨である(Fig.1 白矢頭)。Pfitznerにより1896年に初めて報告された³⁾。その報告は425例の解剖足を対象とし、0.47%の頻度で存在したとしている。この過剰骨は足部に現れるもののなかでも稀である。1981年の鶴田らの報告によれば、足部に現れる過剰骨のうち0.3%を占めるに過ぎなかったという²⁾。2003年に報告されたMelladoらの総説では11種の過剰骨が紹介されている。そのうちOs sustentaculiはOs vesalianumについて少ない⁷⁾。

足部の過剰骨自体は、単純X線写真で偶然に指摘されることが多く、その多くは無症状である。しかし、稀に症状を呈することがあり、なかでもOs sustentaculiは、有症状となる頻度が高いことが、前述の鶴田らの報告に記載されている²⁾。その場合、Painful os sustentaculiと呼ばれる。そのCT画像が2002年にMelladoらにより初めて報告されている⁸⁾。この報告によれば、症状は局所の痛みで、繰り返す外傷や、慢性刺激が原因ではないかと考察されている。本症例においても、足部

内側の、載距突起後方に限局した痛みを訴えており、原因となっていることが明らかだった。

我々の症例(Fig.2, 3)も、Melladoらによって報告された症例も、そのCT画像において異常の存在は一目瞭然である。にもかかわらずMDCTやMRI画像を紹介しているものはわずかである。我々が文献検索し得た論文は2篇^{8,9)}で、2症例が紹介されていたに過ぎない。

報告例がわずかである理由は、以下のような三つの要因が挙げられる。1. 頻度が低いこと、2. 容易に見逃され得ること、3. 重症度が低いことである。

1. 「低頻度のものほど症例報告につながる」こともありうるが、それを凌駕するほどに頻度が低ければ、報告が少ないことは腑に落ちる。一般的に、「過剰骨は偶然発見されるもので、有症状例は稀」という記述は成書にも見られる。しかし特筆すべきは、鶴田らの論文に記載されている以下の一節である。

「Os sustentaculiに関しては、有症状の確率が高い。」このことは本報告において強調しておきたい点でもある。著者らは、頻度よりも、以下に述べる要素を注意すべきと考えている。

2. 見逃しについては、骨関節疾患の画像診断の一般的な進め方が関与する。足関節痛を訴えて患



a | b

Fig.3

a: Coronal multiplanar reconstruction (MPR) of the left ankle (1 mm slice thickness) demonstrates a small skeletal component (white arrowhead) between the bony beaks from both calcaneus and talus (white arrows).

b: Parasagittal MPR of the left ankle through the os sustentaculi (1 mm slice thickness) demonstrates a supernumerary bony particle (white arrowhead) apart from both calcaneus and talus.

者が医療機関を訪れた場合、最初に行われる画像診断法は、局所すなわち足関節の単純X線写真であろう。その内容は正面像と側面像の2方向撮影となるはずである。しかし、Os sustentaculiは足関節単純X線写真2方向撮影では診断することは難しい²⁾。我々の症例でも、足関節側面像(Fig.2)では距骨下関節周囲に異常を指摘することは困難であった。

3. 重症度は、確かに低いと思われる。本症例も安静で軽快している。日常生活に支障をきたすことが少なく、「self limiting」つまり自制内の経過をとるのではなかろうか。診断に至らず、外来経過観察をした場合、再診につながらなければさらなる画像検査は行われない。

著者が勤務する済生会宇都宮病院では、2009年の1年間で739例について足関節の単純X線写真が撮影されている。「0.3%」との鶴田らの報告を援用すれば、1年間に2件のOs sustentaculiが指摘されるはずである。そのうちどれだけの頻度で有症状、つまりPainful os sustentaculiとなるのかは採用できるデータがないため、わからない。しかし、前述した2.の繰り返しにもなるが、以下の点に留意すべきである。

鶴田らは、単純X線写真において、同骨を診断するために斜位撮影の必要性を指摘し、正面・側面の標準的な2方向撮影では診断は難しいことを

述べている²⁾。Os sustentaculiを念頭におかず、局部のスクリーニング検査として単純X線写真が依頼される日常臨床の場合は、それを診断することが極めて難しいことは容易に理解できる。

