

小児透視診断システムの開発と その使用経験

Development and Clinical Experience of A Diagnostic Radiographic/Fluoroscopic System for Children

石川 樹一 Juichi Ishikawa

東京都立小児総合医療センター 診療放射線科

当センターには、X線透視撮影室が2室あり、1室は総合診療科をはじめとした消化器科、リハビリ科、外科、脳神経外科および整形外科が利用する多目的な透視撮影室で、もう1室は、泌尿器科、腎臓内科など尿路系検査を主体としている。

今回われわれは、多目的に利用する透視撮影室の装置更新としてフラットパネルディテクタ(FPD)搭載型X線TV装置EXAVISTA*を導入し、併せて小児病院に特化したさまざまな小児透視診断システムの構築を行った。本稿ではシステム全般の開発と使用経験について報告する。

Our center has two R/F rooms at present, one is a multi-purpose R/F room for general medicine department at first and other departments such as digestive organs, rehabilitation, surgery, neuro-surgery and plastic surgery, and another room mainly for urinary tract system examinations by such as urology and renal internal medicine departments.

Since our center constructed various radiographic and fluoroscopic systems for children specialized for the pediatric hospital together with the X-ray TV system EXAVISTA* incorporating Flat Panel Detector (FPD) recently introduced as a system renewal to be used multi-purposedly. We discussed the development of the total system and our clinical experience.

Key Words: X-ray, Fluoroscopic Image, EXAVISTA, FPD

1. はじめに

当センターは(図1)、それぞれに長い歴史と機能の異なった清瀬小児病院、八王子小児病院、梅ヶ丘病院(児童・思春期精神疾患の専門病院)の都立3病院と旧府中病院小児科の4病院が統合され、2010年3月1日に東京都府中市の多摩総合医療センターと同じ建物内に新規開設した。当センターは37の診療科を有し、小児施設としては日本一(2014年現在)の病床規模(561床)を誇り、多摩総合医療センターと一体となり災害拠点病院、総合周産期母子医療センターとして東京都および近隣の小児医療の拠点として病院運営に取り組んでいる。

開院当初、限られた経費と医療資源を最大限に活用する方針から、高額医療機器にあたる放射線装置導入については、X線透視診断装置をはじめとした多くの医療機器は、耐用年数にかかわらず可能な限り旧施設より移設することとなり、現在まで活用を行ってきた。しかし今回、イメージインテンシファイアー(I.I.)方式のX線透視診断装置(Medites FIT*)に劣化が目立ち始めたことにより、2014年1月にフラットパネ

ルディテクタ(FPD)方式のEXAVISTA*²へ更新することになった。



図1：東京都立小児総合医療センター(多摩総合医療センター含む)

2. 小児透視診断に向けてのさまざまな取り組み

(1)小児回転固定台(SA-UDR)

乳幼児を検査するうえで最大の問題点は、検査時に協力が得られない(じっとしてられない)ことである。

幼児期(2歳~5歳)に入ると、頑固に反対するか、機嫌よく従うか、大胆に探求するか、執着的に依存するかの決定を行き来している¹⁾。また、当センターの開設後、過去3年間の検査における5歳以下の検査割合は、図2に示すとおり60%以上と検査を受ける小児の半数以上がじっとしてられない年齢層であり、開院当初より非常に苦慮してきた。

それら多数の小児検査を安全で正確迅速に対応するため、当センターではこれまでも以前に制作した専用の固定台を移設し使用してきたが、今回は従来品の固定台における問題点を改善した形で、さらに安全性を最優先に改良を加えた専用固定台を開発し導入することとした(図3)。

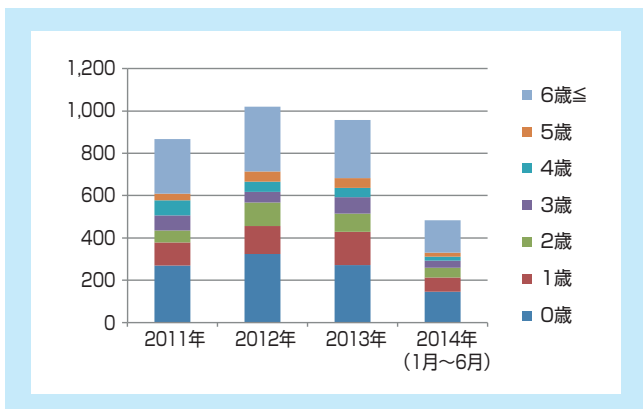


図2: 2011年~2014年6月までににおける年齢別検査人数



図3: 今回開発した小児回転固定台

今回、特に要望し改良を加えた点を以下に紹介する。

【従来装置からの改良点】

①体格に見合った回転検査台の採用(図4)

