

JSPR

Vol.21 No.1 2005

Journal of
Japanese Society of Pediatric Radiology

日本小児放射線学会雑誌



特集／第40回日本小児放射線学会総会シンポジウムより
小児における医療被ばくー特に小児のCTについてー

原著論文

症例報告

日小放誌
J.J.S.P.R.

日本小児放射線学会



Journal of Japanese Society of
Pediatric Radiology

JJSPR
VOL.21 NO.1
2005

Edited by

Hidekazu Masaki, M.D. Noriko Aida, M.D.
Teruyoshi Amagai, M.D. Masato Hara, M.D.
Hiroyuki Kobayashi, M.D. Masato Takase, M.D.

CONTENTS

Special Articles *Medical Radiation Exposure in Children*

- Introduction Mutsuhisa Fujioka3
1. Medical Exposure and Its Risks in Japan Tomoko Kusama4
2. Dose Quantities for CT, and Improvement of the Scanner Masaaki Akahane, et al.9
3. Current Status of Pediatric Multislice CT Focused on Radiation Dose Reduction
..... Osamu Miyazaki14
4. Special Comment : From the Viewpoint of the Radiation Protection Committee
of Japan Radiological Society Shunsuke Nosaka21

State of the Art

- Usefulness of Curved Planar Reformation Using Multidetector Row CT
for the Demonstration of Pancreaticobiliary Maljunction in Children
..... Fumitoshi Aga, et al.25

Case Reports

- The efficacy of MR portography in a Case of Intrahepatic Portosystemic Venous Shunt
..... Ken-ichi Murakami, et al.31



目 次

特集 第40回日本小児放射線学会総会シンポジウムより 小児における医療被ばく—特に小児のCTについて—

特集を企画するにあたって	藤岡 睦久	3
1. 医療被ばくとそのリスクに関する最近の話題	草間朋子	4
2. CTにおける被ばくの指標と装置の進歩	赤羽正章, 他	9
3. 小児CT被ばくの現状と推奨条件	宮崎 治	14
4. 特別発言 —日本医学放射線学会 放射線防護委員会より—	野坂俊介	21

原著論文

小児臍胆管合流異常に対するmultidetector row CTを用いた curved planar reformationの有用性	安賀文俊, 他	25
--	---------------	----

症例報告

MR portographyが有用であった門脈肝静脈シャントの1例	村上研一, 他	31
---	---------------	----

日本小児放射線学会 平成16年度第2回理事会 議事録	37
日本小児放射線学会名誉会員および役員	40
日本小児放射線学会規約	41
日本小児放射線学会細則	43
日本小児放射線学会雑誌投稿規定	45

特集

第40回日本小児放射線学会総会シンポジウムより 小児における医療被ばく—特に小児のCTについて— *Medical Radiation Exposure in Children*

序 文

藤岡 睦久

日本小児放射線学会理事長，獨協医科大学放射線医学講座

平成16年6月25～26日に長崎大学名誉教授 林邦昭会長の下で開催された第40回日本小児放射線学会において、シンポジウムとして取り上げられた「小児における医療被ばく—特に小児のCTについて—」を、そのまま標題として本誌で取り上げるようになった。小児の放射線診療に携わるもの全てが、十分に熟知した上で診療に当たるべき事項であるが、そればかりではなく、社会的に高い関心と呼んでいる事項であるが故に、指導的立場で国民の理解を受ける必要があると考える。

我が国においては、現在の状態で、診断用X線によって癌が3.2%（年間7,587件）増える可能性があるという論文がLancetに発表され、それが報道され大きな問題となっている。それに先立つこと2001年1月22日付の米国の全国紙であるUSA TODAYで、「米国では毎年160万人の子供にCTが行われており、そのうち1,500人が後にガンになる」という記事が掲載され、全米のみならず世界中にセンセーションを巻き起こしたものである。その元になった論文はAJR Am J Roentgenol誌に掲載されたものであり¹⁾、その掲載責任者である編集長のLee Rogersはその次の号の巻頭言の締めくくりとして「Once informed, radiologists and technicians alike will make the necessary adjustments to do what is right for the children we serve.」と言っている²⁾。

この社会的な反響を受けて、米国の小児放射線学会であるSociety for Pediatric Radiology (SPR) では直ちに会員をシカゴに召集して、カンファランスを開催し、その結論をEuropean Society of Pediatric Radiologyとの共同機関誌であるPediatric Radiology誌に発表した³⁾。同時にカンファランスの結果を受けて米国食品衛生局 (FDA) も警告文を発表し、同誌に掲載された⁴⁾。

私自身もSPRの名誉会員であり、アジア・オセアニア小児放射線学会理事長という立場もあり、召集に応じてシカゴの会議に出席した。ちなみに日本小児放射線学会の会員は全て自動的にアジア・オセア

ニア小児放射線学会 (AOSPR) のAssociate memberであり、平成16年1月より、Pediatric Radiology誌がAOSPRの機関誌となることが承認され、表紙に名前が加わるようになった。言い換えればPediatric Radiology誌は日本小児放射線学会の英文機関誌としての機能を持つことになったと言える。

その後機会を捉えては、小児のCT被ばくの問題について取り上げてきたが⁵⁻⁸⁾、このシンポジウムに招待された専門家の手によって正確で最新の情報が会員に届けられることは、この上ない喜びである。

- 1) Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, et al : Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from Pediatric CT. AJR Am J Roentgenol 2001 ; 176 : 289-296.
- 2) Rogers LF : From the Editors Notebook. Radiation Exposure in CT : Why So High? AJR Am J Roentgenol 2001 ; 177 : 277.
- 3) Conference on the ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric CT intelligent dose reduction, Ed. by Slovis TL. Pediatr Radiol 2002 ; 32 : 217-317.
- 4) FDA Public Health Notification : Reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. Pediatr Radiol 2002 ; 32 : 314-315.
- 5) 藤岡睦久 : (特集1) 第13回年次大会「高橋信次記念講演とシンポジウム」(2002年12月13日) 記念シンポジウム「21世紀の医療被ばくの新しい防護体系に向けて」小児X線CTの場合、医療放射線防護NEWSLETTER 2003 ; 37 : 17-21.
- 6) 藤岡睦久 : 放射線診療におけるリスク・マネージメント 2 放射線被ばく低減対策、臨床画像 2003 ; 19 : 1366-1370.
- 7) 藤岡睦久 : 一巻頭言—「小児X線CT被ばく」と社会現象、医療放射線防護NEWSLETTER 2004 ; 40 : 1-2.
- 8) 藤岡睦久 : 小児における被ばくとその影響、Radiology Frontier 2004 ; 7 : 275-278.

1. 医療被ばくとそのリスクに関する最近の話題

草間朋子

大分県立看護科学大学

Medical Exposure and Its Risks in Japan

Tomoko Kusama

Oita University of Nursing and Health Sciences

Abstract

Diagnostic X-rays are the largest artificial source of radiation exposure to the general public in the world. In Japan, the per capita dose of medical exposure has formerly been very similar to that of natural radiation exposure, 2.4 mSv per year. Recently, the frequency of diagnostic X-rays per 1000 population and the attributable risk of cancer from X-ray diagnosis in 15 developed countries were reported. These values in Japan were 1,477 and 3.2%, respectively. Both values were the highest in the 15 countries. Frequencies of upper GI tract examinations and CT scans, which give high effective doses to each patient, were particularly higher in Japan than in those other countries. Justification and optimization of radiation protection are essential for the control and management of medical exposure. In Japan, all medical doctors are able to carry out radiation diagnoses. Therefore it is necessary for general practitioners to be concerned about medical exposure and to have skill in the protection of patients from radiation.

Keywords: Medical exposure, Attributable risk, Justification of examination

緒 言

日本の医療被ばくによる国民一人当たりの平均線量(国民線量)が世界中で最も高く、このことが国際的にも国内的にも大きな関心事であることは、放射線防護の領域では今に始まったことではない。

放射線防護に関心を全く示さない医療関係者の中には、「医療被ばく」が患者の被ばくであることさえ認識していない人々がいる。このような現状において、2004年1月号のLancet誌に掲載されたGonzalezらによる医療被ばくに伴う発がんの寄与リスクに関する論文¹⁾は、その内容がいち早く全国紙に取り上げられたことも関係し、社会的な関心を集めることとなった。これが放射線診療に

係わる人々の医療被ばくに対する関心の高まりにつながるキッカケとなることを願っている。放射線が実用的に使われ始めたのは医療領域からであり、はじめて放射線傷害の事例が報告され、放射線防護の必要性が認識されたのも医療領域からである。

人工放射線で国民全体の被ばくに最も大きな寄与をしているのは医療放射線利用によるものであり、これは工業領域や研究領域においては被ばくを避けるためにさまざまな工夫、努力が払われている放射線や放射性物質を、医療行為では患者等の診断、治療のために意図的に照射したり投与したりするので当然のことであり、患者らの便益が大きいから許されている行為である。

最新鋭の放射線診療器械が次々と開発されてい

る現状で、医療被ばくに対して関心を持ち、適用（正当化）の判断を慎重に行い、患者被ばくの最適化（医療上の要求とリスクとのバランスを考慮した被ばく線量の低減化を目指すこと）を図るといふ基本姿勢を一人ひとりの医療関係者が理解し、実行していくことが、今後の放射線診療のさらなる発展において極めて重要なことである。

医療被ばくに関する最近の話題 (Lancet論文の概要)

Gonzalezらは、日本を含めた15カ国の診断用X線によるリスクを算定した結果、日本におけるX線診断による発がんの寄与リスクは3.2%で、諸外国のその平均値に比べて約3倍高いことをLancet誌に報告した¹⁾。Fig.1およびFig.2にGonzalezらの論文に記載されている15カ国のX線診断の検査頻度および、それによる発がんの寄与リスクを示す。この論文が執筆された時には、日本のCT検査の実態に関する正式な報告がなされていなかったために、諸外国のCTに関するデータを用いて算定されたものであるが、日本のCTの実施頻度が諸外国の3.7倍高いことを考慮すると、寄与リスクはさらに高くなり4.4%になるとされている。現在日本では13,000台のCT装置が稼働し、その数は全世界の1/3であるといわれており、日本のCTの検査頻度が高いのは事実である。

この論文に関連して、日本の医療関係者、放射線防護、放射線リスクの専門家の間で特に話題となったのは以下の2点である。

- ①日本の医療被ばくによる発がんのリスクが諸外国に比べて高いことへの対応
- ②数10mGy (mSv) 程度の低い線量領域のリスクの算定に際して線量反応関係についてLNT (Linear Non-Threshold) 仮説を用いることに対する疑問

日本の医療被ばくの現状

Fig.1から明らかなように日本のX線診断の年間の検査頻度は1,000人当たり1,477回で、15カ国の中で最も高い。国民一人当たり平均して1年間に1回以上のX線診断を受けている国は日本とドイツである。検査の実施数と発がんのリスク等から求めたX線診断に伴う発がんの寄与リスクは、Fig.2に示すように日本は3.2%でドイツ(1.5%)の2倍以上であり、他の14カ国の平均と比較すると3倍も高く、検査頻度に比べて諸外国との差が際立っている。これは、日本では患者の被ばく線量（実効線量）が高い検査、すなわち、CTや上部消化管検査の頻度が諸外国に比べて特に高いからである。日本、イギリス（先進諸国の中では医療被ばくの最適化にもっとも熱心な国）および保健医療レベル1（人口当たりの医師の数で世界各国の保健医療のレベルが区分されており、レベル1は医療水準の高い国とされる）の国における主なX線診断の平均実施頻度をFig.3に示す^{2, 3)}。Table 1に各X線診断の際の患者の実効線量を示す⁴⁾。

日本では、結核予防法、学校保健法、労働安全衛生法、老人保健法等において、18歳以上の成人

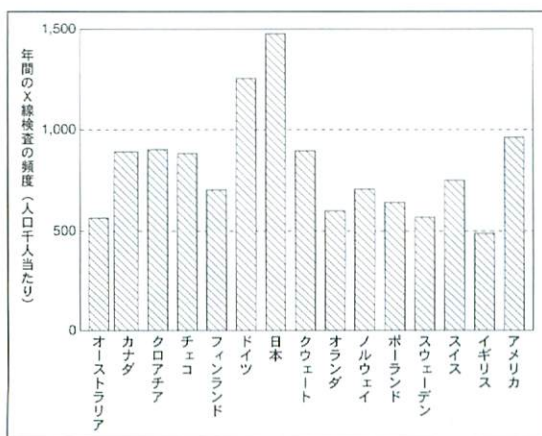


Fig.1 15カ国のX線検査実施頻度¹⁾

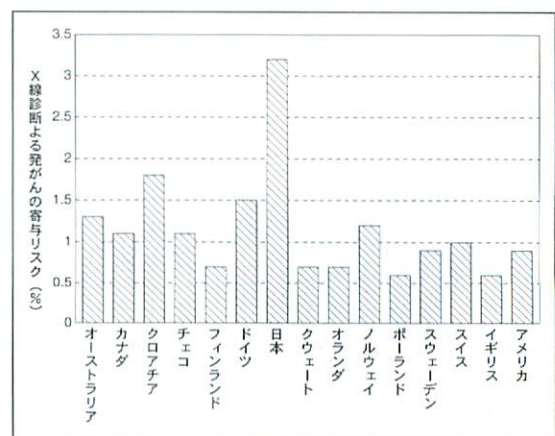


Fig.2 各国のX線検査による発がんの寄与リスク²⁾

に対して年1回の胸部X線検査を義務づけているために、胸部単純撮影の実施頻度が諸外国に比べて特に高い。しかしTable 1に示すように、胸部レントゲン撮影は1検査当たりの実効線量が低い(0.02mSv)ために、発がんのリスクへの寄与は小さい。諸外国では日本に比べて四肢の単純撮影の実施頻度が高いが、これも実効線量(0.01mSv以下)が低いために、発がんの寄与リスクは小さい。

Fig.4に世界全体の医療被ばくの実態を検査数、実効線量で示す⁴⁾。CTは検査件数では全体の5%に過ぎないが、リスクに直結する実効線量でみると全体の34%を占めている。日本ではCTの実施頻度が諸外国に比べて高いことも発がんの寄与リスクを高くしている。

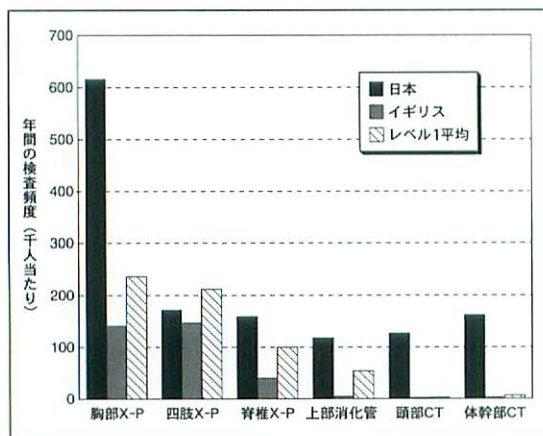


Fig.3 各国における主なX線検査の実施頻度

発がんの寄与リスクの算定方法の妥当性

医療被ばくによる発がんの寄与リスク(%)は、医療被ばくががんの発症に寄与する割合として表

Table 1 主なX線検査の際の実効線量*(成人)