鑑別診断には、Subtalar coalition(距踵間癒合症)に伴う骨折と偽関節形成、Assimilated os sustentaculi(適切な邦語訳なし)が挙げられる。

本症例では、独立した過剰骨、すなわちOs sustentaculiと診断したが、距踵間癒合症に骨折が起き、偽関節を形成した結果生じた「骨片」と考えることも可能である。しかしこれらの疾患を厳密に定義した報告は見あたらない。その点は以下のように考える。

胎生期、距骨と踵骨載距突起との間の軟骨性架橋が存在していることが知られている¹³⁾。発生の過程でこの軟骨性架橋は吸収され距踵関節が形成されるが、その吸収が不完全であった場合にOs sustentaculiが生じると考える。

この発生学的な観点から上記疾患を一連のスペクトラムとして捉えることができる。胎生期、軟骨性の距骨と踵骨がその内側で架橋により連結していることがわかっている^{13,14)}。距骨・踵骨双方との連結部が吸収され、それらから孤立して骨化したものがOs sustentaculi、双方との連結部分が吸収されずに骨化したものがSubtalar coalition(距踵間癒合症)、一方だけが吸収され骨化したもの

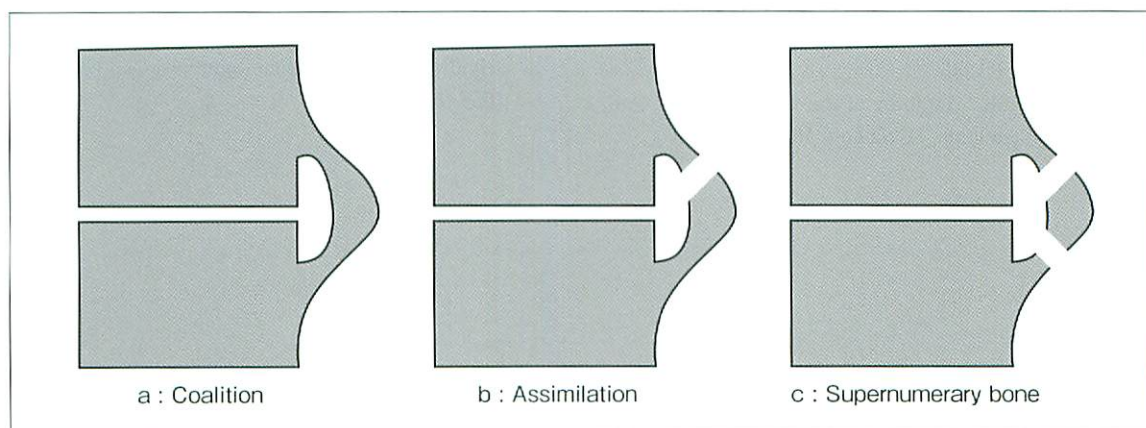


Fig.4 Schematic drawings explaining relationship among talocalcaneal coalition, assimilated os sustentaculi and os sustentaculi on the basis of the fate of the medial talocalcaneal bridge. Complete failure of absorption results in talocalcaneal coalition (a). Partial absorption occurred at the talar side results in assimilated os sustentaculi (b). If absorption occurred at both talar and calcaneal sides and a portion between them ossified, os sustentaculi (c) results.

がAssimilated os sustentaculiと考えるのである。Fig.4にシェーマを示す。

本症例の距骨および踵骨から嘴状に突出する部分は、胎生期の軟骨性架橋の残存であり、小さな過剰骨すなわちOs sustentaculiとともに物理的な慢性刺激が加わって症状を呈したと考える。

本症、すなわちPainful os sustentaculiはその存在を知った上でCT検査を行えば診断は容易である。世界で最もCTが普及している我が国において、CT画像の報告がないのは奇異なことである。その原因は「Painful os sustentaculiという疾患の存在を知らない」ということに尽きる。

結 語

Painful os sustentaculiと考えられる小児症例を報告した。稀な病態ではあるが、知ってさえいればその特徴的な画像所見から、CT検査の追加により迅速な診断が可能と考えられる。