今回は強度をさらに強化しつつ、さまざまな体格に見合うよう、大・中・小3種類の回転検査台をシステムに組み合わせ使用することができるように制作した。また、患者抑制方法は専用のマジックベルトと固定ベルトで行っている。

②専用のコントローラを撮影室内に追加(図5)

近接操作卓に、「左右の回転」「上昇下降」が電動操作できるようコントローラを追加し、患者の近くで回転台の操作が行えるよう工夫した。

③透視診断装置の寝台と回転台の接触防止機構(図6)

以前は、回転動作時に寝台と接触の恐れがあった。今回の新装置では、干渉物検出接触防止センサーの搭載により、寝台との接触を回避することができた。



図4: 大・中・小3種類の回転検査台



a: 撮影室内のコントローラ b: 操作室内のコントローラ

図5: 回転検査台のコントローラ



a: 新たに搭載した干渉物検出接触防止センサー

b: 従来システム

図6: 干渉物検出接触防止センサー

④回転台上昇下降の安全性の確保

シーケンサー(PLC)搭載により、誤ってスイッチを押し続けても回避安全装置が動き停止する機構を設けた。

⑤安定性の優れた新回転機構の採用

以前は、モーターから直接チェーンで駆動していたため安定性が低かった。今回の新装置には小型サーボモーターにより、振動、静粛性、停止時の安定性が向上し、不安感を与えることなく自由に回転が行えるスリップリング方式に改良した。

⑥回転支柱の強度向上と回転性向上

以前は装置寝台装着時および回転時にあそびがあり、滑らかな動作ができなかった部分を改良した。

これら、従来装置からの改良を行った結果、通常の小児検査はもちろんのこと、夜間当直帯などスタッフが少ない時間帯でも、安全迅速な検査対応ができるようになり、検査に係る医師、看護師から非常に良い評価が得られている。

(2)プレパレーション

前述した5歳以下60%の小児に対し、年齢分析上40%を占める5歳以上の小児についても、必ずしも皆じっとしているとは限らない。そのため、当センターでは、5歳以上の小児に対して、検査前に事前の「プレパレーション*1」を行っている。

【当センター実施のプレパレーション例】

①文字や写真による説明方法(リーフレット、アルバム)(図7)

子どもの学習を導くように作成されたパンフレットや子どもが想像できる内容を描いて分かりやすくしたアルバムなどを、検査を受ける子どもやその親に見せて手技を説明し理解を促している。



図7：リーフレットとアルバム



図8：装置へのラッピング、ビデオ鑑賞モニター

②注意転換法(ディストラクション)(図8)

好きなこと、興味のある話題等で注意を転換させ、恐怖心や混乱を最小限にする。そのための雰囲気作りとして、撮影室の壁や装置に対する絵のラッピングや検査時にビデオ鑑賞が可能となるようなシステム構築などを行った。

当センターでは、これらの手法を透視診断装置に限らず、CT、MRI、RI、CBCT等、ほかの診断装置にも取り入れている。実際に、厚生労働省の厚生科学研究「子どものためのインフォームドコンセントを推進するプリパレーションツールの開発」(平成13年度)²⁾の研究報告によると、プリパレーションを行うことにより90%の子どもが治療を理解し、協力的になったと言われている。また、保護者全員が「好感が持てる」と回答されている。

このことから、小児に対する検査前のプレパレーションは確実に重要なツールの一つであると考える。

(3)高精細動画記録システムの構築

リハビリテーション科による嚥下造影(VF)検査や消化器科における消化管造影検査などでは目的とする部位の狭窄や拡張を含めた形態観察のみならず、嚥下造影においては咀嚼・溜飲状況、消化管造影では消化管の蠕動運動などを直接確認できることから、機能的検査も兼ね備え実施されている。

