

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ない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る。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る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

患児をしっかり固定し、患児が透視中に勝手に動きまわること防ぐだけで、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³⁾。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>