●文献

- 1) Kopsch FR : Spezielle Knochenlehre, Rauber-Kopsch lehrbuch und Atlas der Anatomie des menchen Band I (19ed). Stuttgart, Georg thieme verlag 1955, p121-255.
- 2) 鶴田登代志, 塩川靖夫, 加藤 明, 他 : 足部過剰骨のX線学的研究. 日本整形外科学会雑誌 1981 ; 55 : 357-370.
- 3) Pfitzner W : Beiträge zur Kenntnis des menschlichen Extremitätenskeletts. VII. Die Variationen im Aufbau des. Fuss-Skeletts. Schwalbes Morphol Arb 1896 ; 6 : 245.
- 4) Sarrafian SK : Anatomy of the foot and ankle, 2nd edn. Philadelphia, Lippincott, 1993, p93-101.
- 5) Keats TE, Anderson MW : Atlas of normal roentgen variants that may simulate disease, 8th ed. Philadelphia, Mosby, 2007, p838-854.
- 6) Schmidt H, Freyschmidt J : Koeler/Zimmer Borderlands of normal and early pathologic findings in skeletal radiography, 4th ed. New York, Thieme, 1993, p1773-1864.
- 7) Mellado JM, Ramos A, Salvadó E : Accessory ossicles and sesamoid bones of the ankle and foot : imaging findings, clinical significance and differential diagnosis. Eur Radiol 2003 ; 13 Suppl 4 : L164-177.
- 8) Mellado JM, Salvadó E, Camins A, et al : Painful os sustentaculi : imaging findings of another symptomatic skeletal variant. Skeletal Radiol 2002 ; 31 : 53-56.
- 9) Bencardino J, Rosenberg ZS, Beltran J, et al : Os sustentaculi : depiction on MR images. Skeletal Radiol 1997 ; 26 : 505-506.
- 10) Bloom RA, Libson E, Lax E, et al : The assimilated os sustentaculi. Skeletal Radiol 1986 ; 15 : 455-457.
- 11) Kraft H : Assimilated accessory skeletal element of the foot (Os sustentaculi) as cause for frequently recurring disorders. Arch Orthop Unfallchir 1958 ; 49 : 652-654.
- 12) London RI, March HC : Os sustentaculi : Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med 1956 ; 76 : 1114-1118.
- 13) Kawashima T, Uthoff HK : Prenatal development around the sustentaculum tali and its relation to talocalcaneal coalitions. J Pediatr Ortho 1990 ; 10 : 238-243.
- 14) Harris R : Retrospect-peroneal spastic flat foot (rigid valgus foot). J Bone Joint Surg Am 1965 ; 47 : 1657-1567.

症 例 報 告

小児脊椎感染症の2例

星野顕宏, 佐藤祐子, 松橋一彦, 鈴木徹臣, 山口克彦, 北中ゆき¹⁾, 佐藤 裕
町田市民病院 小児科, 同 放射線科¹⁾

Two cases of spinal infection in children

Akihiro Hoshino, Yuko Sato, Kazuhiko Matsuhashi, Tetsuomi Suzuki
Katsuhiko Yamaguchi, Yuki Kitanaka¹⁾, Yutaka Sato
Department of Pediatrics, Radiology¹⁾, Machida Municipal Hospital

Abstract Spinal infections affect the vertebral bodies, intervertebral disks, spinal canal, and paravertebral soft tissues and structures. They include a spectrum of diseases such as pyogenic spondylitis and spinal epidural abscess. Early diagnosis is important because a delay in diagnosis can result in sepsis, spine deformity, and neurologic complications. We here report two cases of spinal infection in children. Our patients presented with hip pain and fever without neurologic defect symptoms. We attempted to distinguish renal abscess or tumor as well as spinal infections, but a definite diagnosis of spinal infections was made by magnetic resonance imaging (MRI). Although spinal infections are rare, it is important that a spinal infection be suspected in children presenting with back or hip pain of unidentifiable cause. An early diagnosis can be made by MRI in many cases, as long as a spinal infection is suspected.

