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す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．しかし一般的にい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，確率的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なと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況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

て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する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 | HiScB 2 |
| | 5 Y | 75 | 320 | | | − | + | RX | HiScB 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，カセッテ，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．カセッテ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必要ない．

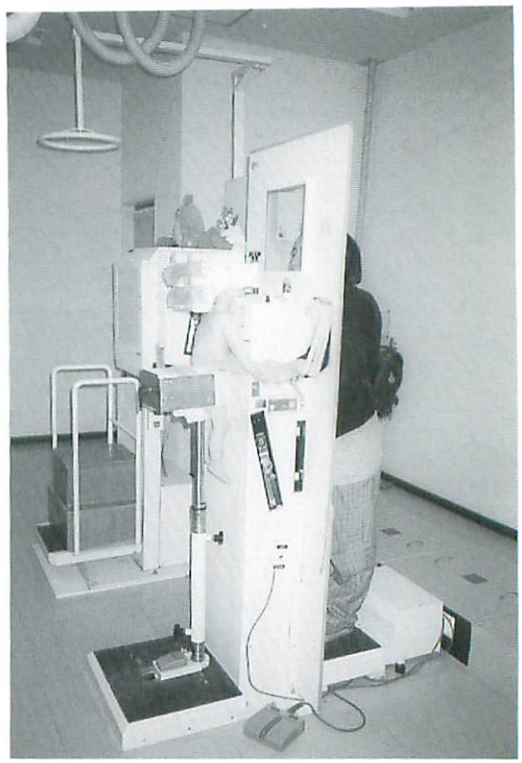

Fig. 1 Auto-Film Changer designed for chest radiography of infants and children. (Kobe Children's Hospital)

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は少ないが約50%程度減じうる．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，位置づけの不適当，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．ディジタル量として画像を処理するコンピューテッ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ことが可能で，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線透視を行う方が実際的である．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）ディジタル画像

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ィジタル信号として取り扱ういわゆるディ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．一般的なディ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る場合も多く，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ス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ス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.