検査の種類	実効線量 (mSv)
頭部CT	1.8
頸椎CT	2.6
胸椎CT	4.9
胸部CT	7.8
腹部CT	7.6
腰椎CT	3.3
骨盤CT	7.1
胸部X-P	0.02
腰椎X-P	1.3
腹部X-P	1
上部消化管	3
注腸造影	7

ICRP Publ.87

*放射線検査は、身体の一部のみが被ばくする部分被ばくであり、検査の種類によって被ばくする臓器・組織が異なる。このように被ばくする臓器・組織が異なる場合の被ばく線量を、直接比較する際に用いられる線量が、実効線量である。実効線量は、被ばくした個々の臓器の線量に、それぞれの臓器・組織の確率的影響(発がんと遺伝的影響)に対する感受性の程度をあらわす係数(組織荷重係数という)を乗じ、被ばくした全ての臓器について足し合わせた線量である。実効線量で表すことにより被ばくした臓器や組織が異なる場合でも、線量を直接比較することができ、確率的影響のリスクを算定することができる。

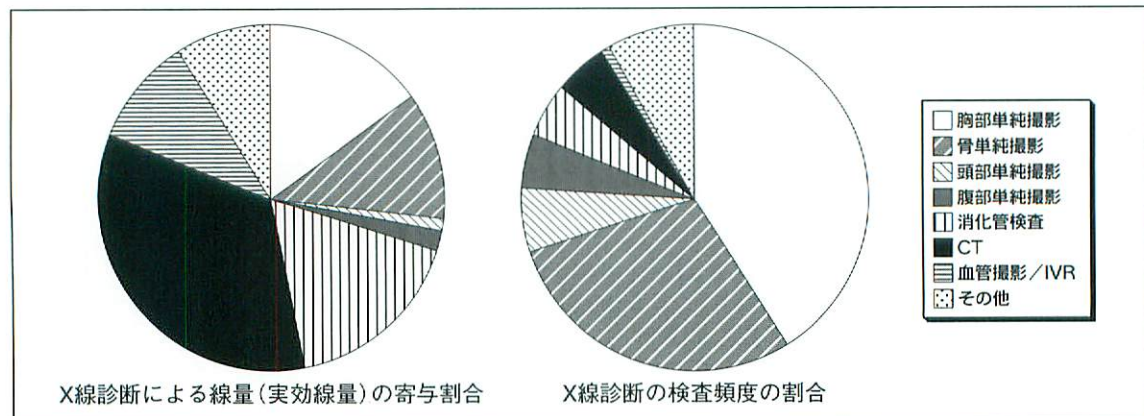


Fig.4 X線診断の検査頻度と実効線量⁴⁾

され、検査による被ばく線量、放射線被ばくに関係しないがんの死亡率あるいは罹患率（自然の発がん率）および放射線誘発がんのリスク率からモデルを用いて算定される。寄与リスクを評価する際のモデルおよびパラメータは、広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査の結果が基礎データとして用いられる。放射線誘発がんのモデルとしては相対リスクモデルが利用され、線量反応関係はLNT仮説がとられている。

放射線に関してこのように寄与リスクが評価できるのは、放射線被ばくに関する疫学調査のデータが存在するからである。

しかし、10万人近い原爆被爆者の方々を50年以上の長い年月にわたり追跡調査した疫学調査の結果からでさえも、統計的な検出力のため、数10mGy以下の被ばくによるがんのリスクが自然発生のがんの罹患率（あるいは死亡率）を有意に上回るか否かの結論を得ることはできない。そこで、被ばく線量と放射線誘発がんのリスクの間には、しきい線量が存在しない直線関係（ただし白血病に関しては直線二次曲線モデルが用いられる）があると仮定され、低線量域のリスクが求められている。LNT仮説をとることにより、低線量の被ばくであってもリスクが存在することになり、放射線防護上はリスクを避けて通ることができないことになる。これに対して、放射線生物学などの最近のエビデンス（遺伝的不安定性、バイスタンダー効果、適応応答など）をもとに、低い線量領域のリスク評価のためにLNT仮説を用いることに対する批判がある。しかし、人の放射線発がんに関してしきい線量の存在を示す明確な科学的根拠がない限り、LNT仮説がもっとも妥当な仮定であることをUNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）、ICRP（国際放射線防護委員会）などの国際機関も認めている。

医療被ばくに対する医療関係者の責任

Lancet論文で発がんの寄与リスクという形でX線診断による健康影響が明示され、マスコミ等に取り上げられたことにより、患者が放射線診療による被ばくを恐れ、必要な検査を拒否するような事例が増加するのではないかと懸念する医療関係者が多く、日本医学放射線学会や日本保健物理学会

などがそれぞれのホームページなどでLancet論文の概要の紹介と学会としての見解などを提示した。

Lancet論文の寄与リスクは、医療被ばくに関する国全体の平均的な値を算定したものであり、患者の放射線診断の適用の判断は、個々の患者の状況を考慮して患者毎に判断されるべきものである。X線診断は個々の患者に対して大きな便益をもたらすものであり、Lancet論文で評価された発がんの寄与リスクの数値がその便益に影響を与えるものではないことは著者（Gonzalezら）も論文中に明示している。

問題は、個々の患者の疑問に適切に医療関係者が対応しているか否かである。

日本の医療被ばく線量が他の諸外国と比べて高いことは、国連科学委員会の報告書等でもすでに報告されてきたことで目新しいことではない。CTをはじめとしたX線診断の適用の判断（正当化の判断）が、個々の診療ごとに慎重に行われた結果であれば殊更に問題にする必要はない。しかし、一人の患者が同じ疾患で複数の医療施設を受診した場合には、施設毎に同じX線診断が行われたり、胸のX線単純撮影を主訴に拘らず全ての患者に一律に実施している医療機関も今もって存在しており、これらのことに直面し疑問を持った患者に対して医療関係者から納得がいく説明がなされていないという現状に、患者の不安や不満があるのが実態である。

個々の患者ごとのX線診断の適正化が図られなければ、医療被ばく全体の適正化は実現しない。医療被ばくに対しては、他の被ばく（職業被ばくおよび公衆被ばく）に対して規制されている線量限度のような一律の上限値を決めることはできないので、正当化の判断（適用の判断）が極めて重要である。

医療被ばくをもたらす行為に対する正当化の判断には次の二つのタイプがある。

- ①集団検診などの際のスクリーニング検査を目的として行われる放射線診断
- ②主訴をもって医療機関を訪れた個々の患者に対する放射線診断

スクリーニング検査として行われている放射線診断の代表的なものとしては、①胸部X線単純検査、②上部消化管検査、③マンモグラフィなどが

ある。最近では、胸部健診でヘリカルCTが使われたり、脳ドックで頭部CT検査などが行われるようになり、従来に比べて被検者の被ばく線量が高くなる検査が導入されつつある。したがって、日本においても充分コントロールされたコストベネフィットに関する評価研究をベースとした正当化の判断が必要とされる。

個々の患者に対する放射線診断の適用の判断は、担当医の判断に全てが任されている。個々の事例毎に適用の判断を慎重に行い、検査に際しては最適化を図る必要がある。例えば、CT検査の場合は、造影CTだけで目的が達成できると判断された場合には単純CTは実施しないこと、撮影範囲は必要最小限にすることなどを徹底することが求められる。

おわりに

今回のLancet論文およびそれに関連した新聞報道が、諸外国に比べて高いと言われ続けてきた日本の医療被ばくを見直す好機となれば幸いに思う。

放射線については広島・長崎の原爆被爆者の方々の協力を得て、放射線影響研究所(RERF)において1950年以降、継続して実施されてきた疫学調査の結果が存在するために、がんの生涯リスクや寄与リスクを定量的に評価できるという特徴がある。疫学調査の結果に基づいて評価モデルを用いて算定された寄与リスク等には、さまざまな不確実性が存在するが、これらの数値は放射線防護等の関係者に対して予防的な方策立案への示唆を与える数値として活用されてきた。日本の医療被

ばくによる寄与リスク3~4%をどのように受け止めるかはそれぞれの立場によって異なる。医療被ばくから患者、社会は多くの便益を得ているので、この程度の数値は問題にならないと考えることもできるし、患者等に対してはこのような説明をし、無用な不安を与えない配慮が必要である。このような判断は、あくまでも正当化、最適化の判断を常に怠っていないという医療関係者の姿勢が前提にあってのことであり、医療の先進諸国と比べて寄与リスクが高い数値であるということを真摯に受けとめるべきであろう。

人の五感に直接感じることはない放射線であり、放射線診断そのものが目に見える侵襲があるわけではないので、つい容易に扱ってしまう傾向は否めない。医療関係者はリスクを理解し、リスクを評価することの意味合いとその数値に対して立ち止まって考える姿勢が必要であろう。

●文献

- 1) Berrington de Gonzalez A, Darby S: Risk of cancer from diagnostic X-rays: Estimates for the UK and 14 other countries. Lancet 2004; 363: 345-351.
- 2) 西澤かな枝他: CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定. 日本医放会誌 2004; 64: 151-158.
- 3) UNSCEAR 2000年報告書: 放射線の線源と影響, 原子放射線の影響に関する国連科学委員会報告書. 実業広報社, 2003.
- 4) ICRP Publ.87: CTにおける患者線量の管理 (日本アイソトープ協会訳). 丸善, 2004.

第40回日本小児放射線学会総会シンポジウムより
特集 小児における医療被ばく－特に小児のCTについて－

2. CTにおける被ばくの指標と装置の進歩

赤羽正章, 大友 邦

東京大学大学院医学系研究科 放射線医学講座

Dose Quantities for CT, and Improvement of the Scanner

Masaaki Akahane, Kuni Ohtomo

Department of Radiology, Graduate School of Medicine, University of Tokyo

Abstract

In view of the increasing radiation burden from CT, we should make efforts to minimize the dose given to the patients. In this article, we discuss three essentials to achieve dose reduction: to be familiar with the dose quantities for CT, to be aware of the criterion for the upper limit of the dose, and to choose a low-dose scanner on renewal.

Volume CTDI (CT dose index) and DLP (dose-length product) are the essential dose measurements for CT examination. Original CTDI is the sum of the dose inside and outside the scanned slice. Volume CTDI is a weighted mixture of the central and peripheral CTDI with correction for the pitch. DLP is the product of volume CTDI and the scan length.

The reference dose values are proposed on the basis of the third quartile value of the distribution of doses in a wide-scale survey. The values can be regarded as the criterion of the upper limit of the dose.

Technical improvement in CT equipment such as automatic exposure control is necessary for unfailing dose management. If we choose a "low-dose" scanner on renewal, the manufacturer will be encouraged to develop and implement further improvement.

Keywords: Computed tomography, CT dose index (CTDI), Automatic exposure control

はじめに

医療被ばくに占めるCTの割合が増加の一途をたどる昨今、情報量当たりの被ばくを減らす工夫が医療現場に求められている¹⁾。そのためには、撮影条件最適化に必要な知識を得ること、被ばく量上限の目安を意識すること、被ばくの少ない装置を選ぶこと、が重要である。

被ばくの量的指標

線量に関わるCT撮影条件の記載には、古くから管電流 (mA) の設定、ないしは管球 1 回転に要

する時間と管電流の積 (mAs) が用いられてきた。しかし現実には、同じ被検者を同じmAs設定で撮影しても、装置が異なれば被ばくする量も異なる。装置の組み合わせによっては、mAsや他の撮影条件を揃えても線量が2倍になることさえある。従って、異なる装置や異なる撮影条件の間で被ばくの多寡を論ずるための指標として、mAsは全く役に立たない。CTによる被ばくの量的指標としては、volume CTDIとDLPを知っておくと良い²⁾。最近の装置においては、撮影条件を設定するとvolume CTDIやDLPの期待値が表示されるので、臨床の間でも扱いやすい。

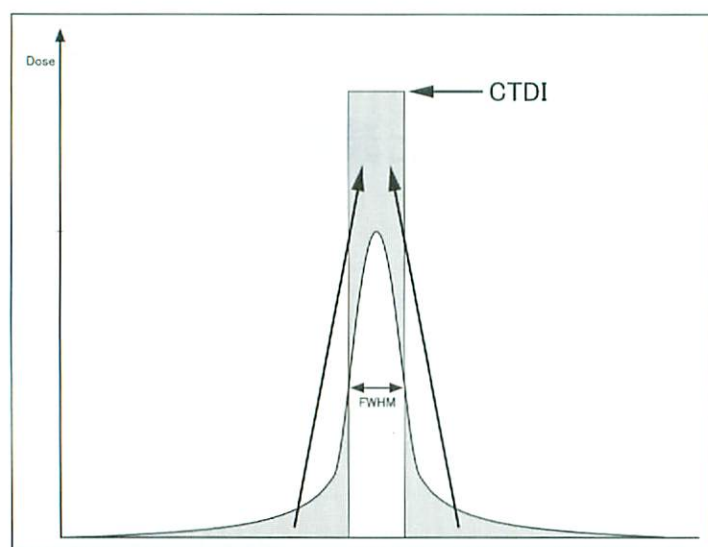


Fig.1 CT dose index : CTDI

CTDI is the sum of the dose inside and outside the scanned slice. (FWHM : full width at half maximum)

CTDI (Computed Tomography Dose Index : CT線量指数)

CTDIは局所の被ばくの指標で、スライス外線量の重なりを加味しているため、複数スライス連続撮影時の状況がよく反映される (Fig.1)。頻用されているのは、スキャン中心と辺縁の違いを加味しピッチで補正したCTDI、すなわちvolume CTDI (CTDI_{vol})である。CTDI_{vol}は、以前effective weighted CTDI (CTDI_{w,eff})と記載されていた値そのものである。同じCTDI_{vol}になるような撮影条件を設定すれば、装置間の線量のばらつきを解消することができる。

小児放射線科医がCTDIを扱う場合、小児では線量が数割過小評価されることに注意せねばならない。頭部のCTDIは16mSv、体部のCTDIは32mSvのファントムを用いて測定されており、これらは大人の体格を想定したものである。より小さな体格の被検者においては、体内の線量が期待値より多くなることになる。

DLP (Dose-Length Product) と実効線量 (Effective Dose)

DLPは検査全体の被ばくの指標で、CTDIに撮影範囲長を乗じた値である。CTDIはあくまでも局所の線量の指標であり、撮影範囲の広さは加味

されない。検査プロトコル間の比較に用いるには、DLPの方が相応しい。

実効線量は確率的影響の指標で、異なる検査間の比較や、自然放射線との比較に用いられる。重要臓器毎に放射線感受性が異なること、撮影部位毎に線量が異なること、を鑑みた値と考えればよい。実効線量の推定方法にはいくつかあるが、最も簡便な方法においては、撮影部位に応じた係数 (Table 1) とDLPとの積でおよそその実効線量が求められる³⁾。例えば、DLP=400mGy・cmの撮影条件で腹部のCTを施行した場合、実効線量は $400 \times 0.0190 = 7.6\text{mSv}$ と概算される。造影早期と後期の2相を撮影するならば、実効線量は2倍の15.2mSvとなる。標準的な腹部単純撮影を1.4mSvとすれば、およそ11倍の実効線量とみなすことができる。

Table 1 The average ratio of effective dose to DLP³⁾

Examination	Effective dose to DLP (mSv/mGy・cm)
Head	0.0028
Neck	0.0062
Trunk	0.0190

被ばく量上限の目安

損益の正当化と防護の最適化がなされていれば、医療被ばくの上限はない。しかし、一般的な内容の検査に関しては、多施設の撮影条件を比較することで、上限の目安を知ることができる。このような目安として、1999年のEuropean Guidelines on Quality Criteria for CT (<http://www.drs.dk/guidelines/ct/quality/index.htm>) の第2章では、reference dose valueという値が示されている。多施設を調査して得られた被ばく量分布における上位25%境界値がreference dose valueである (Fig.2)。上位25%の施設について被ばく量過多

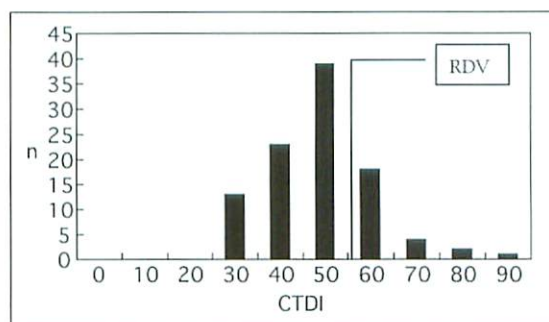


Fig.2 Reference dose value

The reference dose values (RDV) are proposed on the basis of the third quartile value of the distribution of doses in a wide-scale survey.