Keywords Spinal infection, Children, Early diagnosis, Magnetic resonance imaging

はじめに

脊椎感染症は椎体、椎間板、脊柱管、傍脊椎軟部組織の細菌感染症で、化膿性脊椎炎、化膿性椎間関節炎などを含めた総称である¹⁾。脊椎感染症はまれな疾患であるが、進行すると敗血症や脊椎不安定、不可逆的な脊髄障害をきたす可能性もあるため早期診断が重要である¹⁾。小児の脊椎感染症2症例を経験したので報告する。

症 例

症例1：8歳2か月、女児。

主訴：腰痛、発熱。

家族歴、既往歴：特記事項なし。

現病歴：入院の14日前から腰痛が出現し、8日前から39度台の夜間の発熱が出現した。整形外科を受診して腰椎単純X線検査を施行して異常を認めず、非ステロイド性抗炎症薬を投与されて経過観察されていた。入院2日前に前医小児科を受診し、セフトロニドピボキシルを処方されたが改善を認めず、当院に紹介されて入院した。

入院時現症：身長131.8cm(+1.2SD)、体重29.5kg(+0.7SD)、体温37.0℃、血圧90/61mmHg、脈拍数

原稿受付日：2010年7月16日、最終受付日：2010年11月11日

別刷請求先：〒142-8666 東京都品川区旗の台1-5-8 昭和大学病院 小児科 星野顕宏

96回/分, 呼吸数20回/分, 呼吸音, 心音に異常は認めなかった。腹部は平坦で軟であった。腰部全体に叩打痛を認めた。下肢の感覚異常や筋力低下は認めなかった。膀胱直腸障害は認めなかった。

入院時検査所見: 血液検査で白血球数 $16,000/\mu\text{l}$, 血沈 119 mm/h , CRP 15.80 mg/dl であった。血液培養は陰性であった。MRIではL4からS3にかけて硬膜外腔にT1強調像で低信号, T2強調像で高信



Fig.1 MRI of case 1

a: Sagittal T1WI

b: Sagittal T2WI

c: Sagittal postcontrast T1WI

Sagittal T1WI and T2WI show spinal epidural abscess extending from the vertebral level L4 to S3 (arrows). Sagittal postcontrast T1WI shows peripheral enhancement and loculations.

a | b | c

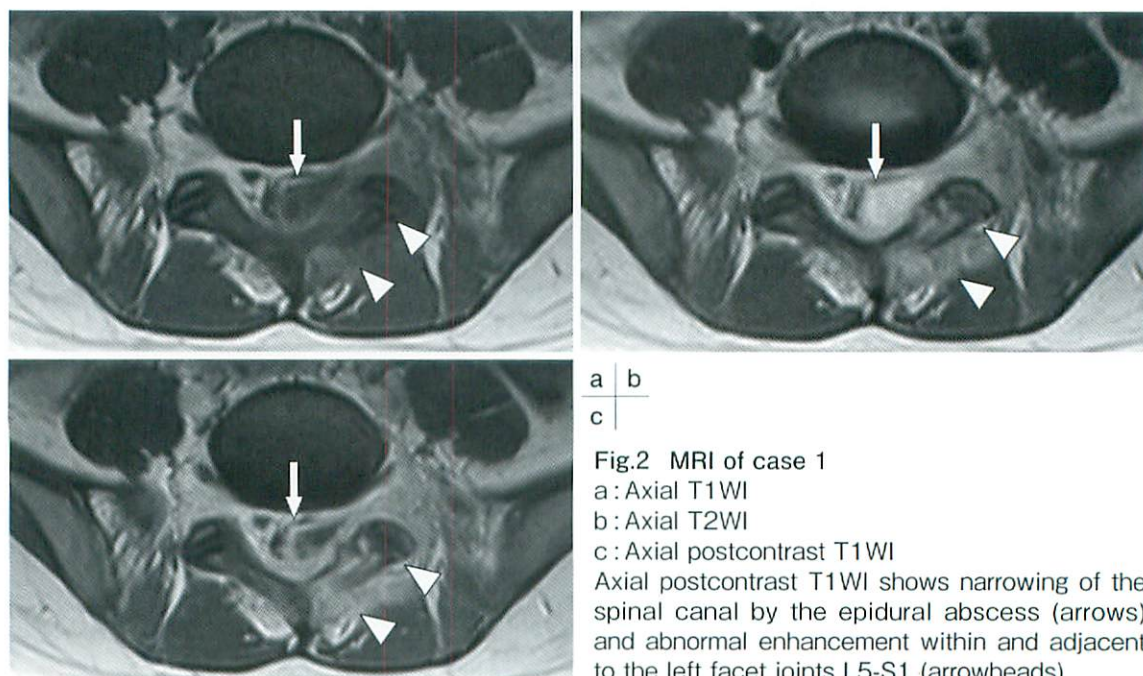


Fig.2 MRI of case 1

a: Axial T1WI

b: Axial T2WI

c: Axial postcontrast T1WI

Axial postcontrast T1WI shows narrowing of the spinal canal by the epidural abscess (arrows) and abnormal enhancement within and adjacent to the left facet joints L5-S1 (arrowheads).