そのため、動態機能を観察確認するうえで、近年透視動画の記録が非常に重要となっている。

当センターでは、従来透視画像は市販の家庭用ビデオやDVDレコーダーに記録し、必要に応じてCDやテープに出力して、各科のパソコンやビデオレコーダーなどで診断をしていた。しかしながら、市販の家庭用ビデオやDVDレコーダーは入力信号が500本系であり、また、同時に録画等を行う検査状況の映像や内視鏡画像などは、別媒体で保存する必要があるなど、診断するうえで非常に煩雑であった。

そのため今回、日立メディコ製高精細動画記録装置VC-1000をEXAVISTAとともに導入し、リハビリテーション外来・消化器外来・放射線科の各端末から参照が可能となるよう院内の動画記録システムの構築を行った(図9)。

このVC-1000は、X線透視診断装置で取り込み表示を行う1000本系の動画を、同等レベルの画質で録画することができ、また、PinP(Picture in Picture)機能により、透視動画と

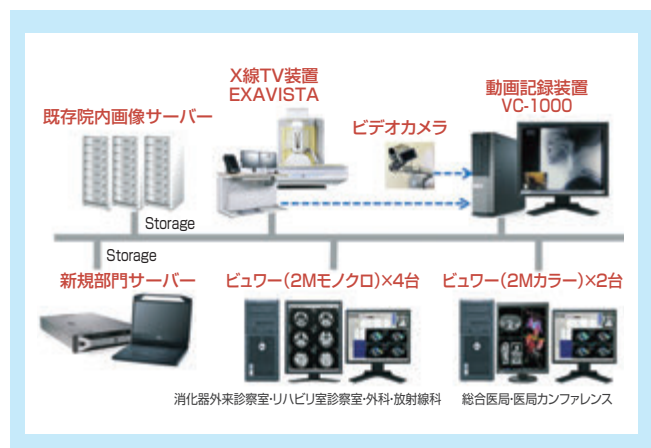


図9：VC-1000を利用したネットワークイメージ図

同時に同じ時間軸ではほかの映像や内視鏡画像などを同時録画することができるため、各科の機能診断向上にも役立っている(図10)。

(4)患者を配慮した温度管理と緊急時における俊敏な装置起動
小児検査では患者にとって適切な空調環境下で検査が行えることが重要である。特に乳幼児撮影では室温を体温程度に維持する必要がある。EXAVISTAはX線変換素材としてCsI(ヨウ化セシウム)を使用している間接変換方式FPDを搭載しているため温度/湿度管理など使用環境の制約が少なく、乳幼児撮影においては本装置が規定する温度域でも問題なく使用できている。

また、間接変換方式FPDは起動時間が短くエージング等の前準備が不要であるため、夜間/緊急検査や災害発生時における対応が早い。

3. 当センターの被ばく低減への取り組み

当センターの被ばく低減については、臨床的に有用な情報が得られる範囲内で必要最小限の被ばく線量にとどめる“As Low As Reasonable Achievable(ALARA)”の原則に従い検査を行うことを念頭に取り組んでいる。X線透視診断装置の機能を最大限に活用し、かつ被ばくの低減をしていくことが重要であると常に考えている。

また、小児医療に関わらず、今後、被ばく線量等の管理がますます求められることが予測されることから、被ばく低減

方法や線量表示等は、導入した装置の機能を含めて日々有効に活用することが必要であると考えている。

今回導入したEXAVISTAの間接変換方式FPD(CsI)は、直接変換方式FPD(a-Se)に比べてX線利用効率が高いため(図11)、より低い入射線量でも高画質な画像を得ることが可能であり、また数々の低被ばく施策が実装されていることから今回の機種決定における大きな要因になった。

EXAVISTAの低被ばくを実現させるための各種施策を以下に紹介する。

(1)付加フィルタの採用

一般に、付加フィルタは軟X線を吸収し、線質を硬くさせる効果がある。そのため、被写体を通してFPDに入射される線量を極力減衰させることなく利用することができるため、被ばく低減に効果がある(図12)。EXAVISTAでは図12に示すとおり各透視モードに連動した複数のフィルタが内蔵されており、術者の判断で選択ができる。当センターでは検査時透視モードをデフォルトでLに設定しているため、付加フィルタが無い場合に比べて被検者の被ばく線量を1/2に低減して使用している。