の可能性ありとみなす考え方である。Reference dose valueを知っておくと、自施設の撮影条件がもたらす被ばく量は他の施設と比較してどの程度なのかを知ることができる。

Shrimptonらが示した小児のCTのreference dose value⁴⁾を成人のそれと比較してみる (Table 2)。体格の小ささに応じて線量が下げられているかと思えば、案外そうでもない領域もみられる。小児用プロトコルが未整備であることだけでなく、成人よりも高い空間分解能が求められること、FOVが小さくなるとノイズが邪魔になりやすいこと、などが関係しているものと想像する。いずれにせよ、小児用プロトコルの整備が行き渡った時期をみて、再度reference dose valueの調査が行われるであろう。

必要な画質や情報量は、検査毎、施設毎に異なるはずであり、高度な医療が要求される性格の施設において線量が高めになる傾向は当然と考えられる。しかし一方で、線量が高くなればなるほど線量増加に対する情報量増加の割合が減少し、どこかで必ず情報量が頭打ちになるのも事実である。多施設と比較して線量の高い施設においては、線量の上乗せで得られた情報量の上乗せがどの程度であるのか、意識しておく必要がある。

被ばくの少ない装置

被ばくの少ない装置とは何であろうか。平たく言えば、同じような画像を得るために必要な被ば

Table.2 Reference dose values for children and adults⁴⁾

Examination	Reference Dose Value	
	Age	CTDI _{vol} (mGy)
Routine Brain	< 1	40
	5	60
	10	70
	Adults	60
Routine Chest	< 1	20
	5	30
	10	30
	Adults	30
Upper Abdomen	< 1	20
	5	25
	10	30
	Adults	35

くが少ない装置である。複数の装置について被ばくの多寡を比較するには、同等の空間分解能と雑音量におけるCTDI_{vol}の大小を比較すればよい。以下、架空の病院を例に挙げて説明する。

装置の更新に伴う被ばく増加とその是正の一例

この病院では従来から使用している装置Aに加え、最近装置Bを導入した。検査毎の撮影条件については、装置Aで用いているmAsやスライス厚などの値をそのまま装置Bにも適用した。撮影してみると、装置Aよりも装置Bの方が高画質な印象で、さすがに新型は素晴らしいと皆喜んでいた。しかしある時、mAsあたりの線量 (normalized CTDI) は装置Bの方が高いということが判明した。この病院は、被ばくの多いひどい装置を掴まされてしまったのだろうか？ 実情を調べてみよう。

均一ファントムを200mAsのaxial scanで撮影、腹部用の標準カーネルで5 mm厚の画像を再構成し同じ位置に同じ大きさのROIを設定して標準偏差 (SD) を測定した。この撮影条件における両装置のCTDI_{vol}も測定した。装置AはCTDI_{vol}=15mGyでSD=5、装置BはCTDI_{vol}=20mGyでSD=4であった。同じmAsで撮影しているのに、確かに装置Bの方が線量が高い。やはり装置Bは被ばくの多いひどい装置なのか？

SDの2乗とmAsは反比例するので、装置Bで

SD=5の画像を得るためには128mAsに下げて撮影すればよい。実際に128mAs前後の複数の条件で撮影してみたところ、120mAsでSD=5の画像が得られ、このときCTDI_{vol}=12mGyであった。同じような画像を得る撮影条件同士で比較すると、装置AはCTDI_{vol}=15mGyで装置BはCTDI_{vol}=12mGyなのであるから、装置Aよりも装置Bの方が被ばくの少ない装置であるといえよう。装置Bがひどい装置なのではなく、この病院の撮影条件設定が不適切であったため、装置Bで施行される検査の被ばくが不必要に高かっただけなのである。

それでは、装置Aと装置Bの線量を同等に揃えるにはどうしたらよいだろうか。mAsと線量は反比例するので、装置BでCTDI_{vol}=15mGyの検査を施行するためには150mAsで撮影すればよいことになる。SDの2乗とmAsが反比例するので、この場合の雑音量はSD=4.6となる。すなわち、線量を同等に揃えた場合、装置Aより装置Bの方が画質がよいのである。

これらの結果を踏まえて、今後は装置BのmAsを装置Aの6割程度に低く設定することにより、両方の装置の画質を揃えることとした。また、高画質を求められる精密検査や小児の検査については、少しでも被ばくを減らすために、できる限り装置Bへ振り分ける方針とした。

この例に示すような装置更新に伴う被ばく増加は、特にこの数年間で頻発している恐れがある。なぜならば、高回転を求められる最近のCTは以前よりもガントリーのサイズが小さい傾向にあり、これに伴ってmAsあたりの線量が以前よりも増加しているからである。このため、旧機種のみmAs設定を引き継ぐやり方では、画質向上とともに被ばくも増加する可能性が高い。せっかく被ばくの少ない装置を導入しても、撮影条件が不適切なために被ばくが増加してしまってもったいないことである。是非、新しい装置が導入された際には、新旧の画質や線量を比較した上で撮影条件を引き継いでいきたい。画質を揃えるか、線量を揃えるか、その中間的な条件にするか、については施設の事情により最適解が異なるであろう。

検査全体の被ばく低減

前述の例で議論された線量は、ある特定の位置

における線量であり、旧来の装置ではこの線量がそのまま検査全体の線量に直結していた。しかし近年では、検査全体の被ばくを更に低減するための被ばく低減機構が発達し、画質を保ったまま数割の被ばく低減を達成している。検査全体の被ばくが少なく済む装置を選択するためには、このような被ばく低減機構を無視することができない。

特に重要な技術は管電流変調であり、情報量に影響を与えずに被ばくを低減する優れた効果が認められた結果、近年急速に普及しつつある。

管電流変調の搭載されていない装置では、被写体へ照射する線量は一定であり、被写体の部位に応じた吸収値の変動に影響される結果、検出器へ届く線量は大きくばらつくことになる。この結果、吸収値の低い部位では必要以上に高画質となる一方で、吸収値の高い部位では線量不足により低画質となってしまう。例えば肩口や骨盤のように高線量が必要な領域に合わせて撮影条件を設定すると、本来は低線量で十分なはずの肺野や膈レベルにおいては不要な被ばくが生じる結果を招くのである。

管電流変調は、被写体を通過して検出器に届く線量の変動を減らすために、照射する線量を積極的に変動させる手法である。管電流変調には、z軸方向の変調とxy軸方向の二つの要素が含まれる。z軸方向の変調はスライス位置に応じて線量を加減するものであり、例えば躯幹部では肩や骨盤で線量を増加し、肺野では線量を減少することになる。xy軸方向の変調は、前後方向と左右方向の線量を1回転の中でこまめに加減するもので、躯幹部であれば左右方向の線量を増加し前後方向の線量を減らすことになる。管電流変調を用いると、低線量で十分な領域の被ばくを増やすことなく高線量が必要な領域の画質を向上することができるため、不要な被ばくが最小限に抑制される。

最も進んだ管電流変調においては、必要な画質を指定しておけば、患者の体格に応じて撮影条件が自動的に設定される。体格の小さな小児の検査では、必要十分な画質の得られる低い管電流が自動的に設定されるのである。一方、旧世代の管電流変調、換言すれば相対的な管電流変調においては、基準となる管電流を手動で設定しなければならない。つまり、肩に比べて肺の管電流を下げることは自動的に処理されるが、そもそも肩を何

mAsで撮影すべきかについては医師や技師が決めるなければならないのだ。成人と同じ条件で小児を撮影することによる過剰な被ばくを低減するためには、体格に応じて撮影条件が自動的に設定される仕組みが非常に有効であろう。

被ばくが少ない装置や仕組みの開発を促すためには、我々放射線科医が被ばく低減に多大な興味を持っていることを機器メーカーにアピールする必要がある。機器選定の際には被ばく低減に対する取り組みの内容や他社との比較に関する説明を求め、被ばくの少なさを選択基準の重要な項目と考えていることを伝えることが大切だと考える。

おわりに

最低限の被ばくで必要な情報を得るために役立つ知識を概説した。まずは自施設の検査の被ばく

量が多施設と比較して多いのか少ないのかを調べてみることから始めてみてはどうだろうか。

●文献

- 1) Paterson A, Frush DP, Donnelly LF : Helical CT of the body : are settings adjusted for pediatric patients? AJR Am J Roentgenol 2001 ; 176 : 297-301.
- 2) 赤羽正章, 大友 邦 : CTの被ばくと撮影条件最適化 — マルチスライスCTも含めて —. 画像診断 2002 ; 22 : 318-327.
- 3) Hidajat N, Maurer J, Schroder RJ, et al : Relationships between physical dose quantities and patient dose in CT. Br J Radiol 1999 ; 72 : 556-561.
- 4) Shrimpton PC, Wall BF : Reference Doses for Paediatric Computed Tomography. Radiation Protection Dosimetry 2000 ; 90 : 249-252.

3. 小児CT被ばくの現状と推奨条件

宮崎 治

国立成育医療センター放射線診療部

Current Status of Pediatric Multislice CT Focused on Radiation Dose Reduction

Osamu Miyazaki, M.D.

Department of Radiology, National Center for Child Health and Development

Abstract

The purpose of this review article is to discuss the current status of pediatric multislice CT (MSCT) in Japan. The evolution of the CT scanner has developed new means of diagnosis of pediatric disease, such as acute appendicitis and congenital heart disease (3-DCT angiography). Our survey suggested that optimization of pediatric MSCT has already been carried out by 90% of respondents, based on technician's experience or automatic exposure controller. However, the situation of dose control of pediatric CT seems to be somewhat different from the ICRP recommendation because of the low occupancy ratio of radiologist to CT unit in Japan. The age-based average mAs setting for Japanese abdominal CT seems to be almost the same as in the previously published US survey (2001). The last content of this article describes how we decided the weight-based parameter setting for our 8 data acquisition system MSCT.

Keywords : CT, Children, Survey

はじめに

2004年6月に長崎県長崎市で開催された第40回日本小児放射線学会シンポジウム「小児における医療被ばく—特に小児のCTについて—」に於いて筆者は「小児被ばくの現状と推奨条件」について講演した。当日の講演では、前半に本年初頭に行った全国小児CTアンケート調査の結果報告を、後半には筆者の所属する国立成育医療センターでのCT撮影条件設定の経緯と現在の条件設定を報告した。前半部分のアンケート調査については、現在学術誌(日本医学放射線学会誌)に投稿し査読中である。近年学術論文の二重投稿については厳重な注意が必要であり、この総説で使用する調査結果や数値はあくまでも未発表データとして扱

う。詳しい調査結果の報告は査読終了後の雑誌掲載を待つことになる。したがって本稿では学会当日の発表や現在投稿中の論文とは異なった内容となり、小児CT被ばくの現状を他の公表されている欧米や日本のデータと、われわれの調査結果の一部を比較する形で報告する。

I. 小児CT被ばくの現状

i) 進化するCTスキャナー

CTは1973年の英国における第一世代 translate-rotate方式EMI scanの商品化以降、第五世代の電子ビーム偏向性CT (IMATRON) を経て、1990年代の高速らせんCT、さらに多列検出器型CTの登場まで、絶えず進化を続けてきた¹⁾。

第一世代のCTは文献上のスキャン時間が300秒

とあり¹⁾、1スライスの撮影に5分を要する計算になる。乳幼児の頭部の撮影範囲が約10cmと仮定すると、1時間近くも撮影時間を要することになり、低学年の学童はおろか成人でも撮影ポジションを保つことは困難であったと推測する。

その後CTは管球とともに検出器も回転する第三世代、環状固定検出器の第四世代へと進化し、スキャン時間も1秒台まで短縮された¹⁾。さらに1990年に、X線管球への電源供給がスリップリング方式の高速らせんCTが商品化された。これは電車のパンタグラフと同じで管球に対し電源供給していたケーブルから解放されたことにより、連続かつ高速の回転を可能にした¹⁾。さらに1998年以降開発された、現行最新型である多列検出器型CT (Multidetector CTまたはMultislice CT: 以下MSCTと略す) は、複数の検出器列を持つことで、撮影時間の短縮、広範囲の撮影、呼吸や体動の影響が少ない画質などが得られる利点を持つ。これらは臨床的なメリットであるとともに、CT室におけるスループットの向上や検査待ち期間の短縮、緊急検査への対応など、被検者への利益を提供してきた。現時点ではMSCTの性能にもよるが、スキャン時間は1秒以下、機種によっては0.5秒以下で撮影可能となった。

このようなCTの技術革新が小児画像診断にもたらしたものは、1) 虫垂炎や心大血管奇形といった、かつてはUSで診断していた疾患にもCT検査の適応となる疾患が拡大したこと、2) かつては血管撮影を行って、手術前に血管解剖を確認していた疾患や、MRIにて矢状断、冠状断の観察が必要であった疾患がCTの再構成画像に置き換えられるようになったこと、3) 短時間で検査が終了するようになり、検査のための鎮静が不要となるケースが増え、鎮静下でのCT検査の割合は18%から3.3%に激減したとの報告もある²⁾。