a | b
c |

号を呈する多房性の腫瘍を認めた。造影後、辺縁部に造影効果を認め脊管内硬膜外膿瘍と診断した (Fig.1)。また、L5の左下関節突起とS1の左上関節突起やその周囲の筋肉も信号異常を呈しており、左L5/S1の椎間関節炎、左脊柱起立筋炎と診断した (Fig.2)。

入院後経過：セフトラジウムとクリンダマイシンを点滴静注した。保存的治療で軽快して第33病日に退院し、その後はアモキシシリンクラブラン酸を14日間内服した。

症例2：14歳3か月、男児。

主訴：腰痛、発熱。

家族歴、既往歴：特記事項なし。

現病歴：入院の50日前から腰痛と発熱を認めた。前医を受診してセフカペンピボキシルを5日間投与され、一旦は軽快したものの入院7日前に再度腰痛と38度台の夜間の発熱が出現した。再度前医でセフカペンピボキシルを投与されたが改善を認めず、当院に紹介されて入院した。

入院時現症：身長164.9cm(+0.1SD)、体重48.2kg

(-0.6SD)、体温37.1℃、血圧126/80mmHg、脈拍数96回/分、呼吸数18回/分。呼吸音、心音に異常は認めなかった。腹部は平坦で軟であった。腰部全体に叩打痛を認めた。下肢の感覚異常や筋力低下は認めなかった。膀胱直腸障害は認めなかった。左下肢の過伸展で腰痛は増悪した。

入院時検査所見：血液検査で白血球数4,600/ μ l、血沈70mm/h、CRP4.29mg/dlであった。血液培養は陰性であった。MRIではTh11/12椎間板腔の狭小化を認め、Th11椎体終板及びTh12椎体はT1強調像で軽度低信号、T2強調像で軽度高信号を呈した。脂肪抑制T2強調像でも高信号を呈していた (Fig.3)。また、Th11/12椎間板の左側から連続し、Th11とTh12椎体の左側に沿って広がるT1強調像で低信号、T2強調像で高信号を呈する腫瘍を認めた (Fig.4)。他部位に膿瘍を伴う脊椎炎であり血液検査および臨床経過から総合して化膿性脊椎炎および傍椎体膿瘍と診断した。

入院後経過：セフトリアキソンを点滴静注した。保存的治療で軽快して第57病日に退院した。



Fig.3 MRI of case 2

a: Sagittal T1WI

b: Sagittal T2WI

c: Fat suppression T2WI

The Th11-12 vertebral bodies show low signal intensity on T1WI and high signal intensity on T2WI (arrowheads). There is disc height loss at Th11-12 (arrows).

