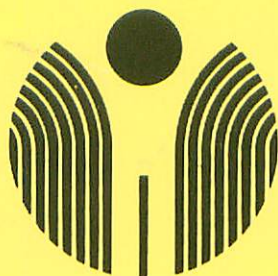


JSPR

Vol. 14 No. 1 1998

Journal of
Japanese Society of Pediatric Radiology

日本小児放射線学会雑誌



特集／小児の被曝線量低減の試み

総説／第33回日本小児放射線学会より
教育講演

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



Edited by

Ehiichi Kohda, M.D. Takao Fujimoto, M.D.
Toshio Fujiwara, M.D. Kazuteru Kawasaki, M.D.
Hiroyuki Mochizuki, M.D. Shunsuke Nosaka, M.D.

CONTENTS

Special Articles *Radiation Exposure Reduction in Pediatric Radiology*

Introduction	Ehiichi Kohda.....	3
Plain Radiography	Shoji Nishiyama.....	4
Fluoroscopy	Mutsuhisa Fujioka.....	11

States of the Arts

33th Annual Meeting of the Japanese Society of Pediatric Radiology		
Contrast Media for Children		
— Analysis of current state, topics and future —		
.....	Ryohei Kuwatsuru, et al.	19
Sedation during Diagnostic Radiologic Procedures on Pediatric Patients		
.....	Shoji Asahara	25

Original Articles

Evaluation of Three-dimensional Contrast-enhanced MR Angiography in Pediatric Body Vascular Lesions	
.....	Yasunori Tanaka,et al.34

Case Reports

A Case of Hemorrhagic Intestinal Aneurysm Detected by Blood Pool Scintigraphy with ^{99m} Tc-human serum albumin	Satoshi Asano,et al.	44
The Usefulness of MRI for Detection of Bone Marrow Metastasis in Neuroblastoma:A Case Report	Hiroshi Yoshida,et al.	48



日本小児放射線学会雑誌

Journal of
Japanese Society of Pediatric Radiology



特集 小児の被曝線量低減の試み

特集を企画するにあたって	甲田 英一	3
単純X線検査	西山 章次	4
X線透視検査	藤岡 睦久	11

総説

第33回日本小児放射線学会

〈教育講演より〉

小児における造影剤

— 現況の分析と問題点および今後の展望 — 桑鶴 良平, 他 19

小児放射線検査の鎮静について 朝原 章二 25

原著論文

小児体幹部領域における3D造影MR angiographyの検討

田中 康敬, 他 34

症例報告

^{99m}Tc-HSA-Dを用いた出血シンチグラムが出血部位同定に有用であった

小児の小腸粘膜下動脈瘤の1例 朝野 聡, 他 44

MRIにて胸椎、腰椎の骨髄転移が確認された神経芽腫の1例

吉田 裕, 他 48

日本小児放射線学会規約	53
日本小児放射線学会細則	55
日本小児放射線学会雑誌投稿規定	56

特集

小児の被曝線量低減の試み

Radiation Exposure Reduction in Pediatric Radiology

特集を企画するにあたって

甲田 英一

慶應義塾大学医学部 放射線科学教室

Ehiichi Kohda

Department of Radiology, Keio University

今回から本誌に各編集委員の責任で特集を組むこととなりました。記念すべき第一回の特集を組むに当たって、種々の案が浮かびましたが、我々の大きな責務のひとつである小児X線検査の被曝線量低減をテーマに選びました。

患児の被曝線量を低減するためには、1) 日本における小児放射線被曝の現状、2) 小児における放射線被曝線量とその障害の関係を認識していることが前提となります。これらについては、第一回目の特集は学会会長、学会理事長のお二人だけで執筆していただきたいとの思惑で、割愛させていただきました。詳細は藤岡理事長が作製されました本学会のホームページ、radiology.dokkyomed.ac.jp/jspr/home.htmlを参照してください。

実際にX線検査による患児の被曝線量を軽減させるためには、西山会長が特集内で述べられていますように、X線検査が行われることの正当性と、経済的および社会的に見て達成できる最大限の被曝線量低減法（放射線防護の最適化）、の二つの面を検討する必要があります。

前者については各施設の装置、医師の能力によって異なる点、疾患によって未だ統一見解が出ていない部分があります。これらについてはこの特集を契機に、今後とも議論を進めたいと考えています。後者については他の国と比べて経済的および社会的制限が少ない日本にあっては、議論の余地は少なく、日本中で行われている財政上の無駄を無くすこと、小児医療に対する官僚の無知を知らしめることで実行可能、克服されるべきことと思います。

本学会の目的は会則にあるように小児の健康増進にあります。これを推進するに当たっては、とかく診断や治療手技に関する知識に意識が向かいがちですが、会員個々が患児の被曝線量を日常診療の中で低減する努力も必要です。確率的な障害は個人の経験の中では頻度が薄まってしまう、実感しがたいものですが、その危険性を認識することで、明らかに低下させることが可能です。今回の特集で記載されていることで、会員諸兄姉の施設で行われていないことがありましたら、ぜひ取り入れて下さい。

特集 小児の被曝線量低減の試み

小児単純X線検査の被曝線量低減の試み

西山 章 次

神戸リハビリテーション病院 放射線科

Radiation Exposure Reduction in Pediatric Radiology ~Plain Radiography~

Shoji Nishiyama

Department of Radiology, Kobe Rehabilitation Hospital

Abstract

Plain radiograph, especially chest x-ray film, is probably the most common imaging procedure used in pediatrics. Many clinicians are apt to take plain radiographs so easily. Though radiation dose of one plain radiograph is very small, total dose in whole pediatric patients may be quite large. In order to reduce the radiation dose in patients, it is of prime importance to make a strict consideration of the indications before taking plain radiographs in every case. As shown in WHO Technical Report "Rational use of diagnostic imaging in paediatrics", we must evaluate the need for imaging, need for x-ray examinations and efficacy of various imaging modalities in comparison. Of course, unnecessary x-ray examination should not be done. When x-ray examination is indicated, we must do our best to obtain the best results with minimal x-ray exposure. Several technical problems concerned with dose reduction including exposure factors, x-ray film and screen, collimation, shielding and patient immobilization are discussed briefly.

Key Words : Dose reduction, Plain radiograph, Pediatric radiology

はじめに

X線の発見以来、その最も基本的な医学的応用であるX線撮影法は、装置は小型で比較的安価であり、検査は安全かつ短時間で済み、しかも画像としてはきわだって解像力に優れ、情報量が多いという特徴の故に、広く普及し長く画像診断法の中心であった。しかしX線検査には放射線被曝による障害という無視できぬ問題点があり、ことに小児においては成人の場合以上に重要な問題点としてとりあげられ論議されて

きた。ともすれば安易に行われがちなX線撮影に対し、昨今は個々の症例について「診断と治療に画像診断が必要か」「X線診断が必要か」を必ず問うことが求められ、さらに最近めざましい発展を遂げた超音波検査、X線CT、核医学検査、MRIなど特色ある新しい画像診断法との比較において、各々の検査法の適応、限界などを十分を考えあわせ、行うべき検査法を選択する時代になっている。

X線検査の中でも単純X線撮影法は、あらゆる画像診断法の中で最も行われる頻度が高い。

したがって一度の撮影による被曝線量はさほど多いものではないが、被曝の総量を考える場合、単純撮影法における被曝の低減は、他の各種X線検査法の場合にもまして重要な課題と思われる。X線撮影時の被曝とその低減への取組みに関してはずでに多くの検討がなされ、すでに論じつくされたかの感があるが、ここであらためて問題点を整理してみたい。

小児の特殊性

放射線被曝は、小児に限らずあらゆる年齢層において留意せねばならないが、その影響は、小児においては成人の場合よりも格段に大きいとされる。その理由は、成人に比べ、①臓器の放射線感受性が高く、甲状腺癌、白血病、乳癌などが誘発される危険性が大きいこと、②平均余命が長いために、放射線の影響が将来出現する確率が高いこと、③近い将来、生殖可能年齢に達するため、遺伝的な影響が問題となることなどが挙げられる。しかし一般的に言えば単純撮影における被曝線量は、年間の自然放射線による被曝よりも少なく、常識的な回数の撮影においては、その個体に目に見える形で障害が現れることはまずないと考えられている。一方、確率の影響と考えられる遺伝的影響についても一般の診断上必要な被曝の範囲ではほとんど問題ないとされてはいるが、100%の確実さで影響が否定できない限り、被曝を最低にとどめるような努力が必要とされる。放射線被曝についての世間一般の関心も高まり、障害を恐れるあまり必要と考えられるX線撮影までも拒否する事例も、ときに見受けられる。このような点から小児の画像診断に携わる医師および放射線技師は、常に被曝に対し十分な関心と正しい知識を持って診療を行う必要がある。

放射線被曝の低減に関しての基本的な事柄

医療目的で患者の受けるX線被曝には、いわゆる許容量という線量制限は存在しない。しかしICRP（国際放射線防護委員会）は、放射線防護についての勧告として、行為の正当化

（justification）と防護の最適化（optimization）の2点をあげている。行為の正当化とは、放射線被曝を伴う行為は、それによる利益と損失を比較し、利益が損失にまさることが明らかとなきのみ正当化されるということである。防護の最適化とは、正当化された行為について、その利益を損なわずにできるかぎり被曝線量を少なくするよう努めることであり、実際には社会的あるいは経済的状况からみて妥当と考えられる範囲で行う被曝線量低減への努力である。

具体的にはX線検査の施行を決めるにあたって次のような検討が必要となる。

- 1) 画像検査が必要かどうかについての検討
- 2) X線検査が必要かどうかについての検討
- 3) 代わりうる、X線を用いない検査があるかどうかについての検討
- 4) X線検査を行うとすればどのような方法をとるべきかについての検討

これらのうち1)～3)は、医師の判断によって行われるべきものであって、不必要な検査は行わないという基本的な方針にもとづき、患児の症状、病歴、臨床所見などから、画像検査の必要性、その検査から得られる検査結果が患児の治療、予後におよぼす影響、さらにそれが放射線を用いる検査の場合、被曝のない代替検査がないかなどについての総合的な検討と判断がこれに該当する。WHOによる小児画像診断ガイドライン「小児科領域における画像診断法の合理的利用法」Rational use of diagnostic imaging in paediatrics（藤岡睦久訳 金原出版）はこの検討を系統的かつ詳細に行ったもので、全身各部位における数多くの疾患において、どのモダリティーが診断上最も有用であるかをいろいろな面から詳しく検討して作成したガイドラインである。被曝を避けるためには、もし放射線を用いた検査に代わりうる他のモダリティーがあれば、これを用いることがすすめられるが、どれを用いるかについてはそれぞれの検査法の診断能、侵襲性、費用、所要時間など多くのファクターを考える必要がある。国による医療事情の違いも大きく、また国内におい

でも各施設の状況はかなり異なり、このガイドラインの適用については相当に柔軟な判断が必要である。不必要な検査は絶対に行うべきでないが、検査を行うことで患者自身が大きい利益を受けることが明らかと考えられる場合には、その検査によって多少の被曝があるとしても躊躇なく必要な検査を施行する決断が必要である。小児では診断の遅れが重篤な結果を招くことが少なからずあることを銘記すべきである。

X線検査時の被曝をどうすれば 最少にできるかについての検討

画像検査が必要であって、その中でX線検査が最も適当であるとされた場合、それをどのように行うかの判断が次に必要となる。不必要な放射線被曝を避けるというのが基本であるが、最も合理的な撮影法を決定するために、医師と実際に撮影を担当する放射線技師の両者が医学的な知識と技術的な知識と工夫を出し合う形で検討すべきものである。具体的には撮影法の選択、使用機器、撮影部位、撮影方向、撮影枚数、必要かつ可能な部位については局所的な防護を行うなど多くの技術的問題点についての検討が含まれる。

1) 撮影法

どのようなX線撮影が必要か、患児の病状、臨床検査成績にもとづき、場合によっては他科医師の意見を求めて行うべき撮影法をきめる。また他院からの紹介患者であれば前医での検査結果を参考に、検査施行の要否を慎重にきめる。画像診断に詳しい放射線科医師と病状および疾患について詳しい他科医師との密なコミュニケーションが重要である。

2) 撮影方向、撮影枚数

診断と治療に必要なかつ十分な情報を得るための具体的な撮影法、すなわち目的臓器、体位、位置づけ、X線入射方向などを、この検査で何を知りたいかという十分な目的意識を持ってプランする。

3) 撮影電圧

管球電圧が高くなればなるほどX線の透過率

が高くなり、同じ濃度の写真を得ようとする場合、患者における吸収線量は著しく少なくてすむようになる。高圧電源の波形と使用するフィルタにも関連するが、この傾向は一般に100kVp位までは顕著に認められ、それ以上の電圧になると減少の程度は少なくなる。したがって被曝線量減少のために行う高圧撮影であれば100kVpあたりが限界と思われる。一方撮影電圧が高くなると、コントラストの低下と散乱線の増加という画像上でのマイナス面が現れるため、画質の点からわれわれの施設では特殊な目的の場合を除き、おおよそ50kVpから120kVpの間で対象に応じて選択している。

4) 増感紙、フィルムの選択

一般に感光材料の感度と画質（粒状性）は相反するもので、高感度になればなるほど粒子が粗く、画質が悪くなる。できるだけ高感度で粒状性のよい感光材料を用いることが常識となっているが、診断目的、部位などによって特性、ラチチュードなども考え併せて増感紙、フィルムの組み合わせが選択されることになる。現在われわれの施設で用いている増感紙、フィルムの組み合わせは、胸部はLenex MとSR-LおよびTMS、腹部・骨・一般はHGMとUR-2、長尺はHR-3～8とHRSであるが、小児病院の中でもさまざまな選択が行われている。

Table 1とTable 2は全国の主要な小児病院に依頼して得た胸腹部の撮影条件のアンケート調査の結果である。もちろんここに示された撮影条件は被曝低減のみを目標にしたものではなく、診断上必要な画質を保った上での被曝低減への努力と考えるべきものである。

5) グリッド

新生児、乳児など小さな個体においては、散乱線の量が非常に少ないために、グリッドは必要がなく、これを省くことによって線量を減じうる。しかし体厚の大きい年長児になると、部位にもよるが、管球電圧を高めに設定し、散乱線の増加に対してはグリッドを使用して撮影の方が画質の点で有利で、この方が一般的である。

Table 1. Exposure Factors of Chest Radiography at Children's Hospitals in Japan

Hospital	Age	Voltage kV	Amperage mA	Time msec	Distance cm	Photo timer	Grid	Film	Screen
A	6 M	80	320	12	180	—	—	CR780H	
	5 Y	110	200	12	180	—	+	CR780H	
B	6 M	70	630	10	200	—	—	SUPHRS	HR-4
	5 Y	71	630	10	200	—	—	SUPHRS	HR-4
C	6 M	90	1,000	2.5	180	—	—	HRS	HR-4
	5 Y	100	1,000	2.5	180	—	+	HRS	HR-4
D	6 M	80	320	10	200	—	—	FCR	
	5 Y	100	160	16	200	—	—	FCR	
E	6 M	100	100	6	150	—	+	UR-2	HG-H
	5 Y	105	100	6	150	—	+	UR-2	HG-H
F	6 M	94	320	8	150	—	+	FCR	
	5 Y	117	260	7	180	—	+	FCR	
G	6 M	100	400	5	150	—	+	New A	IVR160
	5 Y	113	400	5	200	—	+	New A	IVR160
H	6 M	90	320	6.3	150	—	+		
	5 Y	90	320	6.3	150	—	+		
I	6 M	60	150	16	110	—	—	FCR	
	5 Y	110	10mAS		200	+	+	FCR	
J	6 M	90	2 mAS		100	—	+	RX	BF 3
	5 Y	90	2.5mAS		100	—	+	RX	BF 3
K	6 M	75	400	5	150	—	+	TMS	HR-8
	5 Y	85	250	4-8	150	+	+	TMS	HR-8
L	6 M	82	100	6	200	—	—	HRH	SH12
	5 Y	85	100	6	150	—	—		SH12
M	6 M	102	882	1.7	200	—	+	CR780H	
	5 Y	105	882	1.7	200	—	+	CR780H	
N	6 M	60	1.9mAS		120	+	—	TMS	LenexM
	5 Y	80	3 mAS		180	+	+	SRL	LenexM

Table 2. Exposure Factors of Abdominal Radiography at Children's Hospitals in Japan

Hospital	Age	Voltage kV	Amperage mA	Time msec	Distance cm	Photo timer	Grid	Film	Screen
A	6 M	70	320	14	180	—	—	CR780H	
	5 Y	70	320	30	180	—	+	CR780H	
B	6 M	71	160	10	100	—	—	SUPHRS	HR-4
	5 Y	74	160	10	100	—	—	SUPHRS	HR-4
C	6 M	80	1,000	2.5	130	—	+	HRS	HR-8
	5 Y	80	1,000	2.5	100	—	+	HRS	HR-8
D	6 M	64	320	20	150	—	—	FCR	
	5 Y	72	320	50	150	—	—	FCR	
E	6 M	70	200	40	150	—	+	UR-2	HG-H
	5 Y	70	200	80	150	—	+	UR-2	HG-H
F	6 M	75	300	20	100	—	+	FCR	
	5 Y	78	316	25	100	—	+	FCR	
G	6 M	70	400	10	110	—	+	New A	IVR160
	5 Y	72	400	15	110	—	+	New A	IVR160
H	6 M	75	800	6.3	150	—	+		
	5 Y	75	800	10	150	—	+		
I	6 M	60	300	20	110	—	—	FCR	
	5 Y	70	10mAS		110	+	+	FCR	
J	6 M	75			100	—	+	RX	HiSeB 2
	5 Y	75	320			—	+	RX	HiSeB 2
K	6 M	60	500	10	150	—	+	CR	
	5 Y	75	400	10-15	150	+	+	CR	
L	6 M	82	100	6	200	—	—	HRH	SH12
	5 Y	85	100	20	150	—	—	HRH	SH12
M	6 M	70	443	7.9	100	—	+	CR780H	
	5 Y	70	428	1.4	100	—	+	CR780H	
N	6 M	60	2.2mAS		120	+	—	TMS	LenexM
	5 Y	75	5.4mAS		100	+	+	SRL	LenexM

6) フィルタ

装置に標準的に装着されている軟線除去のフィルタに加えて、被曝線量を低減する目的で付加フィルタを使用することも行われるが、小児領域では一般的ではない。

7) 撮影テーブル、カセット、フィルムチェンジャーの表面材料

通常の撮影台のように患児とフィルムの間に撮影テーブルが位置するような撮影台では、テーブルの材質はできるだけX線吸収の少ないものが好ましく、次第にそのような材質のものに移行しつつある。カセットなどにも最近ではカーボンファイバー製のものがよく用いられているが、これによってテーブル等による吸収を20～40%低減でき、その分だけ被曝の低減が可能になるとされている。

8) 自動露出制御装置

通常の使用においては、極端なX線量の過不足のない一応のレベルの画像が得られる便利な機構であるが、小児病院では使用していない施設が多い。新生児、乳児などの撮影において信頼性が低いことも一因と思われるが、多くは必要性をあまり感じていないためと思われる。

9) 固定具の利用

撮影に協力の得られない年齢の被検者に対して、体動や位置づけ不良による再撮影を少なくするために有効な固定具の使用がすすめられる。撮影部位により種々の異なった製品が市販され、また施設独自の工夫で製作されている。Fig. 1は乳児・幼児用のオートフィルムチェンジャーを用いての胸部撮影の状況である。このほか発泡スチロールやマジックテープ、ストッキネットなどありふれた材料を有効に使っての固定も実際的である。

10) 適切なコリメータ(絞り)の使用

現在ではほとんどすべての装置に多重絞りが用意されており、これを用いて診断に必要な部分だけに絞り込むことが可能である。一般的な多重絞りでは主線錐外に5 cm離れると散乱線だけが問題となって、適切に多重絞りを使用すれば年長児の胸部撮影では腰部の防護エプロンは

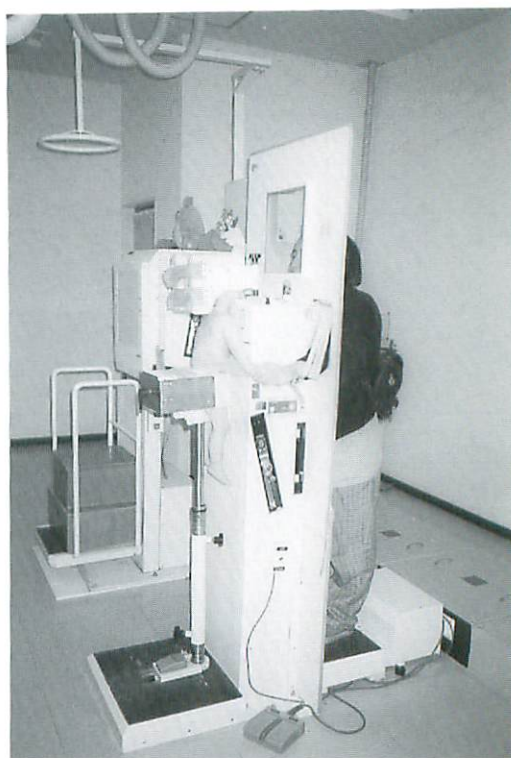


Fig.1 Auto-Film Changer designed for chest radiography of infants and children. (Kobe Children's Hospital)

