原 著

I.I./TV-DR断層撮影の基本特性

斉藤 肇・武 俊夫・岩井譜憲・中村雅美・金子福和・加藤京一・中澤靖夫

論文受付
1998年10月12日論文受理
2000年9月7日

Code No. 253

昭和大学病院放射線部

緒 言

現在のX線テレビ装置を用いたX線撮影は、S/F (screen/film system)を使用した方式からテレビカメラの出力画像をデジタル化し、X線画像を得るDR (digital radiography system)が、主流になりつつある。X線テレビ装置がDR化されることにより、①リアルタイムで観察用ディスプレイに画像が描出される、②階調処理、周波数強調処理、画像拡大などの画像処理が可能である、③S/F撮影に比べ被曝線量を軽減できる、④デジタル保管、およびPACS (picture archiving and communication system)への接続が可能になる

などの利点が挙げられる^{1,2)}。

当院のX線テレビ装置もDR化に移行し、新たに直線断層撮影機能を追加した。断層撮影のデジタル化は当初、輝尽性蛍光体であるIP (imaging plate)を検出器として使用するCR (computed radiography)によって臨床応用されている³⁾。一方、I.I. (image intensifier)とテレビカメラを検出器として使用するI.I./TV-DR (image intensifier/television-digital radiography system)断層撮影装置は、1回の撮影で断層像再合成処理により多層断層像が得られる⁴⁾。しかし画質の点でS/Fの断層像に及ばないのが現状であった。今回使用した装置

Clinical Characteristics of Tomography with I.I./TV-DR System

HAJIME SAITO, TOSHIO TAKE, TSUGUNORI IWAI, MASAMI NAKAMURA,
NORIKAZU KANEKO, KYOICHI KATO, and YASUO NAKAZAWA

Department of Radiology, Showa University Hospital

Received Oct. 12, 1998; Revision accepted Sept. 7, 2000; Code No. 253

Summary

Purpose: Tomography can be carried out with either the CR method using an IP or the conventional screen/film system. In our institute, a new, straight linear tomography function was added to I.I./TV-DR. We report on the gap functional fundamental characteristics of our system. **Methods:** The fundamental characteristics of I.I./TV-DR were measured using a lattice chart by observing the tomographic shape and location of the target plane. DIC and TBLB of tomography were also evaluated in terms of clinical application. **Results:** The main characteristic of I.I./TV-DR is the ring-formed shape of the target plane image, and the width of the ring changes in relation to exposure angle. The tomographic planes at the central part and the periphery were different in height. In terms of clinical application, I.I./TV-DR fluorography combined with tomography may enhance diagnostic ability.

Key words: Image intensifier/television-digital radiography system (I.I./TV-DR), Tomography, Effective tomographic thickness, Clinical evaluation

別刷資料請求先: 〒142-0064 東京都品川区旗の台1-5-8
昭和大学病院放射線部 斉藤 肇 宛

Fig. 1 The principle of blur on S/F tomography.

Fig. 2 The principle of blur on I.I./TV-DR tomography.

は、多層断層像は得られないが、高精細I.I.と2,100本走査線テレビカメラの映像系とマトリクス2,048×2,048の画像処理装置により、リアルタイムで臨床に対応可能な画像が得られると考えた。

そこでわれわれは、I.I./TV-DR断層撮影の基本特性について検討した。

1. S/FとI.I./TV-DRの断層撮影の原理および照準断面(裁断面)

断層撮影は、X線管とフィルムを任意の支点を中心として、互いに反対方向に運動を行った場合、この支点を含む平面上の各点は、運動中、常に同一間隔でフィルム上に投影されるが、それ以外の位置の点との距離は、それぞれ異なって投影される。そのため、点として結像せずボケ像となるため、特定の一平面のみが像として成立する。