(2)波尾遮断パルス透視

X線透視を行うとき、連続的にX線を照射するのではなく、間欠的に照射を行うパルス透視は、パルス数を調整することにより被ばく線量を軽減することができる。ただし、この間欠透視時には画像に寄与しない波尾X線が被ばくを増やすと言われているが、EXAVISTAには波尾遮断機能が標準で装備されていることから、パルス透視機能の被ばく低減効果を最大限生かす機構となっている。

この標準搭載されている波尾遮断機能の効果は、高速下降



図10：高精細動画記録

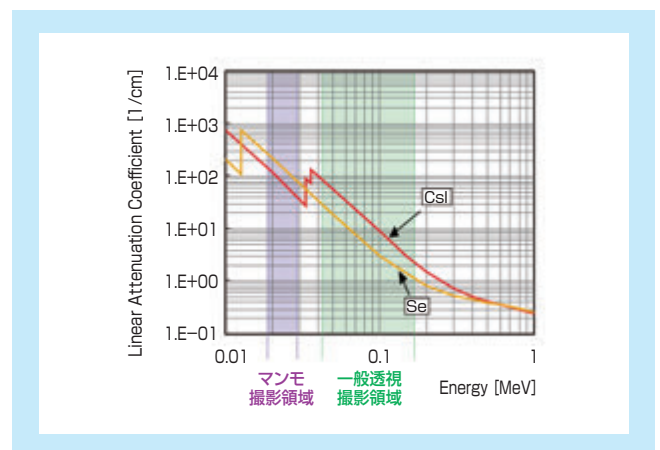


図11：CsIとa-SeのX線減衰特性

フィルタ		Al —	Cu —	Al 0.5mm	Cu 0.05mm	Al 0.5mm	Cu 0.1mm
透視モード		H		M		L	
被ばく線量	Hを基準	1.0倍		0.7倍		0.5倍	
	Lを基準	2倍		1.4倍		1倍	

図12：付加フィルタの有無による被ばくの低減

がない場合に比較した低減率が被検者被ばくで約30～50%、術者の散乱線被ばくで約9～15%であり、透視検査が多くなってきている現在の臨床において非常に有用である(図13)。

(3)画素読み出し回路の高S/N化

FPDの各画素からデータを読み出す手法は、非常に高速(数ナノ秒)で行わなければならない。その際、読み出し画素の切り替え時にはアドレスラインを經由して電源や他画素からのノイズが混入しやすい。このようなノイズが混入された場合、画面上ではラインノイズとして表現されてしまうが、EXAVISTAはこのノイズ混入に対し、読み出し画素切り替え素子内の浮遊容量を大幅に低減させることで、このラインノイズを極力低減させる仕様となっている。そのため、低い