必要ない。

11) 生殖線防護

撮影に際しては男児、女児いずれにおいても生殖腺防護に留意することが常識となっている。もちろん生殖腺だけではなく、他の身体部分についても不必要な被曝は極力避けるべきであるが、一般的認識としては生殖腺防護がまず第一に考えられており、ことに股関節の撮影において多重絞りによる撮影範囲の十分な絞り込みに加えて、絞りでは遮蔽できない部位に対しては鉛ゴムなどで作製した種々の大きさの遮蔽物で可能な限りの防護が行われている。生殖腺が線錐内にあるときでも、局所遮蔽によって男性では生殖腺被曝線量を95%減少させることが可能で、女性では減少効果は少ないが約50%程度減じる。絞りの性能にもよるが、一般に生殖腺が一次線錐から5 cm離れていれば別の局所遮蔽を加えて行う必要はないとされる。

12) 個々の臓器における特別な配慮

乳房、眼など特定の臓器においては、放射線被曝による将来の障害をあり得ることとして考えねばならない。WHOのガイドラインでは、思春期の少女の胸部写真は支障がないかぎり後前方向で、また頭部についても眼球への被曝を考慮して後前方向で撮るべきであるとしている。

13) 装置の管理

装置の不調による撮影の失敗は、過度の被曝、再撮影による不要な被曝などをもたらす。不可抗力ということもありうるが、あってはならぬことで、十分な装置の管理体制と入念な事前のチェックとが求められる。

14) 再撮影

再撮影を少なくすることは、小児の被曝の低減に重要である。再撮影の原因の多くは撮影時の体動、位置づけの不適當、撮影条件不良などであり、適切な固定具の使用、短時間曝射、自動露出制御装置の使用などで避けることができる。デジタル量として画像を処理するコンピュータードラジオグラフィでは、多少の不適切な撮影条件はコンピュータ処理によって補正し、診断に適した画像をつくるのが可能で、条件不良による再撮影を著しく少なくすることができる。いずれにせよ再撮影を指示するのは医師であるから、読影を行う医師の能力と被曝に関する認識の程度が、再撮影の頻度を大きく左右することになる。医師は十分な読影力で、多少の条件不良のフィルムからでも多くの情報を読みとり、再撮影を極力少なくするよう努めなければならない。最近あまり用いられないが、高照度のスポット観察装置も、条件オーバーのフィルム読影に場合によって役立つ。

15) X線TV・イメージインテンシファイヤ

単純撮影にX線テレビやイメージインテンシファイヤ(I.I.)を用いることはほとんどないが、金属異物誤嚥のような場合、異物の存在、位置確認などにやむを得ずごく短時間の透視を行うことがある。このような場合も被曝線量を考慮して、透視時間を短く、実用的な範囲で管

球電流を少なくする配慮が必要である。横隔膜の動きをみるには胸部撮影を行うよりもX線透視を行う方が实际的である。X線透視では通常のX線撮影と異なり、連続性にX線が曝射されるため、それによる被曝は相当な線量になりうる。VTRを用い得るならば、これを有効に使って実透視時間を最少にとどめるよう努める必要がある。

16) デジタル画像

近年、コンピュータ技術のめざましい進歩とともに、画像診断の領域でも画像情報をデジタル信号として取り扱ういわゆるデジタルラジオグラフィが実用化され、広く用いられるようになりつつある。一般的なデジタルラジオグラフィのメリットはデータの収集、画像処理、伝送、記憶など診断面における諸点にあると考えられるが、その一つの応用である画像処理によって再撮影を行わずにすませう場合も多く、この点での被曝線量の低減も意義深い。

17) PACS(picture archiving and communication system)

X線撮影、CT、MRI、超音波検査など多種多様な画像診断装置から得られる各種の画像を、磁気ディスクや光ディスクなどの大容量ファイルに保管し、LAN(local area network)によって接続された高速演算装置、各種ワークステーションへ伝送するシステムである。画像情報のネットワーク化により、施設間の情報の交換がスムーズに行われるようになれば、他院受診の際に生じうる不必要な検査の重複を避けることができ、無用な被曝をなくすることができる。

まとめ

単純X線撮影はあらゆる画像診断法の中でも最も頻繁に行われる検査である。X線撮影はX線が五感に感じられることなく、通常の撮影では急性障害としてその影響がその場で現れることがないため、ともすれば安易に行われやすい。通常の病院では多くの診療科の医師からの撮影指示があり、なかにはX線被曝についてほとん

ど知識、関心のない医師からの指示も多くあり得ると思われる。被曝防護を考える上で、これら医師および放射線技師に対しての被曝に関する十分な教育、啓蒙がきわめて重要である。さらに不必要な検査が行われるのを防ぐために、病院内の画像診断のルールおよびシステムづくりも重要である。もちろん疾患については他科医師の方が豊富な知識をもつ場合が多く、患児の病状についても詳しいことが多いのは当然で、画像診断が適切に行われるにはそのような臨床的情報の交換がスムーズに行われることが必須条件と考えられる。その上で正しく病状を把握するために、①どのような検査が必要か、②それはX線検査でなければならないか、③他の代わりうる検査がないか、などについての的確な判断を下さなければならない。画像診断に携わる医師は広く各種疾患の画像所見、疾患についての知識をもち、速やかに確定診断に到達で

きるよう最も合理的な検査プランを考え、検査を施行する立場にある。われわれは被曝について無知であってはならず、決してこれを軽視してはならないが、過度に被曝を恐れて必要な検査を行うことを躊躇し、診断を誤ったり、診断に長時間を費やすようなことがないよう、検査の施行についての的確な判断と決断を下すよう努めなければならない。

●文献

- 1) ICRP Publication 34: X線診断における患者の防護 Protection of the Patient in Diagnostic Radiology. Annals of the ICRP, 1982 9; 2/3.
- 2) WHO小児画像診断ガイドライン: 小児科領域における画像診断法の合理的利用法 Report of a WHO Study Group. WHO Technical Report Series, 1987, No.757.

特集 小児の被曝線量低減の試み

小児X線透視検査の被曝線量低減の試み

藤 岡 睦 久

獨協医科大学 放射線医学教室

Radiation Exposure Reduction in Pediatric Radiology - Fluoroscopy -

Mutsuhisa Fujioka

Department of Radiology, Dokkyo University of Medicine

Abstract

Although fluoroscopic examinations are not so commonly performed in infants or children, several particular procedures have potential danger to expose a considerable amount of radiation to the patient even in one examination.

Such procedures include upper gastrointestinal examinations(UGI) for evaluation of hypertrophic pyloric stenosis, midgut malrotation and gastroesophageal reflux, barium enema examinations(BE) for hydrostatic reduction of intussusception, retrograde voiding cystourethrography(VCG) for evaluation of vesicoureteral reflux and angiographic examinations especially with interventional procedures. To date, some alternative modalities without using ionizing radiation or using a lower radiation dose have been introduced, including ultrasonography(US) especially equipped with color Doppler, magnetic resonance imaging(MRI) or some kind of nuclear medicine(NM).

Reduction of radiation exposure to the patients can also be achieved by using appropriate equipment or devices specially designed for the purpose of radiation protection.

It should be expressed that the examiner is the most responsible person to reduce radiation exposure to the patient as much as the purpose of the examination fulfilled with using all available knowledge and techniques.

Key words : Radiation protection, Pediatric fluoroscopy, Pediatric UGI, Intussusception, Pediatric VCG

はじめに

小児は放射線感受性が高く、より慎重に放射線被曝について考慮する必要があると考えられている。医療被曝については個人に対する線量制限限度は設けられておらず、担当医師の自由裁量に任されているのが現状であり、それだけ

に小児の放射線医療に携わる医師にはこの分野での正確な知識と、線量低減のための技術の修得とその絶え間ざる研鑽が望まれところである。日常的な小児診療の場で放射線が最も広く用いられているのは単純撮影であろう。小児全体の被曝総線量を減少させるにはこれをコントロールすることは重要であるが、患児個人につ

いてみると比較的大量の被曝を受けるのは透視検査においてであろう。また検査をする側からの努力で被曝線量を大幅に減少し得るのもこの分野である。特に放射線を全く用いない超音波検査装置やMR装置の急速な進歩は、小児放射線医学の体系を根底から変えつつあり、透視検査に代替し得るものとして、広く用いられてつある。

日本医学放射線学会放射線防護委員会では、平成元年度の事業の一環として、小児の透視に関するアンケート調査を行った^{1,2)}。その結果も考察しつつ、小児の透視検査における被曝の軽減について述べる。

検査の適応

放射線被曝を軽減する最も簡単な方法は検査を行わないことである。透視検査で特に被曝量が大きくなる検査は、主に透視時間が長くなる検査で、比較的限られている。そのような検査についてX線透視検査を用いずに診断する方法が提唱され実践されつつある。放射線検査の目的は治療に必要な情報を得るためであり、その情報が透視検査によるものでなければならぬと決めつけなければならないものではない。特に今までの慣例でこうしてきたからとか、先輩からこのように教わったからだというような非科学的な態度でこれからの医療は行われてはならない。自分の居る医療現場で得られ得る最善の方法を駆使して医療を行う責務が医師に課せられていると考えるべきである。その観点から透視検査によってのみ得られると考えられてきた全ての検査について、被曝によるリスクとそれに代替し得る検査によるリスク、およびその両者での情報量の差から生じ得るリスクについても検討する必要がある。

1) 肥厚性幽門狭窄症の診断

超音波検査による存在診断についてはすでに確立されており、多くの小児外科医は透視造影検査を行うことなく手術を実施している。少なくとも肥厚性幽門狭窄症の存在診断のみの目的では透視造影検査よりも超音波検査を選択すべ

きである。しかしながら、陰性所見もしくは陽性と決めがたい所見の場合には、嘔吐の原因が他の場合もありうるため透視造影検査は必須である。

2) 腸重積の診断と治療

中国で古くから行われてきたとされ、わが国でも広く行われていた空気整復が、近年欧米の学会でもその有用性が認められるようになり、それを超音波をガイドに用いる方法が提唱されていたが、バリウム懸濁液の代わりに生理食塩水を使用し、初期診断から一貫して整復終了まで超音波で観察する方法が定着しつつある³⁾。ほとんどの本態性回盲重積症の場合には、この手技で整復可能であるが、問題は整復不能の場合である。腫瘍性病変等の合併症の存在の有無などについてバリウムによる再検査を実施するかどうかは患児の臨床的な状況と担当する外科医の臨床的判断に委ねられることになろう。したがって被曝軽減の観点からだけで患児を危険に陥れることは賢明ではなく、種々の得失勘定が必要となる。

3) 中腸回転異常症の診断

上腸間膜動脈と上腸間膜静脈の位置関係から超音波検査による中腸回転異常症の診断の可能性が模索されてきたが、検査をよりダイナミックに行うことで上腸間膜静脈が上腸間膜動脈を中心に渦巻状に存在することが注目され、whorlpool signと命名されたが、さらにcolor doppler装置を用いることで、その渦巻きが尾側に向って時計方向回りであれば確定的な所見であると報告された⁴⁾。しかしながら、color doppler装置がかなり高価なこともあり、臨床的に確定診断の方法として定着しているわけではない。患児の主訴が嘔吐という非特異的なものであることから、その他の十二指腸の閉塞性疾患の鑑別に透視造影検査が必要とされることになるが、非侵襲的な第一選択の検査として実施し、確定診断に至った場合には透視検査を行う必要はないと考える。

4) 胃食道逆流の診断

胃食道逆流の正確な診断には、24時間食道内

pH測定が最も正確とされているが、上部消化管造影検査の一部として、仰臥位安静状態で5分間の測定で3回以上の逆流を陽性とする基準がある。近年color doppler装置を用いることによりかなり正確な情報が得られると報告された³⁾。たしかに逆流の有無を診断する目的のみであれば、長時間見れば見るほど正確であり、そのためには被曝の全くない超音波検査で行なうのが妥当であるが、透視造影検査では逆流の有無のみの診断目的とすることは少なく、全体の検査の一部として検察することが多いので逆流検査のためにcolor doppler検査を新たに実施し直すかどうかは、臨床的な判断に委ねられると考える。したがってこの検査が透視検査に完全にとって代わられる性格のものではないようである。また核医学検査は被曝線量が透視検査よりはるかに少ないことから欧米では広く行われているが、核種の取り扱い規定および薬剤の価格設定が全く異なる本邦での検査の普及は、ほとんどはかられていないのが実情である。

5) 膀胱尿管逆流の診断

小児の透視検査で検査時間が長くなるために被曝線量が多くなるいくつかの検査の一つとして膀胱尿管逆流の診断のための逆行性排泄性膀胱尿道造影検査(VCG)がある。かなり以前から欧米では核医学検査が行われているが、これについても胃食道逆流の診断と同様に汚染についての考え方の違いなどもあり本邦ではほとんど行われず、完全に透視検査に代替されている施設はない。近年超音波検査もこの目的で導入され、さらにcolor dopplerの有用性も報告されているが、国際的な評価基準がVCGの所見で行われていることもあり、超音波による方法が現時点では透視検査に代替し得るものとはなっていないが、国際的には核医学検査はすでに広く透視検査に代替されている。

6) 生検やドレナージのガイド

特に腎生検については、造影剤投与後透視下で実施されてきた歴史があるが、放射線被曝の問題のみならず、検査の安全性などからいまだにこのような手技を用いているとすれば非常に

問題であり、ただちに超音波ガイドに切り替えるべきである。例え透視の方法が術者にどれだけ慣れ親しんだものであれ、現時点での適応はなく、それによる合併症の発生については法的責任を問われる可能性を否定しない。その他の生検やドレナージについては各施設の実情を考慮してcase by caseで決めればよからう。

7) 術前の血管マッピング

術前に血管の走行や異常血管の有無を知することは安全な手術を行うために不可欠である。多くの外科医が術前にそれだけの目的で血管造影検査を望み、実施してきたが、その多くが造影CT検査やMR検査に置き換えられつつある。被曝の観点からは被曝の全くないMR検査の方が優れているが、部位によってはX線CTの方が優れている場合もあり、血管造影検査で浴びる被曝量を考慮すればCT検査の方がはるかに被曝量は少なく積極的に代替すべきであろう。

装置の選択と調整

現在小児専用の透視装置は市販されていない。小児と一概に言ってもクベースに入っている未熟児から成人サイズの者まで大きさは種々雑多であり、かつ透視検査の適応が非常に限られているばかりでなく専用装置自体にも問題があるためのものである。特に本邦では透視造影装置はほとんど早期胃癌や早期大腸癌の発見のための造影検査を実施することが第一義的なものであり、健康な成人の検査を短時間に多数行うことが求められており多くの装置はovertube方式が採用されremote controlで検査が行われている。アンケート調査では小児の透視に用いられる装置全体の70.9%でこのタイプの装置が用いられていたが、現在はさらに比率が高くなっているものと思われる。そのためこの装置は装置自体が小児の検査には全く適していないように作られている。すなわち被曝線量よりも画質の向上が優先されているためである。従ってこの装置を用いるときには、その点をわきまえた上で使用しなければならない。成人用に調整された種々の自動装置は原則として全て

解除しなければならない。特に自動照度装置 (Automatic Brightness Control) については小児用に設定されていない限り使用してはならない。最近の装置では透視電圧と透視電流をマニュアルで別個に調整できなくなっている。別個に調整できれば電圧を上げて電流を下げるのが原則ではあるが、いずれにしても画像が診断に可能である限界まで透視線量全体を出来る限り小さくするのが原則である。その際大きく影響するのはモニターの調整である。画面の brightness と contrast の調整を適切に行うことで最小の被曝線量で診断可能な画像を得ることが可能となる。調整によってはグリッドを外せば管電圧80kVpで管電流0.02mAで乳幼児の上部消化管の透視は十分可能であるが、特別に調整していない装置でも0.1mA程度で検査を行って欲しいものである。成人の検査では1～5mAが使われていることに留意されたい。なお被曝量は電流の量と透視時間に正比例する。

前述のごとく対象が小さな子供ではグリッドの必要はなく、取り外しが可能であれば取り外した方がよい。むしろ散乱線を利用した方が到達線量が多くなり透視電流をそれだけ減少できることになる。

近年透視装置もデジタル化し種々のコントロールが可能となりつつある。特に内視鏡検査が盛んに行われるようになったため、当施設でも新規の透視装置の購入が可能となった。そうした際に被曝低減装置として、パルス透視装置、ラストイメージホールド機能、透視録画装置の装着を強く推奨する。小児専用装置として使用するのであれば、高電圧領域を使用する目的で銅フィルターを使用するとよい。特に逆行性排尿性膀胱尿道造影検査を頻繁に行う小児専門の施設ではこのような配慮が求められる。また小児では通常のフィルム増感紙系を用いた狙撃撮影の必要はほとんどなく、出来れば I.I. 間接撮影で行うべきであり、さらにデジタルデータによるフィルムレス化を行う中でどのような形態でも適切な静止画像の記録を残せばよいと考える。保険点数では非常に不利となるがそ

のために余分な被曝を与えるべきではない。アンケート調査の段階では、I.I. 間接撮影が可能である装置の設置率は全体で1.5%、小児専門施設でも11.1%であった。

効率的な検査による被曝低減

ひとたび検査を実施すると決めた場合には、検査の目的を明確にし、その目的が十分に達成されるために必要とされる情報を過不足なく得るよう努力することがまず第一義である。嘔吐を主訴とする患児に対して、まず肥厚性幽門狭窄症の診断のための透視検査を行い、検査が終わってから中腸回転異常症ではなかったかと言ってまた検査を行い、胃食道逆流の検査をしていなかったと言ってまたそのための検査を行うということは日常的には良く見かけることである。あらかじめきちんとしたルールに乗っ取った検査をすべきであり、思いつきの検査や、検査の途中にその目的が変更されたり、目的が分らなくなったりすることが被曝量を増やす一番の源である。したがって検査の前には必ず検査の目的を明確にし、予測される鑑別診断を列挙し、それらを全て一つ一つ鑑別するための検査方法を予め検討してその順序を決め、それから初めて検査を実施すべきである。

1) 上部消化管造影検査

乳幼児の上部消化管検査では、嚥下運動、食道の拡張性と運動機能、胃食道接合部の形態と機能、胃の形態と内因性疾患の有無、十二指腸の形態と走行までを、検査の目的がなんであれ確実に過不足なく検索すべきである。そのための検査方法はインターネットで本学会のホームページを参照されたい⁷⁾。目的が予めかなりはっきりしている場合にはまずその目的を達成することに集中し、その後上記の全てについて検証するとよい。特に肥厚性幽門狭窄症の診断とそれと鑑別すべき antral web や中腸回転異常症を含めた十二指腸の閉塞性疾患については、右斜め側臥位の標準姿勢でその目的を達成した後姿勢を変えて検査する。肥厚性幽門狭窄が完全閉塞であることはめったになく、時間

さえなければ必ずわずかの造影剤は通過するものである。完全閉塞があるということは、肥厚性幽門狭窄の有無という意味では診断価値はない。中腸回転異常にしてもall or nothingの診断であり、「疑いあり」という診断を下すのであれば、やらなかったと同じことになる。それを踏まえて検査を終了するタイミングを考慮する必要がある。その場合被曝線量よりも、患児の状態が優先されるのは当然のことである。

2) 腸重積整復

腸重積症のバリウム注腸検査は、診断と同時に治療目的で行なうものであり、治療のための基本的ルールに乗っ取って行なうべきものである。過剰な被曝を与えないために、あらかじめバリウムによる整復をあきらめるタイミングを設定しておくべきである。特に外科医の介入なしに実施する場合は（そうすべきではないが、現実にはかなり実施されているので）整復が不能であった場合、外科医によって再度試みられる可能性があるため、なるべく短時間であきらめる必要がある。回盲部から整復出来ない場合、10分づつ3回行ってだめならあきらめると言った基準を設けている人もいるが、長い経験から個人的に設けるのは良いが、他人のものをそのまま使うのは問題があろう。静水圧による整復にはチューブの太さ、固定の仕方、接続部の内径、バリウムの濃度、挿入されたチューブの位置、それに重積部の状況など多くの因子が絡み合っており、どれ一つでもマイナス因子として働くと整復出来ないことになる。回盲部整復のパロメータとして参考になるのは、回盲部に形成された腫瘍が経時的に小さくなる傾向があれば、ほとんど必ず整復出来るということである。この判定には狙撃撮影が必要である。

3) 逆行性排泄性膀胱尿道造影

基本的には膀胱尿管逆流の検索が主な目的であるが、特に男児では尿道の異常も同時に検索する必要がある。逆流は膀胱内圧の上昇で起こるが、患児が泣いたりいきむと内圧は上昇し、点滴セットの中を造影剤が逆流するが、膀胱壁が緊張しているため、もともと逆流のある患児