Fig. 1にS/Fのボケ像描出原理図を示す。X線管をP→Qへ移動する際に、支点Oを中心にフィルムを反対方向に移動すると、支点OはX線管がPの位置ではO'に、Qの位置ではO''にそれぞれフィルム上に投影される。同様に、AもA'、A''にそれぞれ投影される。この時、PO'とQO''の交点OおよびPA'とQA''の交点Aは、照準断面OAとして、フィルム上に結像する⁵⁾。

Fig. 2にI.I./TV-DR断層撮影のボケ像描出原理図を示す。Fig. 1のS/Fと同様に、支点Oを中心にI.I.を反対方向に移動すると、PO'とQO''の交点OおよびPB'とQB''の交点Bは、照準断面OBとしてI.I.上に結像す

る。しかし、I.I./TV-DRの検出面であるI.I.は、入力蛍光面の形状が曲面であるため、I.I.中心部と周辺部ではI.I.入力蛍光面の高低差CDが生じる。このことにより、I.I.中心部の照準点(支点)OとI.I.周辺部の照準点Bは、曲面OBの照準断面となり、高低差EFが生じる。

2. 使用機器

実験で使用した装置および器具を示す。

X線透視撮影台	: TU-230XL (株式会社日立メディコ製)
画像処理装置	: DR2000MC (株式会社日立メディコ製)
レーザイメージャ	: FL-IM3543ーデジタル接続(富士メディカルシステム株式会社製)
格子チャート	: スクリーンメッシュ (日本コダック株式会社製)
断層厚測定ファントム	: リトルトンファントム(住友スリーエム株式会社製)
照準断面および照射角(振角)測定試験器具	: 自作

3. 方法

3-1 照準断面像の形状の把握

格子間隔3mmチャートを撮影台に平行に設置し、照射角8, 20, 40度で断層撮影を行い、I.I.入力蛍光面9インチの照準断面像を得た。

Fig. 3 Tomographic plane and tomographic angle measurement tool.

Fig. 4 Geometry used to measure tomographic angle.

Fig. 5 Measurement at tomographic angle 40 degrees.

(a) Before adding height difference.
(b) After adding height difference.

3-2 入射視野の中心部と周辺部における照準断面の高低差

直径2mmのスチールボールを5mm間隔で配列した照射角および照準断面の位置決定用試験器具(Fig. 3)を撮影台に平行に設置し、I.I.入力蛍光面7, 9, 12, 16インチについて40度の照射角で断層撮影を行い、I.I.中心部(支点)およびI.I.周辺部における照準断面の高低差を求めた。ただし、I.I.周辺部の測定点は、最大入射視野寸法を100%とした場合を基準に、入射視野寸法の25, 50, 75, 90%の位置とし、JIS Z 4721の像歪みの測定位置の考えを導入し求めた⁶⁾。

Fig. 6 Method of measuring effective tomographic angle.

3-3 照射角測定

高さ20cmのものに、45度の傾斜面を設け、3-2で使用了器具を傾斜面にスチールボールの配列とX線管移動方向を垂直に設置(Fig. 4)し、照射角8, 20, 40度の断層撮影を行った。得られた画像(Fig. 5a)より、照準断面上のスチールボールと縦長にボケ像として描出されたスチールボールとの距離 b と縦長にボケ像として描出されたスチールボールの長さ c により測定照射角は、

$$\alpha/2 = \tan^{-1}(c/2b)$$

で求められる⁷⁾。しかしFig. 6に示すように、I.I./TV-DR断層撮影の照準断面は撮影台と平行ではなく曲面OAであるため、中心部と周辺部の照準断面の高さを等しくする必要があった。そのため中心部Oと周辺部Aにおける照準面の高低差 h を加算し、撮影を行い得られた画像をFig. 5bに示す。曲面O'A'の照準断面が得られ、中心部Oと周辺部A'は同一平面上に存在するこ

Fig. 7 Tomographic plane images.