上記のような約30年間のCTの進化のプロセスは、スキャンの高速化、高画質化に重きが置かれ、我々は自動車やコンピューターその他の精密機器と同様に、メーカーに高速で高画質なCTスキャナーを作って売るよう要求し続けてきた³⁾。

その結果CTメーカーもユーザーの意向を反映し、現在もおおスキャン時間の高速化、MSCTの列数のさらなる増加など、ハイ・スペックを売り

文句としている。

残念ながらその開発の中で、小児患者を意識した低被ばくモードでのCT撮影技術について各メーカーがしのぎを削るような歴史はなく、一部の識者や科学者の間でのみCT被ばくについての報告がなされていた。

上記の経緯で、次項に述べる全世界的なCTの台数および検査件数の爆発的増加が生じた。

ii) 小児CT検査の実態；報告データからみた現状

国連放射線影響科学委員会 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 以下UNSCEAR) が2000年に発表した膨大な報告書 (以下UNSCEAR 2000⁴⁾) によると、世界中には約34,000台のCTスキャナーが存在するとされている。また2000年のデータでは、11,000台のCTが日本に存在していると西澤らは報告している⁵⁾。

その本邦のCT台数の経時的な推移として1979年から89年の10年間で約7倍に、さらにその後の10年で2000年には1989年の約2倍になったと記載されており、1979年ころからみれば14倍になっている。これに伴い検査件数は1979年から89年の10年間で8.2倍に、その後の10年で2000年には1989年の約3.1倍になったと報告している⁵⁾ ので、1979年に比し約24倍の増加率と推測される。

一方小児のCT検査件数は西澤らの調査では0～14歳の小児のCT検査件数は114万件と推測している⁵⁾。われわれの行った小児CTアンケート調査から概算した小児CT件数は、全国で年間約122万件 (未発表データ) であった。

日米で小児CT検査を比較すると、成人を含めた全体の中での比率は日本 (3.1%)⁵⁾ のほうが米国 (11%)⁶⁾ に比し低い。検査件数は2000年⁷⁾ の報告では、年間全米で60万件の小児CTが行われると推定している。日本の推定件数114～122万件は、その約倍の数ということになる。以上のごとく日本と世界のCT台数と検査件数は現在増加の一途をたどっていると思われる。

iii) 小児CT撮影条件は軌道修正されたのか？

前述のごとく、80年代、90年代にCT機器の数の増加、CT検査件数が増加する一方、CT検査の

被ばく過多について、BrennerらのCT被ばくによるがん死リスク推定の論文⁷⁾が米国の一般紙USA TODAYに掲載された⁸⁾のがきっかけとなり、小児CT被ばくが全世界的な社会問題に発展した。

この2001年の論文を前後し1999年から現在まで約5年間に膨大な報告や公的機関の勧告、さまざまな論文や基礎的研究が発表され⁹⁻¹⁴⁾、多くの学会や研究会がこの話題を取り上げ、欧米を中心に速やかに小児CT被ばく低減に関する対処に取り組んだ。

USA TODAY以降のこれらの世界的な軌道修正の根底にある問題点は、1) CTは台数、検査数、検査中のスキャン回数などが増加の一途をたどっている事実、2) 過去に被検者の体格に見合った撮影条件設定が不十分で、被ばく過多で撮影をしてきた事実、3) 1)と2)を踏まえ患者の体格に見合った条件変更が必要であり、まず管電流を適正な数値に調節する必要がある、の3点に集約できるのではないと思われる¹⁰⁾。

上記の世界的な軌道修正の結果、小児CTの管電流設定は改善したのかを検証する必要があると思われる。これについて過去に数編の小児CTの撮影条件についての調査があり、以下に紹介しわれわれのアンケート結果を比較する。

Patersonら¹⁵⁾は1998年10月から1999年6月ま

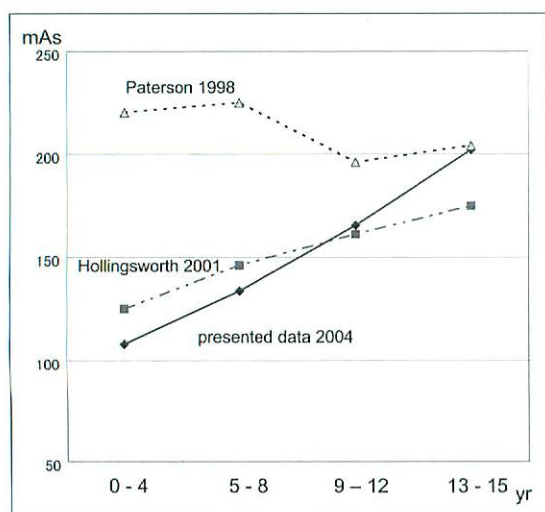


Fig.1 Comparison of tube current setting in pediatric abdominal CT present data vs published studies 1998 and 2001 in U.S.A

で、地域の病院から大学病院放射線科に、診断に関するコンサルトのあった小児ヘリカルCT 58件のフィルム上の撮影条件を記録し、年齢、体重などから撮影条件の適正化が行われているかを調査、報告している。彼らの報告では“小児に見合った撮影条件の変更はなされていなかった”と述べている。そのときの腹部の管電流設定の調査結果をFig.1に示す(オリジナルはmA表示だが便宜上1秒スキャンと仮定し、mAs表示に変換)。

Hollingsworthら¹⁶⁾は前述のPatersonの調査の2年後の2000年11月から2001年1月の3ヵ月間(奇しくもBrenner論文⁷⁾が掲載されたAJR Am J Roentgenol誌発行の1ヵ月前の調査)、米国小児放射線学会会員のいる施設のCT撮影状況の実態調査を行っている。彼らの報告では“年齢に見合った撮影条件の変更は行われている”と明記したうえで、9歳以下でも150mA以上で撮影している点と、20~25%の放射線科医の回答が、“固有のCT撮影条件を知らない”という点を特記している。Fig.1のPatersonの結果と比較し、同じ表に腹部の各年齢のmAs設定(上記同様オリジナルはmA表示だが便宜上1秒スキャンと仮定し、mAs表示に変換)を示す。

これらは同じAJR誌に掲載された論文であるが、1998年に一般病院を対象にした調査で、2001年のものは米国小児放射線科学会の会員の放射線科医の常駐する小児病院または大学病院の調査である。その母集団の違いの要素も大きいのではないかと推測される。

本邦における小児のCTに特定した撮影条件の調査は、調べ得た限り文献的には見当たらなかった。今回のわれわれの調査も上記のPatersonらのものに近い母集団で、中規模病院(100~499床)が過半数を占め、小児病院など特殊な施設はごくわずかなものである。その結果2004年の時点でMSCTを所有する病院では、小児の撮影条件を頭部では約9割、腹部では8.5割の施設で変更しているとの回答が寄せられた。また撮影条件、特にmAsの変更については、Paterson, Hollingsworthらとまったく同じ年齢設定で行ったが、結果的にはHollingsworthらの調査結果とほぼ同等であった(Fig.1)。

これは何を意味するのか? USA TODAY報道

以前の1998年、米国の地域病院では管電流は固定が主流であった。しかしその後のFDAの通達¹⁰⁾やALARA (as low as reasonably achievable) のコンセプト¹²⁾などの被ばく低減運動が世界中に波及し、海を隔てた2004年の日本で、一般病院の小児CTプロトコルが米国小児病院並みに患者線量管理されているとも評価できるし、むしろ欧米での放射線科医や医学物理士の強調した“管電流固定プロトコルからの脱出”キャンペーンとは無縁に、日本では診療放射線技師が自主的に線量をコントロールしてきた可能性もある。これについては後述、考察する。

問題点としては今回の調査はMSCTで4列を所有する病院が主流であったが、Hollingsworthらの報告はsingleまたは2列のヘリカルCTが主流であった点である。4列が主流であれば、本来はもっとmAsを低下可能ではないのかという疑問点が残った。またmAsのみでは実際の被ばくが多いのか、少ないのか比較ができない。やはりピッチやkV、その他の要素がパッケージとなったCTDI_{vol}やDLP (Dose Length Product) での評価が必須と思われた。

iv) 誰が小児CT検査の線量を管理するのか？

ICRP pub 87では、その要約の中に“放射線科医は、診療放射線技師と医学物理士の協力のもとに、線量管理の責任を持つ。診療放射線技師は、CT検査を最適化する訓練を受け、これに習熟しているべきである¹⁷⁾”と記載している。

ICRP勧告は放射線科医が不在でもCTが行われている国や地方の場合どのようにすべきかを明記していない。わが国は世界のCTの1/3～半分を所有している¹⁸⁾世界第一位のCT大国でありながら、ICRPの勧告に当てはまらない“例外的な”国なのだろうか？

今回のアンケート調査はMSCTのある病院に限った調査で、“CTのスキャン方法の指示は誰が行っていますか？”の問に対し、放射線科常勤医師が約40%、診療放射線技師が約30%という結果であった。今回のアンケート調査で回答を寄せていただいた医療施設の数から放射線科医の数を概算すると、全国で約4,400名の放射線科医がCTのスキャンの指示を行っている比率となる。日本医学放射線

学会のホームページ (<http://www.radiology.or.jp>) を参考にすると、平成16年2月28日の時点で日本医学放射線学会に登録している放射線科医の会員数は7,619名とのことであるので、上記の放射線科医の数はその58%、わが国の放射線科医の6割が全国津々浦々の医療施設においてCTのスキャン方法の指示・業務を行っている計算になる。また現時点で推定12,000から14,000台のCTがある^{18,19)}ので、CT1台に対する放射線科医の数は約0.6人であり、1人を割っている状況である。

ICRPの勧告を理想とし、すべてのCTの線量管理の責任を放射線科医が持つとすると、13,000人の放射線科医が必要となり、5,381人が不足となる。つまり現在の1.7倍の放射線科医がいないと成り立たないのである。

日本放射線技師会 (<http://www.jart.jp/index.html>) によれば、放射線技師は現在22,000人である。これは放射線科医の約3倍、CT1台に対し1.7人の比率である。

上記のようなマンパワーの違いがバックグラウンドにあるため、“どのような基準で撮影条件を変更していますか？”の質問に対し、“撮影技師の経験に基づき”が頭部CTで5割強、腹部CTで4割強と最多であり、最近のCT撮影技術革新である管電流自動調節 (Automatic exposure control 以下AEC) の使用 (約3割) をいまだ上回っている (Fig.2)。一方医学物理士については、筆者が在籍していた聖マリアンナ医科大学放射線医学教室には、優秀な医学物理士が大学病院内の同じ放射線科施設内に数名常勤し、日常の放射線診療に際し助言や協力が得られる。日本では聖マリアンナ医大病院のような恵まれた施設は稀であり、米国やヨーロッパのように放射線日常業務に医学物理士が介在する環境とは大きな隔たりがある。このようにICRPの勧告をそのまま日本に適用することは難しいと思われた。

v) アンケート調査結果のまとめと印象

放射線科医の不足と医学物理士の不足 (ほぼ不在に近い) を背景に、今回のアンケート調査結果から日本の現状をFig.2に要約した。“小児CTの撮影条件変更は9割近い施設で実施されており、スキャン方法は常勤放射線科医 (約40%) か撮影技

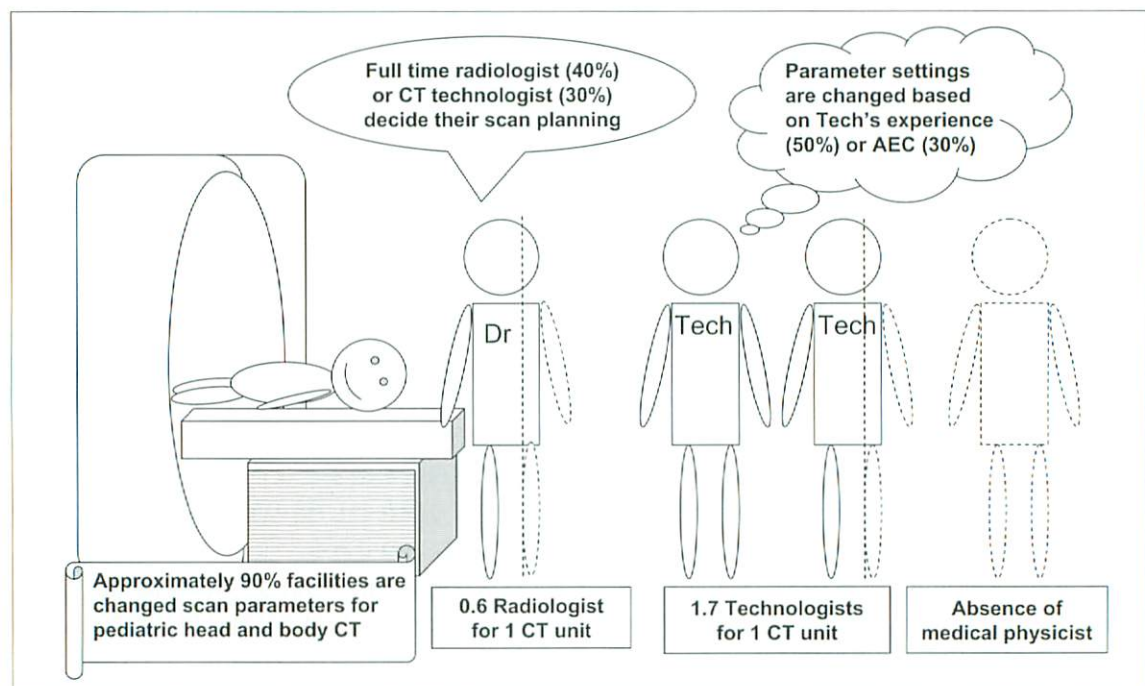


Fig.2 Summary of current status of pediatric CT in Japan, questionnaire 2004

Note low occupancy ratio of radiologist for 1 CT unit in Japan, it is less than one radiologist per one unit all over the country. Gross percentages of respondents in this figure represent the survey results of pediatric MSCT in Japan. AEC = automatic exposure controller

師(約30%)が決定し、撮影技師の経験(約50%)、またはAEC(約30%)を基準に行っている”ということになり、これらの結果が前出のFig.1に示す本邦の現状に帰結したと思われる。

筆者はこのアンケート結果に対し、予想外に良い結果であったと感じた。

Lancetに掲載され話題になった論文²⁰⁾では本邦は他の先進15カ国に比し、約3倍発がんリスク推定が高いと報告され、マスコミ報道²¹⁾もCT被ばくに関心を寄せたが、本邦では上記のように小児CT撮影が野放しではないという点は明確になった。

放射線技師と放射線科医、医学物理士の数に対するCTの台数には急激な変化はないと思われ、今後暫くは上記のような線量管理体制がわが国では続くことになるとと思われる。唯一変わる可能性があるのはAECの普及率が徐々に増加し²²⁾、ある時点で“技師の経験に基づき”の頻度を超える可能性はあると思われる。