でも尿管口の弁機構が働いて尿管への逆流が生じないことは少なくない。逆流が最も起こりやすくなるのは膀胱壁がある程度弛緩し、かつ内圧が上昇したときである。すなわち排尿時に逆流が最も起こりやすくなる。そのため排尿時の観察なしに逆流を否定してはならないとされているため、膀胱が充満したとしてカテーテルを抜去するとなかなか排尿せず、そのために透視時間が非常に長くなることが被曝量を大きくする大きな原因の一つとなっている。したがって十分に膀胱を充満させ、カテーテルを抜去し次第排尿が起こるようにするための工夫と経験が必要である。ある程度膀胱が充満すると、子供は尿意を訴えるものであり、本当に充満したかどうかを客観的に判定する必要がある。膀胱が充満して耐えきれなくなると足の親指が反り返るようになる。また、膀胱内圧が高くなると、点滴セットのなかを造影剤が逆流し始める。女児ではカテーテルの周囲から造影剤が漏れ出すまで待ち、排尿と共にカテーテルを引き抜くとよい。乳幼児では造影剤がすこし入ると膀胱が刺激を受け、すぐにカテーテルの周りから排尿してしまうものである。そこですぐにカテーテルを引き抜いてしまうと、また再挿入しなければならぬ羽目に陥る。したがって、初めの数回の排尿は無視して造影剤を注入し続け、本当に十分に拡張してからカテーテルを抜去しなければならない。そうしたことで被曝線量はすぐに何十倍も違ってしまうものである。

被曝低減のための透視技術

同じ施設で同じ検査を同じ患児に対して行なっても、術者によって被曝線量は全く異なり、同じ術者でも被曝についてはほんの少し注意を払うかどうかで被曝線量は全く異なってくる。これが通常の単純撮影などと透視検査で大きく異なる場所である。透視検査一般について、被曝量の大小がどのような因子の影響を受けているかということを熟知し、それらについて技術として身につけ研鑽を積む必要がある。透視検査の技術は訓練により、上達するものであり、

技術の差だけで一検査当たりの被曝量は数十倍も異なってくる。透視技術の訓練は初めから小児を用いて行なってはならない。米国の小児放射線専門医になるには放射線診断の専門医の資格を要求しており、成人を対象とした訓練を受けて初めて小児の訓練が許可される。小さな透視野で透視のスイッチを入れたときに瞬時に身体の中の部分を見ているかが分らずに小児の透視を行うのはもってのほかである。

1) 検査部位以外への被曝の防止

患児をしっかりと固定し、患児が透視中に勝手に動きまわることが防ぐだけで、余分な被曝は大幅に減少する。患児の固定で最も重要なのは、膝関節と肘関節をしっかりと固定することである。股関節は膝を大腿までしっかりと固定すると前方への屈曲のみとなるため、仰臥位では膝の上に重目の砂嚢を置くだけで、患児にほとんど手を触れることなくその姿勢をコントロールできる。膝は巾の広い弾性包帯でしっかりと巻いて固定し、肘は頭の後方で整形外科用のストッキネットを用いて固定するとよい (Fig. 1)。その上で体の両側に砂嚢を置きタオルなどを敷いて患児をその間に乗せる。undertubeの装置を用いる場合には、頸部より上と骨盤部より下に鉛板を敷く。その間で透視を行えば、例えば透視野が上下にずれても角膜や生

殖腺への余計な被曝を避け得る。overtubeの装置ではそれが出来ないため、透視野についてはより一層の注意が必要である。

2) 透視時間の減少

透視線量はおおむね透視時間に比例する。透視時間を極力下げることが術者が被曝線量についてコントロールできる最も大きな因子であり、またこの記録は簡単に残すことが出来る。透視技術として透視時間を減少する方法はまず各曝射ごとの透視時間を短くすることである。すなわち透視のスイッチを押して画像が見えたらすぐに消すことである。ラストイメージホルダーが装着してあればその度に画像がそのまま静止して見られるが、通常の透視装置ではすぐに消えてしまうので、自分が観察する目的のものが見えるかどうかを確認する目的で行なう。そのような手技が有効なのは、上部消化管造影検査では肥厚性幽門狭窄症で造影剤が十二指腸に入っていくのを待つ間、胃食道逆流を待っている間、注腸検査では腸重積症の回盲部での整復を待つ間、逆行性排泄性膀胱尿道造影検査では膀胱尿管逆流を待っている間等である。そのいずれについても、経験的にそれらが起こりそうな様子が見つかるものであり、それ以外ではなるべく透視で見ないことで被曝量は大幅に減少し得る。



Fig. 1

3) 時間当たりの被曝線量の減少

透視時間をいくら短くしても、単位時間当たりの線量を減らさなければ全体としての被曝線量の減少にはならない。透視の術者が技術的にコントロールできるのは、undertubeの場合には、透視の天板を患児に極力近づけることで皮膚線量を減少させ得ることである。あらかじめ患児ごとにストッパーの位置を決め、安全性を確認してから、常に最小間隔で検査を行うように務める必要がある。X線の被曝量は距離の二乗に反比例して減少するため、特に自動照度制御装置が作動していると距離がどれだけ遠くてもそれに適した画像を得られるだけのX線が放出されることになり、undertubeの装置では患児に大量の被曝を与えることになる。

術者が被曝量を手もとで経時的に大きくコントロールできるのが絞りでである。被曝量は面積に比例する。透視野として必要とされる大きさは、経験を積むほど小さくなる。しかしながら余り小さくしすぎると動きを観察しているような場合、透視野からはみ出すときに透視野を動かして追うことになるが、これは透視検査の技術としては良くない方法である。全体像を見失わせて誤診を招く結果となるからである。被曝防護は誤診を招くほど行なうべきものではなく、本末転倒となってはならない。また自動照度制御装置もグリッドも外せない場合には、散乱線が遮断されるために、小さな透視野にするほどX線量が増加することになるため、極端に小さな透視野を用いてはならない。

おわりに

X線検査のなかで、被曝線量を医師の側の努力による技術の修得のみで大幅に減少し得るのは透視検査である。小児の透視検査はいかなる状況下でも最善のものが提供されなければならない。即ちその場で得られる最も技術的に秀でた者が検査を実施すべきであり、その者は考えられるすべての技術と知識を駆使して被曝の減少に努めつつ、当初の目的を十分に果たす責務がある。そのためには放射線科医が技術的には

成人の透視の訓練は十分に積んでおり、小児放射線医学の研修を積んですべての小児の検査を実施すべきであるが、成人の検査を日常的に実施していると、ともすると被曝については無神経になりがちでもある。小児科医や小児外科医はその場合のチェック機能も果たす必要がある。放射線科医に対して検査の目的を明らかにし、被曝量を最小限にするよう要求できる立場にあるからである。

アンケート調査の段階では、小児の上部消化管造影検査と注腸検査の実施者は、28.3%で主治医、26.4%で小児科医であり、診療放射線技師が18.5%と続き、放射線科医が実施している施設は15.3%に留まったが、昨今の放射線科医の増加により事情は変化しつつあるのではないかと期待しているが、もし小児科医や小児外科医が透視検査を自分で行なわざるを得ない状況であれば、何らかの形で日常的に成人を使って検査の訓練を行っていただきたい。しかしながら、最も重要なのは、標準的な検査法をマスターすることと、放射線被曝の障害と防護についての基本的な知識を持つことである。両者については日本小児放射線学会のホームページから閲覧されたい¹⁾。

アンケート調査に於ても、「透視時間を全く気にしないで透視を行っている」(138件)、「フットスイッチを使用していない」(109件)、「透視の条件(mA)を下げる必要性を全く意識していない」(105件)、「透視時間を知らせるブザーをわざわざ切って使用している」(71件)、「絞りを開きっぱなしで透視を行い、絞りを使用する意志が全くない」(47件)、「透視スイッチを入れっぱなしで、間欠的透視を行おうという意志が全くない」(40件)、「患児の固定具があるのに使用せず、押さえつけて検査を実施している」(34件)、「グリッドの取り外しが可能であるのに、取り外して検査をしようとししない」(27件)、「透視板を患者に十分近づけて検査をしようという意識が全くない」(24件)、「I.I. 間接撮影装置があるのに被曝低減の目的で使用しようとししない」(19件)「ビデオ録画装

置があるのに被曝低減の目的で使用しようとしていない」(16件)となっている。個々の内容については、「WHO小児画像診断ガイドライン」を参考にしたものである⁶⁾。これらは小児の透視検査が行なわれている全国の医療施設の放射線技師長からのアンケートに対する回答の結果であり、平成元年10月に実施されたものである。この10年の間にどのように変化したかを近々調査する所存であるが、検査に携わる個々の医師が、被曝防護についての意識を持っているかどうかは直接反映されてくると考えている。

●文献

- 1) 藤岡睦久, 他: 小児のX線透視に関するアンケート調査とその集計結果についての報告書. ICRP勧告の日本人への適応に関する調査報告書 p27-51, 日本医学放射線学会ICRP勧告の日本人への適応に関する調査委員会, 金子昌生, 平成2年3月.
- 2) 藤岡睦久: 1. 放射線診療の立場から 特集: Ⅲ医療放射線防護の現状と展望. INNERVISION April 1991; 6(4): 7-11.
- 3) 内田正志: 小児の超音波検査IV-消化管, 腸重積症・イレウスの診断. 小児科診療 1996; 59(4):613-621.
- 4) Shimanuki Y, et al: Clockwise Whirlpool Sign at Color Doppler US: An Objective and Definite Sign of Midgut Volvulus. Radiology 1996; 199: 261-264.
- 5) Hirsh W, et al: Color Doppler in the diagnosis of the gastroesophageal reflux in children: comparison with pH measurements and B-mode ultrasound. Pediatr Radiol 1996; 26(3): 232-235.
- 6) 藤岡睦久訳: WHO小児画像診断ガイドライン "Rational Use of Diagnostic Imaging in Paediatrics" WHO scientific group 編 金原出版, 東京 1989; June 30.
- 7) 日本小児放射線学会ホームページ・アドレス: <http://radiology.dokkyomed.ac.jp/jspr/home.html>

総説

第33回 日本小児放射線学会教育講演より

小児における造影剤 －現況の分析と問題点および今後の展望－

桑鶴良平, 片山 仁
順天堂大学医学部 放射線医学教室

Contrast Media for Children －Analysis of current state, topics and future－

Ryohei Kuwatsuru, Hitoshi Katayama

Department of Radiology, Juntendo University School of Medicine

Abstract Development, current state, topics and future of X-ray and MRI contrast media are described. Iodine contrast media have been used for about 60 years as intravenous X-ray contrast media.

Nonionic low osmolar contrast media are now used routinely and are safer than ionic high osmolar contrast media not only for adults but also for young patients. However, delayed reaction which is observed after patients leave the examination room, is another problem of contrast media. Pretesting is thought to be unreliable and not recommended before the examination using contrast media. Proper use of contrast media according to the drug information is important along with the provision of emergency care in the case of adverse reaction. Especially, bronchial asthma and a history of adverse reaction to contrast media are high risks of adverse reactions to contrast media.

New MR contrast media which are target hepatocytes or reticuloendothelial cells will be marketed soon. Some of them have begun to be sold recently. Both agents are anticipated to improve tumor detection. Evaluation of liver function using both contrast media may be possible and it is useful if we are able to detect acute rejection after liver transplantation, radiation hepatitis, and chronic liver disease such as liver cirrhosis by contrast enhanced MR imaging. Blood pool contrast medium will be the next to have a possibility for clinical use. Quantification of blood volume and permeability are possible advantages of this contrast medium as well as clear visualization of vessels.

Key words Contrast media, Pediatrics, Adverse reaction

はじめに

小児の画像診断の進歩は、超音波、X線CT、MRI等の診断機器の発達と安全な造影剤の開

発によるところが大きい。特に近年頻用されているX線CT、MRIにおける高速撮像法と造影剤の急速投与によるダイナミックスタディの組

み合わせは、時間分解能、コントラスト分解能を向上させた。その一方で、超音波検査は小児に対しては依然として非侵襲的で診断能の高い検査で、腹部・骨盤部や体表の病変の検査ではまず第一に行われる画像診断法である。さらにMRCPやMRUは強いT2強調画像を得る高速撮像法で、造影剤使用やX線被曝のない非侵襲的な検査でもあり、造影剤を使ったX線検査に今後置き換わる可能性もある。実際に新生児の水腎症や小児の膵胆管合流異常の検索等、疾患によっては既に超音波検査の次に行われる検査となっている。

本論文では、以上述べた点を踏まえて以下の3つの点を中心に述べる。

- 1) 造影剤の開発、特に尿路血管造影剤の進歩による現況の分析
- 2) 小児における造影剤投与の問題点
- 3) 新しい造影剤の展望

1) 造影剤特に尿路血管造影剤の進歩による現況の分析

X線検査に使用する尿路血管造影剤としては、1929年からヨード造影剤が用いられている (Fig. 1)。ベンゼン環の側鎖に付着するヨードの数を1ヨードから3ヨードまで増すことにより造影能が向上し、診断に耐えうるものとなった。現在使用されている尿路血管造影剤も、この3つのヨード原子を側鎖に持つベンゼン環を基本構造としている。造影能の問題が解決した

後は副作用の改善が問題となり、特に造影剤の高浸透圧による副作用が重視された。その解決法として、それまでイオン性であった造影剤の側鎖を改良し非イオン性とする方法と二つのベンゼン環を結合して一分子にする方法がある。

いずれの方法も理論的には浸透圧を1/2に低下させ、実測値は1/3である。低浸透圧造影剤の出現により造影剤の副作用は減少し、日本で行われた大規模な臨床調査では、低浸透圧造影剤である非イオン性モノマー造影剤と高浸透圧造影剤であるイオン性モノマー造影剤の急性の副作用の比較では、前者が3.1%、後者が12.7%と著明な改善を認めた¹⁾。その後非イオン性ダイマー造影剤が出現し、その浸透圧は血液とほぼ同じとなった。しかし、造影剤の副作用は単に浸透圧だけの問題ではなく様々な因子が関与しており、浸透圧の点では理想的な造影剤と思われた非イオン性ダイマー造影剤であるイオトロラン(イソビスト®)は皮疹を中心とする遅発性の副作用が多く見られたため、日本では尿路血管造影剤としての使用は中止され脊髄造影剤としてのみ使用されている。Table 1に現在尿路血管造影剤として使用されている各造影剤の基本骨格構造、理論的浸透圧、商品名を記した。

2) 小児における造影剤投与の問題点

小児における経静脈性造影剤使用量は通常 2 ml/kg (300 mgI/ml) で最大投与量の目安とし

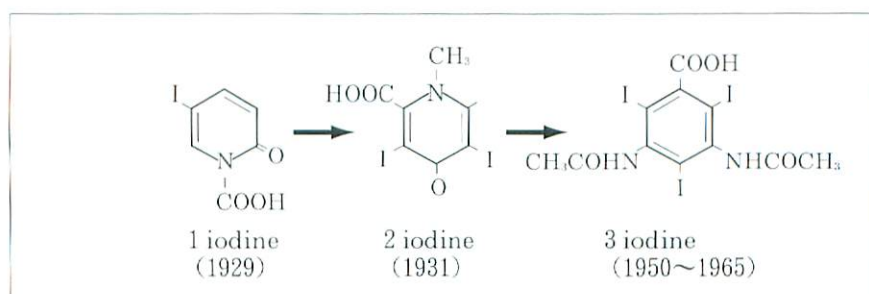
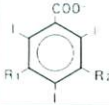
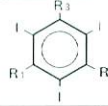
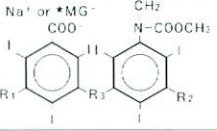
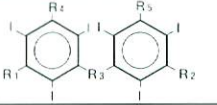


Fig. 1. Development of intravenous x-ray contrast media.

Initial compounds included one iodine atom and the number of the atoms had increased till three for about twenty years.

The compounds which include three iodine atoms has used for long time with minor changes.

Table 1. Conventional extracellular intravenous x-ray contrast media

	anion	cation	Number of iodine atoms (I)	Number of particles (P)	I / P	Osmolarity at same number of iodine atoms	Trade name
Ionic Monomers		Na ⁺ or *MG ⁺	3	2	1.5	1	Angiografin, Urografin, Urovison, Conray 400, Angio-conray, Conray, DIP Conray, Conraxin
Nonionic Monomers			3	1	3	1/2	Iopamiron, Omnipaque, Optiray, Iomeron, Proscope, Imagenil
Ionic Dimer		Na ⁺ or *MG ⁺	6	2	3	1/2	Hexabrix
Nonionic Dimers			6	1	6	1/4	Isovist (Visipaque)

*MG⁺ : meglumine

*1995. 9. 30 Isovist 280 stopped to sale

ては 5 ml/kg 以下もしくは総投与量 100 ml 以下が挙げられる。新生児や乳児では 4 ml/kg、場合によっては 5 ml/kg まで使用する。しかし生後 1 週間以内の新生児に対する投与はなるべく避けた方がよい。

造影剤投与にあたり常にその使用によるリスクベネフィットを考えることが必要で、副作用のリスクがあまりに高い場合は造影剤を使用しないで検査を行うか、他の検査で代替する。近年の臨床調査で、非イオン性造影剤の急性の副作用は 0.7²⁾ ~ 3.1³⁾ %、遅発性の副作用は 4.5³⁾ ~ 8.0⁴⁾ %、若年者に限ると各々 1.9⁵⁾ ~ 7.7⁶⁾ %、6.2⁵⁾ ~ 6.7⁴⁾ % と報告されている。低浸透圧になり急性の副作用が減少した一方で遅発性の副作用が注目されており、その頻度も少なくない。Table 2、Table 3 に小児、成人を対象とする非イオン性造影剤投与における重篤な急性の副作用および遅発性副作用を示した。また、Table 4 に若年者のみを対象とする同様のデータを示す。造影剤投与における重篤な副作用は少ないものの皆無ではなく、特に小児においては遅発性副作用の中に重篤な副作用が含まれており、外来患者における造影剤使用後の遅発性副作用への対処が大切である。

造影剤投与後の重篤な急性の副作用(呼吸困難、血圧低下、心停止、意識消失)の危険因子としては、気管支喘息、イオン性造影剤の使用、造影剤に対する副作用の既往歴、心臓病が挙げられ、それぞれ危険因子を持たない患者の 10.1 倍、5.6 倍、4.7 倍、3.0 倍の危険率を有する⁷⁾。一方、若年者に対する急性の副作用の危険因子は気管支喘息、造影剤に対する副作用の既往歴である⁵⁾。従って、主治医と造影検査担当医師は造影剤使用時の危険因子について熟知したうえで検査を施行しなければならない。そのためには、造影検査の前に一度添付文書をよく読んでから行うことが望ましい。医薬品を使用するにあたり添付文書に記載された注意事項に従わずに使用する場合は、確かな理由をもって使用することが近年求められている。1996 年 1 月には麻酔薬を添付文書の注意事項に従わずに使用し医療事故が発生して、医師の過失が認められた最高裁判決があった。たとえ医療慣行に従って行った医療行為であっても医療水準に基づいた注意義務を尽くしたものではないとされた。造影剤の添付文書も改訂を重ね現在は、①ヨード過敏症の既往歴のある患者、②重篤な甲状腺疾患のある患者に対しては禁忌(投与しない)

Table 2. Incidence of acute adverse reactions to intravenous x-ray contrast media (severe cases)

	Ionic Contrast Media (169,285 cases)		Nonionic Contrast Media (168,363 cases)	
Palpitation	0.20%	(340)	0.06%	(109)
Facial Edema	0.11%	(187)	0.01%	(15)
Rigor/shivering	0.09%	(159)	0.03%	(45)
Dyspnea	0.17%	(288)	0.04%	(63)
Sudden drop-in blood pressure	0.10%	(175)	0.01%	(21)
Cardiac arrest	0.00%	(7)	0.00%	(1)
Loss of consciousness	0.02%	(30)	0.00%	(4)

modified reference¹³

Table 3. Incidence of late adverse reactions to intravenous x-ray contrast media

Headache	2.60%	Chills	0.40%	Arm pain	0.10%
Rash	2.40%	Chest discomfort	0.40%	Low back pain	0.10%
Itching	1.90%	Vomiting	0.30%	Sneezing	0.05%
Nausea	1.60%	Urticaria	0.20%	Sore throat	0.05%
Dizziness	0.90%	Palpitation	0.20%	Shivers	0.05%
General fatigue	0.70%	Parotid pain	0.20%	Hypouresis	0.05%
Abdominal pain	0.50%	Sleepiness	0.10%	Nasal bleeding	0.05%
Irritated throat	0.40%	Cough	0.10%	Fever	0.05%

modified reference⁴¹

Table 4. Incidence of adverse reactions to intravenous x-ray contrast media in the patients under 19 yo