- (a) Tomographic angle of 8 degrees.
 (b) Tomographic angle of 20 degrees.
 (c) Tomographic angle of 40 degrees.
 (d) Tomographic plane at the center.
 (e) Tomographic plane at the middle.
 (f) Tomographic plane at the periphery.

a	b	c
d	e	f

とになる。よってI.I./TV-DR断層撮影の測定照射角は、Fig. 5aの照準断面上のスチールボールと縦長にボケ像として描出されたスチールボールとの距離 b とFig. 5bの縦長にボケ像として描出されたスチールボールの長さ c' によって求めた。

3-4 断層厚測定

I.I.入力蛍光面7インチにおいて、入射視野の中心部と周辺部に断層厚測定用リトルトンファントムを設置し、照射角8、20、40度の断層撮影を行った。ただし、I.I.周辺部の測定点は、最大入射視野寸法を100%とした場合を基準に、入射視野寸法の90%の位置とした。また、各照射角で同一のピクセル値(濃度)が得られる撮影線量で撮影した。得られた画像をウィンド幅、ウィンドレベルを一定にしてレーザーイメージャで出力し、目視にて測定した。

3-5 拡大率測定

金属スケールを入射視野の中心部に設置し、50、100、150、200mmの高さで、照準断面像についての拡大率を測定した。ただし、撮影台表面を1.0倍拡大とした。

3-6 臨床応用

I.I./TV-DRの断層撮影の効果を臨床画像で検討する

ために、次の検査について断層撮影した。DIC(drip infusion cholecystography)照射角20度、TBLB(transbronchial lung biopsy)の肺野を照射角40度、膝の関節造影を照射角40度、小児のIVU(intravenous urography)での腎部を40度で行った。ただし、目的部位を入射視野の中心部で撮影し、I.I.入力蛍光面は、すべて7インチ、画素サイズは、2,048×2,048マトリクスとした。

4. 結果

4-1 照準断面像の形状の把握

照射角8、20、40度の照準断面像をFig. 7に示す。I.I./TV-DR断層の照準断面像は、リング状の画像となり、照射角を大きくなるに従いリングの内径と外径の幅が狭くなった(Fig. 7a~c)。入射視野の中心部に照準断面を設定した場合の照準断面像は円形状(Fig. 7d)となり、照準断面の高さを上方(照準断面を周辺部へ)に移動させると円形状からリング状へ形状が変化し、リングの形状が大きくなるに従いリングの内径と外径の幅が狭くなった(Fig. 7e, f)。

4-2 入射視野の中心部と周辺部における照準断面の高低差

Fig. 8はI.I.入力蛍光面サイズ別による照準断面の高低差を表したグラフである。横軸は入射視野寸法にお

Fig. 8 Difference in height of the tomographic plane according to the size of the tomographic range of the entrance field.

ける周辺部の測定位置，縦軸は中心部と周辺部における照準断面の高低差である．入射視野の中心部に比べ，周辺部にいくほど照準断面の高低差は大きくなった．また，I.I.入力蛍光面のサイズを大きくするほど高低差は大きく，最大入力蛍光面である16インチにおいて最大入射視野寸法の90%の位置では55mmの高低差が生じた．

4-3 照射角測定

各表示照射角における測定照射角をTable 1に示す．表示照射角と測定照射角の誤差は，照射角8度で3.6%，20度で7.0%，40度で8.8%であった．

4-4 断層厚測定

入射視野の中心部と周辺部における断層厚測定像をFig. 9に示す．また，Fig. 9をレーザイメージャで出力した画像を目視で計測した結果をTable 2に示す．I.I./TV-DRの断層撮影は照射角が同じでもI.I.の中心部と周辺部では異なり，周辺部の断層厚が中心部より薄くなっていた．

4-5 拡大率測定

中心部における拡大率をTable 3に示す．この撮影台の照準断面決定原理は，回転軸を上下して照準断面を決定するため撮影台とI.I.の距離は常に一定である．そのため拡大率を決定する因子は，目的照準断面と撮影台表面との距離であった．

4-6 臨床応用

4-6-1 DIC

照射角20度のDICをFig. 10に示す．腸管のガスや残渣との重複に影響されずに胆嚢内の結石の有無が明瞭

Table 1 Measurement of tomographic angle.