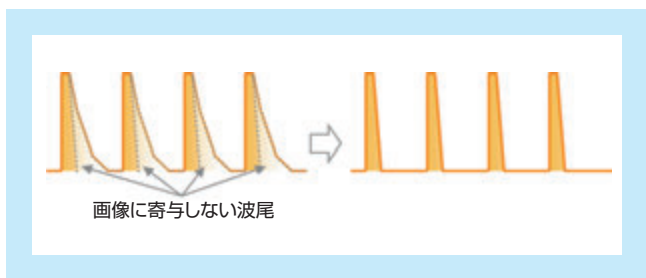


図13：波尾遮断パルス透視

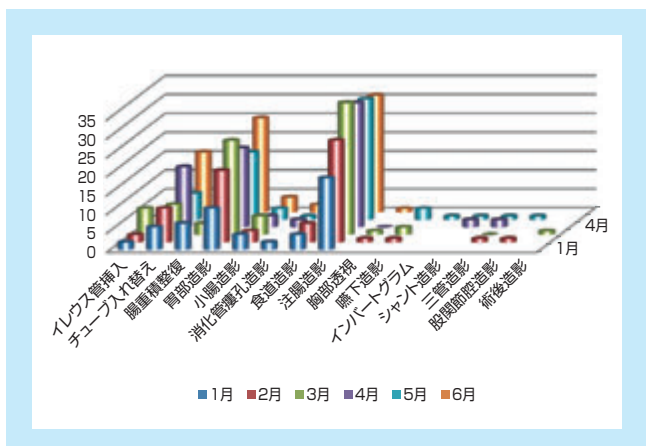


図14：当センター2014年1月～6月までの検査種別患者数

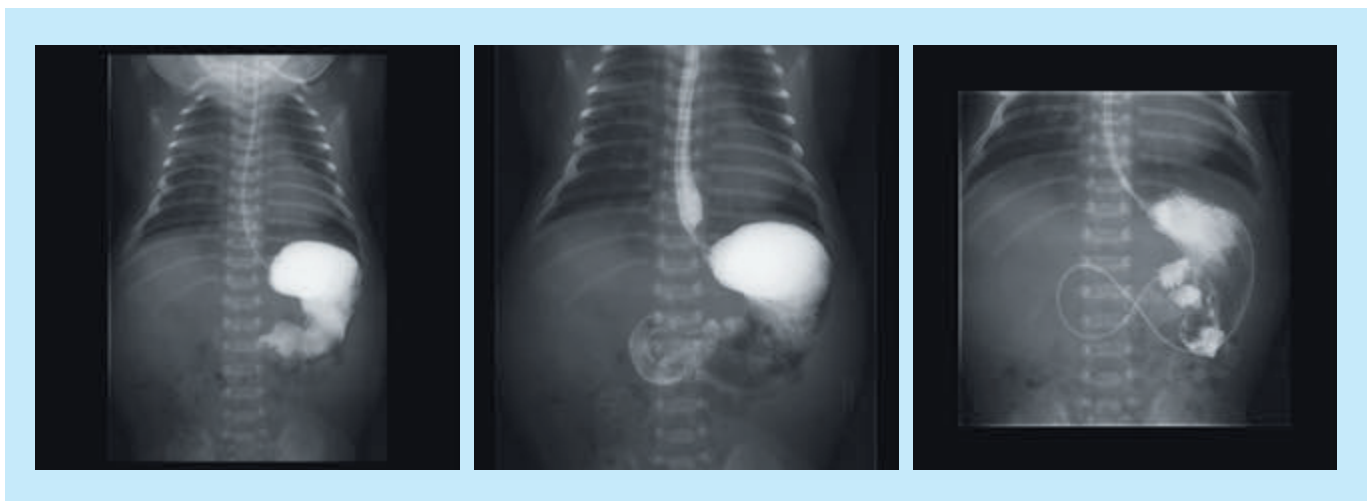


図15：上部消化管検査症例

透視条件下でもノイズ改善効果が得られることより、臨床に対応可能な透視像を得ることができる。

(4)被ばく線量表示(NDD法^{*2})

被ばく線量表示(NDD法)が標準機能として装備されていることにより、検査中の線量検証が明確となるとともに、放射線科における被ばく管理が容易となった。

4. 当センターの小児消化管造影検査の症例紹介

最後に、当センターで実施している小児消化管造影検査の症例を紹介する。

図14は2014年1月～6月までの各検査種別患者数である。本データより上部消化管造影や下部消化管造影の比率が高いことが分かる。ここでは比率の高い上部・下部消化管造影の症例について紹介する。

(1)上部消化管検査

上部消化管造影検査では、形態、粘膜病変、狭窄・閉鎖、逆流の診断を目的としている。適応疾患は、胃食道逆流症、食道閉鎖術後、食道アカラシア、食道裂孔ヘルニア、胃軸捻、胃下垂、十二指腸閉鎖、上腸間膜動脈症候群、腸回転異常などである³⁾。

【上部消化管検査症例】(図15)

新生児 男児 体重3,300g 身長52cm 吐気、嘔吐 精査

造影所見

- 1) 胃充盈像：造影剤20ml
- 2) 二重造影：1)+空気10ml
- 3) 胃形態：軸捻転なし
- 4) 十二指腸：明らかな異常なし
- 5) トライツ靱帯形成あり
- 6) 胃食道逆流・クリアランス：著明。造影中に著明な胃食道逆流を認めた。