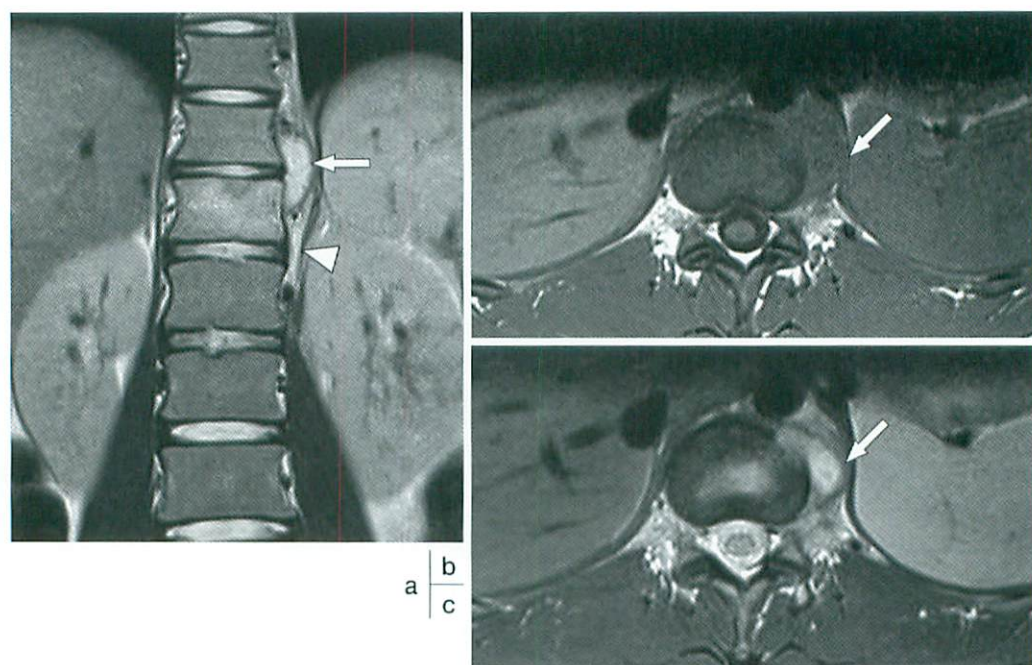


Fig.4 MRI of case 2

a: Coronal T2WI

b: Axial T1WI

c: Axial T2WI

Coronal T2WI, axial T1WI and T2WI show the left paraspinal abscess at the level of Th11-12 vertebral bodies (arrows).

考 察

脊椎感染症は外傷や脊椎手術に伴う合併症を除くと、脊椎やその周囲の組織に細菌が血行性に散布され、化膿性病変が直接あるいは波及することで生じる¹⁾。黄色ブドウ球菌が起病菌として最も頻度が高いが、グラム陰性桿菌や嫌気性菌、結核菌も起病菌となりうる¹⁾。臨床症状は局所の疼痛、発熱、神経症状である。なかでも局所の疼痛が高頻度に認められ、特に激痛では硬膜外膿瘍が示唆される²⁾。発熱は認めないことも多く、化膿性脊椎炎では約半数に認めるのみである²⁾。進行すると運動神経麻痺、感覚障害、膀胱直腸障害をきたしうる。化膿性脊椎炎の頻度は全年齢で10万人あたり1年に2.4人、20歳未満では0.3人と報告されている³⁾。好発年齢は60歳代で、糖尿病、HIV感染症、慢性腎疾患、肝硬変など免疫能の低下する基礎疾患を有していることが多い¹⁾。

小児における脊椎感染症の報告は少なく、我々

の検索した限りでは本邦における小児例は2,000年以降で11例が報告されている。症例1のように椎間関節炎と脊髄硬膜外膿瘍は一連の病態として同時に発症しうるものであるが、同様の症例は報告がなかった。Table 1に臨床像の記載があった9例と自験例をまとめた⁴⁻¹²⁾。性別は男児6例、女児5例と明らかな性差は認めず、発症年齢は学童期後半が多かったが乳児にも認めた。主訴は腰痛や発熱が多く、麻痺や感覚障害をきたした症例は認めなかった。初診時から脊椎感染症を疑われた症例は少なく尿路感染症や原因不明の腰痛と診断されている症例が多く、症状が出現してから診断まで最長で3か月を要していた。罹患部位は下部腰椎に多い傾向にあった。単純X線は、症状出現から1か月以降の症例で病変の描出が可能であった。MRIは全例で施行され、臨床の場合でも確定診断における有用性が確立されていると考えられた。成人例ではMRIは発症2週間以内で大部分の症例