Display tomographic angle	Measure tomographic angle
8°	7.7°
20°	18.6°
40°	36.5°

に描出された．

4-6-2 TBLB

照射角40度のTBLBにおける肺野像をFig. 11に示す．生検鉗子の先端と目的組織との位置関係が明瞭に描出された．

4-6-3 膝の関節造影像

照射角40度の膝の関節造影をFig. 12に示す．半月板や関節軟骨などの軟部組織の描出に有利であった．

4-6-4 IVU

照射角40度のIVUにおける腎部断層像をFig. 13に示す．撮影タイミングが遅いため腎実質はあまり描出されなかったが，腎盂は明瞭に描出された．

5. 考 察

I.I./TV-DR断層の照準断面の形状は，円形状またはリング状である．この現象は入射視野の中心部と周辺部で，照準断面の高さが同一平面上に存在しないために生じる．照射角を大きくするに従い断層厚は薄くなるため，リングの幅は狭くなる．また，照準断面を中心部から周辺部へ移動するに従い円形状からリング状へと形状が変化し，放射状に広がる．リングの形状が大きくなるに従いリングの内径と外径の幅が狭くなったが，この理由は周辺部に照準断面が移動するに従い照準断面の高低差の割合が増し，チャート面に対して照準断面が斜入する角度が大きくなるためと推察される．

照準断面の高低差は，I.I.入力蛍光面を大きくするほど，また周辺部に照準断面が移動するほど，中心部と周辺部の照準断面の高低差が生じる．これは照準断面が平面ではなく曲面であるためである．

照射角の測定は，S/Fの断層像と異なり，I.I./TV-DRの断層像は中心部と周辺部の測定点が同一平面上に存在しないため，照準断面の高低差を補正し測定する必要がある．照射角の設定精度は，照射角を大きくするほど誤差が生じた．この原因は，I.I.の重量が約50kgあり，振り子動作中に生じる機械的振れに影響されたものと考えられる．また，今回の測定方法は，ボケ像の長さを計測し算出したが，ボケ像の消失する境界が明瞭に識別不可能なために計測誤差が生じたとも考えられる．

Fig. 9 Measurement of tomographic thickness.

- (a) Tomographic angle 8 degrees range of entrance field center.
 (b) Tomographic angle 8 degrees range of entrance field periphery.
 (c) Tomographic angle 20 degrees range of entrance field center.
 (d) Tomographic angle 20 degrees range of entrance field periphery.
 (e) Tomographic angle 40 degrees range of entrance field center.

a	b
c	d
e	f

Table 2 Measurement of tomographic thickness with different tomographic angles.

Tomographic angle	Thickness to center	Thickness to periphery
8 deg.	18 mm	12 mm
20 deg.	7 mm	4 mm
40 deg.	3 mm	2 mm

Table 3 Magnification.

Distance from table (mm)	Magnification
0	×1.00
50	×1.06
100	×1.12
150	×1.18
200	×1.25

Fig. 10 Tomography of DIC.

Fig. 11 Tomography of TBLB.

Fig. 12 Arthrotomography of knee.

断層厚は、照射角が同じでも入射視野の中心部と周辺部では異なっている。その理由として、I.I.入力蛍光面が曲面であるため照準断面とI.I.入力蛍光面の距離がI.I.中心部よりI.I.周辺部の方が長くなっている。そのためI.I.入力蛍光面の中心部より周辺部の方がボケ像長く描出されるため周辺部の断層厚は中心部より薄くなる。