アンケート結果から、現場にいる常勤放射線科医または診療放射線技師の両者が約70%の施設で

スキンの指示を出し、線量管理の役割を担っていることが明確になった。今後はこの両者に対する被ばく防護の啓発や卒後教育、最新技術の提供が重要であり、それが被ばく低減に結びつく唯一の方法と筆者は考える。

II. 小児CTの推奨条件

筆者の所属する国立成育医療センターがオープンした2002年当時、8列MSCTにおける小児の撮影条件は誰にも分からなかった。具体的には“画質、線量、被写体の体格の関係”がわからず、いかに線量を低下するべきか、どの程度下げたら画質は診断不能となるのかが分からなかった。

当時参考にした管電流の設定方法はDonnellyらの提唱したシングルヘリカルCTの体重ごとの撮影条件¹³⁾と、今回のシンポジウムで同席し、本誌に執筆されている東大の赤羽先生の体重に見合った管電流設定方法の式である(以下赤羽体重法)²³⁾。当時MSCTが普及し始めたが、多列検出器CTでの理想的な条件設定、特に小児についての報告は

ほとんど見られなかった。

CTの特性として画質(ノイズ)は体格に比例し増加する²⁴⁾のだが、我々はいかなる年齢のいかなる体格の患児が来ても常に同じ画質を得るための方法として、赤羽体重法で撮影した腹部CTにおいて体重と画質(肝実質のCT値の標準偏差;以下SD)、線量の関係を自験例から求めた。その結果SDを8に設定した場合(スライス厚5mm表示)の管電流設定は $y=0.04x^2+0.8x+24$ (y =理想とするmAs, x =患児の体重)という結論を得た。現在はこの式から求めた体重に対する理想的な管電流をAECに上限を設けた形でスキャンしている。またGE社のLightSpeedシリーズにはcolor code systemと呼ばれる小児用のフォーマットがある²⁵⁾。これは米国麻酔科学会で決められている体重ごとの色の識別方法をCTのコンソールにとり入れたアイデアで、患児は9つの体重区分に分類される。さらに我々はこれに前述の計算式で求めた管電流の条件を上限値に設定し、体重ごとにプリセットされた撮影条件で自動的に線量調節している²⁵⁾。

以上、簡単ではあるが筆者の施設での小児撮影条件の決定の経緯を紹介した。各施設のMSCTの機器性能が異なるため、また診断目的や理想とする画質が異なるため、MSCT時代の小児CTの推奨条件は決め難いと思われる。加えて今後もさらに普及すると見られるAECの構造、線量低下の方法がCTメーカー6社により異なっている²⁶⁾ことは、共通の撮影条件設定を決めにくい要素となるであろう。

おわりに

以上、小児CT被ばくの現状、特に進化するCTスキャナー、小児CT検査の増加の実態、小児CT撮影条件は軌道修正されたのか、誰が小児CT検査の線量を管理するのかにつき、過去の文献と今回調査を行ったアンケート結果を織り交ぜ解説した。その後小児CTの撮影条件につき、筆者らのセンターでの条件設定の経緯を解説した。本文中でも述べたが、日本は世界に名だたるCT大国であるがゆえに、安全かつ有益なCTの利用方法を考案し実践するべきである。さしあたり筆者は本邦における標準的な線量管理の目安となる診断参

考レベルdiagnostic reference levelを設定するべきであると考え²²⁾。

現在16列のMSCTから64列のMSCTへさらなる進化が進んでいる。しかし8列や4列でのデータ解析や撮影条件の吟味など消化し、解決した上で次のステップへ進むべきであると思われる。今後放射線科医、放射線技師、医学物理士、機器メーカーなど各方面でのさらなる研究成果の発表が期待される。

謝辞

項を終えるにあたり執筆に多大なる協力、助言をいただいた国立成育医療センター放射線診療部診療放射線技師の皆様、特に谷島義信主任、およびGE横河メディカルシステム株式会社CT技術部の堀内哲也氏に深謝いたします。

●文献

- 1) 辻岡勝美: I-4 X線CTの歴史. CT自由自在(第1版). 東京, メジカルビュー社, 2001, p52-53.
- 2) Papas JN, Donnelly LF, Frush DP: Marked reduction in the frequency of sedation of children using new multislice helical CT. *Radiology* 2000; 215: 897-899.
- 3) Rogers LF. From editor's notebook. Taking care of children: Check out the parameters used for helical CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 176: 287.
- 4) United Nations: Sources and effects of ionizing radiation, volume I. Sources. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the general assembly, with scientific annexes. New York, UN sales Publication, 2000, No. E.00.IX3.
- 5) 西澤かな枝, 松本雅紀, 岩井一男, 他: CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定. *日本医放会誌* 2004; 64: 151-158.
- 6) Mettler FA, Wiest PW, Locken JA, et al: CT scanning: patterns of use and dose. *J Radiol Prot* 2000; 20: 353-359.
- 7) Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, et al: Estimated risks of radiation induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 176: 289-296.
- 8) Donnelly LF: Lessons from history. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 287-292.
- 9) ICRP: Managing patient dose in Computed

- Tomography, International Commission on Radiological Protection. Oxford, Pergamon Press, Publication 87, 2000.
- 10) Feigl DW : FDA Public Health Notification : Reducing Radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. *Pediatr Radiol* 2002 ; 32 : 314-316.
 - 11) European commission : European guidelines on quality criteria for computed tomography. European communities. Luxemburg, 1999, Report EUR 16262.
 - 12) Slovis TL, Hall ET, Huda W, et al : ALARA CONFERENCE Executive Summary. *Pediatr Radiol* 2002 ; 32 : 221.
 - 13) Donnelly LF, Emery KH, Brody AS, et al : Minimizing radiation dose for pediatric body applications for single-detector helical CT : Strategies at a large children's hospital. *AJR Am J Roentgenol* 2001 ; 176 : 303-306.
 - 14) Nagel HD, edited : Radiation exposure in computed tomography. 4th Revised and update edition 2002, CJB Publications Hamburg.
 - 15) Paterson A, Frush DP, Donnelly LF : Helical CT of the Body : Are settings adjusted for pediatric patients? *AJR Am J Roentgenol* 2001 ; 176 : 297-301.
 - 16) Hollingsworth C, Frush DP, Cross M, et al : Helical CT of the Body : A survey of techniques used for pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol* 2003 ; 180 : 401-406.
 - 17) ICRP勧告翻訳検討委員会 : ICRP Publication 87 CTにおける患者線量の管理. 社団法人日本アイソトープ協会, 東京, 丸善株式会社, 2004.
 - 18) 西澤かな枝 : わが国のCT検査の実態と被ばく線量推定 緊急シンポジウム “診断用のX線がガンを増やす” との論文は真実か? 日本医放会誌 2004 ; 付録 64 : Supple 3-6.
 - 19) 村松禎久 : II 部 : 医療現場からX線CTの患者線量を考える 《特集》第19回「医療放射線の安全利用研究会」フォーラム テーマ : X線CTにおける患者線量の管理を考える—安心できるCT検査に向けて— ICRP Publ.87「CTにおける患者線量の管理」の概要. 医療放射線防護 NEWS LETTER 2004 ; 41 : 36-39.
 - 20) Gonzalez AB, Darby S : Risk of cancer from diagnostic X-ray : estimated for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004 ; 363 : 345-351.
 - 21) 中島久美子 : メディアの取り組み—果たすべき役割と専門家への期待—緊急シンポジウム “診断用のX線がガンを増やす” との論文は真実か? 日本医放会誌 2004 ; 付録 64 : Supple 22-25.
 - 22) 宮崎 治 : II 部 : 医療現場からX線CTの患者線量を考える 《特集》第19回「医療放射線の安全利用研究会」フォーラム テーマ : X線CTにおける患者線量の管理を考える—安心できるCT検査に向けて— 小児CT検査における子供の受ける線量から. 医療放射線防護 NEWS LETTER 2004 ; 41 : 40-44.
 - 23) 赤羽正章, 大友 邦 : CTの被ばくと撮影条件最適化—マルチスライスCTも含めて— 画像診断 2002 ; 22 : 318-327.
 - 24) Ende JF, Huda W, Pablo R, et al : Image mottle in abdominal CT. *Investigative radiol* 1999 ; 34 : 282-286.
 - 25) Fox SH, Toth T : Dose reduction on GE CT scanners. *Pediatr Radiol* 2002 ; 32 : 718-723.
 - 26) I 部 : X線CT装置メーカー側の現状と展望 《特集》第19回「医療放射線の安全利用研究会」フォーラム テーマ : X線CTにおける患者線量の管理を考える—安心できるCT検査に向けて— 医療放射線防護 NEWS LETTER 2004 ; 41 : 4-35.

第40回日本小児放射線学会総会シンポジウムより
特集 小児における医療被ばく－特に小児のCTについて－

4. 特別発言

－日本医学放射線学会 放射線防護委員会より－

野坂俊介

国立成育医療センター放射線診療部

Special Comment : From the Viewpoint of the Radiation Protection Committee of Japan Radiological Society

Shunsuke Nosaka, M.D.

Division of Pediatric Imaging, Department of Radiology, National Center for Child Health and Development

Abstract

This special comment will summarize ; recent articles mentioning the estimation of cancer risks from diagnostic X-rays especially concerning CT, reports as “front page news” by mass media, and the official response of the Japan Radiological Society. This special comment will also deal with ; the basic principles of low dose radiation based on linear extrapolation, the issue of unlimited medical radiation dose, the current status of CT in the Japanese health care system, and the future announcement regarding pediatric CT which will be made by the Japan Radiological Society.

Keywords : Pediatric CT, Radiation dose, Dose reduction, Estimated cancer risk, Mass media

1. はじめに

放射線被ばく防護の原則は、距離（線源から距離をとる）、遮蔽（放射線を遮蔽する）、および時間（放射線に曝される時間を短くする）である。日常の診療で重要なことは、X線を用いた画像診断検査をする際には、照射の範囲は可能な限り狭く、時間は可能な限り短く、そして線量は可能な限り低く、ということである。これらは古くから言われており、放射線科医は診療放射線技師とともに個々の検査において常に意識してきた。

小児は成人と比較して、理学的所見をとることが困難なことが多く、画像診断を含め各種検査の果たす役割は大きい。小児の画像診断が主に成人を対象とする画像診断と異なる点は、対象とする

疾患の分布（先天異常が多く、ほかには腫瘍や炎症など）、身体的特徴（体脂肪が少なく、目標臓器が小さく、骨格系の化骨が不完全である）、さらには放射線に対する感受性（成人と比較して感受性が高い）などである。これらに加えて、一般的に小児は検査に対する理解が十分でないため、検査に対して必ずしも協力的でないことも考慮しなければならない。

一方、今日の医療環境においては、医療の「グローバルスタンダード」が注目され、医療行為に対して透明性（transparency）および説明責任（accountability）が要求される。さらに、外的エビデンスを個々の患者に適応し、客観的な根拠に基づかない医療は拒否するという、「EBM（根拠に基づく医療）」が叫ばれている。従って、個々の

画像診断検査において、その適応、実際の方法、ならびに他の検査方法との比較などについて、明確に説明できなければならない。

ここでは、Lancet論文に対する日本医学放射線学会からのコメントを基に、過去の小児CT被ばくに関する論文を参考にしながら、わが国の小児科診療および放射線科診療の現状と問題点を踏まえ、小児CT被ばくの低減方法を模索したい。

2. 医療被ばくに関する論文が意味すること

I. 診断用X線による発がんリスク

2004年初めに医学雑誌のLancetに掲載された論文、Risk of cancer from diagnostic X-rays¹⁾は、各国のメディアをはじめ多方面から注目された。わが国では、2004年2月10日の読売新聞一面で「がん3.2%診断被ばく原因」と大きく報じられたこと²⁾は記憶に新しい。この論文では、X線診断は大きな利益をもたらすこと、診断による被ばく量は通常少なく、個別の発がんリスクはきわめて少ないことが最初に記されているが、診断用X線の被ばくにより、放射線で誘発されるすべてのがんが75歳までの期間に発生する確率を、英国と日本を含めた先進14ヵ国で推定している¹⁾。発がんの増加数は、日本が3.2%と最高で(他は0.5~1.8%)、近年のCT検査の増加を含めると4.4%にもなるとい¹⁾。これらのデータは、LNT(直線しきい値なし)仮説に基づく発がんのリスク計算で、原爆被爆者のがん罹患率を基礎とし、医療被ばくに関してはモダリティごとの線量と国連科学委員会の検査回数を基礎としている¹⁾。また、この論文が指摘した重要な点は、日本のX線検査数が世界でも飛び抜けて多いこと、日本のCT台数は人口あたりの比較で他の14ヵ国の平均の3.7倍も多いことである¹⁾。西澤の推計によると、世界のCT装置の1/3~半数近くが日本にあると言っても過言ではないとしている³⁾。ことから、日本におけるCT検査数の多さは理解できる。

Lancetに掲載された論文に対して、日本医学放射線学会から会告Iとして、2004年3月にコメントが発表され⁴⁾、個々のX線検査のリスクはきわめて小さいが、検査を依頼する医師含め、放射線診断に関わるすべての医師および医療従事者は、放射線が発がんのリスクを増やす可能性があるこ

とを正しく認識し、撮影の条件、範囲、回数などに留意し、可能な限り線量低減に努力すること、そしてX線検査を受ける個人に、より大きな利益がもたらされるよう適切な診療を行うことが必要で、特に小児や若年者の検査での重要性が強調されている。

II. 小児のCT被ばく

近年、成人、小児ともにCT検査数は増加の一端をたどり、10年前の約6倍の件数が行われている⁵⁾。このデータは、本格的にMDCTが臨床に導入される前の数字であり、MDCTの普及により、検査件数は更に増加していると予想される⁶⁾。

小児のCT被ばくに関しては、2001年にAJR Am J Roentgenolに掲載されたEstimated cancer risk of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT(小児のCT検査における放射線誘発がんのリスク推定)⁵⁾が記憶に新しい。この論文も、Lancet論文¹⁾同様、LNT仮説による発がんリスクの計算で、小児のCT検査の多くは成人の条件で撮影されていることおよび臓器被ばくは成人の2~5倍であることに基づいている⁵⁾。すなわち、頭部CTおよび腹部CTをそれぞれ462mAsおよび404mAsで行うと仮定した場合の検査時年齢、臓器別線量、臓器別致死がん発生確率から放射線誘発がんのリスク推定を計算したもので、その結果、全米の15歳以下の小児に行われている年間60万件の頭部・腹部CT検査により、将来500人が放射線誘発がんで死亡すると予測されるというものである⁵⁾。これらの結果から、小児では、低い管電流でも検査可能なので、過剰な被ばくを防ぐための条件設定が必要であると結論している⁵⁾。この論文が発表された直後の2001年1月22日に、米国の新聞USA TODAYがこの論文を引用して小児CT被ばくに関する記事を報道し、全米のみならず世界中のマスコミが、小児に対するCT被ばく過多を取り上げた⁶⁾。これをきっかけに、その後の約2年間に米国では急速に小児CTの被ばく低減に関する様々な動きがあった⁶⁾。このことからすると、AJRに掲載された論文の果たした功績の大きさが理解できる⁶⁾。USA TODAYの報道からのこれに関わる関係団体の対応をまとめると、まず報道から半年後には、米国小児放射線学会(SPR:Society for Pediatric Radiology)が緊急のCT被ばく低減に