	Acute reaction	Late reaction
Swelling of the eyelids	1 (0.31%)	4 (1.2%)
Redness of the eyes	—	1 (0.31%)
Congested nose	1 (0.31%)	2 (0.62%)
Sneezing	1 (0.31%)	1 (0.31%)
Limited urticaria	—	2 (0.62%)
Swelling of the injected arm	—	1 (0.31%)
Nausea	—	2 (0.62%)
Vomiting	—	1 (0.31%)
Headache	—	2 (0.62%)
Sensation of warmth	2 (0.62%)	—
Nature of reaction not reported	1 (0.31%)	—
Urticaria	—	1 (0.31%)
Edema of face	—	2 (0.62%)
Dyspnea	—	1 (0.31%)
Total	6 (1.9%)	20 (8.5%)

modified reference⁵¹

となっており、①一般状態の極度に悪い患者、②気管支喘息のある患者、③重篤な心障害、肝障害、腎障害、急性肺炎のある患者、④マクログロブリン血症、多発性骨髄腫、テタニー、褐色細胞腫のある患者に対しては原則禁忌となっている。その他慎重投与例や併用薬との相互作用の注意が必要である。禁忌患者に対して造影検査は施行せず単純検査で置き換える、もしくは他の検査を行うことが望まれる。原則禁忌患者に対しては症例毎の検討が必要で、主治医と検査担当医が密に連絡をとりあって造影検査に臨み、造影剤使用が必要と判断した場合は、副作用対策を整えたうえで検査を施行することが好ましい。原則禁忌症例に対し軽率に造影検査を行ったり、反対に無条件に造影検査を中止することは避けるべきである。検査時の問診の手間を省くために問診用紙を用意使用する施設も増えている。また、透析を行っている腎機能障害患者に対しては造影検査後に透析を行うようにすれば、一回の血液透析で70～80%の造影剤が体内から除去される。

小児への造影剤投与の適応に関しては成人に準ずるが、安全性についての基準は確立していないので全例で慎重投与が必要で、必要最小限の造影剤使用が望ましい。

予備テストについては、現在も予備テストを施行している施設が散見される。日本医学放射線学会のヨード造影剤予備テストの妥当性について検討する委員会が、今までの報告と日本における大規模な副作用調査の結果をまとめ、予備テストは有用性に乏しいと報告している^{8,9)}。予備テストの施行よりも重篤な副作用に対する適切な処置を迅速に行えるかどうかの方が重要である。

他に、造影剤使用時の血管外漏出は、小児に多く見られる合併症で造影剤の急速静注を行うX線CTで増加している。注意点としては、翼状針ではなくテフロンカテーテルを使用する、長期留置針は使用しない、足背、手背、足首、手首などの皮下の可動性の少ない部位はなるべく避ける、等の注意が必要である。造影剤血管

外漏出の治療は一定していないが、漏出部位を心臓より高くする。湿布については、直接濡れたタオル等を皮膚に当てず、ビニールなどで包んで治療することが大切である。冷湿布、温湿布のどちらが効果的かは結論がでていない。

3) 新しい造影剤の展望

今後の尿路血管造影剤の動向としては、X線造影剤では現時点で新しい造影剤の具体的な開発はなく、当分の間は市販されている造影剤が使用されていくと思われる。一方、MRIでは肝細胞に取り込まれるものと、クッパー細胞に取り込まれるものの2種類の肝特異性造影剤が臨床試験中である。特にクッパー細胞特異性造影剤は1997年9月に市販された。両者とも、肝腫瘍の検出率と質的診断の向上が期待されるとともに、肝細胞障害とクッパー細胞障害の程度を分離して評価できる可能性がある。ラットを使用した研究では、放射線障害モデル¹⁵⁾、肝移植後の急性の拒絶反応モデル¹⁶⁾、びまん性肝疾患モデル¹⁷⁾でそれらの可能性が示唆されており、今後の臨床における有用性が期待できる。他には血管内造影剤の開発が進行中である。この造影剤は長く血管内にとどまることにより血管系の描出を良好にしたり、種々の病態における血管の透過性の計算をしたり^{18,19)}、炎症性疾患²⁰⁾や腫瘍²¹⁾等の病変の活動性の評価が可能で、次代の造影剤として期待できる。他に臓器特異性造影剤の開発、腫瘍特異性造影剤の開発が行われている。

最後に超音波の造影剤については、肺血管床を通過する造影剤の市販が目前となっている。この造影剤は経静脈性に動脈の血流信号の振動の増幅が可能で、特に血管の狭窄性病変や腫瘍の血流の評価に有用である²²⁾。また、低血流の血管では血流以外の組織の運動(クラッタ)との鑑別のために高調波信号を用いて信号処理を行うハーモニクイメージングと造影剤との併用による血流検出の向上が期待される。一方で、造影剤の使用は超音波の大きな特徴である非侵襲性が失われること、検査時間が長くなること、

一定の時間に多くの部位を検査できないため検査部位が限られること等の欠点もあり、使用に際しては適応と目的を明確にして行うべきである。

おわりに

尿路血管造影剤の進歩、現況の分析、問題点について述べた。また、最近市販された新しいMRI造影剤と、現在開発中、臨床治験中もしくは臨床治験を終え近々市販されるMRI造影剤、超音波造影剤の動向について現況をまとめた。造影剤の使用にあたり適応と投与する用量に注意し、救急体制を整えて検査を行うことを再度強調したい。

●文献

- 1) Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, et al : Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media. *Radiology* 1990 ; 175 : 621-628.
- 2) Wolf G, Arenson R, Cross A : A prospective trial of ionic versus nonionic contrast agents in routine clinical practice : comparison of adverse effects. *AJR* 1989 ; 152 : 939-944.
- 3) Beyer-Enke SA, Zeitler E : Late adverse reactions to non-ionic contrast media : a cohort analytic study. *Eur Radiology* 1993 ; 3 : 237-241.
- 4) H Yoshikawa : Late adverse reactions to nonionic contrast media. *Radiology* 1992 ; 183 : 737-740.
- 5) Mikkonen R, Kontkanen T, Kivisaari L : Late and acute adverse reactions to iohexol in a pediatric population. *Pediatr Radiol* 1995 ; 25 : 350-352.
- 6) Jacobsson BF, Jorulf H, Kalantar MS, et al : Nonionic versus ionic contrast media in intravenous urography : clinical trial in 1,000 consecutive patients. *Radiology* 1988 ; 167 : 601-605.
- 7) Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, et al : Full-scale investigation into adverse reaction in Japan.-risk factor analysis- *Invest Radiol* 1991 ; 26 : S33-36.
- 8) Yamaguchi K, Katayama H, Takashima T, et al : Prediction of severe adverse reactions to ionic and nonionic contrast media in Japan : evaluation of pretesting. *Radiology* 1991 ; 178 : 363-367.
- 9) 山口昂一, 片山 仁, 小塚隆弘, 他 : ヨード造影剤予備テストの妥当性について検討する委員会 -委員会報告-. *日本医放会誌* 1989 ; 49 : 1439-1444.
- 10) Clement O, Muhler A, Vexler VS, et al : Evaluation of radiation-induced liver injury with MR imaging : comparison of hepatocellular and reticuloendothelial contrast agents. *Radiology* 1992 ; 185 : 163-168.
- 11) Muhler A, Freise CE, Kuwatsuru R, et al : Acute liver rejection: evaluation with cell-directed MR contrast agents in a rat transplantation model. *Radiology* 1993 ; 186 : 139-146.
- 12) Kuwatsuru R, Brasch RC, Muhler A, et al : Definition of liver tumors in the presence of diffuse liver disease : comparison of findings at MR imaging with positive and negative contrast agents. *Radiology* 1997 ; 202 : 131-138.
- 13) Shames DM, Kuwatsuru R, Vexler V, et al : Measurement of capillary permeability to macromolecules by dynamic magnetic resonance imaging : a quantitative noninvasive technique. *Magn Reson in Med* 1993 ; 29 : 616-622.
- 14) Kuwatsuru R, Shames DM, Muhler A, et al : Quantification of tissue plasma volume in the rat by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Magn Reson in Med* 1993 ; 30 : 76-81.
- 15) Brasch RC, Berthezene Y, Vexler V, et al : Pulmonary oxygen toxicity : demonstration of abnormal capillary permeability using contrast-enhanced MRI. *Pediatr Radiol* 1993 ; 23 : 495-500.
- 16) Cohen FM, Kuwatsuru R, Shames DM, et al : Contrast-enhanced magnetic resonance imaging estimation of altered capillary permeability in experimental mammary carcinoma after x-irradiation. *Invest Radiol* 1994 ; 29 : 970-977.
- 17) 平井都始子, 吉川公彦, 大石 元, 他 : 超音波造影剤SH/TA-508の四肢・骨盤領域における有用性の検討. *脈管学* 1996 ; 36(1) : 21-33.

総説

第33回 日本小児放射線学会教育講演より

小児放射線検査の鎮静について

朝原章二

国立小児病院 麻酔集中治療科

Sedation during Diagnostic Radiologic Procedures on Pediatric Patients

Shoji Asahara

Department of Anesthesia & ICU, National Children's Hospital

Abstract There has been an increase in diagnostic and interventional radiologic procedures on pediatric patients which require long time outside the traditional operating room setting. Regrettably pediatric anesthesiologists have not been able to participate such cases and as a consequence there has been a marked increase in the use of sedatives and even general anesthetic agents by pediatricians and radiologist who are not capable of resuscitation. Moreover, facilities of CT, MRI and cardiac catheter laboratory lack for oxygen piping, suction, emergency cart, patient monitors, and anesthetic machine even in hospitals which are equipped with extremely expensive diagnostic equipments.

From the pediatric anesthesiologists' view point, sedation being managed by pediatricians or radiologists in these environments are not adequate to keep the safety of the pediatric patients. To improve the safety of patients who undergo sedation in radiology examination rooms, we need radiologists' understanding for the presence of anesthesiologists and better facility.

Key words Pediatric anesthesia, Sedation, Radiologic procedures

はじめに

放射線検査は瞬時に終了し、検査のための鎮静などに頭を悩ませる必要など全くなかった古き良き時代は去り、最近では小児放射線検査には長時間を要するCT、MRI検査、疼痛を伴う血管撮影、さらには治療的心臓カテーテル検査等まで含まれ、その内容は複雑なものとなっている。そして過去には外科手術の対象であった疾患の治療まで含まれるようになり、鎮静のみならず全身麻酔まで考慮しなければならない時代になった。

このような放射線検査は成人では患者の協力

が得られるため、検査中の鎮静等は一般的には考慮する必要がないかもしれない。しかし小児では短時間の検査とはいえ良質な画像を得るためばかりではなく、患児の快適性や安全のためには何らかの鎮静を必要とする事が多く、また複雑な治療的検査では鎮静以上のものが必要になると考えられる。

この小児の鎮静は日本では主治医、放射線科医、あるいは看護婦等により施行されてきたのが実状である。麻酔科医の立場からすると、酸素、吸引等の中央配管や、麻酔器、患者モニターの設置されていない劣悪な環境、そして麻酔の

トレーニングを受けていない医師等による鎮静、さらに鎮静中は病気の診断に夢中になり患児が全く監視されていない状況は極めて憂慮しなければならない。このように放射線検査の内容は急速に変化している時代に、その環境が全く変わっていない状況は我々を取り囲む医療情勢を考慮すると、早急に改善する必要性があり、このためには小児麻酔科医の努力のみならず、小児放射線科医のこの状況の真の理解と協力が必要となる。

放射線診断機器と鎮静症例

平成5年度厚生省の全国調査によると、CTは約7,600台、MRIは約1,600台設置されている。このうちMRIは近年急速に普及し、最近ではCTとはほぼ等しい台数が稼働しているものと考えられる(表1)¹⁾。またこの調査によるとCT、MRIの各1台につき平均検査件数は約40件/週/台と報告されており、従って装置1台については少なくとも年間約1,500件の検査件数と推定される。

現在全国に小児医療専門施設は25施設あり、

表1. CT, MRIの稼働数
(厚生省医療施設調査)

	平成5年	増加率/年	検査件数
血管連続撮影装置	3,032台	5%	6/週
CT	7,602台	18%	47/週
MRI	1,559台	106%	43/週

表2. 小児専門施設におけるMRIの有無

・北海道立小児保健センター	・長野県立こども病院
・茨城県立こども病院	・静岡県立こども病院
・群馬県立小児医療センター	・京都府立医科大学付属小児疾患研究施設こども病院
・千葉県立こども病院	・大阪府立母子保健総合医療センター
・埼玉県立小児医療センター	・兵庫県立こども病院
・神奈川県立こども医療センター	・国立療養所香川小児病院
・都立清瀬小児病院(無)	・福岡市立こども病院
・都立八王子小児病院(無)	
・国立小児病院(無)	

その中で総合医療を行っている施設は16施設である(表2)。このうち我々の施設を含めて、MRIのない施設は首都圏の3施設のみである。小児専門施設におけるCT及びMRIの検査件数は年間で推定約45,000件となる。同じ統計の小児麻酔の症例数から推測すると、この数値は全国の小児症例の1/10程度を反映しているにすぎないので、実際には年間推定約50万例の小児放射線検査が行われている可能性がある。

こうした検査のうち絶対的に鎮静を必要とされる4歳以下の症例は、これも当院で年間に行われている手術の割合で4歳以下の占める割合が約50%という数字から推定すると、小児専門施設での検査件数は年間約22,000件になる。これらの症例の全てが鎮静を必要とまで言わなくとも、現状では鎮静を必要とする症例の殆どに麻酔科医は関与出来ていないのである。

当院の現状でも年間の麻酔科管理症例約2,000例のうち放射線検査麻酔は7.8%を占めているにすぎない(表3)。このうち麻酔科の関与するCT検査は全例人工呼吸中の症例であり、麻酔科の管理により鎮静で検査が行われているのは心臓カテーテル検査と血管造影検査の一部のみであり、鎮静を必要とするCT検査の大半は、残念ながら直接麻酔科は関与できていない。

PL法や製造コストの影響から、小児科医には使い易いと考えられてきた(患者の安全確保が容易というわけではない)トリクロは製造中止になり、新たに開発された鎮静薬は患者の安全面を考慮して麻酔科医による投与に限定されている。今後は患者の安全面を考慮するとたと

表3. 放射線検査麻酔

(1996年度、国立小児病院麻酔科管理症例数1996例)

	症例数	年間の割合
CT, 気管支造影等/全麻	77例	3.9%
心カテ, アンギオ/全麻	53例	2.7%
心カテ・アンギオ/鎮静	24例	1.2%
	154例	7.8%

え短時間の鎮静であっても、放射線検査の鎮静は麻酔科医、あるいは実際に麻酔科のトレーニングを積んだ小児科医等により行われる体制にしなければならない。

鎮静の定義とアメリカ小児科学会の 鎮静施行の指針

鎮静は外部の刺激に反応出来る Conscious sedation と外部の刺激に反応出来ない Deep sedation に分類される。Conscious sedation では自己防御反射は残り、気道は確保され、呼びかけにも反応できる状態で、MRIやCT等の検査に必要な鎮静は安全のためには本来常にこのレベルで維持しなければならない(表4)。

Deep sedation はこれに反して、自己防御反射に欠け、気道は必ずしも安定して確保されてなく、また外部よりの刺激に対して反応できない状態である(表5)。つまり心肺停止の危機に晒されている状態ともいえる。この Deep sedation は鎮静よりむしろ麻酔に近い状態であり、事実欧米では麻酔として取り扱われている。

小児の鎮静の問題は比較的安全と考えられる Conscious sedation から、心肺停止の危険性のある Deep sedation や全身麻酔への連続性に

ある(表6)³⁾。

たとえ短時間の検査であっても1回、あるいは2回の鎮静薬の投与で検査中常に Conscious sedation のレベルに保つのは不可能であり、実際には鎮静が浅くなり体動を呈したり、予期せぬ Deep sedation に移行したりと鎮静のレベルは一定ではない。つまり良い画像を得ようとすると、鎮静薬の過剰投与に陥り、Deep sedation に移行し心肺停止の危険性は高まっていることになる。

鎮静の危険性は鎮静自体の問題に加えて、通常では適正と考えられる鎮静薬の投与量でも、基礎疾患が心疾患や上気道閉塞の症例では、高度の呼吸抑制を惹起したり、また緊急症例で経口摂取制限ができていない場合には、不用意な鎮静により致命的な嚥下性肺炎を引き起こしたりと、患児の状況によっては通常よりは鎮静による危険性が高まることを認識していなければならない。加えて鎮静薬のみならず造影剤も呼吸抑制も含めた副作用のあることも再認識しておかねばならない。放射線科医の立場からすると、検査中ほんの短時間眠ってくれていたらいい程度の鎮静は、実に患児には危険に満ちたものとなっている(表7)。

表4. Conscious sedationの定義

1. 自己防御反射は残っている
2. 気道は確保されている?
3. 刺激に対して反応がある
「目を開けて下さい」に反応する

表5. Deep sedationの定義

1. 自己防御反射がない
2. 気道確保はされていない
3. 刺激に対し反応できない

表6. 鎮静と麻酔の連続性



表7. 小児鎮静の危険性

- ・原疾患
- ・鎮静薬
 - 低換気
 - 気道閉塞
 - 嚥下性肺炎
 - 循環抑制
- ・造影剤

表8. 鎮静に対するアメリカ小児学会の指針

- ・検査前の患児の評価
- ・患児のモニターと記録(血圧、心拍数、経皮酸素飽和度、呼吸炭酸ガス濃度)
- ・鎮静レベルの監視
- ・検査する人と監視する人は別にする
- ・蘇生の能力、設備がある
- ・完全覚醒まで観察する

鎮静に伴う事故から患児を守るため、アメリカ小児科学会では1992年に鎮静を行う上での指針が発表されている(表8)。これには検査前の患児の評価、検査中の患児の少なくとも5分間隔のバイタルサインのモニターと記録、同時に鎮静レベルの連続的監視を必要としている。

この中で特に重要な点は、検査を行う医師と患児を監視する者を明白に区別し、しかも患児を監視する者は適切な救急蘇生の能力を持たねばならないことである。すなわち、実際には鎮静に際し麻酔科医の存在を示唆していることになる。

さらに検査室には蘇生に必要な機材の整備と、検査後は患児の完全覚醒までの観察が義務づけられている。アメリカでは小児の鎮静に際しては、実際に麻酔科医に準じるスタッフを検査室に配置しなければならないのである³⁰⁾。

日本でも多くの放射線科医には、アメリカの指針に準じて鎮静は行われていると考えられているようであるが、実際にはCTやMRI検査室に麻酔器、吸引、患者モニター(パルスオキシメータ、カプノメータ、自動血圧計等)、救急カート等の設備が完備されている施設は殆どないのが現状であろう。また患児の監視はテレビモニターを介し検査技師、看護婦等によって行われており、とても適切な蘇生能力を有する者が患児監視を行っているとは思えない。日本でも患児の安全を確保するためには、鎮静に際してアメリカと同様な指針が必要になると考えられる。

実際の鎮静方法とそのリスク

実際の鎮静方法として、最も確実な方法はセボフルレンやプロポフォール等を投与しての気管内挿管下の全身麻酔である。しかし大半の症例で鎮静薬としては抱水クロラル(トリクロリール)、水溶性のベンゾジアゼピンでジアゼパムより作用時間の短いミダゾラムや、さらに作用時間の短いプロポフォールが使用されている。これらによる鎮静の方法とそのリスクを紹介する(表9)。

表9. 鎮静の方法

- ・セボフルレンによる全身麻酔
- ・トリクロホスナトリウム：生産中止
- ・抱水クロラル：抗痙攣薬、座薬
- ・ミダゾラム：水溶性ベンゾジアゼピン
- ・プロポフォール：全身麻酔薬

表10. 抱水クロラルによる鎮静(MRI,CT)

症 例	1歳未満 (n=191)	1歳～4歳 (n=219)
初回量-追加量(mg/kg)	50+50	75+25
30分以内に鎮静	137 (72%)	131 (60%)
鎮静の延長	5 (3%)	37 (17%)
低酸素血症(SpO ₂ <95%)	19 (10%)	12 (6%)

Chloral hydrate sedation of children undergoing CT and MRI. AJR 1995; 165: 905-909.

MRI, CTの検査のための鎮静に抱水クロラルを使用した約400例の報告が、アメリカ小児科学会の指針に沿って米国の放射線科医によりなされている(表10)。1歳未満と1歳から4歳の2群に分け検討され、抱水クロラルの総投与量は両群とも100mg/kgと等しい投与量であるものの、導入覚醒ともに年少児の方が速やかと報告されている。しかしこの中で鎮静の延長は年長の1歳～4歳の症例の17%に、また低酸素血症は逆に年少の1歳未満症例の約10%に認められ、SpO₂で90%以下、著明に低下した症例も2例報告されている。従来比較的安全と思われてきた抱水クロラルによる鎮静でも厳密に患者モニターを行うと、実は鎮静の延長や低酸素血症になっている症例もあると警告している³¹⁾。

抱水クロラルにより安全に鎮静できるという報告がある一方で、アメリカ小児科学会の勧告に従わなかったため、乳児のMRI検査に際し抱水クロラル投与後、不幸にも最悪の死亡事故にいたった症例も報告されている(表11)³²⁾。これは鎮静のレベルがConscious sedationから気道確保の不安定なDeep sedationに移行し

表11. 抱水クロラルによる死亡例

- ・乳児に放射線検査のため抱水クロラル50 mg/kgを投与後に死亡した
- ・Conscious sedationからDeep sedationに移行し気道確保が出来なくなった

Sedation for the pediatric patient
Ped Clin of N Amer 1994; 41: 31-58.