Table 1 Clinical summaries of 11 pediatric patients with spinal infections

	2000 [4] Matsumoto	2000 [5] Kawasaki	2003 [6] Wake	2004 [7] Kunishige	2006 [8] Dohi	2007 [9] Ishigami	2007 [10] Aihara	2008 [11] Iida	2009 [12] Morozumi	case 1	case 2
Age	15 y	13 y	15 y	14 y	12 y	13 y	1 mo	15 y	9 y	8 y	14 y
Sex	F	F	M	M	F	F	M	M	M	F	M
Symptoms	Back pain	Fever Back pain Leg pain	Fever Back pain	Fever Back pain	Fever Back pain	Back pain	Fever	Fever Back pain	Fever Back pain	Fever Back pain	Fever Back pain
First diagnosis	NA	Herniated disc	NA	Pyelonephritis	NA	NA	Pneumonia	NA	NA	Pyelonephritis	Pyelonephritis
Duration to diagnosis	3 months	3 weeks	3 days	10 days	2 days	3 months	1 month	2 months	2 months	19 days	50 days
Level of the spine	L3/4 Iliopsoas abscess	L5 Epidural abscess	L2/3 facet	L4 Epidural abscess	L5/S1 Epidural abscess	Th12/L1 Paraspinal abscess	Th8 Paraspinal abscess Meningitis	L3/4	L4/5 Epidural abscess	L5/S1 facet Epidural abscess	Th11/12 Paraspinal abscess
Organism isolated	Salmonella	-	MSSA	MSSA	Salmonella	Salmonella	MRSA	MSSA	-	-	-
Imaging finding											
Radiograph	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	/
CT	+	/	/	/	/	+	+	+	/	/	/
MRI	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Radionuclide scan	+	/	/	/	/	/	/	/	/	+	+
Treatment											
Medical only	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○
Medical and drainage			○ a								
Outcome											
Improved	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
Defect							○ b				

○ : Each applicable items were circled.

F : female, M : male

MRSA : Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MSSA : Methicillin-susceptible *Staphylococcus aureus*

NA : not available

a : CT-guided catheter drainage

b : Spine deformity

が描出され、感度93～96%、特異度92～97%と報告されているが¹³⁻¹⁵⁾、小児においても早期から有用であると思われる。

本症例は2症例とも腰痛と発熱を認め、初診時には尿路感染症を疑われていたがMRIを施行することで脊椎感染症の診断が可能であった。症例1では抗菌薬の投与後であったが尿検査で異常を認めなかったため、巣状細菌性腎炎や腎周囲膿瘍などを検索する目的でMRIを施行した。MRIでは腎周囲には異常を認めず、脊椎の異常信号を認めたため脊椎を中心とした画像を追加して診断に至った。椎間関節、脊柱管内、脊柱起立筋に腫瘍や信号異常を認め、その中心部であった左L5/S1の椎間関節炎が一次疾患でその周囲に感染が二次的に波及していったと考えた。症例2も繰り返す尿路感染症として前医から紹介されたが、丁寧に診察を

とると叩打痛は腰部の片側ではなく脊椎も含めて全体に認められ、左下肢の過伸展により腰痛が増悪する所見をみとめた。脊椎感染症を疑ってMRIを施行することで脊椎感染症と診断した。椎間板と傍椎体膿瘍には連続性がありその上下の椎体が信号異常を呈していることから、血行性に細菌が椎間板に散布されその上下の椎体に波及したと考えた。また、身体所見からは腸腰筋や神経根への炎症の波及を疑ったが、MRIでも傍椎体膿瘍の周囲の軟部組織は信号異常を呈しており腸腰筋付着部にも炎症が波及していたことが確認できた。

脊椎感染症のMRI画像における鑑別疾患には椎間板変性に伴う椎体の信号変化、破壊性椎間関節症、結晶沈着症、転移性腫瘍など小児ではまれな疾患が多いが¹⁶⁾、化膿性と結核性の鑑別は問題となることがある。化膿性脊椎炎では椎間板を挟ん

で上下の椎体に病変を生じるが、結核性脊椎炎では椎間板が温存されることがあり、多椎体に病変が進行する例もまれではない¹⁷⁾。骨硬化は軽度であるが椎体破壊の程度が激しく、ガドリニウム造影で膿瘍の辺縁増強効果 (rim enhancement) が認められることも特徴である¹⁸⁾。Jungらは傍椎体の境界明瞭な病変、薄く平滑な膿瘍壁、3椎体以上の病変、多発する病変では結核性脊椎炎を示唆する所見であると報告している¹⁹⁾。