関するカンファレンス (Conference of ALARA concept) を開催した。このカンファレンスの議事録は2002年のPediatric Radiologyに収録され、最終的にはExecutive Summaryとしてまとめられている⁷⁾。さらに、2001年11月には、米国食品医薬品局 (FDA: Food and Drug Administration) が小児CT被ばく低減に関するPublic notification⁸⁾ を発表している。これらの一連の流れにより、米国では小児CTの被ばく過多について、認識、検討、見直しがされ、関係各団体が迅速に対応したことの意味は大きい⁶⁾。

3. 放射線障害：画像診断では何が問題なのか

放射線障害には、確率的影響と確定的影響がある⁹⁾。確率的影響とは、「ちょっとでも浴びれば浴びた量に比例して害がある」という仮説に基づく影響で、LNT (直線しきい値なし) 仮説が当てはまる⁹⁾。確定的影響とは、「ある程度以上浴びなければ出ない」影響で、被ばく線量がある値 (しきい値) を越えて初めて出る影響で、しきい値を越えると被ばく量が増えれば増えるほどその影響の程度はひどくなる⁹⁾。確率的影響で問題となるのは遺伝的影響と発がん、確定的影響で問題となるのは放射線症や放射線火傷、白内障、不妊、胎児の奇形や精神発達遅滞などである⁹⁾。

通常、画像診断で問題とされるのは確率的影響で、確定的影響は問題とはならない¹⁰⁾。また、確率的影響については、1977年以降、低線量放射線防護の対象は「遺伝よりがん」の時代になった¹¹⁾。

4. 医療被ばく

医療被ばくには線量限度がない。しかし、このことはX線を用いた画像診断検査を受ける個人に明らかな利益があること、医師は放射線防護・管理に十分な知識を持っていること、そして被ばく量を少なくするよう絶えず努力することが前提となっている^{12), 13)}。これらは、検査の正当化と防護の最適化^{12), 13)} としてまとめることができる。

5. CTを取り巻く日本の医療の現状

過去30年間の画像診断の発展は目覚しく、今日の医療の質は画像診断検査が支えているといっても過言でないといえる¹²⁾。最新の画像診断装置の

普及が進んでいるわが国では、誰でも最新の画像診断の恩恵を受けられる医療環境にある¹²⁾。そのような環境で、主治医は気軽にCTをオーダーする傾向があり、放射線防護の観点からは症例毎の正当化の検討が不十分かもしれない¹²⁾。このことは成人領域のCT検査の現状とまでは行かないものの、小児領域のCT検査も同様の傾向にはあると思われる。わが国における小児CTの現状については、本特集の「宮崎論文」を参照されたい。

6. 小児のCT：問題点および今後の対応

わが国においては、CT装置と件数が急速に増加している現実¹⁴⁾ を考えると、放射線科医はCT検査を受ける個人にそれに伴うリスクを上回る利益がもたらされるよう、あらためて留意すべきである。前述の日本医学放射線学会の会告I⁴⁾ のごとく、「個々のX線診断検査のリスクはきわめて小さいが、検査を依頼する医師を含め、放射線診断に関わる医療従事者は、放射線の発がんリスクを増やし得ることを認識し、撮影の条件、範囲、回数などに留意し、可能な限り線量低減に努力すべきである」。

小児のCTに関しては、欧米を中心に小児に特化した管電流設定など、被ばく低減が実際に試みられている。近々、日本医学放射線学会から「小児CTガイドライン (仮称)」（大阪大学 中村仁信委員長）が発表される予定である。

●文献

- 1) Berrington de Gonzalez A, Darby S: Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004; 363: 345-351.
- 2) 中島久美子: メディアの取り組み一果たすべき役割と専門家への期待一。日本医放会誌 2004; 64 Supple: 22-25.
- 3) 西澤かな枝: わが国のCT検査の実態と被ばく線量推定。日本医放会誌 2004; 64 Supple: 3-6.
- 4) 日本医学放射線学会: “診断用X線による発がんリスク”の論文に関するコメント。日本医放会誌 2004; 64: 1 (会告I)。
- 5) Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, et al: Estimated cancer risk of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001;

- 176:289-296.
- 6) 宮崎 治, 野坂俊介, 宮坂実木子, 他:被ばく, マルチスライスCT進化論, 隈崎達夫 監修, 東京, オーシーシー・ジャパン株式会社, 2004, p157-163.
- 7) ALARA conference Executive summary. *Pediatr Radiol* 2002 ; 32 : 221.
- 8) Feigal DW Jr. : FDA Public notificattion : reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. *Pediatr Radiol* 2002 ; 32 : 314-316.
- 9) 舘野之男:放射線傷害, 岩波新書:放射線と健康, 東京, 岩波書店, 2001, p79-127.
- 10) 舘野之男:放射線障害から見た医療, 岩波新書:放射線と健康, 東京, 岩波書店, 2001, p187-235.
- 11) 舘野之男:遺伝影響と発がん, 岩波新書:放射線と健康, 東京, 岩波書店, 2001, p130-186.
- 12) 佐々木康人:巻頭言, 日本医放会誌 2004 ; 64 Supple : 1.
- 13) 石口恒男:患者の放射線防護—医療被ばくと健康影響, 日本医放会誌 2004 ; 64 Supple : 16-18.
- 14) 西澤かな枝, 松本雅紀, 岩井一男, 他:CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定, 日本医放会誌 2004 ; 64 : 151-158.

原 著 論 文

小児膵胆管合流異常に対するmultidetector row CTを用いたcurved planar reformationの有用性

安賀文俊, 松本 充, 金澤秀次, 可児弘行, 吉川秀司, 榎林 勇, 増田大介¹⁾, 井上俊宏¹⁾, 有坂好史¹⁾, 岩本充彦²⁾, 宮本好晴²⁾, 高折恭一²⁾, 谷川允彦²⁾

大阪医科大学放射線医学教室, 同・第2内科学教室¹⁾, 同・一般・消化器外科学教室²⁾

Usefulness of Curved Planar Reformation Using Multidetector Row CT for the Demonstration of Pancreaticobiliary Maljunction in Children

Fumitoshi Aga, Mitsuru Matsuki, Shuji Kanazawa, Hiroyuki Kani, Syushi Yoshikawa, Isamu Narabayashi, Daisuke Masuda¹⁾, Toshihiro Inoue¹⁾, Yoshifumi Arisaka¹⁾, Mitsuhiko Iwamoto²⁾, Yoshiharu Miyamoto²⁾, Kyoichi Takaori²⁾, Nobuhiko Tanigawa²⁾

Department of Radiology, 2nd Department of Internal Medicine¹⁾,
Department of General and Gastroenterological Surgery²⁾, Osaka Medical College

Abstract We examined four children with pancreaticobiliary maljunction in whom curved planar reformation (CPR) obtained by multidetector row CT (MDCT) was useful in evaluating the confluence of the common bile duct and main pancreatic duct (MPD). Magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) was performed in all patients, but it could not demonstrate the confluence. Contrast-enhanced CT at the pancreatic parenchymal phase was performed using 4DAS MDCT, and CPR was obtained using multiplanar reformation software by tracing the MPD. The CPR clearly showed the confluence, even in those patients who could not perform a respiratory stop during the contrast-enhanced CT examination. These CPR findings corresponded to the endoscopic cholangio-pancreatography (ERCP) or intraoperative cholangiography. We consider that CPR using MDCT can be useful also in the diagnosis of pancreaticobiliary maljunction with unclear biliary dilatation, which is difficult to evaluate by ultrasonography, axial CT images, or MRCP.

Keywords Pancreaticobiliary maljunction, Multidetector row CT (MDCT), Curved planar reformation (CPR)

はじめに

近年, multidetector row CT (以下: MDCT) の登場によりCT画像の空間分解能, 時間分解能は著明に向上し, isotropicに近いvoxel dataが得られる

ようになった。それにより良好なCT angiography, virtual endoscopyといった三次元画像や詳細なmultiplanar reformation (以下MPR), curved planar reformation (以下CPR) といった多断面評価が可能になり, それらは様々な領域で活用されるよう

原稿受付日: 2004年4月12日, 最終受付日: 2004年7月7日

別刷請求先: 〒569-8686 高槻市大学町2-7 大阪医科大学放射線医学教室 安賀文俊

になった。

膵胆管合流異常症の診断には腹部超音波検査、Magnetic resonance cholangio-pancreatography (以下MRCP)、内視鏡的逆行性胆管膵管造影 (Endoscopic retrograde cholangio-pancreatography: 以下ERCP) 等が行われてきた。特にMRCPは、非侵襲的な検査法として期待された。しかし、小児例では息止め困難、不安定な呼吸、空間分解能の限界等の理由により合流部の描出が困難な症例に遭遇する。

われわれは、小児の膵胆管合流異常症4症例に対し、MDCTによる造影検査を行い、主膵管に沿ったCPRを作成し、合流異常の描出能をMRCPと比較検討したので若干の文献的考察を含め報告する。

対象と方法

対象は、2002年10月～2003年9月に大阪医科大学附属病院において手術によって確認された小児膵胆管合流異常症4症例(11ヵ月～16歳; 平均7歳10ヵ月)で、性別は、男児女児各2例、主訴は、

腹痛・右季肋部痛が3例、食欲不振が1例であった。全例で総胆管嚢腫を合併し、1例で胆管癌を合併していた。戸谷分類¹⁾の内訳はIa, IVA各2例で、新古味分類²⁾の内訳は、Ia, Ib各1例、IIa2例であった。

使用したCT装置は、4検出器Aquilion MULTIで、造影方法はイオパミドール(300mg/ml)を体重(kg)×2 mlを用手的もしくは自動注入器(3 ml/sec)で注入し、注入開始40秒後(膵実質相)から1相(約10秒)のみ撮像した。撮影範囲は肝上縁から腸骨稜とし、撮影条件はslice thickness 1 mm, helical pitch 5.5, reconstruction 0.5mmとした。管電圧と管電流は、Donnellyらの報告³⁾を参考にし、管電圧120kV、管電流250mAs(0.50秒)で撮影した。造影剤による副作用を認めなかった。得られたスライスデータをワークステーション(ザイオソフト社製 ZIOM900QUADRA)に転送し、主膵管に沿って用手的にCPRを作成した(Fig.1)。

MR装置は、GE社製SIGNA MR/I Echo Speed 1.5T CV, NV Option, SIGNA Horizon Echo Speed LX 1.5Tで、MRCPの撮影条件は、thin slice MRCP



Fig.1 Curved planar reformation (CPR)

CPR is obtained using multiplanar reformation software by tracing the main pancreatic duct (MPD) (black lines).

(SSFSE)では、TR：∞、TE：95.7～190msec、FOV：24～32×19～29cm、slice thickness：4 or 7mm、0～1sp、matrix：256×192で横断像、斜位冠状断像3方向を撮影した。Thick slice MRCP (SSFSE)では、TR：∞、TE：95.7～109msec、FOV：22～32×22～29cm、slice thickness：25～40mm、matrix：256×192 or 256で6～9方向を撮影した。2症例(11ヵ月、2歳9ヵ月)ではCT、MR検査時に体動静止が困難であったためトリクロロールシロップの内服あるいはエスクレ坐剤の挿入によって睡眠処置を行い、自然呼吸で検査を行った。残りの2症例(11歳8ヵ月、16歳1ヵ月)は、処置することなく撮影時の呼吸停止の指示に従うことができた。また、4症例中2症例は、ERCPも施行された。

CPR、MRCPによる合流異常の描出能をERCP所見あるいは術中胆道造影所見と比較検討した。

結果 (Table 1参照)

MRCPにて総胆管嚢腫は全例で描出され、主膵管は2例で描出された。しかし、全例でretrospectiveに検討しても総胆管と主膵管の合流異常は指摘されなかった。一方、CPRは全例で合流異常を描出し、ERCP所見あるいは術中胆道造影所見に対応していた。

症例呈示

症例1は、生後11ヵ月の男児で、食欲不振を主訴とした。MRCPでは、総胆管嚢腫と主膵管が描出された(Fig.2a)が、合流異常は指摘されなかった。これに対してCPR(Fig.2b,c)では、合流異常

が明瞭に描出され、ERCP(Fig.2d)所見と対応していた。

症例3は、11歳8ヵ月の女児で、腹痛を主訴とした。MRCPでは、総胆管嚢腫が描出されたが、主膵管、合流異常とも指摘されなかった(Fig.3a)。これに対して、CPRでは主膵管、合流異常が明瞭に描出され(Fig.3b)、術中胆道造影所見に対応していた。

考察

膵胆管合流異常症は、解剖学的に膵管と胆管が十二指腸壁外で合流する先天性奇形をいい、腫瘍、胆石、乳頭炎など後天的な要因に起因したものは除外する。十二指腸乳頭括約筋(Oddi筋)の機能的な作用が合流部に及ばないため、膵液と胆汁の相互混入(逆流)が起こり、胆道ないし膵に様々な病態を起こし得る⁴⁾。本症は、日本人を含め東洋人に多く、特に日本からの報告が世界中のほぼ半数を占める。発生頻度は数千～1万人に1人の割合で、性別では女性に多く全体の70～80%を占める。乳幼児期に好発するが、10歳以上の思春期以降にもしばしばみられる。合流異常の約80%に総胆管嚢腫を合併し、総胆管嚢腫の80～90%に合流異常が指摘される。合流異常例(胆管拡張を伴っているとは限らない)の胆道癌合併頻度は23.4～39.4%と報告され⁵⁾、胆道癌のハイリスク群として取り扱われる⁶⁾。よって放置すると比較的若年で胆道癌を併発することがある。それ以外にも、膵癌、胆嚢癌、肝内胆管癌、急性および慢性膵炎、胆石などを合併しうするため早期診断が要求される。治療は、胆嚢摘出、肝外胆管切除および胆管空腸

Table 1 Preoperative examination in pancreaticobiliary maljunction

	Age	ERCP	Thin slice MRCP	Thick slice MRCP	CPR
#1	11m	○	×	△	○
#2	2y9m	—	×	×	○
#3	11y8m	—	×	△	○
#4	16y1m	△	×	×	○

○：showed the confluence of the common bile duct (CBD) and main pancreatic duct (MPD)

△：showed the CBD and MPD but not the confluence

×

—：not performed



Fig.2 11-month old male with pancreaticobiliary maljunction
a : MRCP shows biliary dilatation (*) and MPD (arrows), but not the confluence.
CBD : common bile duct.
b : CPR demonstrates the confluence (arrow) of biliary dilatation and MPD.
c : Expanded view of CPR clearly shows the confluence (arrow).
d : ERCP image corresponds to the CPR image. (arrow : confluence)