表12. ミダゾラム鎮静には補助呼吸の用意を！(心臓カテーテル検査)

	ミダゾラム+ケタミン 0.1mg/kg+1~2mg/kg 64例	ジアゼパム+ケタミン 0.17mg/kg+1~2mg/kg 107例
呼吸抑制	9例 (14.1%)	1例 (0.9%)

小児科臨床 1992; 45: 1913-1915.

たためと考えられている。

ミダゾラムはジアゼパムに比較して水溶性で血管の刺激性も少なく、半減期も短く鎮静には最適の薬と考えられてきた。しかし茨城こども病院麻酔科による心臓カテーテル検査の鎮静にミダゾラムとケタミン、そしてジアゼパムとケタミンを投与した2群の呼吸抑制を比較した報告では、ミダゾラム投与群の呼吸抑制の頻度はジアゼパム群に比較して約14倍も高くなり、ミダゾラムによる鎮静には補助呼吸の用意が必要であり、鎮静には必ずしも適していないと指摘されている(表12)⁵¹。

放射線検査に準じた鎮静を必要とする骨髄穿刺や脊椎穿刺の際にミダゾラムを投与したConscious sedationの報告によると、ミダゾラム単独使用群とミダゾラムにごく少量の麻薬(モルヒネあるいはフェンタニール)を併用した群の比較では、意外にも麻薬を併用した群よりもミダゾラム単独投与群の方が呼吸抑制による低酸素血症に陥り易いと警告されている(表13)⁶¹。同様の報告はヨーロッパでもあり、製造会社により麻酔科医以外のミダゾラム静注使用禁止が勧告されている。ミダゾラムは実際には放射線検査等の鎮静薬として投与するには、従来の鎮静薬以上に呼吸抑制に注意しなければ

表13. ミダゾラムによるConscious Sedation (骨髄穿刺, 脊椎穿刺)

	ミダゾラム n = 29	ミダゾラム+麻薬 n = 41
投与量(μg/kg)	60 ± 40	59 ± 24
モルヒネ(μg/kg)		0.09 ± 0.03
フェンタニール(μg/kg)		0.6 ± 0.2
低酸素血症 SpO ₂ < 90	5 (17%)	4 (10%)

Midazolam for conscious sedation during pediatric oncology procedure. Pediatrics 1991; 88: 1172-1179.

表14. プロポフォールによる鎮静 (MRI) (1y~10y, n=30)

1. まずハロセン麻酔で導入				
2.	プロポフォール (μg/kg/min)	体動	検査時間 (min)	回復時間 (min)
	100	0/10	59	34
	75	3/10	47	25
	50	5/10	59	27
3. SpO ₂ の低下 (<95%)	2/30			

The dose of propofol required to prevent children from moving during MRI. Anesthesiology 1993; 79: 953-958.

ならない。

昨年から市販された新しい静脈麻酔薬であるプロポフォールは導入も覚醒も速やかで、鎮静には望ましいと考えられている。しかし小児では急速にDeep sedationに陥り、気道確保不安定な状態になり鎮静レベルの調節が難しいといわれ、全身麻酔薬として取り扱われミダゾラム同様に麻酔科医による投与が勧告されている。

サンジェゴ小児病院麻酔科によるMRI検査の鎮静の報告では、まず気道確保の容易なハロセン麻酔で導入後に、自発呼吸下の鎮静の維持にシリンジポンプを用いてプロポフォールを100mcg/kg, 75mcg/kg, そして50mcg/kgの3群に分け持続投与し、検査中の体動の有無

表15. プロポフォールによる鎮静(MRI)

体 重	<10kg n = 34	>10kg n = 48
初回量 (mg/kg)	5.4 ± 2.2	3.7 ± 1.6
維持量 (μg/kg/min)	160 ± 90	120 ± 50
低血圧 (<20%)	6/34	2/48
低酸素血症 (SpO ₂ < 97)		1/38

Propofol anaesthesia in spontaneously breathing paediatric patients during MRI. Acta Anaesthesiol Scand 1996; 40: 561.

を比較している。完全に体動をなくすためには100mcg/kg/minの投与を必要としている。検査中には酸素を投与しているにも関わらず酸素飽和度の低下を認める症例もあると警告している(表14)⁷⁾。

イタリアのMRI検査の報告では、体重10kgで2群に分けてプロポフォールの必要量が検討されている。体重10kg未満の症例では初回量は平均5.4mg/kg、維持量は平均160mcg/kg必要となり、10kg以上の症例よりも初回量も維持量も多いことになる。またこの報告でも酸素投与下にも関わらず低酸素血症や低血圧が認められている(表15)⁸⁾。

このようにプロポフォール投与により自発呼吸下の鎮静レベルを一定に維持し、体動を防ぎ、低血圧や低酸素血症を防ぐには、年齢により微細な投与量の調節を必要とし全身麻酔と同様の管理が必要になる。

現実には放射線科医や小児科医の考える理想的な一律の1回投与で検査中に体動はなく、さらに呼吸循環抑制もない安全な鎮静薬は存在していない。新たに鎮静に最適と考えられたミダゾラムやプロポフォールも呼吸抑制は著明であり、細かな投与量の調節も必要となる。また以前には鎮静には最適と考えられてきた抱水クロラル等もアメリカ小児科学会の指針に沿った嚴重な患児モニターを行なうと実際には呼吸抑制が認められ、また不幸な事故も報告されている。従って患児モニターなしに、そして麻酔の

技術を持った医師が存在しないで投与できる安全な鎮静薬は実際には存在しないと考えるべきである。

造 影 剤

1980年にアメリカで検討された約30万例の造影剤による合併症の報告によると、嘔気嘔吐等の軽度なことから、肺水腫や著明な低血圧等の蘇生の必要になる致命的合併症まで、その発生頻度は約5%である。このうち蘇生を必要とする重篤な合併症は1万例あたり0.6例に発生している(表16)⁹⁾。

アメリカと同様の日本における造影剤による合併症の全国調査は1990年に片山らにより報告されている¹⁰⁾。このうち米国と日本の重篤な合併症についての発生頻度の比較を試みると、低血圧、痙攣は米国では1万例あたり7例であり、日本では13例であった。さらに心停止に準ずる極めて重篤な合併症の発生頻度については米国では1万例あたり0.6例となり、一方日本では1万例あたり2例と報告されている(表17)。アメリカと日本の報告は調査時期に10年の時間差があり、この間に毒性の少ない造影剤が開発され日本の調査には有利な環境にあり、さらに日本の調査は放射線専門医に対する認識の高い施設を対象に行われたというバイアスもあるものの、造影剤の合併症の発生頻度は逆に日本に高い結果になっている。従って日本における造影剤による副作用の実数はもっと高い可能性もあり、安全性を増したといわれている造影剤の使

表16. 造影剤による合併症 (米国)
302,082例

症 状	頻 度
1. 軽度 (嘔吐・嘔気)	330/10,000
2. 中等度 (浮腫, 軽度低血圧)	140/10,000
3. 重症 (痙攣, 心室細動)	7/10,000
4. 致命的 (肺水腫・著明な低血圧)	0.6/10,000

Committee of safety of contrast media, Radiology 1980; 136: 299-302.

表17. 造影剤による合併症（日本と米国の比較）

症 状	米 (n=30万)	日本 (n=30万)
	発生頻度/1万例	
重篤（血圧低下, 痙攣）	7	13
極めて重篤（心室細動, 心停止）	0.6	2
死亡		0.06

Shehadi: Radiology 1980 ; 136 : 299.
Katayama: Radioecy 1990 ; 175 : 621.

表18. 造影剤の特性

- ・直接の神経毒性
- ・BBBを通過する
- ・高浸透圧
- ・イオン化
- ・アナフィラキシー

用にも注意が必要ではないかと考えられる。

造影剤の特性の中で重要な点は、本来の薬剤の使用目的上、脳脊髄関門を通過し直接の神経毒性を有することである(表18)。従って造影剤単独使用によっても無呼吸、それも遅発性の無呼吸になる可能性のあることを再認識したい。我々も全く鎮静剤を使用していない尿路造影の検査終了後に無呼吸になり麻酔科医が呼ばれて対応した症例を経験している。

血管造影剤はイオン性のものと非イオン性のものがあり、イオン性造影剤は浸透圧が高く、神経毒性もより強いことは周知されている(表19)。この強度の神経毒性を有するイオン性造影剤を手術中に誤ってくも膜下に注入した事故が米国で報告されている。シャント再建術の際にシャント内に誤ってイオン性造影剤のウログラフィンを注入したため、麻酔から覚醒後に無呼吸、痙攣、低血圧が出現した症例である(表20)。直ちにCT検査を施行したところ、くも膜下に造影剤が認められていたが、この症例では幸いにも集中治療が有効で一命を取り止めている¹¹⁾。

表19. 血管造影剤

	イオン性造影剤 ウログラフィン76 Diatrizoate	非イオン性造影剤 イオパミロン370 Iopamidol
ヨード	370mg/ml	370mg/ml
浸透圧比	約9	約4
神経毒性	強	弱

表20. イオン性造影剤の神経毒性

- ・11歳, 33kg, VPシャント再建手術
- ・ウログラフィン60%, 2mlを2倍に希釈してシャント内に注入
- ・手術後に無呼吸, 痙攣, 低血圧
- ・CTでくも膜下に造影剤が認められた

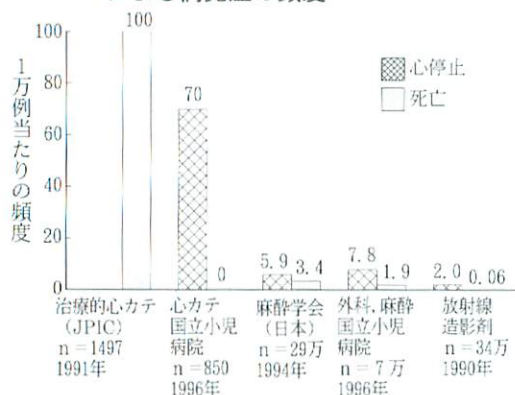
各種偶発症の比較と対策

日本では、片山らの造影剤による合併症の調査と同様な偶発症の全国調査の報告はごく希である。しかし最近では日本麻酔学会や日本小児治療的心臓カテーテル研究会では、患児の安全性をより向上させる目的で、敢えて術中の偶発症である心停止と死亡の全国調査を実施し報告している。

そこで日本小児治療的心臓カテーテル研究会¹²⁾、日本麻酔学会¹³⁾、放射線造影剤の合併症の全国調査¹⁰⁾、そして参考として国立小児病院における通常的心臓カテーテル検査及び手術中の偶発症である心停止と死亡の発生頻度についても比較検討した^{14,15)}(図1)。このうち日本麻酔学会や当院における手術中の偶発症は、麻酔及び手術の双方に起因する偶発症を含むものであり、全身麻酔にのみに起因する偶発症ではない。

治療的心臓カテーテルは直接心臓や大血管を操作するため、死亡の頻度は1万例あたり100例と極めて高く、また国立小児病院における通常的心臓カテーテル検査でも心停止の頻度は1万例あたり70例と偶発症の頻度は高い結果になっている。日本麻酔学会の全国調査による手術中の心停止は1万例あたり5.9例、死亡は3.4例であり、国立小児病院の手術中の心停止の頻

図1. 治療的心カテ、外科&麻酔、造影剤による偶発症の頻度



度は小児のため日本麻酔学会の調査結果より高い1万例あたり7.8例であったが、死亡は日本麻酔学会の結果より低い1万例あたり1.9例であった。これらの数字から外科医や麻酔科医の手技に比較すると放射線検査は極めて安全であると放射線科医は考えるかもしれない。しかし全く鎮静剤を使用していない、ただ単に造影剤のみを用いた検査でもこの種の重篤な偶発症が発生し、しかも家族にはこの種の検査の危険性につきインフォームドコンセントは殆どなされていない状況であることを考慮しなければならない。小児の放射線検査では鎮静が必要になることが多いにもかかわらず、日本の場合鎮静中の患児モニターは全くなされていないので、鎮静に伴う偶発症は不明であるが、小児放射線検査では造影剤に加えて鎮静による偶発症も加わるため、放射線検査による偶発症の頻度はこの造影剤単独の調査結果よりさらに高くなることが推測される。

重ねて患児を監視することなしに患児の蘇生の能力や設備のない環境で、鎮静を行うことの危険性を、麻酔科医の立場からは特に強調したい。昨今の我々を取り囲む医療情勢を考慮すると、この問題について早急な対策が必要となろう。小児患者の安全のためには放射線検査の鎮静は我々麻酔科医に任せる体制を是非作っていただきたい。

麻酔科医を手術室から検査室に呼び出すため

には、放射線検査室の環境を整備したい(表21)。このためには是非とも放射線科医の理解と協力が不可欠になる。多くの検査室での麻酔や蘇生に対応していると称する設備は、良くて酸素の配管のみである。麻酔科医には患児の安全のためには酸素以外にも、空気、笑気、吸引、空気、電源等が必要であり、さらに麻酔器、人工呼吸器、患児モニター、救急カートも不可欠な設備であることを理解し対応している施設は皆無といつてよい。検査麻酔を麻酔科に依頼しても、人員不足の理由で断られることが多いという意見もあるが、実は麻酔科医の立場から患者の安全性を考慮すると、検査室が未整備でとても責任を持って鎮静や麻酔を行う環境ではないという理由も人員不足の中に隠されているのである。現状のMRIを考えてもあの騒音と患児監視の困難さは、とても患児や麻酔科医の意見を考慮して作られたとは考えられない。これらの環境整備はその高額なCTやMRIと比較すると10分の1以下の予算で対応可能であり、たとえ検査機器の設置後でも改めて麻酔科医のみならず、放射線科医、小児科医、外科医の理解と協力の下で対応すべきである。

表21. 検査室の環境整備
「麻酔科医の動きやすい環境に」

- ・中央配管(酸素, 空気, 笑気, 吸引, 電源)
- ・麻酔器, 人工呼吸器
- ・患者モニター
(オキシメータ, カブノメータ等)
- ・救急カート, 救急薬品
- ・スペースの確保

表22. MRI対応の医療機器

- ・麻酔器
ドレーゲル, エクセル(オメガ社)
- ・人工呼吸器
ベンチパック(メドノーバ社)
- ・パルスオキシメータ, カブノメータ
MRE(東機質)
オムニトラック(共立医療電機)
- ・自動血圧計
オメガ1400(共立医療電機)

そうした例としてMRI検査室のような磁場や、高周波の影響下でも使用可能で、画像にも影響を与えない麻酔器、人工呼吸器、パルスオキシメータ、カプノメータ、自動血圧計等の医療機器は国内でも導入可能であるので紹介したい(表22)。

●文献

- 1) 厚生省大臣官房統計情報部：平成5年医療施設病院報告。1995；50-51。大和印刷
- 2) Charles JC：Sedation for the pediatric patient. *Pediatric clinics of North America* 1994；41：31-59.
- 3) Guidelines for monitoring and management of pediatric patients during and after sedation for diagnostic and therapeutic procedures. *Pediatrics* 1992；89：1110-1115.
- 4) Aruna V, Radha S, Melisa D, et al：Chloral hydrate sedation of children undergoing CT and MR Imaging. *AJR* 1995；165：905-909.
- 5) 岩井 亮, 上村 明, 山下正夫, 他：ミダゾラム鎮静時には補助呼吸の用意を。小児科臨床 1992；45：1913-1915.
- 6) Theresa DS, John DY, Charles BB, et al：Midazolam for conscious sedation during pediatric oncology procedures：safety and recovery parameters. *Pediatrics* 1991；88：1172-1179.
- 7) David DF, Robert MS, John BD：The dose of propofol required to prevent children from moving during magnetic resonance imaging. *Anesthesiology* 1993；79：953-958.
- 8) A Levati, N Colombo, EM Arosio et al：Propofol anaesthesia in spontaneously breathing paediatric patients during magnetic resonance imaging. *Acta Anaesthesiol Scand* 1996；40：561-565.
- 9) Shehadi WH, Toniolo G：Adverse reactions to contrast media. *Radiology* 136：299-302, 1980.
- 10) Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, et al：Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media. A report from the Japanese Committee on the safety of contrast media *Radiology* 1990；175：621-628.
- 11) Karl HW, Talbott GA, Roberts TS, et al：Intraoperative administration of radiologic contrast agents：potential neurotoxicity *Anesthesiology* 1994；81：1068-1071.
- 12) 布施茂登, 越後茂之, 石沢 瞭, 他：第1回小児の心血管インターベンションの実態調査の結果報告。日小循誌 1994；10：329-336.
- 13) 日本麻酔学会手術室安全対策委員会：麻酔関連偶発症調査1994について。麻酔 45：1538-1548.
- 14) 宮坂勝之：小児麻酔でのモニター。麻酔 1996；10：supplement 267.
- 15) 朝原章二：小児麻酔の偶発症。小児麻酔の新しい流れ。16-32, 三川宏編, 克誠堂出版, 1996.

原 著 論 文

小児体幹部領域における 3D造影MR angiographyの検討

田中康敬, 片山博視¹⁾, 山本和宏, 清水雅史, 楢林 勇
大阪医科大学 放射線医学教室, 同小児科学教室¹⁾

Evaluation of Three-dimensional Contrast-enhanced MR angiography in Pediatric Body Vascular Lesions

Yasunori Tanaka, Hiroshi Katayama¹⁾, Kazuhiro Yamamoto,
Tadafumi Shimizu, Isamu Narabayashi

Departments of Radiology and Pediatrics¹⁾, Osaka Medical College

Abstract Evaluation of three-dimensional contrast-enhanced MR angiography in the pediatric body vascular lesions

This study examined the usefulness of three-dimensional gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography (3D-enhanced MRA) for pediatric body vascular lesions. Fifteen 3D-enhanced MRAs were performed on fourteen pediatric patients aged from one month to fifteen years, using a 3D fast SPGR sequence. Maximum intensity projection (MIP) and multiplanar reconstruction (MPR) images were obtained from the imaging data in all cases, and eleven MIP images were obtained after subtraction of precontrast-enhanced imaging data from postcontrast-enhanced imaging data. In six cases, MIP and MPR images were correlated with cine or digital subtraction angiographies, and the eleven subtracted MIP images were compared with those before subtraction.

Clinical usefulness was demonstrated in fourteen (93%) of the fifteen cases, and in seven (64%) of the eleven cases in which subtraction was performed, image quality was improved. In comparison with cine or digital subtraction angiographies, however, only one (17%) MRA was superior.

It was considered that 3D-enhanced MRA was useful for pediatric body vascular lesions because of advantages such as lower invasiveness compared with that of conventional angiography, absence of radiation exposure, safety of contrast media, easy availability of MPR images, and short scanning time.

In conclusion, if a pediatric body vascular lesion is suspected, 3D-enhanced MRA should be performed before conventional angiography. It also seems that 3D-enhanced MRA may be useful for follow-up.