(透視時間5分、撮影枚数6枚、表面線量14.88mGy)

(2) 下部消化管検査

下部消化管造影検査では、慢性便秘、便栓塞、Hirschsprung病、腸重積などの診断治療を目的とし、適応疾患上記以外に腸重積整復、腸回転異常などがある³⁾。

【下部消化管症例】(図16)

小児1歳、女児、体重9,300g、身長76cm 便秘症疑い

造影所見

ガストログラフィン注腸

1) 造影剤50ml注入

2) 撮影：50・100・200・300(ml)

撮影：正面・側面

3) 直腸：拡張軽度 S状結腸：拡張 下行結腸より口側：拡張

4) 直腸角：102.3度

5) 直腸拡張率(坐骨径比)50ml

側面85.04%/正面74.03% 最終注入時側面82.89%/正面74.38%

(透視時間1分、撮影枚数11枚、表面線量10.54mGy)

いずれの症例も、冒頭で紹介した新小児回転固定台を使用することにより、短時間で正確なポジショニングが可能となっている。

5. まとめ

現状の課題として、小児回転固定台(大・中・小)の本体重量がおおの約13kgと重い。新生児から大人まで対応する必要のあるEXAVISTAにおいて、取り付け、取り外しが必要であることから、さらなる軽量化や装着の簡便性向上が望まれる。

また、今回構築した動画記録システムについても、端末の増設やHISへの接続ができると院内ネットワークとの拡張が可能となり、さらに有効に利用できると考える。

小児X線検査では、今後ますます安全で正確迅速な検査が要求されている。安全性向上はもちろんのこと、低被ばく条件下における装置の高画質化に向け、メーカーとともにさらなる検討を重ねていきたい。

*1 プレパレーション：検査・治療や手術などを受ける前に、その小児年齢に見合った言葉や道具を使い、手技の内容を説明し理解を得て心の準備を促すこと。

*2 NDD法は茨城県放射線技師会被ばく低減委員会(班長：森恒彦氏)が提案された方法であり、茨城県立医療大学 佐藤斉氏が係数を導きソフトウェアを開発されたものである。

*1 MEDITESおよびMEDITES FIT、*2 EXAVISTAは株式会社日立メディコの登録商標です。

参考文献

- 1) ネルソン小児科学：2部12章成長と発達
- 2) 厚生労働省の厚生科学研究「子どものためのインフォームドコンセントを推進するプリパレーションツールの開発」(平成13年度)
- 3) 工藤孝広,ほか：小児の消化管造影検査. 2013/8/27

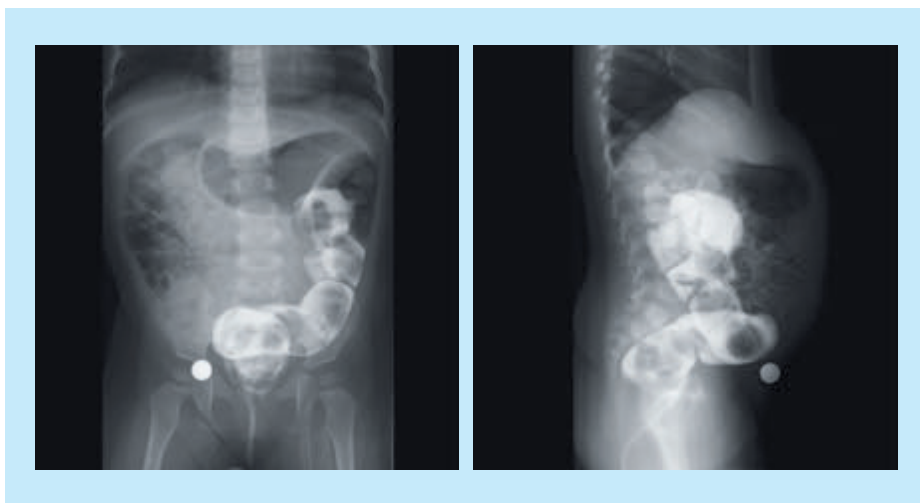


図16：下部消化管症例

*画像上のボールはキャリブレーション用