吻合を基本とし、個々の症例において胆管拡張形態や合流形式が異なるため、術前に合流形式を知ることが、安全でかつ迅速に手術を遂行する点で重要であり、術前の画像診断の担う役割は大きい。

合流異常の診断方法として、一般的に腹部超音波検査、MRCP、ERCP、術中胆道造影が行われてきた。腹部超音波検査では、合流異常に合併する総胆管囊腫、胆嚢壁肥厚を同定する。MRCPは合流異常の同定に有用であるが、thick slice MRCP

は空間分解能に限界があり、thin slice MRCPでは10数秒から20秒間の呼吸停止あるいは呼吸同期を用いても一定のリズムの呼吸停止が要求され、小児領域の合流異常の同定はしばしば困難である。ERCPは、合流異常およびそれに合併する様々な病変を診断する上で必須な検査とされてきた。また、胆汁中のアミラーゼ値を測定することもできる。しかし、侵襲性が高く、膵炎合併などの危険性もあり、特に小児の合流異常のスクリーニング

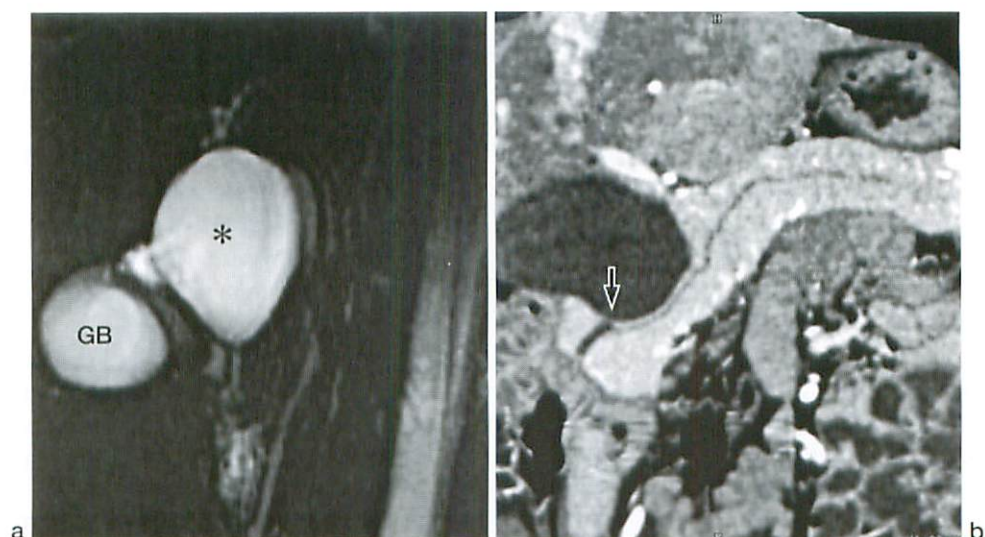


Fig.3 11-year 8-month old female with pancreaticobiliary maljunction
 a : MRCP shows biliary dilatation (*), but not MPD. (GB : gall bladder)
 b : CPR demonstrates the confluence of biliary dilatation (arrow) and MPD.

としてfirst choiceになり得ない。

一方、近年、multidetector row CTの登場によりCT画像の空間分解能、時間分解能は著明に向上し、isotropicに近い voxel dataが得られるようになってきた。それによって目的に応じた断面での再処理も行うことができ、その付加する情報は多くの臨床で活用されている。その再処理方法の一つにCPRがあり、連続したvolume dataをもとに屈曲、蛇行した対象物の長軸方向の任意の断面における評価を可能にした。脾臓領域では、主脾管に沿ったCPRを脾癌、脾嚢胞性疾患の診断に活用した報告をみるが⁷⁻¹²⁾、合流異常症に対する検討¹³⁾はきわめて少ない。今回の検討では、CPRはMRCPで診断困難であった合流異常を明瞭に描出し、スクリーニングとしても期待される。もちろん、脾管拡張が認められない症例では、合流異常の描出が困難な事も考えられるが、腹部超音波検査、MRCPで総胆管拡張、合流異常が明らかでない症例の早期診断にも寄与する可能性があると考えられる。

しかし、造影CT検査の短所としてX線被ばくとヨード造影剤の使用がある。われわれ放射線科医は、非侵襲的な腹部超音波検査とMRCPの所見も照らし合わせ、小児に適した被ばく量の低減、ヨ-

ド造影剤使用量の軽減に努めなければならない。

おわりに

脾胆管合流異常症は胆管癌をはじめとする様々な病態を合併するため早期診断、早期手術が必要である。診断法として腹部超音波検査、MRCPがfirst choiceであることに異論はないが、特に小児例での診断はしばしば困難で、続いて侵襲性の高いERCPが余儀なく施行される。今回、われわれは小児の脾胆管合流異常症に対しMDCTを用いたCPRによって合流異常を明瞭に描出した。この方法は、腹部超音波検査、MRCPで診断困難である合流異常に対しても低侵襲的な診断法として期待される。

●文献

- 1) 戸谷拓二, 岡島邦雄, 田淵勝輔, 他: 先天性胆道拡張症—その分類と手術方法および癌発生例について, 手術 1975; 29: 875-880.
- 2) 古味信彦: 先天性胆道拡張症に伴う脾胆管合流異常50例の分類—いわゆる古味分類補遺, 脾臓 1991; 6: 234-243.
- 3) Donnelly LF, Emery KH, Brody AS, et al: Minimizing radiation dose for pediatric body

- applications of single-detector helical CT : Strategies at a large children's hospital. AJR Am J Roentgenol 2001 ; 176 : 303-306.
- 4) 日本膵管胆道合流異常研究会, 合流異常診断基準検討委員会: 膵・胆管合流異常の診断基準(改訂), 膵・胆管合流異常(1版), 古味信彦監修, 東京, 医学図書出版, 1997, p1-2.
- 5) 蓮見昭武, 杉岡 篤, 青木春夫: 膵・胆管合流異常の病態別に見た胆道癌の頻度, 膵・胆管合流異常(1版), 古味信彦監修, 東京, 医学図書出版, 1997, p279-283.
- 6) 佐々木民人, 田妻 進, 茶山一彰: 膵・胆管合流異常と発癌, 消化器画像 2003 ; 5 : 175-179.
- 7) 猪狩功遺, 亀井 明, 佐藤栄一, 他: 胆道癌における3D-CT画像, 胆と膵 2001 ; 22 : 1097-1105.
- 8) 竹下浩二, 古井 滋, 山内禎祐, 他: ヘリカルCTをもちいたMinimum intensity projectionとCurved reformationによる主膵管描出, 日本医放
会誌 1999 ; 59 : 146-148.
- 9) 中村雄太, 芳野純治, 乾 和郎, 他: 膵疾患診断におけるヘリカルCT(MPR法)の有用性, 胆と膵 2000 ; 21 : 453-459.
- 10) 武富綾子, 石嶋秀行, 青木 純, 他: Multidetector CTが進展度診断に有用であった膵癌の1例, 日独医報 2000 ; 45 : 123-127.
- 11) Fishman EK, Wyatt SH, Ney DR, et al: Spiral CT of the pancreas with multiplanar display. AJR Am J Roentgenol 1992 ; 159 : 1209-1215.
- 12) Nino-Murcia M, Jeffrey RB Jr., Beaulieu CF, et al: Multidetector CT of the pancreas and bile duct system: Value of curved planner reformations. AJR Am J Roentgenol 2001 ; 176 : 689-693.
- 13) 浅原新吾, 猪狩功遺, 亀井 明, 他: 膵・胆管合流異常の診断—Multidetector row CT (MDCT) による診断, 消化器画像 2003 ; 5 : 215-220.

症 例 報 告

MR portographyが有用であった
門脈肝静脈シャントの1例

村上研一, 高松英夫, 野口啓幸, 田原博幸, 加治 建

鹿児島大学 小児外科

The efficacy of MR portography in
a Case of Intrahepatic Portosystemic Venous Shunt

Ken-ichi Murakami, Hideo Takamatsu, Hiroyuki Noguchi, Hiroyuki Tahara, Tatsuru Kaji

Department of Pediatric Surgery, Kagoshima University

Abstract We report a case of a girl with intrahepatic portosystemic venous shunt. She was 13 years old, and was admitted with a dysplasia of the right hip joint. Hepatic dysfunction was pointed out before the operation, and she was transferred to our hospital.

Abdominal US showed dilatation of the left portal branch and left hepatic vein, and multiple hyperechoic masses in the liver. We diagnosed it as a focal nodular hypertrophy (FNH) due to irregular distribution of the portal flow. Moreover, she showed mild hyperammonemia and hyper bile-acidemia.

She underwent an operation for ligation of the shunt 11 months after the first admission. We found the original was flowing into the hepatic vein after identification of the SVC and portal vein. We ligated the shunt flow after recognition of minimal elevation of the portal pressure. The intrahepatic nodule was found on intraoperative biopsy to be due to regenerative hypertrophy. After the operation, the right hepatic vein flow got better, with no dilatation of shunt flow or portal flow. She recovered from hyperammonemia and portal hypertension and was kept under observation at the Outpatient Clinic.

Keywords Portal hypertension, Intrahepatic portosystemic venous shunt, Hyperammonemia, Ligation, MR portography

はじめに

門脈肝静脈シャントは門脈下大静脈シャントに代表される門脈大循環シャントの1つであるが、その症状発現に期間を要することから発見が遅れることが多く、成人の場合高アンモニア血症にて、小児の場合ガラクトース血症を契機に発見される

ことが多い。今回我々は肝機能障害を契機に門脈肝静脈シャントの診断を受け、外科的治療が奏功した1例を経験したので報告する。

症 例

症例は13才0ヵ月の女児。2才時より指摘されていた右股関節形成不全に対する術前検査を進め

原稿受付日：2004年4月23日、最終受付日：2004年8月31日

別刷請求先：〒899-8520 鹿児島市桜ヶ丘8-35-1 鹿児島大学小児外科 村上研一

ていたところ肝機能障害を指摘された。このため腹部超音波検査を施行したところ肝内に多発性の結節病変を認めたほか、肝内門脈、左肝静脈の拡張を認めたため門脈大循環シャントの診断を受け、当科及び当院小児科を紹介された。来院時現症では意識障害などはなかったが、知能検査にてIQ-63と軽度の精神発達遅滞を認めた。本人は中学校の普通学級に通学していたが、問診を進めると特に午前中に倦怠感を認めることが多かったことが判明した。

【血液生化学検査】凝固能の低下と軽度の肝機能障害を認めたほか、軽度の高アンモニア血症と血中総胆汁酸の高値を認めた (Table 1)。腫瘍マーカーはいずれも正常範囲であった。当院小児科では高アンモニア血症の改善のために食事療法などが行われた。

【画像検査】腹部超音波検査では門脈右枝は描出不良であるのに対し門脈左枝と左肝静脈の拡張を認めたほか、肝内に散在する内部不均一なhyperechoic massを認めた (Fig.1)。腹部CTでも門脈左枝の著明な拡張と下大静脈との連続性が認められた。肝内の結節は辺縁部に強い造影効果を認めたが、各種画像検査で原発巣を認めず、腫瘍マーカーの上昇も伴わないことから転移性腫瘍は否定的でシャントによる血流不均衡に伴う限局性結節性過形成 (FNH) と思われた (Fig.2)。また、来院時軽度の

精神発達遅滞を認めたため頭部MRIを施行したところ、両側の淡蒼球がT1, T2強調画像においてともに高信号を呈しており、シャントによるマンガンの沈着 (Hepatocerebral degeneration) が示唆された。

門脈造影およびMR portographyでは門脈左枝から左肝静脈を介して下大静脈への造影剤の流入を認め、門脈右枝は描出されなかった (Fig.3)。この時、左肝静脈のバルーン閉塞を試みたが血管径が大きく断念した。また、門脈シンチでは心肝比0.86とかなりのシャントが認められた。以上より門脈から下大静脈へのシャントが著明であり、内科的治療が困難であるため手術の適応があると判断され小児科受診から11ヶ月後にシャント血管結紮術が行われた。肝上部から下大静脈と肝静脈および静脈管を同定したところ、それとは別にシャント血管が肝静脈に流入しているのが認められた (Fig.4)。

シャント血管結紮による門脈圧への影響を見るためにシャント血管遮断前後の門脈圧を測定した。門脈圧は遮断前が13cmH₂O、遮断後が19cmH₂Oと門脈圧の著明な上昇を認めないことを確認したためシャント血管を結紮した。また、この際に肝内の結節性病変のうちS8の腫瘍の一部を生検した。生検した腫瘍の病理組織所見では弱拡大像では小葉構造は失われ、結節様構造の周囲には線維性結合組織の増生を認めた。また結合組織内に細胆管の増

Table 1 Laboratory data on admission

WBC	5100 / μ l	D-bil	0.4 mg/dl	Na	139 mEq/L
Eo	6 %	AST	47 U/L	K	4.0 mEq/L
Neu	41 %	ALT	39 U/L	Cl	108 mEq/L
Seg	0 %	LDH	470 IU/L	Ca	8.8 mg/dl
Ly	47 %	ALP	503 IU/L	CRP	0.05 mg/dl
Mo	6 %	ChE	205 IU/L	FBS	85 mg/dl
RBC	405 $\times 10^4$ / μ l	GT	45 IU/L	NH3	138 ng/ml
Hb	13.2 g/dl	AMY	46 IU/L	TBA*	171 μ mol/l
Ht	38.0 %	CPK	93 IU/L	Galactose	2.0 mg/dl
Plt	22.1 $\times 10^4$ / μ l	TP	6.8 g/dl	HBsAg	(-)
		BUN	5.4 mg/dl		
PT	67 %	Cre	0.4 mg/dl	Ferritin	41 ng/ml
APTT	47.4 sec			NSE	6.7 ng/ml
Fib	240 mg/dl			CEA	2.3 ng/ml
HPT	61 %			AFP	1.2 ng/ml
ATIII	72 %				
T-bil	0.9 mg/dl				

*TBA : Total bile acid

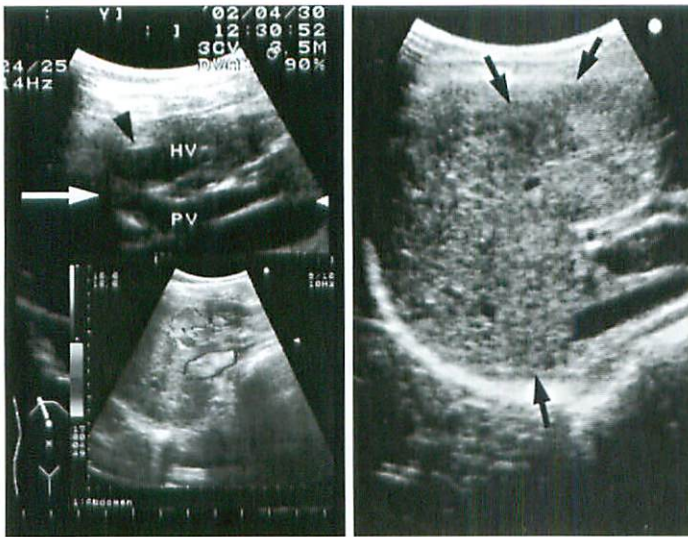


Fig.1 Abdominal ultrasonography
Abdominal ultrasonography shows dilatation of the left branch of the portal vein (white arrow) and the left hepatic vein (black arrowhead). It also shows multiple hyperechoic nodules in the liver (black arrows).