Key words MR angiography, Pediatrics, Body

原稿受付日: 1997年10月1日, 最終受付日: 1997年12月1日

別刷請求先: 〒569 大阪府高槻市大学町2-7 大阪医科大学放射線医学教室 田中康敬

はじめに

Magnetic resonance angiography (以下MRA)は近年飛躍的な進歩をとげ、体幹部においては造影剤を用いた三次元MRA (以下3D造影MRA)が一般的となっている¹⁻³⁾。体幹部の3D造影MRAの有用性は成人例では多く報告されている¹⁻³⁾が、小児におけるまとまった報告はない。そこで我々は小児の体幹部領域における3D造影MRAの有用性について検討した。

対象および方法

対象は、1995年8月から1997年4月までの1年9ヵ月の間に体幹部3D造影MRAが施行された14患児、15検査で、年齢は1ヵ月から15歳(平均8.4歳)である。6例ではMR検査の前あるいは後に血管造影が施行されている(MRAと血管造影との間隔は1日から7年と様々である)。疾患の内訳は、先天性肺動脈狭窄(バルーン拡張術後)1例、肺塞栓症1例、ファロー四徴症3例(うち術後1例)、肺分画症1例、肺分画症の疑い1例、縦隔右方偏位1例、大動脈

弓部動脈瘤1例、両側腎動脈狭窄1例、高血圧症1例、部分肺静脈還流異常症の疑い1例、転移性肺腫瘍1例、右内腸骨動脈瘤1例であった(Table 1)。

使用したMR装置はGE社製Signa AdvantageあるいはHorizonで、ともに静磁場強度1.5Tである。受信コイルは、乳児3例ではhead coilを使用し、他はbody coil, Torso phased array coil, Pelvic phased array coilのいずれかを使用した。パルスシーケンスは3D fast SPGR(spoiled gradient recalled aquisition in the steady state)で、全例造影剤としてGd-DTPAを用手的静注下に撮像(1例のみ矢状断、他は冠状断方向)した。FOV(Field of View), スライス厚, スライス枚数, 加算回数, マトリクスサイズは年齢や体格, 息止めの可否により決定し、それぞれ20~48×15~36cm, 1~7.5mm, 12~60, 1あるいは2, 256 or 512×128 or 256であった。flip角は20~60度、撮像時間は22秒~2分24秒であった(Table 2)。44秒以下の撮像時間の6例中5例では息止めを行った(1例において5ℓ/分、O₂の吸入を行った)が、他は安静呼吸下に

Table 1. Patient characteristics

MR No.	Age	Sex	Clinical diagnosis	The purpose of MRA
1	9Y	M	Pulmonary arterial stenosis	evaluation of pulmonary arterial stenosis
2	13Y	F	Pulmonary embolism	detection of the site of embolus
3	15Y	M	TOF	evaluation of pulmonary arterial development
4	14Y	F	Pulmonary sequestration	screening of the thoracic arteries
5	same	case	as No.4	demonstration of an abnormal artery
6	3Y	M	Dextrocardia, suspected	evaluation of the heart and aorta
7	9M	M	TOF	evaluation of pulmonary arterial development
8	10Y	M	TOF	evaluation of pulmonary arterial development
9	1M	F	Aortic arch aneurysm	demonstration of an aortic aneurysm
10	14Y	F	Hypertension (bil. renal arterial stenosis)	evaluation of the renal arteries
11	13Y	F	Hypertension	screening of the thoracic arteries
12	8M	M	PAPVC, suspected	evaluation of the pulmonary veins
13	8Y	F	Metastatic pulmonary tumor	evaluation of pulmonary arterial invasion
14	2Y	F	Pulmonary sequestration, suspected	screening of the thoracic arteries
15	15Y	M	Kawasaki disease (internal iliac arterial aneurysm)	demonstration of an internal iliac arterial aneurysm

TOF:Tetralogy of Fallot

PAPVC:partial anomalous pulmonary venous connection

撮像した。全例において検査中の両上肢の挙上は行わず、3歳以下の5患儿では睡眠処置後に検査を行った。睡眠処置は、エスクレ坐剤(50 mg/kg)直腸内挿入あるいはトリクロロシルロップ(1 cc/kg)内服によって行い、無効例にはセルシン(0.3~0.5 mg/kg)あるいはケタラル(1 mg/kg)の静脈内投与を行った。

Gd-DTPAの投与量は、12検査においては0.08~0.12 mmol/kg、3検査においては0.2 mmol/kgを投与したが、原液では液量が少なく持続注入しにくいので生理的食塩水で希釈し総量が5~40 mlとなるようにした。注入は手押しで、生食10 mlのフラッシュを含めて撮像終了の約10秒前に終わるようにした。また、撮像開始は全造影剤量の1/4を注入された時点とした。

全検査で造影剤静注下に撮像したが、11検査においては造影前の撮像(加算回数は1回)も加えて造影剤静注下の画像とのサブトラクションを行った。

このようにして得られたデータを画像処理装置(Advantage Windows)によって3D造影MRAのmaximum intensity projection(以下MIP)像とmultiplanar reconstruction(以下MPR)像とを透過フィルム上に焼き付け、

MIP像は回転表示してビデオに録画した。

検査目的となった血管(Table 1)について3名の放射線科医がこれら3種類のMR画像を総合的に視覚的に評価した。評価内容は、

- 1) 検査目的となった血管の同定評価の容易さ
 - 2) 検査目的となった血管の血管造影像との比較
 - 3) サブトラクション前後のMIP像の比較
- とした。評価方法は、1)では、血管の同定評価が極めて容易である場合を5点、比較的容易である場合を4点、血管の同定が可能で臨床的に有用な評価ができる場合を3点、同定評価がやや困難である場合を2点、同定評価不可能である場合を1点、2)では4例がシネアンギオグラフィーの静止画像、2例がDSAとの比較であったが、MRAが明らかに優れる場合を5点、やや優れる場合を4点、同等の場合を3点、血管造影がやや優れる場合を2点、明かにすぐれる場合を1点、3)では、サブトラクション後が明らかに優れる場合を5点、やや優れる場合を4点、同等の場合を3点、サブトラクション前がやや優れる場合を2点、明らかに優れる場合を1点として、判定医3名の平均をとって評価した。

Table 2. Scanning parameter

MR No.	FOV(cm)	Slice thickness (mm)	Slice location	Matrix size	Acquisition time	Flip angle	Scan time	Breath hold
1	28×28	2.5	28	256×128	1	20	0' 44"	+
2	48×24	3	28	256×128	1	20	0' 22" (O ₂)	+
3	35×35	4	28	256×128	1	20	0' 42"	+
4	40×40	7.5	12	256×128	1	20	0' 26"	+
5	48×36	2	60	512×128	2	60	2' 13"	-
6	40×30	1.5	60	512×128	2	40	2' 24"	-
7	24×18	1.2	60	512×128	1	60	1' 18"	-
8	32×32	1.5	60	512×128	1	60	1' 36"	-
9	24×18	2.5	28	512×128	2	60	1' 08"	-
10	32×24	4	12	256×256	1	20	0' 34"	+
11	48×36	1.5	60	512×128	1	40	1' 13"	-
12	20×15	1	60	512×128	1	60	1' 24"	-
13	40×30	1.8	60	512×128	1	60	1' 09"	-
14	32×24	3	28	512×128	1	60	0' 34"	-
15	48×36	1.8	60	512×128	1	40	1' 08"	-

O₂: Oxygen was administrated.

結 果 (Table 3)

- 1) 検査目的となった血管の同定評価の容易さ
3点以上が15検査中14検査(93%)であり1例を除いて臨床的に有用なMRAが得られた.
- 2) 検査目的となった血管の血管造影像との比較
6検査中1検査(17%)でMRAの方が回転画像やMPR像による観察により立体的把握が容易であるために血管造影像よりも優れていたが、他の5検査は全て血管造影像の方が優れていた.
- 3) サブトラクション前後のMIP像の比較
11例中7例(64%)においてサブトラクションによってより評価しやすい画像となった. これら7例はすべて安静呼吸下に撮像したもので、サブトラクションによって画像が劣化した2例の内1例は安静呼吸下、他の1例は呼吸停止下に撮像したものであった.

症 例

症例1 (MR №4, 5, Fig. 1) : 14歳女児 肺分画症

学校検診で右胸部の雑音を指摘され、血管異常のスクリーニングとしてMRAが施行された. 初回MRA (MR №4, Fig. 1a)では、腹部大動脈から右胸腔内に入る異常動脈の指摘は容易であるが、空間分解能は十分とは言えない. 3ヵ月後に行った2回目MRA (MR №5, Fig. 1b, c)では、初回MRAより空間分解能が著明に向上し、異常動脈が明瞭に描出されている. また、造影前後でサブトラクションを行うと異常動脈の末梢の描出が向上した (Fig. 1c). 血管造影 (Fig. 1d)では異常動脈が選択的に描出されているが、全体的な異常所見の理解にはMRAの方が適している.

症例2 (MR №8, Fig. 2) : 10歳男児 TOF

Fig. 2aは、サブトラクション前の左前斜位MRA、MIP像であるが、低形成の左肺動脈が明瞭に描出されている. 同血管に対してMPR像 (Fig. 2b)を作成すると周囲血管との重なりのない画像が得られている. MRAで左肺動脈の状態が明瞭に観察できるのに対して、血管造影 (Fig. 2c)では、造影剤が代償性に太く発育した右肺動脈へ優位に流入してしまい左肺

Table 3. Results

MR No	(1)Confirmation of vascular lesion	(2)Comparison with conventional angiography	(3)Subtraction effect
1	4.7	2	NA
2	3.3	NA	NA
3	4.3	2.7	NA
4	4	1.7	NA
5	5	2.7	4.7
6	4.3	NA	3.7
7	4.3	NA	4
8	4.7	4	2
9	4.3	NA	3.3
10	4.7	2	2.3
11	4.7	NA	3
12	2	NA	4.7
13	4	NA	4
14	4.3	NA	4
15	4	NA	3
Mean	4.4	2.5	3.7

NA: not available

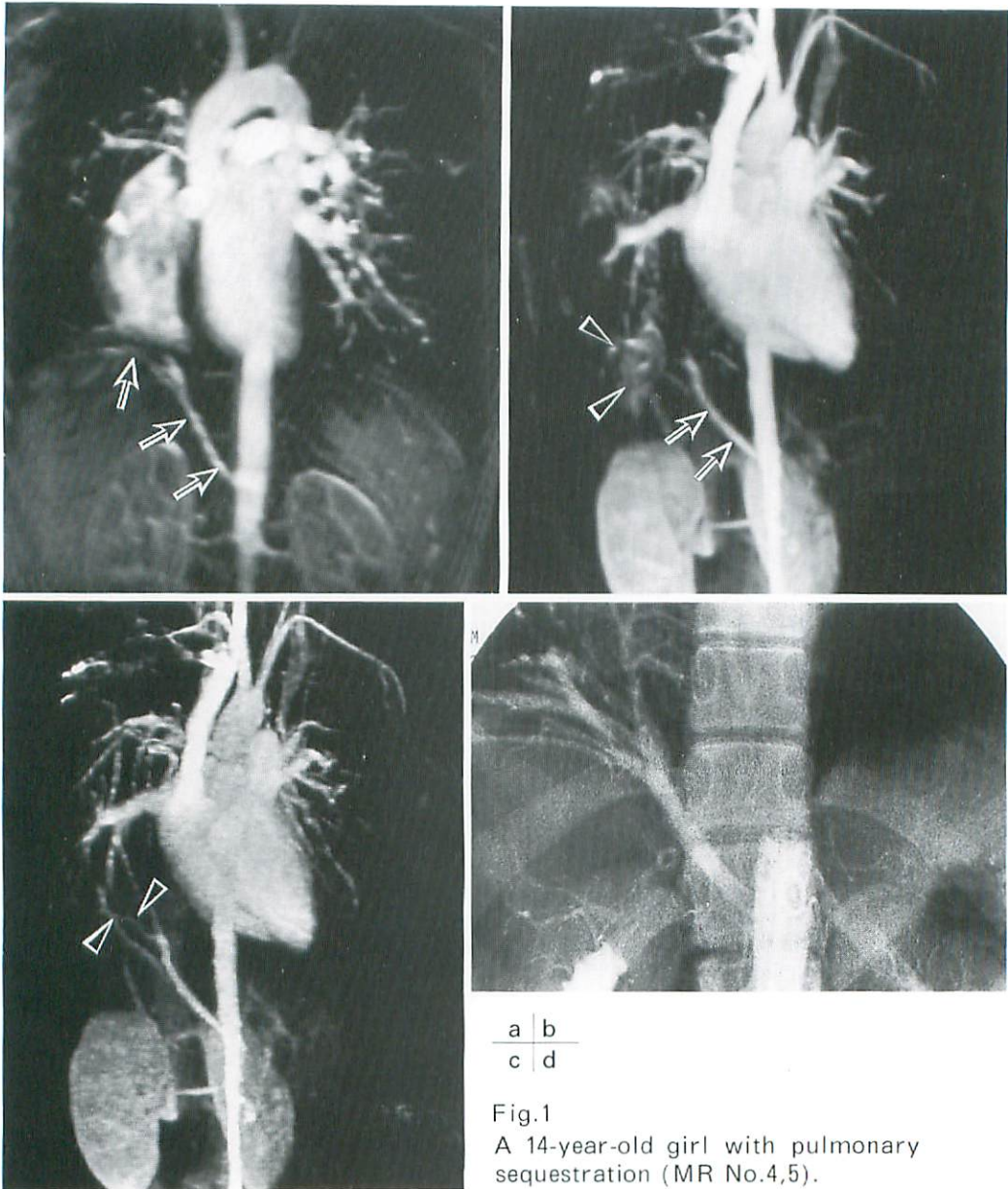


Fig.1

A 14-year-old girl with pulmonary sequestration (MR No.4,5).

(a) 3D-enhanced MRA, non-subtraction MIP image (anteroposterior view), obtained with 7.5mm slice thickness, 12 slice locations, 256×128 matrix size, and one acquisition time, under 26seconds breath hold. Though an abnormal artery (arrows) originating from the abdominal aorta can be detected, the spatial resolution is not necessarily sufficient. (b) 3D-enhanced MRA, presubtraction MIP image (right anterior view), obtained with 2mm slice thickness, 60 slice locations, 512×128 matrix size, and two acquisition times, under breathing. The abnormal artery (arrows) can be clearly detected, however its peripheral branches (arrowheads) are unclear. (c) Postsubtraction MIP image (right anterior view) shows clearly the peripheral branches (arrowheads) of the abnormal artery. (d) Conventional angiography shows both proximal and peripheral portion of the abnormal artery.

動脈の描出が極めて不良であった。

症例3 (MR No.9, Fig.3) : 1ヵ月女児 大動脈弓部動脈瘤

心筋症の疑いのもと心エコーを施行したところ大動脈弓部に動脈瘤の存在が指摘された。

MRAのサブトラクション後MIP像 (Fig. 3a) では大動脈弓の病変はやや指摘しにくいですが、サブトラクション前MPR像 (Fig. 3b, c) では動脈瘤の存在が容易に指摘可能で、動脈瘤内の評価も可能である。

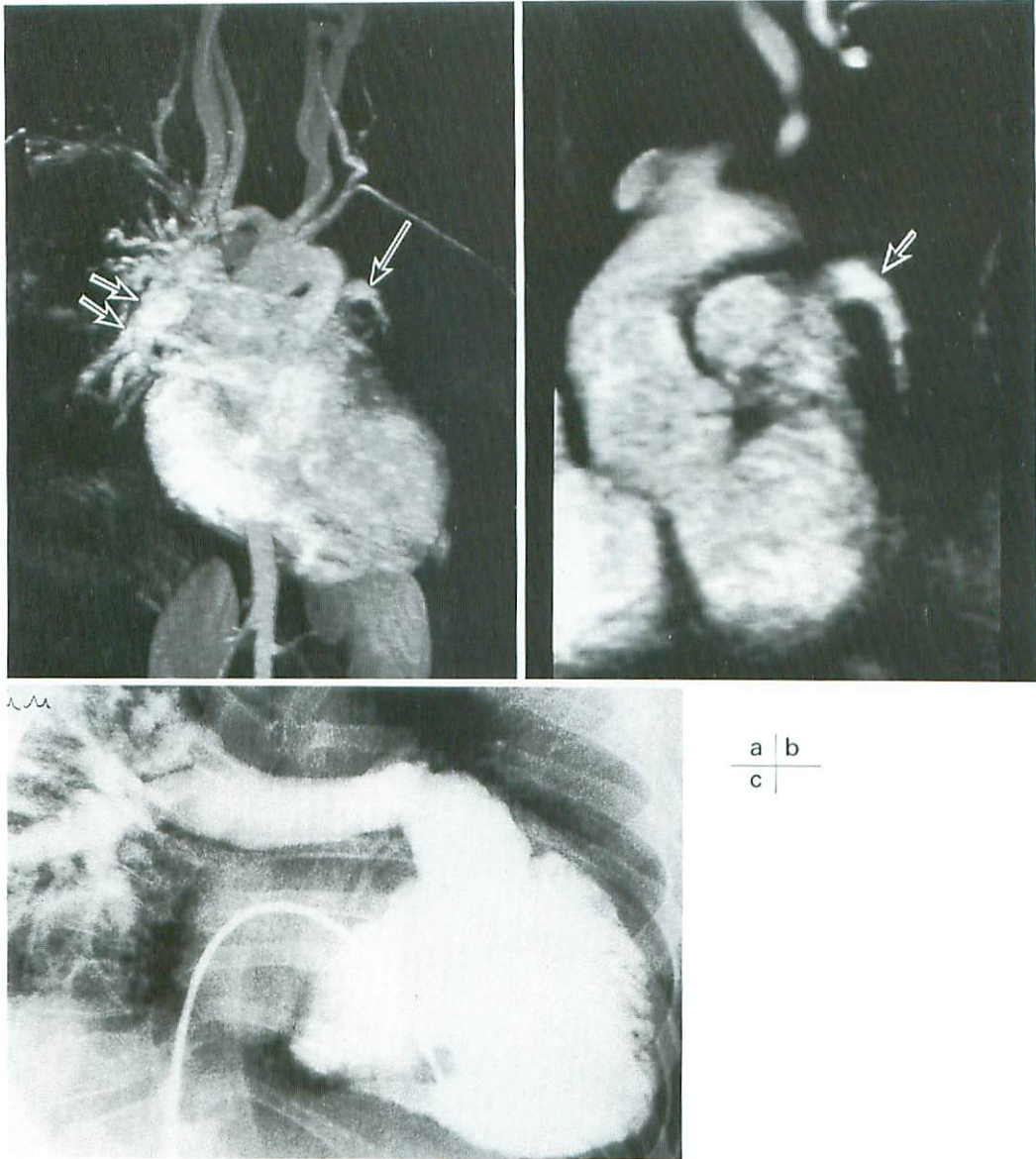


Fig.2 A 10-year-old boy with tetralogy of Fallot (MR No.8).

(a) 3D-enhanced MRA, non-subtraction MIP image (left anterior view), obtained with 1.5mm slice thickness, 60 slice locations, 512×128 matrix size, and one acquisition time, under breathing. Hypoplastic left pulmonary artery (long arrow) and hyperdilated right one (short arrows) are demonstrated. (b) MPR image reconstructed from (a) shows internal structure of the left pulmonary artery (arrow). (c) Conventional angiography can not demonstrate the left pulmonary artery.

症例4 (MR No.10, Fig. 4): 14歳女児 両側腎動脈狭窄症

高血圧症がありエコーにて左腎動脈に異常を指摘された。MRA, MIP像 (Fig. 4a, b) では左腎動脈起始部がやや細く, 起始部よりおよそ1 cm末梢に強い狭窄がありその直後に狭窄後拡張が認められ, 右腎動脈起始部にも軽度の狭窄が疑われる。DSA (Fig. 4c) では, MRA とほぼ同じ所見が得られたが, 左腎動脈起始部の狭窄はMRAでみられるより軽度であり, MRA はスクリーニングとしては有用であるが

狭窄程度の評価には血管造影が不可欠であると思われた。

考 察

成人の体幹部における3D造影MRAの利点は, 2D time-of-flight法やphase contrast法に比して空間分解能とSN比がすぐれていること¹⁾, 血流信号が血流の流入効果ではなく造影効果に大きく依存しているために遅い血流や撮像断面に平行な血流でも十分な信号を得ることが出来る²⁾ことが挙げられ, 従って血流方向

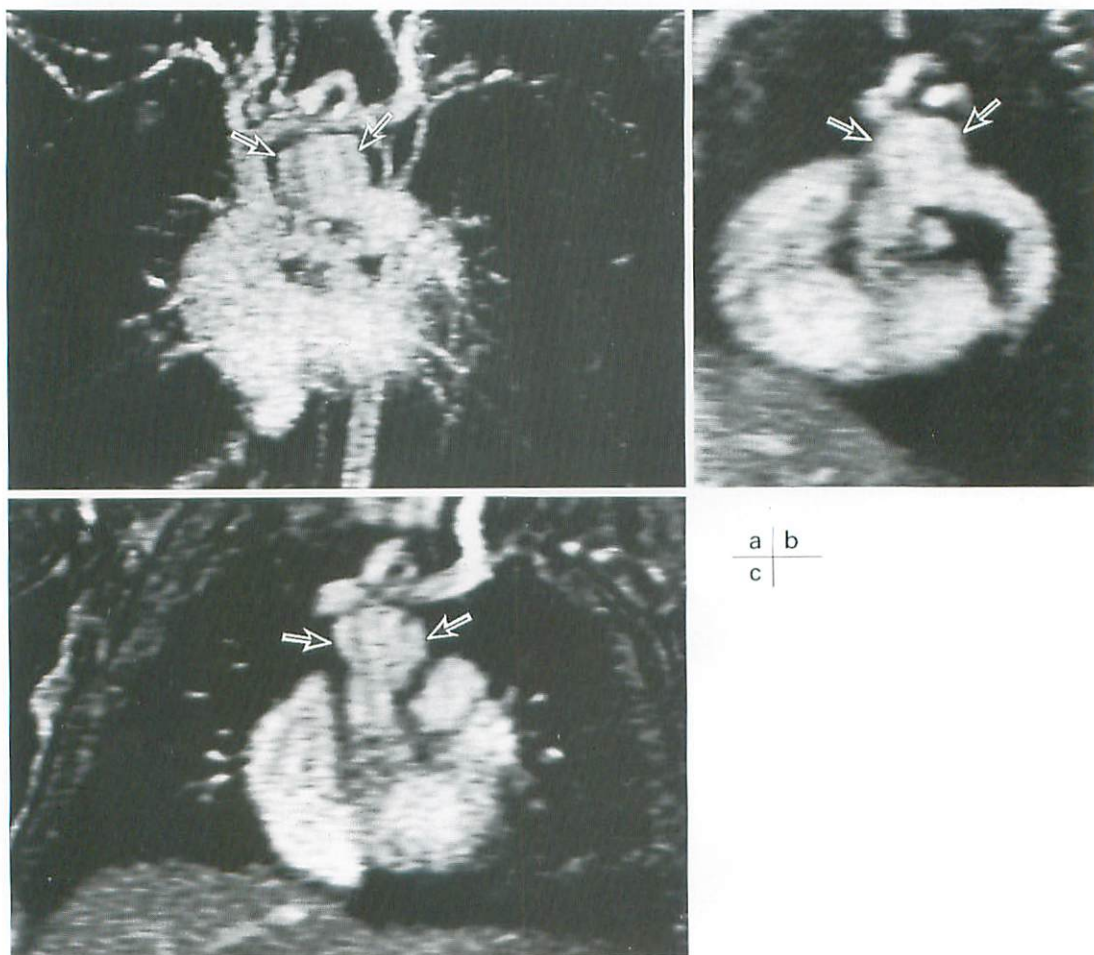


Fig.3 A one-month-old female infant with aortic arch aneurysm (MR No.9).