MRIで病変が描出できる正確な時期については明らかでなくごく早期にMRIで異常を呈さなかった症例も報告されているが²⁰⁾、MRIを施行することで多くの症例で早期の診断が可能である。脊椎感染症は画像検査を施行せずに診断するのは困難であるが、画像検査をしていなかったために早期に診断できていなかった報告も多い。脊椎感染症はまれであり鑑別疾患の一番にあがることは少ないが、原因が明らかでない背部痛や腰痛、発熱の患者に対しては脊椎感染症も疑って十分な身体所見をとった上で早期にMRIを施行することが重要であると考えられる。

なお、この論文の要旨は第46回日本小児放射線学会で発表した。

●文献

- 1) An HS, Seldomridge JA : Spinal infections : diagnostic tests and imaging studies. Clin Orthop Relat Res 2006 ; 444 : 27-33.
- 2) Zimmerli W : Vertebral osteomyelitis. N Engl J Med 2010 ; 362 : 1022-1029.
- 3) Grammatico L, Baron S, Rusch E, et al : Epidemiology of vertebral osteomyelitis (VO) in France : analysis of hospital-discharge data 2002-2003. Epidemiol Infect 2008 ; 136 : 653-660.
- 4) 松本 學, 森 亮一, 木下敏太郎, 他 : サルモネラによる化膿性脊椎炎の1症例. 日本腰痛会誌 2000 ; 6 : 39-45.
- 5) 川崎俊之, 松元信輔, 三尾母英幸, 他 : 小児化膿性脊椎炎の1例. 整形外科 2000 ; 51 : 415-418.

- 6) 和氣 聡, 衛藤正雄, 朝長 匡, 他 : 腰椎化膿性椎間関節炎の1例. 整形外科と災害外科 2003 ; 52 : 73-76.
- 7) 國重美紀, 伊藤希美, 宇加江進, 他 : 腰痛, 発熱を主訴に当初腎盂腎炎を疑われた化膿性脊椎炎の1例. 臨床小児医学 2004 ; 52 : 119-122.
- 8) 土肥 修, 伊藤 克, 高松克哉, 他 : サルモネラによる小児化膿性脊椎炎の1例. 東北整災誌 2006 ; 50 : 99-102.
- 9) 石神修大, 吉田宗人, 川上 守, 他 : 乾燥イカ菓子の多量摂取が原因と考えられたサルモネラ化膿性脊椎炎の1例. 臨整外 2007 ; 42 : 167-170.
- 10) 相原利男, 保田 勉, 五十嵐秀俊 : 乳児化膿性脊椎炎の1例. 整形外科 2007 ; 58 : 415-418.
- 11) 飯田泰明, 高橋 寛, 香取 勸, 他 : 小児化膿性脊椎炎の検討. 日小整会誌 2008 ; 17 : 54-57.
- 12) 両角正義, 出口正男 : 保存療法にて軽快した9歳の化膿性脊椎炎の1例. 中部整災誌 2009 ; 52 : 1379-1380.
- 13) Cottle L, Riordan T : Infectious spondylodiscitis. J Infect 2008 ; 56 : 401-412.
- 14) Khan IA, Vaccaro AR, Zlotolow DA : Management of vertebral diskitis and osteomyelitis. Orthopedics 1999 ; 22 : 758-765.
- 15) Varma R, Lander P, Assaf A : Imaging of pyogenic infectious spondylodiscitis. Radiol Clin North Am 2001 ; 39 : 203-213.
- 16) 原田祐子, 徳田 修, 松永尚文 : 脊椎の感染症. 画像診断 2008 ; 28 : 151-159.
- 17) Hong SH, Choi JY, Lee JW, et al : MR imaging assessment of the spine : infection or an imitation? Radiographics 2009 ; 29 : 599-612.
- 18) Chang MC, Wu HT, Lee CH, et al : Tuberculous spondylitis and pyogenic spondylitis : Comparative magnetic resonance imaging features. Spine 2006 ; 31 : 782-788.
- 19) Jung NY, Jee WH, Ha KY, et al : Discrimination of tuberculous spondylitis from pyogenic spondylitis on MRI. AJR Am J Roentgenol 2004 ; 182 : 1405-1410.
- 20) Yoshikawa T, Maeda M, Ueda Y, et al : Magnetic resonance imaging in the early phase of pyogenic spondylitis : a report of four cases. J Orthop Sci 1997 ; 2 : 16-23.