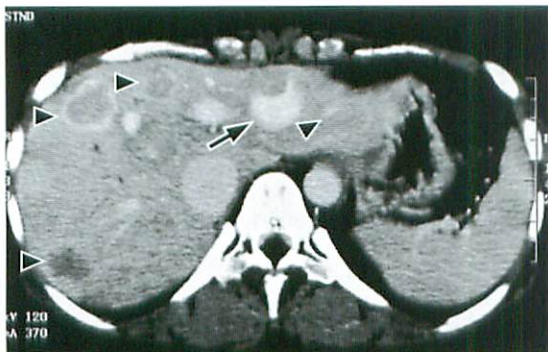


Fig.2 Preoperative computed tomography
CT shows multiple nodules with enhancement (arrowheads). It also shows a dilated left portal vein (arrow).

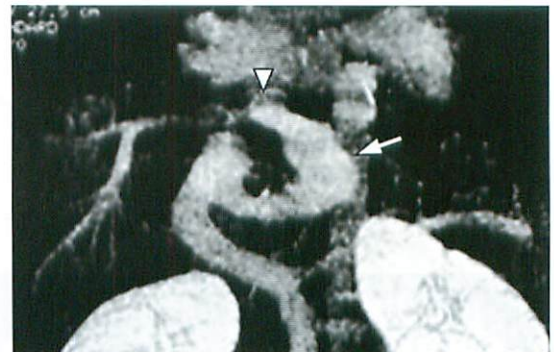


Fig.3 MR portography
MR portography shows an intrahepatic porto-hepatic venous shunt (arrow). Shunt flow went into the left hepatic vein (arrowhead).

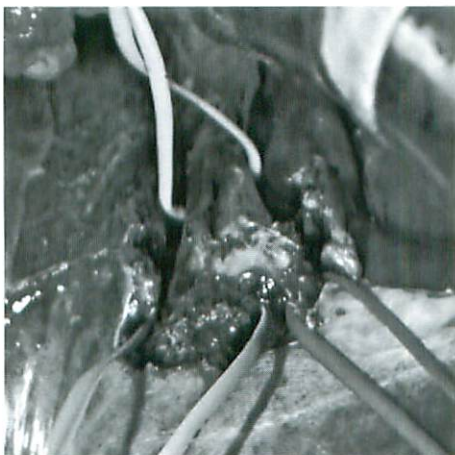
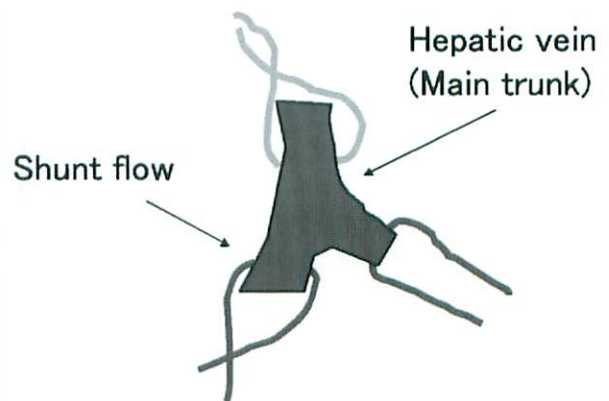


Fig.4 Intraoperative findings
Intraoperative findings show a shunt flow (arrow) into the left hepatic vein.



生を多数認めた。結節内の肝細胞は、索構造には異常は認められず、核も異型は認められなかった。血管系の構築では正常に比べやや門脈の形成は乏しい印象を受けた。以上より最終病理診断はFNHであった。術後の血中アンモニア値と総胆汁酸値は術直後から著明に低下し正常値以下を推移して

いる (Fig.5)。

術後の各種画像検査ではシャント血管や門脈の拡張もなく描出の不良であった右門脈の血流も良好となっている。腹部造影CTで認められた肝内の多発結節病変は術後著明に消失または減弱した (Fig.6)。術後8ヵ月時に施行した頭部MRIでは術前の両側

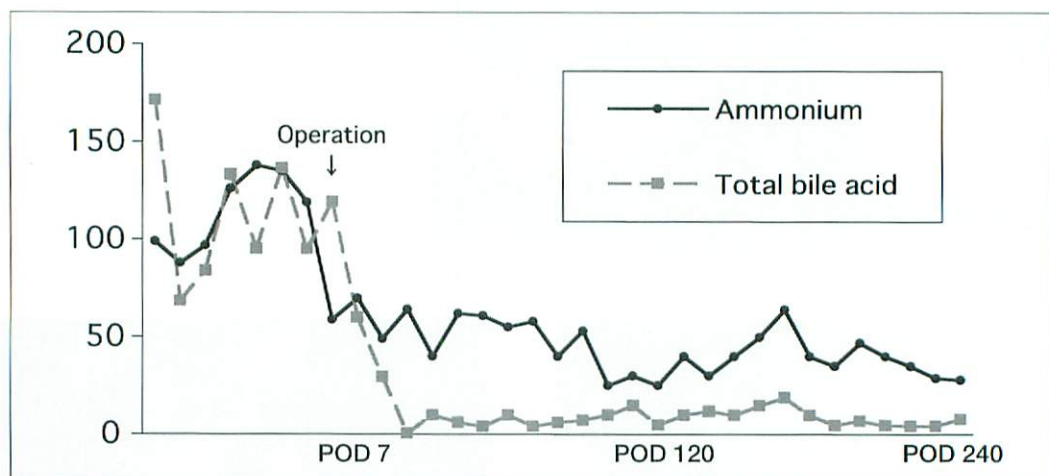


Fig.5

The level of serum ammonium and total bile acid after the operation went down dramatically.

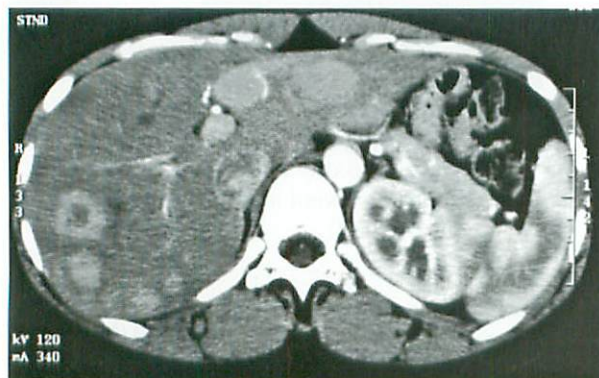


Fig.6 Multiple enhanced nodules were reduced dramatically 8 months after operation.

a : CT scan before operation



b : CT scan after operation

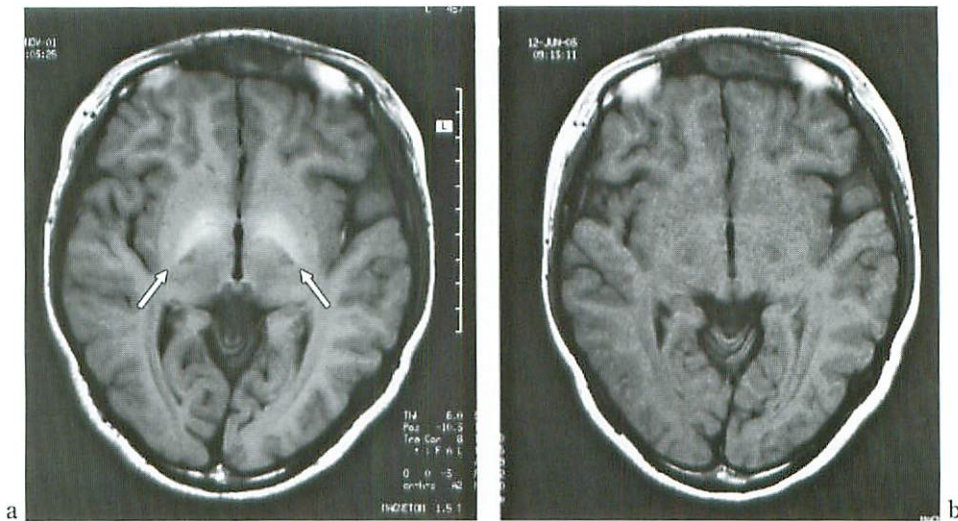


Fig.7 The high signal area on T1 of bilateral globi pallidi vanished (arrows).

a : Head MR Image before operation.

b : Head MR Image 20 months after operation.

淡蒼球の高信号域も消失していた (Fig.7)。現在シャント血管の結紮による門脈圧亢進症状も出でらず、経過良好にて外来通院中である。

考 察

門脈肝静脈シャントは門脈大循環シャントの一種であり文献的にも報告例が少ないが、高アンモニア血症やガラクトース血症などの代謝異常^{1, 2)}に伴う形で発見されることが多い。血液生化学検査上は肝機能障害や凝固能異常を認める他、アンモニア、ガラクトース、総胆汁酸、マンガン値の上昇も伴うことが多い。これは肝で代謝されるべき物質がシャントの存在により体循環へ流入するため、高アンモニア血症の場合は肝性脳症の状態で見られることもある^{3, 4)}。また脳MRIではマンガン沈着によると思われる淡蒼球の高信号化を認めることもあり⁵⁾、本症例では軽度の肝機能障害と凝固能異常に加えて血中アンモニア、総胆汁酸の上昇を認め、更にMRIでは淡蒼球の高信号化を認めた。診断は腹部超音波検査にて門脈の狭小化⁵⁾、または不均一な口径と下大静脈と交通するシャント血管を同定することが一般的であるが、場合によっては3-D CTやAngiographyも併用することが有用⁷⁾な場合もある。今回の症例ではAngiographyに比して侵襲が少ないながらも鮮明

で立体的な画像情報が得られるMR portographyが有用であった。治療は開腹術にてシャント血管を同定し結紮することが望ましいが、術後の門脈圧上昇のリスクも考慮して術中に門脈圧を測定してから結紮に踏み切ることが重要である。二川らは術後の門脈圧亢進症の発生を危惧して門脈圧が遮断前の50%以下の上昇にとどまるものを適応としている⁸⁾。この適応外で遮断した場合、術後に食道静脈瘤の増悪や腹水の貯留などが起こる可能性がある。最近ではB-RTO (バルーン下逆行性経静脈的塞栓療法) などの放射線学的な治療法も発達してきている^{5, 9, 10)}。予後については一般的に良好なものが多いが、肝性脳症を伴った症例では肝硬変を合併していることが多く、これによる消化管出血や肝不全を呈した場合は不良である。術後は高アンモニア血症や高胆汁酸血症などは比較的速やかに正常化し、小児の場合正常な発育発達が期待できる。また、経過中見られた肝内結節はシャントによる血流の不均衡により生じたものと考えられており¹¹⁾、ほとんどが良性である。しかし、一部には肝細胞癌などとの鑑別が困難である¹²⁻¹⁴⁾ため、生検のみならず腹部超音波検査や腹部CT検査などの画像検査により悪性化の徴候がないかを監視する必要がある。

まとめ

1. 門脈肝静脈シャントの1例を経験した.
2. 診断においてMR portographyが有用であった.
3. シャント血管の遮断により, 術前に認められていた肝内の多発結節は著明に減少し, 高アンモニア血症と高総胆汁酸血症は速やかに改善した.

●文献

- 1) 佐倉伸夫: ガラクトース血症の鑑別診断. 小児科 2002; 43: 1445-1453.
- 2) 渡辺 幸, 五十嵐登, 藤田修平, 他: 高ガラクトース血症が診断の契機となった肝内門脈短絡の新生児例. 富山県立中央病院医学雑誌 2000; 23: 52-54.
- 3) 猪瀬 正: 肝脳変性疾患の一特殊型. 精神経誌 1950; 51: 245-271.
- 4) 水野崇志, 高 濟峯, 小林豊樹, 他: 上腸間膜静脈瘤を介した門脈一大静脈シャントの外科的遮断により軽快した猪瀬型肝性脳症の1例. 日消外会誌 2002; 35: 161-165.
- 5) 橋本健一, 高橋宏樹, 渡辺文時, 他: バルーン閉塞下逆行性経静脈的塞栓術(B-RTO)による胃腎シャント閉塞が奏功した非肝硬変性反復性シャント型肝性脳症の1例. 日消誌 2001; 98: 42-47.
- 6) 内藤久美子, 内藤 晃, 伊藤勝陽: 門脈大循環短絡の超音波診断. 日本小児放射線学会雑誌 2003; 19: 30-36.
- 7) 辻本達寛, 石川昌利, 飯岡弘伊, 他: 経静脈的造影超音波検査が診断に有用であった肝内門脈肝静脈短絡の1例. 肝臓 2003; 44: 76-79.
- 8) 二川俊二, 深沢正樹, 神田博司, 他: 短絡形成の実態と種々相一傍臍静脈と脾胃腎短絡を中心として. 厚生省特定疾患門脈血行異常症調査研究班 平成3年度研究報告書 1991: 216-219.
- 9) 植松孝広, 加藤則廣, 森脇久隆, 他: 肝不全の成因における門脈因子の関与-B-RTOによる肝不全の改善. 消化器画像 2001; 3: 779-784.
- 10) 田中宏明, 菅原敬文, 菊池恵一, 他: 門脈一大循環シャントに対しコイル塞栓術を行った肝性脳症の1例. 臨床放射線 2001; 46: 1442-1446.
- 11) 樫田博史, 織野彬雄: シャント型脳症に対する短絡路温存門脈大循環分流術. 消化器画像 2001; 3: 771-777.
- 12) Lalonde L, Van Beers B, Trigaux JP, et al: Focal Nodular Hyperplasia in Association with Spontaneous Intrahepatic Portosystemic Venous Shunt. Gastrointest Radiol 1992; 17: 154-156.
- 13) 篠藤浩一, 尾崎正彦, 有我隆光: 画像診断上FNHに類似し病理診断上肝細胞癌を疑われた肝腫瘍の1例. 消化器画像 2001; 3: 237-242.
- 14) Yoshidome H, Edwards MJ: An Embryological Perspective on Congenital Portacaval Shunt: a Rare Anomaly in a Patient with Hepatocellular Carcinoma. AJG 1999; 94: 2537-2539.
- 15) Yoshimitsu H, Mori H, Kimura T, et al: Congenital extrahepatic portocaval shunt associated with hepatic hyperplastic nodules in a patient with Dubin-Johnson syndrome. Abdom Imaging 2000; 25: 572-575.