(a) 3D-enhanced MRA, postsubtraction MIP image (left anterior view), obtained with 2.5mm slice thickness, 28 slice locations, 512×128 matrix size, and two acquisition times, under breathing. An aneurysm (arrows) protruding upward from aortic arch is demonstrated. (b), (c) MPR images reconstructed from non-subtraction image show internal structure of the aneurysm with no effect of turbulent flow (arrows).

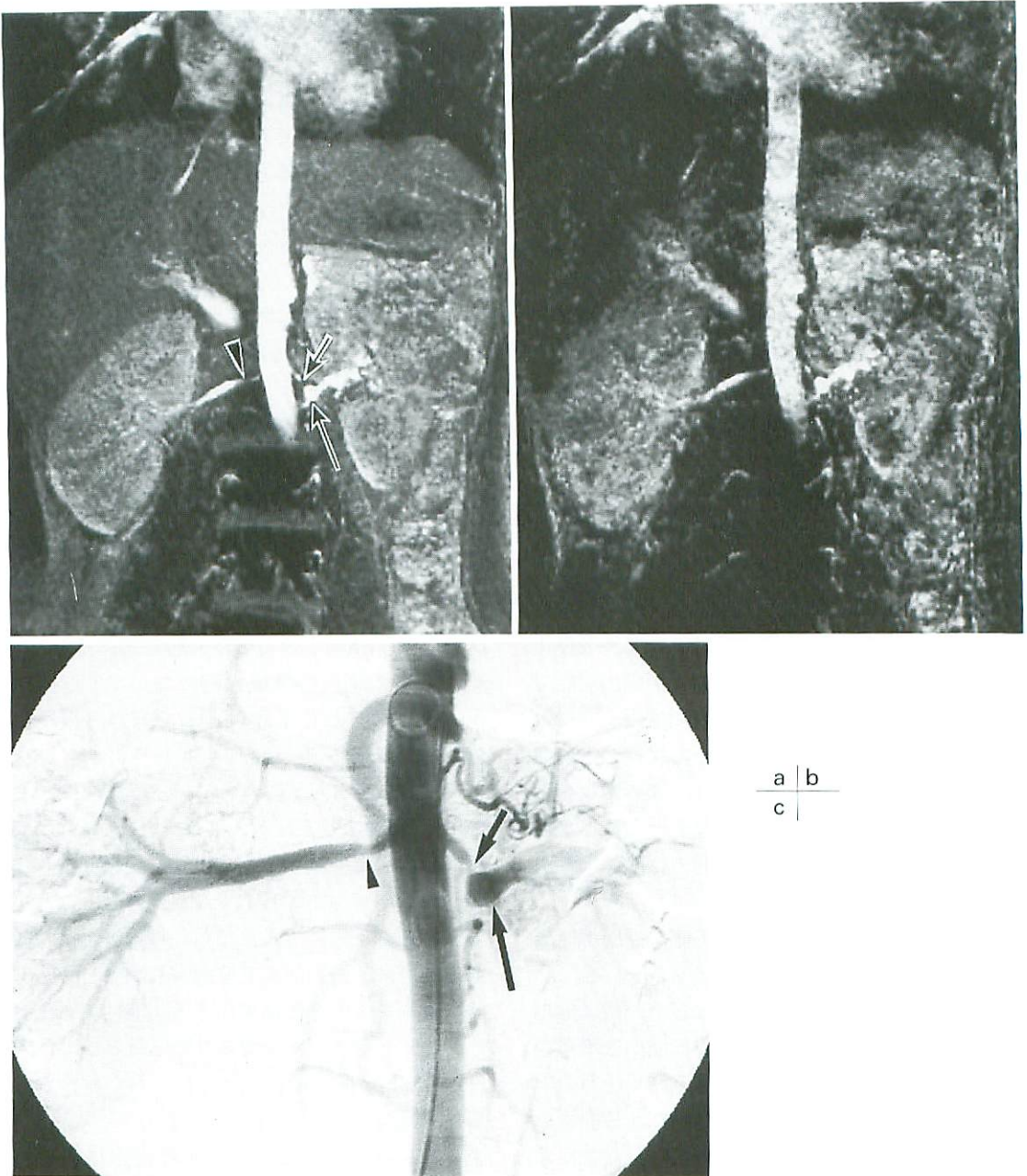


Fig.4 A 14-year-old girl with bilateral renal arterial stenosis (MR No.10).

(a) 3D-enhanced MRA, presubtraction MIP image (anteroposterior view), obtained with 4mm slice thickness, 12 slice locations, 256×256 matrix size, and one acquisition time, under 34seconds breath hold. Proximal stenosis (short arrow) and poststenotic dilatation (long arrow) of the left renal artery are suspected, and proximal stenosis (arrowhead) of the right renal artery is also suspected. (b) 3D-enhanced MRA, postsubtraction MIP image (anteroposterior view). As the result of subtraction the image quality deteriorated. (c) Conventional angiography shows clearly both proximal stenosis (short arrow) and peripheral aneurysmal change (long arrow) of the left renal artery. Proximal mild stenosis of the right renal artery (arrowhead) is also revealed. Fibromuscular dysplasia is suspected on angiography.

を考慮せず任意の撮像断面の選択が可能であることも大きな利点であると思われる。今回の結果は臨床的にほぼ満足のものであり、本法のこれらの利点が小児例においてもあてはまるためであると考えられた。

今回、撮像中の呼吸停止を行った例と行わなかった例があった。その理由は、年長児では呼吸停止可能であるが幼少児では不可能であり、呼吸停止可能であっても撮像時間が短く部位によっては十分な空間分解能が得られないと考えたためである。MR No.10 (Fig. 4) では呼吸停止下に良好なMRAが得られたが、MR No. 4 (Fig. 1a) では胸腔全体をスクリーニングする必要があり同じ呼吸停止下の検査でも実行スライス厚が厚くなり十分な空間分解能が得られていない。しかし、MR No. 5 (Fig. 1b, c) では安静呼吸下に非常に良好なMRAが得られており、静かな呼吸の可能な者ではあえて呼吸停止させなくとも比較的末梢まで血管が描出可能であると思われた。呼吸停止の有無は画一的には決められず、呼吸停止しなくとも比較的太い血管では実行スライス枚数と厚さ、加算回数を適切に選択することで良好な画像を得ることが可能であり、検査目的部位と患児の状態により決定すればよいと考えている。

血管造影では異常血管が選択的に描出可能であるのに対して、3D造影MRAでは、心、肺動静脈、上下大静脈、腎静脈などが一緒に描出されてしまい異常血管の選択的な描出は不可能である。しかし、3次元画像であるため任意の方向からの観察が可能で、心の背側にある血管の評価も比較的容易であるだけでなく、血管系の全体像の把握にはむしろMRAが適していると思われた。また、MRAではMPRによって周囲血管の重なりを避け、かつ血管内腔の観察も可能となり血管造影とは異なった評価ができる。Princeは3D造影MRAにおいては大動脈瘤内の乱流や遅い血流は、本法による血流信号が流入効果ではなく造影効果に依存しているために問題とならなかったと述べている¹⁾が、我々の例 (MR No.9, Fig. 3) においても動脈

瘤内は他の血管と同様な信号強度で描出されMPRで内部の評価が容易であった。MRAは血管造影ほど明瞭な血管描出はできないが血管内腔の観察が可能であり、臨床的に有用な情報を得ることのできる方法であると考えられた。

造影前後のサブトラクションについては、多くの例でサブトラクション後の方が良好なMIP像となったが、その原因は、胸腹腔内脂肪組織、消化管内容物および胸壁や腹壁などが示す高信号や、前後あるいは左右の折り返しアーチファクトがサブトラクションされたためである。胸部大動脈の3D造影MRAにおいては、血流速度が早いため血液スピンのdephaseを少なくする目的でTEを最短にするのが妥当であるとされている^{4,5)}。上下腹部は、胸部と異なり脂肪組織が多く、血管内腔と腹腔内脂肪とのコントラストを大きくするためにTEをopposed phaseとするのが一般的である^{1,2)}。しかし我々の施設では成人例においてTEをopposed phaseとせず最短として安静呼吸下に3D造影MRAを施行し、サブトラクションにより良好なMRAが得られている。小児例においても同様にサブトラクションを用いればTEを最短として血液スピンのdephaseを抑制しながらコントラストの優れたMRAを得ることができると考えている。ただし、呼吸停止下の撮像の場合は、造影前後で位置ずれが生じサブトラクション後の画像が劣化する可能性があるため、サブトラクションできなかったときのために、TEはopposed phaseとしておくべきであると考えている。MR No.10 (Fig. 4) ではTEをopposed phaseにして呼吸停止下に撮像したが、やはり撮像前後の位置ずれによりサブトラクション後の画像の劣化が生じた (Fig. 4b)。しかしサブトラクションを行わなくともTEがopposed phaseであるために血管とバックグラウンドとのコントラストは良好である (Fig. 4a)。この他、安静呼吸下で撮像した例 (MR No.8) で、サブトラクション後に肺血管の辺縁がやや不明瞭となったが、安静呼吸下でも造影前後で呼吸の深さが異なるなど僅か

な位置ずれが生じたためと推察された。安静呼吸下撮像例ではサブトラクションによってより良好な画像となるものが多いが劣化するものもあり、画像評価はサブトラクション前後両者によって行う必要があると考えられた。

Gd-DTPAの投与量については、 $30\text{ ml/adult body}^{3)}$ 、 $0.2\text{ mmol/kg}^{1)}$ とする報告がある。しかし我々の検討では、MR No.6,7,8で 0.2 mmol/kg を投与したが 0.1 mmol/kg 投与例と比較して血管とバックグラウンドとのコントラストが視覚的に優れているとは思われなかったことと、サブトラクション可能な場合は造影前後でサブトラクションすることでバックグラウンドの多くが消去され良好なコントラストが得られたことから、Gd-DTPAの投与量は 0.1 mmol/kg (50kgの人で 10 ml)で十分であると考えられた。MR No.12でMRA像が不良となったのは、 $20\times 15\text{ cm}$ という小さなFOVと512という大きなマトリクスサイズ、 1 mm という薄い実行スライス厚を選択したことによるS/Nの低下が原因であり、 0.1 mmol/kg というGd-DTPA量は適当であったと考えている。Gd-DTPAの安全性については、乳児、幼児、小児に対する毒性は成人とはほぼ同じで⁶⁾、我々の14検査においても副作用を認めず安全であると言える。しかし新生児においては造影剤の排泄遅延が認められ⁶⁾投与は慎重にすべきである。

以上をまとめると、3D造影MRAは小児体幹部領域において有用であり、その臨床的利点として以下があげられる。1) 血管造影に比し画質は劣るが非侵襲的で、X線被曝がなく繰返し検査ができる、2) 造影剤を使用するが安全性が高い、3) 撮像方向が3軸方向で可能で、3次元画像であるため回転画像やMPR像が得られ内腔を含めた血管の観察が容易である、4) 撮像時間は、造影前の撮像を入れても54秒から3分55秒であり非常に短時間で検査を終了

することができる。これらのことから、小児において動脈性血管異常が疑われた場合は血管造影に先だってまず行う価値のある検査であり、経過観察にも有用であると考えられる。ただし欠点として、1) 体幹部の検査である以上は呼吸停止下に撮像することが望まれるが乳幼児では呼吸停止できないし可能であっても若干空間分解能が伴わないことがある、2) 心電同期や呼吸同期を併用した撮像が理想的であるが現在のところ多くの機種で不可能である、などがあげられる。しかし、echo planar imaging等の超高速撮像法が臨床に取り入れられはじめているなど近年のMRの進歩はめざましいものがあり、近い将来これらの欠点が解消されることは間違いのないであろう。

●文献

- 1) Prince MR : Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 1994 ; 191 : 155-164.
- 2) 天沼 誠, 田村綾子, 渡部恒也, 他 : Gd-DTPA持続静注を用いた骨盤, 下肢動脈の3次元MR angiography. *日磁医誌* 1996 ; 16,1 : 13-21.
- 3) Snidow JJ, Johnson MS, Harris VJ, et al : Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography for aortoiliac inflow assessment plus renal artery screening in a single breath hold. *Radiology* 1996 ; 198 : 725-732.
- 4) Lewin JS, Laub G, Hausmann R : Three-dimensional time-of-flight MR angiography: applications in the abdomen and thorax. *Radiology* 1991 ; 179 : 261-264.
- 5) Prince MR, Narasimham DL, Jacoby WT, et al : Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the thoracic aorta. *AJR* 1996 ; 166 : 1387-1397.
- 6) 桑鶴良平, 片山 仁 : MR造影剤の安全性. *日独医報* 1994 ; 39,2 : 194-214.

症 例 報 告

^{99m}Tc-HSA-Dを用いた出血シンチグラムが 出血部位同定に有用であった小児の小腸粘膜下 動脈瘤の1例

朝野 聡, 窪田昭男, 米倉竹夫, 保木昌徳, 野瀬恵介¹⁾
酒井健一, 山内勝治, 野上隆司, 大柳治正
近畿大学医学部 第二外科, 大阪大学医学部 小児外科²⁾

A Case of Hemorrhagic Intestinal Aneurysm Detected by Blood Pool Scintigraphy with ^{99m}Tc-human serum albumin

Satoshi Asano, Akio Kubota, Takeo Yonekura, Masanori Hoki,
Keisuke Nose¹⁾, Kenichi Sakai, Katsuji Yamauchi,
Takashi Nogami, Harumasa Oyanagi

Department of Surgery 2, Kinki University School of Medicine
Department of Pediatric Surgery¹⁾, Osaka University Medical School

Abstract The authors report a case of hemorrhagic intestinal aneurysm which was successfully localized preoperatively by blood pool scintigraphy using technetium-^{99m} human serum albumin (^{99m}Tc-HSA).

A 13-year-old boy was referred to our hospital because of a history of gastrointestinal bleeding for 5-days requiring 3 units of RC-MAP transfusion. Gastro-duodenoscopy and colonoscopy failed to identify the bleeding site. A blood pool scintigram with ^{99m}Tc-HSA demonstrated an RI accumulation to the right of the aortic bifurcation suggesting bleeding from the small intestine. Laparotomy revealed a bleeding submucosal tumor of the ileum. Histology revealed an aneurysm.

To our knowledge, this is the first pediatric case of submucosal aneurysm reported in the Japanese literature. Although it is very rare, submucosal aneurysm should be included in the gamut of small intestinal bleeding of children.

Key words ^{99m}Tc-human serum albumin, Blood pool scintigraphy, Aneurysm

はじめに

小児で幼児期以降に見られる下血を来す疾患には、若年性ポリープ、消化性潰瘍、出血性胃

炎、感染性腸炎等があるが^{1)~3)}、粘膜下動脈瘤によるものは極めて稀である。一方、消化管出血源の診断には一般的に内視鏡検査、血管造影

原稿受付日：1997年8月1日，最終受付日：1997年10月31日

別刷請求先：〒589-0014 大阪府大阪狭山市大野東377-2 近畿大学医学部 第二外科 朝野 聡

検査あるいは消化管造影が用いられているが、出血シンチグラフィ検査、特に ^{99m}Tc -ヒト血清アルブミン(以下 ^{99m}Tc -HSA-D)を用いた血液プールシンチグラフィは非侵襲的であり、また出血部位の検出率も高く非常に有用な方法である⁴⁾。

今回我々は、 ^{99m}Tc -HSA-Dを用いた出血シンチグラフィにより出血部位を同定し得た小腸粘膜下動脈瘤の1例を経験したので報告する。

症 例

症例：13歳、男児

主訴：上腹部痛、下血

既往歴：6歳時に溶連菌感染性腎炎

家族歴：特記事項なし

現病歴：平成7年8月30日より上腹部痛が出現し、翌朝より血便(タール便)を認めたため

近医を受診した。Hb7.8 g/dlと貧血を指摘され、出血源検索のため上部消化管ファイバースコピーおよび大腸ファイバースコピーを行ったが、胃・十二指腸および結腸に病変を認めなかった。RC-MAP 3単位の輸血を含む保存的治療を行ったが止血傾向を認めなかったため、同9月5日精査目的で当院紹介入院となった。

入院時現症：身長150cm、体重33kg。眼瞼結膜は貧血様であった。腹部平坦で左季肋部および右下腹部に軽度の圧痛を認めた。

入院時検査：Hb 10.9 g/dl、Ht 32.4%、GOT 66 IU/l、GPT 124 IU/l、ALP 477 IU/l、AMY 376 IU/lと胆道系酵素およびアミラーゼの軽度上昇を認めた。

出血シンチグラム： ^{99m}Tc -HSA-D(投与量615.2 MBq)を用いた出血シンチグラフィを行った。投与後30分より腸骨動脈分岐部の右上



Fig. 1. ^{99m}Tc -HSAシンチグラム投与30分後より腸骨動脈分岐部の右上方にRIの集積を認める(↑)。

方にRIの集積を認めた(Fig. 1). RIの集積部位および2回目の撮影で尾側に移動したことにより小腸出血と診断した.

手術所見: 回盲部から口側180cmまでの回腸内に血液の貯留を認めた. 血液貯留の最口側で粘膜下もしくは管腔内に腫瘤を触知した(Fig. 2). 回腸に小切開を行い, 径約1.5cmの粘膜下腫瘍を確認した. 腫瘍上の粘膜は2カ所で穿孔し, 拍動性出血を認めた. 本症例に対して回腸の楔状切除術により腫瘤摘出を施行した(Fig. 3). 肝など他の腹腔内臓器に動脈瘤あるいは血管腫などの病変を認めなかった.

病理組織所見: 粘膜下に多量の赤血球を含む血管腔が観察された. 血管壁は平滑筋からなり,

内膜には, 器質化血栓の付着も認められた(Fig. 4). Elastica Van Gieson染色では器質化血栓の下方に内弾性板が確認された(Fig. 5). 以上の所見から, 回腸粘膜下動脈瘤と診断した.

術後経過は良好で再出血も認めず, 術後第14病日軽快退院となった.

考 察

小腸出血は, 全消化管出血の2~5%と比較的稀な疾患である^{2,3)}. 小児において小腸出血は年齢的な違いはあるものの, 腸重積, 若年性



Fig. 2. 手術所見: 回盲部から口側180cmの回腸の粘膜下もしくは管腔内に腫瘤を触知した.



Fig. 3. 摘出標本: 径約1.5cmの粘膜下腫瘍を認め, 粘膜は2カ所(↑)で穿孔を認めた.