また、断層厚を測定する場合、デジタルデータにて測定を行うべきだが、今回は簡易的にレーザイメージャで出力した画像を目視で計測したため、ウィンド幅、ウィンドレベルを一定にして照射角度別の比較をする必要があった。なぜなら、デジタルデータの測定ではピクセル値が一定であるならウィンド幅、ウィンドレベルを変化させても測定データは変化しないが、フィルムに出力したデータを目視で測定すると、見え方によって測定誤差が生じるためである。たとえばウィンド幅を狭めた画像では断層厚は薄く、ウィンド幅を広げれば断層厚は厚くなった像として認識されてしまうためである⁸⁾。

臨床では、リアルタイムで断層像が得られるが、照準断面の位置が入射視野の中心部と周辺部で異なる特性があり、そのため撮影をする場合は、I.I.入力蛍光面最小サイズ(7インチ)で、なおかつ目的部位を照射視野の中心で撮影することによりこれらの特性の影響を少なくできる。

胆嚢・胆管の検査で、肝臓から胆管・胆嚢に選択的に排泄される性質のある造影剤を使用し撮影をするDICは、簡易的な検査法として一般的によく用いられている。この検査のおもな目的は、胆嚢・胆管の形態描出および結石の有無である。しかし、通常の透視撮影を行う場合、腸内ガス、腸内残渣、肋骨が重複すると胆嚢結石との鑑別が付きにくい場合がある。このような場合、断層撮影を組み合わせることにより、他臓

Fig. 13 Tomography of IVU.

器との影響が少なく透亮像の鑑別が容易に可能である。また、肝機能が悪く胆嚢にあまり造影剤が排泄されず、解剖学的位置関係が把握しにくい場合や被写体が肥満の場合などは、通常の造影画像より高コントラスト画像が得られる断層撮影が、胆嚢の辺縁が描出されやすく有利と考える。

TBLBは、気管支内視鏡を用いて、経気管支的に肺野内の病巣組織を鉗子・生検針によって採取する検査である。気管支内視鏡で病巣組織を直接目視にて確認できない場合は、X線透視下または通常撮影にて確認をしている。しかし、微細な陰影や淡いびまん性病変、心臓や肝臓と目的病巣組織が重複した場合などは、生検鉗子の先端と病巣組織との位置関係が把握しにくい場合がある。このような場合、断層撮影を組み合わせることにより、体位変換をすることなく生検鉗子の先端と病巣組織との位置関係が明瞭に描出され

る。つまり透視画像や単純画像では判別しにくい症例に対して断層撮影を追加することは、検査精度の向上につながると考える。

膝の関節造影は、関節腔内に造影剤を注入し、半月板、関節軟骨の形状の把握や関節遊離体の描出をする場合に用いられる検査である。通常透視下で膝を回転させながら多方向で撮影するが、今回追加撮影として正面、側面の断層撮影をした。関節腔内の造影剤と関節間隙が重なり判読が困難な場合や関節間隙の狭小化における半月板の描出に対しては有利であると考ええる。

IVUは経静脈性に造影剤を注入し、腎盂、腎杯、尿管、膀胱が造影される検査である。造影剤注入後、早期の腎実質造影相で腎部断層像を撮影すると、腎の大きさや形状が把握できやすく、嚢胞や腫瘍の描出にも効果的である。また、腎盂・腎杯が造影された後、断層像を撮影をすると腎盂・腎杯は、より明瞭に描出される。ただし、成人のIVUは、腎から膀胱までが撮影範囲のため、最大入力蛍光面である16インチでも、上部下部の分割撮影となり、画像の連続性がなくなる。また、I.I.入力蛍光面を最大にすると解像力の低下や像歪みの影響⁹⁾が増大する。そのため、IVUにおける腎部断層撮影は、I.I.入力蛍光面を最小で、全視野が撮影可能な小児が対象となると思われる。

今回のI.I./TV-DR断層撮影を臨床に応用した画像を評価した結果、断層機能を単独では使用せずに、通常

の透視撮影を支援する方向で、断層撮影を組み合わせることが現時点では望ましいと考える。しかし将来的には、検出器をI.I./TVからX線平面検出器¹⁰⁾FPD(flat-panel detector)に換えることにより、照準断面の位置ずれはなくなる。