Fig. 4. 小腸粘膜下に赤血球を充満した血管腔が観察される. Hematoxylin and Eosin染色×1

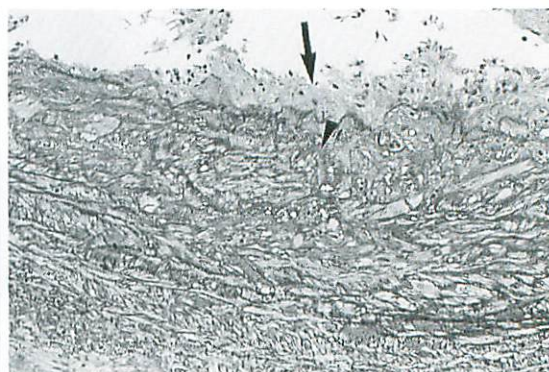


Fig. 5. 器質化した血栓(↓)の下方に内弾性板が観察される(▶). Elastica Van Gieson 染色×40

ポリープ、メッケル憩室、消化性潰瘍などが多く、腫瘍性病変からのものは稀である¹⁾。小腸腫瘍の内、血管腫は4%と報告されているが^{5,6)}、われわれが調べ得た限り、本邦における小腸粘膜下動脈瘤破裂の報告は自験例を含め16例で⁹⁾、われわれが検索したところではそれ以後の報告はなく、また小児例の報告もない。1986年に小腸粘膜下動脈瘤破裂の21例(欧米9例、本邦12例)を集計した竹内らによると⁷⁾、性差は13:8で男性にやや多く、年齢は18歳から60歳(平均30歳)で、比較的若年傾向にあった。術前に粘膜下動脈瘤破裂と診断されたのは4例で、その方法は全例選択的血管造影であった。本邦における小児の小腸消化管出血で術前にシンチグラフィを用いて診断されたのは小腸血管腫の1例のみであった⁸⁾。

出血シンチグラフィには、^{99m}Tc-HSA-Dあるいは^{99m}Tc-標識赤血球を用いた血液プールシンチグラフィと^{99m}Tc-スズコロイドなどのコロイドシンチグラフィがあるが、小児の小腸出血で腸重積などの臨床症状を伴わないものでは、メッケル憩室を疑い^{99m}Tc O₄による胃粘膜シンチグラフィが行われることが多い。これを出血シンチグラフィと比較すると^{4,10)}、出血シンチグラフィの中のコロイドシンチグラフィは消失時間が15分と早いいためその間に出血がない場合、出血部位の描出は不可能である。コロイドシンチグラフィの利点は、肝・脾に集積する反面バックグラウンドがなくなるために、少量の出血でも出血部位の同定がしやすいことである。一方、血液プールシンチグラフィでは血中消失時間が12~24時間と長いため、その間に起こる少量あるいは間歇的な出血でも描出されるという利点がある。欠点としては大血管がバックグラウンドとして残るために、これと重なると描出されないことがある。また、胃粘膜シンチグラフィでは異所性胃粘膜を有する疾患、特にメッケル憩室においては非出血時でも検出されるが、異所性胃粘膜を有する症例は全体の1/3に過ぎない¹¹⁾。しかし、下血を呈する症例のみに限っては、その2/3に異所性胃粘膜

があると報告されている¹²⁾。

本症例で、上部消化管ファイバースコープおよび大腸ファイバースコープにより胃・十二指腸および結腸からの出血を否定し得たので、^{99m}Tc-HSA-Dを第一選択として行い血液プールシンチグラフィにより出血部位を同定した。本症例の如く、比較的緩徐な出血に対し本法は極めて有用であった。本法は非侵襲的であり、間歇的あるいは緩徐な出血の検出率も高く、極めて有用な検査方法である。

小児の消化管出血の鑑別診断には稀ではあるが、粘膜下動脈瘤の存在も加える必要がある。

(本報告の要旨は、第32回日本小児放射線学会において報告した。)

●文献

- 1) 須磨崎 亮: 下血・粘血便(小児科の視点). 今日の小児診断指針. 前川喜平編, 医学書院, 1990; 269-274.
- 2) 五十嵐正広, 中 英男, 外山文太郎, 他: 小腸出血性病変の検討. 北里医学 1981; 11: 220-229.
- 3) Briley CA, Jackson DC, Johnsrude IS, et al: Acute gastrointestinal hemorrhage of small bowel origin. Radiology 1980; 136: 317-319.
- 4) 鈴木 豊: 肝臓以外の消化器. 最新臨床核医学(2版), 久田欣一編, 金原出版, 1991; 441-445.
- 5) 八尾恒良, 日吉雄一, 田中啓二, 他: 最近10年間(1970-1979)の本邦報告例の集計からみた空・回腸腫瘍. 胃と腸 1981; 16: 1049-1056.
- 6) Wilson JM, Melvin DB, Gray G, et al: Benign small bowel tumor. Ann Surg 1975; 181: 247-250.
- 7) 竹内正幸, 平尾雅紀, 石後岡正弘: 大量消化管出血をきたした小腸動脈瘤の1治験例. 北外誌 1986; 31: 75-78.
- 8) 村田了吾, 宮田 曠, 浜田 宏, 他: ^{99m}Tc-赤血球標識シンチグラフィで発見された回腸血管腫の1例. 小児診療 1985; 48: 103-107.
- 9) 三木隆司, 山本和男, 永井基樹, 他: 大量下血をきたした空腸粘膜下動脈瘤の1例. 日救急医学会誌 1990; 11(2), 564-566.
- 10) 越智宏暢, 浜田国雄, 佐崎 章, 他: 消化管出血-R1診断(核医学診断). 外科治療 1981; 44(5): 562-567.

症 例 報 告

MRIにて胸椎、腰椎の骨髄転移が確認された 神経芽腫の1例

吉田 裕, 里見 昭, 谷水長丸, 川瀬弘一,
村井秀昭, 高橋茂樹, 天沼 誠¹⁾, 平敷淳子¹⁾
埼玉医科大学 小児外科, 放射線科¹⁾

The Usefulness of MRI for Detection of Bone Marrow Metastasis in Neuroblastoma: A Case Report

Hiroshi Yoshida, Akira Satomi, Takemaru Tanimizu,
Hirokazu Kawase, Hideaki Murai, Shigeki Takahashi,
Makoto Amanuma¹⁾, Atsuko Heshiki¹⁾

Departments of Pediatric Surgery and Radiology¹⁾,
Saitama Medical School

Abstract Recently, the clinical usefulness of MRI for detection of bone marrow metastasis in neuroblastoma has been pointed out.

A 3-year-old girl was admitted to our hospital with pain of right thigh and fever. She was diagnosed with neuroblastoma by high levels of VMA and HVA of urine. Sagittal view of MRI demonstrated low and high intensity area on T1-weighted images, and high intensity area on T2-weighted images in the bone marrow of the 9th thoracic vertebra. Since the patient showed no obvious abnormalities in plain roentgenography or bone scintigraphy, we supposed that these findings demonstrated the metastatic condition of bone marrow on MRI. MRI was useful for confirmation of the location of bone marrow metastasis.

Key words MRI, Bone marrow metastasis, Neuroblastoma

はじめに

従来、骨髄転移を診断するのに骨髄穿刺細胞診や骨髄シンチグラムが行われてきた。しかし最近、骨髄転移の存在確認にMRIの有用性が指摘されている。われわれも、MRIにて脊椎

への多発転移が確認された神経芽腫の1例を経験したので報告する。

症例：3歳、女児。

主訴：発熱

家族歴、既往歴：特記すべきことはないが6

原稿受付日：1997年7月10日、最終受付日：1997年11月10日

別刷請求先：〒350-0451 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 埼玉医科大学 小児外科 吉田 裕

カ月時の神経芽腫マスキングでは陰性であった。

現病歴：平成8年8月より発熱がつづき近医で内服薬が処方されていた。しかし解熱がみられず、また右大腿部痛が出現した。CRP13.3、血沈1時間値95、2時間値129と高値であったため8月24日小児科へ精査目的で入院となり、その後、当科へ転科となった。

入院時の所見：体温37.8℃。顔色不良であった。胸部に異常所見なく、また腹部では圧痛もなく、腫瘍も触知しなかった。右大腿部に疼痛の訴えがあったが歩行障害は認めなかった。

血液検査 (Table 1)：貧血を認め、CRP 7.85、血中NSE 98.7ng/ml、尿中VMA 125.2 μg/mgCr、尿中HVA 81.7 μg/mgCrと高値を示した。

¹³¹I-MIBG (metaiodo-benzylguanidine) シンチグラム：右側腹部に異常集積像を認めた。

超音波検査：右腎の下極に接する直径6cmの腫瘍が認められ、後腹膜原発の神経芽腫と診断された。

腹部単純CT (Fig. 1)：腫瘍は不整形でL₃～

L₄の椎体の右側に腸腰筋や下大静脈を押し上げる形で存在した。また腫瘍はほぼ均一なlow

Table 1. 検査所見

WBC	6.3×10 ³ /μℓ (Neu 49, Lym 46)
RBC	2.7×10 ⁶ /μℓ
Hb	7.5g/dℓ
Plt	491×10 ³ /μℓ
AST	24 IU/ℓ
ALT	14 IU/ℓ
LDH	240 IU/ℓ
ALP	349 IU/ℓ
T-BIL	0.5mg/dℓ
T.P	6.2mg/dℓ
ALB	3.7mg/dℓ
BUN	6 mg/dℓ
Na	141mEq/ℓ
K	4 mEq/ℓ
Cl	102mEq/ℓ
Ca	9.2mg/ℓ
IP	4.5mg/ℓ
CRP	7.85
NSE	98.7ng/ml
尿中VMA	125.2 μg/mgCr
尿中HVA	81.7 μg/mgCr

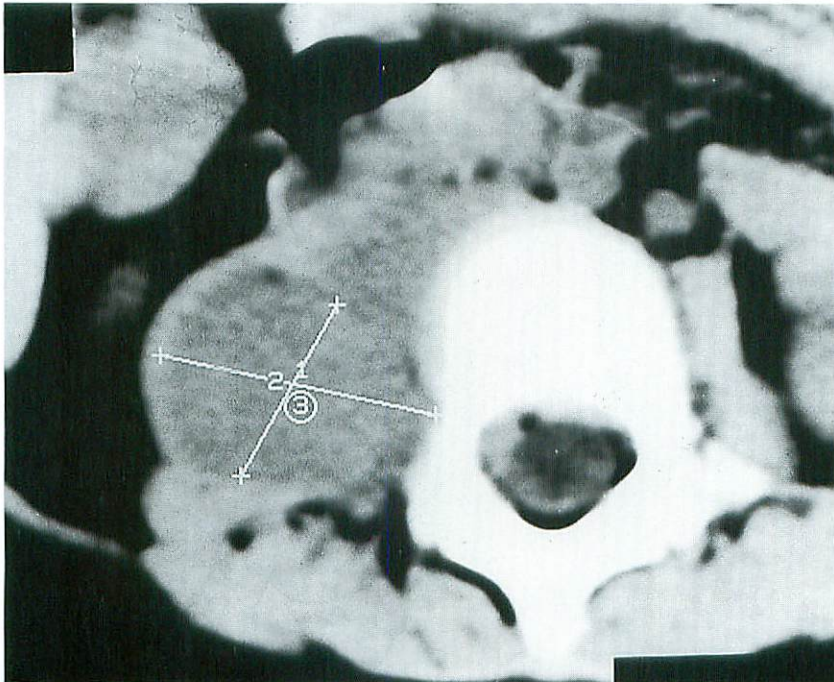


Fig.1 腹部CT：L₃～L₄の右側に存在する腫瘍

densityを示し、脊椎管内にも腫瘍の進展が認められた。

MRIの水平断像：CTによりすでに知られている椎体の右側に存在する腫瘍が、L₃～L₄のレベルで椎間孔から脊柱管内に進展しているの

が明瞭に確認された(Fig. 2)。以上よりDumb bell typeの神経芽腫と診断された。

胸腰椎の単純X線写真：側弯以外に異常所見は認められなかった。

MRIの矢状断像(化学療法後に撮影)：T1強

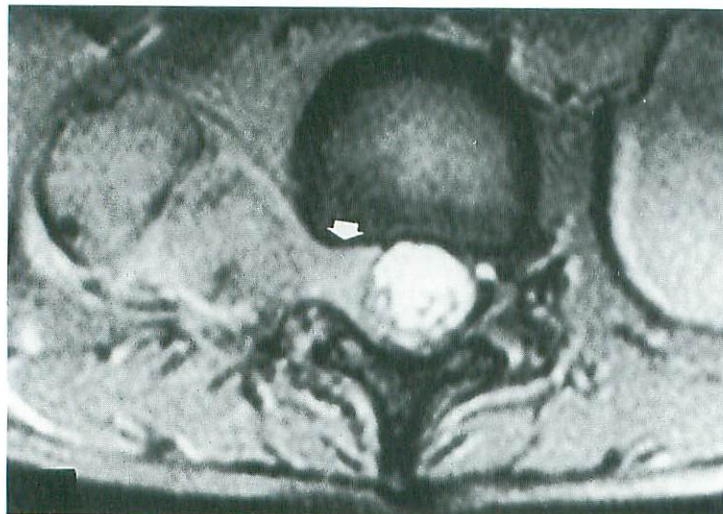


Fig.2 MRI(T1強調画像)：椎間孔から椎管内に進展する腫瘍が明瞭

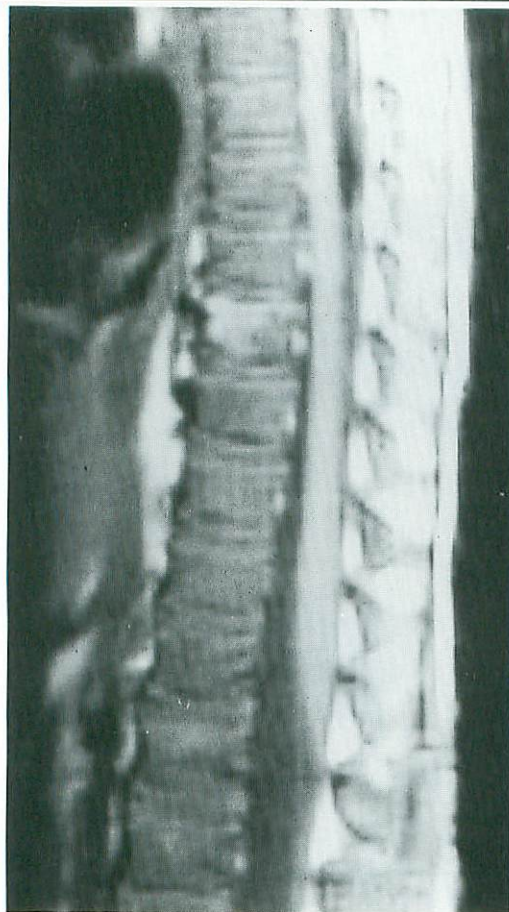


Fig.3 MRI (T1強調画像)

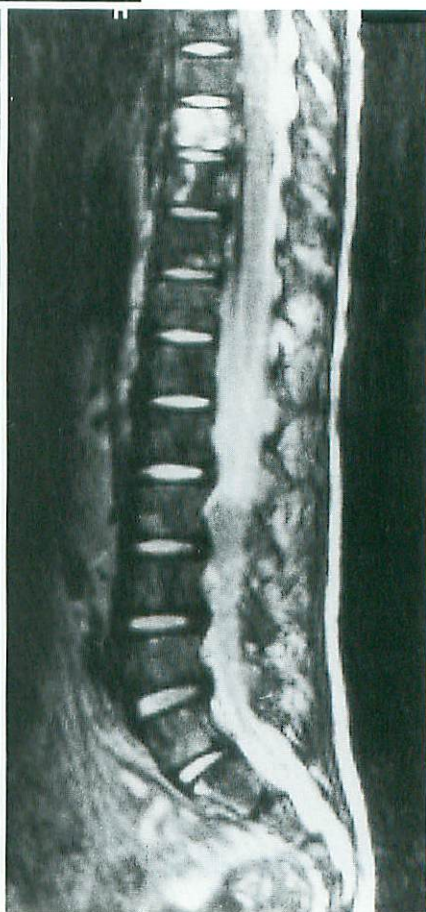


Fig.4 MRI (T2強調画像)

調画像(Fig. 3)では一部低信号を伴う高信号域として、またT2強調画像(Fig. 4)では高信号を呈する第9胸椎と第10胸椎から12胸椎、第3腰椎、第1仙骨に高信号域が散在性に認められた。以上の所見から神経芽腫の多発性骨髄転移が強く示唆された。

delayed primary operationの治療方針のもとに術前に化学療法を施行後、腫瘍全摘出術が施行された。

手術所見：腫瘍は第3腰椎神経根原発で、大動脈周囲のリンパ節転移を伴い、病理組織学的には化学療法による組織像の修飾が強く、神経芽細胞と神経節細胞の混在するganglio-neuroblastomaと診断された。

考 察

従来、骨髄転移の診断は主として骨髄穿刺細胞診や骨髄シンチグラムで行われてきた。しかし、穿刺細胞診は穿刺できる部位が制限されるため、その評価は不確実なものにならざるをえなかった。Thrallら¹⁾は、血行性に転移した腫瘍は、はじめ骨髄腔に転移巣をつくり髄腔内で増殖し、これが周囲の骨にまで及ぶと述べている。したがって骨に浸潤していない状態では、単純X線写真では骨に変化を認めず、また骨シンチグラムも骨に5~10%の病変が生じなければ正確な判定ができないため、骨髄転移の段階では陽性像が得られない²⁾。それに対してMRIでは、骨は無信号となり、主に骨髄が信号として画像化されるため骨髄転移の時期から病巣の判読が可能とされる³⁾。すなわち骨髄を詳細に画像化できるため神経芽腫や神経節芽腫の骨髄転移においてその有用性が報告されている³⁻⁶⁾。

それらによると一般に骨髄転移巣はT1強調画像で低信号、T2強調画像で高信号に描出される。そして成人では正常な骨髄がT1強調画像で高信号を呈するため、低信号の病巣は比較的容易に識別できる⁷⁾。しかし小児においてはMRIの信号強度が赤色骨髄と黄色骨髄の割合で決定されるため、部位や年齢によってその像は変わってくるといわれる^{7,8)}。そのほか原発

巣に対する化学療法によっても影響を受け、その変化はT1値に著明に現れ、T2値には関係しないとする報告³⁾や化学療法により骨髄転移のMRI像が変化してゆき、その治療効果も症例により異なるため、結果として無治療群のMRI診断に比べ治療を加えた後の診断能が低下するという報告¹⁰⁾もみられる。われわれの症例でもMRI検査前に化学療法が行われたことによる二次的变化と思われるが、T1強調画像では高信号のなかに一部低信号が混在する像として描出され、成人のごとくT1強調画像だけで正常骨髄と転移巣を区別することが困難で、T2強調画像とあわせて検討することで診断が可能であった。

一般に神経芽腫では症状の発現の有無にかかわらず病期を決定し、適切な治療を行う上で骨髄転移および骨転移の検索は、ルーチンに行われる。即ち、治療の原則は早期発見、早期治療であり、この点においては骨髄を詳細に検討できるMRI検査は他の検査法に比べ、有用な検査といえる。しかし小児では成人に比べ、前述したような解決すべきいくつかの問題点も存在する。骨髄転移に関するMRI検査の信頼性をさらに高めるには、検出能の向上に努めると同時に小児の骨髄の生理的变化を念頭に、転移巣ならびに治療により変化する病巣の特徴的な所見を集積することが重要である。

おわりに

MRIにて脊椎の骨髄転移が確認された神経芽腫の1例を報告し、MRIの有用性と問題点について述べた。

(本論文の要旨は第33回日本小児放射線学会において報告した)

●文献

- 1) Thrall JH, Ellis BI : Skeletal metastases. Radiol Clin North Am 1987 ; 25 : 1155-1170.
- 2) 村上昌雄, 黒田康正 : 放射線治療からみた骨転移のMRIの有用性. 臨放 1992 ; 37 : 327-335.

- 3) 金川公夫, 西山章次, 越野 司, 他: 神経芽腫骨髄転移のMR imaging. 日本医放会誌 1996; 56: 368-372.
- 4) Cohen MD, Klatte EC, Baehner RC, et al: Magnetic resonance imaging of bone marrow disease in children. Radiology 1984; 151: 715-718.
- 5) Ruzal-Shapiro C, Berden WE, Choen MD, et al: MR imaging of diffuse bone marrow replacement in pediatric patients with cancer. Radiology 1991; 181: 587-589.
- 6) Corbett R, Olliff J, Fairley N, et al: A prospective comparison between magnetic resonance imaging, meta-iodobenzylguanidine scintigraphy and marrow histology/cytology in neuroblastoma. Eur J Cancer 1991; 27: 1560-1564.
- 7) Ricci C, Cova M, Kang YS, et al: Normal age related pattern of cellular and fatty bone marrow distribution in the axial skeleton; MR imaging study. Radiology 1990; 177: 83-88.
- 8) Jaramillo D, Laor T, Hoffer FA, et al: Epiphyseal marrow in infancy; MR imaging. Radiology 1991; 180: 809-812.
- 9) Fletcher SD, Kopiwoda SY, Strandjord SE, et al: Abdominal neuroblastoma; magnetic resonance imaging and tissue characterization. Radiology 1985; 155: 699-703.
- 10) 田辺政裕, 高橋英世, 大沼直躬, 他: 神経芽腫骨髄転移診断におけるMRIの有用性; 組織所見との対比から. 小児がん 1992; 29: 53-57.

本論文に対する編集委員会からのコメント

神経芽腫が骨髄転移を起こすことは良く知られており, それがMRIで検出されることは既知のことである. 従って本論文は症例報告としては適さないとの指摘が, 編集委員会であった. 討論の結果, 本論文は教育的見地から見て内容が良くまとまっており, かつ画像の質が良好であることからPictorial Essay的症例報告として採用することとした.

今後, 会員諸兄姉の賛同が得られれば, 原著論文, 症例報告の他にPictorial Essay(教育的症例で, 画像が優れているものに関する報告)の項目を採用したいと考えている.

(文責 甲田英一)