6. 結 語

I.I./TV-DR断層撮影のおもな基本特性は、

- 1) 照準断面像の形状はリング状であり、照射角を大きくするほどリングの幅は狭くなる。
- 2) 入射視野の中心部と周辺部では、照準断面の位置にずれが生じ、I.I.入力蛍光面のサイズに依存する。
- 3) 断層厚は、入射視野の中心部より周辺部の方が薄い。

したがって、これらの特性を踏まえたうえで通常のI.I./TV-DRの透視撮影にI.I./TV-DR断層撮影を併用することにより、診断能の向上が図られ、検査支援の一つになり得ると考えられた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご協力いただきました当放射線部技師室諸氏に御礼申し上げます。

なお、本論文主旨は、日本放射線技術学会第25回秋季学術大会(奈良)にて発表した。

参考文献

- 1) 飯沼 元, 石川 勉, 宮川国久, 他: digital radiography (DR)による消化管造影検査. 臨床画像, 12(2), 154, (1996).
- 2) 小倉敏裕: 第49回総会シンポジウム I.I./TV-DRにおける被曝線量と物理特性の関係. 日放技学誌, 49(12), 2052-2057, (1993).
- 3) 菅野由紀夫, 鳥飼健次, 吉原千治, 他: CRのEDRについて(第7報 胸部断層撮影). 日放技学誌, 49(8), 1448, (1993).
- 4) Takahashi M, Yoshioka S, Bussaka H, et al.: Digital TV tomography: Description and physical assessment. Med Phys, 17(4), 681-682(1990).
- 5) 神田幸助, 川末健作, 渡辺雅弘, 他: 放射線像情報学. 診療放射線技術学大系—専門技術学系 7. pp.415-417, 通商産業研究社, 東京, (1990).
- 6) 日本規格協会: JISハンドブック放射線(能). 1000, 財団法人日本規格協会, 東京, (1994).
- 7) 田中 仁, 斎藤 勲, 山本千秋, 他: 放射線機器工学. 医用放射線技術実験[基礎編]. pp. 268-269, 共立出版, 東京, (1990).
- 8) 佐久間貞行, 宮田伸樹: 撮影される“層の厚さ”または間隔因子の考え方. 新しい断層撮影とよみ方, pp. 25-28. 南山堂, 東京, (1976).
- 9) 松本 貴: 第49回総会シンポジウム I 消化管撮影領域におけるデジタル画像の有用性. Z学誌, 54(3), 434-435, (1998).
- 10) 山田真一: X線平面検出器の開発. 日放技学誌, 46(1), 97-100, (1999).

図表の説明

- Fig. 1 S/F断層撮影のボケ像描出原理図.
Fig. 2 I.I./TV-DR断層撮影のボケ像描出原理図.
Fig. 3 照射角および照準断面の位置決定用試験器具.
Fig. 4 照射角測定器具の配置図
Fig. 5 照射角40度の照射角測定像.
(a)高低差加算前.
(b)高低差加算後.
Fig. 6 照射角測定の有効な位置
Fig. 7 照準断面像.
(a)照射角 8 度.
(b)照射角20度.
(c)照射角40度.
(d)中心部.
(e)中間部.
(f)周辺部.
Fig. 8 入射面視野寸法における断層面の高低差.
Fig. 9 断層厚測定像.
(a)照射角8度における入射視野中心部.
(b)照射角8度における入射視野周辺部.
(c)照射角20度における入射視野中心部.
(d)照射角20度における入射視野周辺部.
(e)照射角40度における入射視野中心部.
(f)照射角40度における入射視野周辺部.
Fig. 10 DICの断層像.
Fig. 11 TBLBの断層像.
Fig. 12 膝の関節造影断層像.
Fig. 13 IVUの断層像.

Table 1 照射角度測定結果.
Table 2 照射角度別断層厚測定結果.
Table 3 拡大率.