〔第49回総会シンポジウム デジタルX線画像の最適化—被曝線量の観点から—〕

2. デジタルシステムにおける撮影条件

東 田 善 治

熊本大学医療技術短期大学部

Key words : Radiographic condition, Digital system, Computed radiography, Detectability

RADIOGRAPHIC CONDITION IN A DIGITAL SYSTEM

YOSHIHARU HIGASHIDA

Kumamoto University, College of Medical Science

Summary

This paper deals with the optimum radiographic condition in digital radiographic systems. Radiographic conditions for chest and bone radiography with the computed radiographic (CR) system were reviewed. The effect of incident exposure on the detectability of various abnormalities including nodule, pneumothorax, asbestosis, fine pulmonary line and other abnormalities were also discussed.

Radiographic conditions for radiography with portable X-ray unit and CR system were investigated at several institutions. Chest and abdominal examinations with the CR system were performed under the same exposure conditions as those of screen-film systems. However, large fluctuations in the radiographic condition were found by some technologists.

1. はじめに

X線撮影における撮影条件を、従来のアナログ系（増感紙-フィルム系）とデジタル系で比較すると、増感紙-フィルム系では、使用する系によって撮影条件（線量）がほぼ決められ、その結果、患者被曝線量も決定される。これに対して、LI-TV系あるいは輝尽性蛍光体（imaging plate：IP）を用いたデジタル系では、光学系や高電子増倍管の感度とラチチュードを変化させることによって、入射線量の多少にかかわらず常に一定の写真濃度を得ることが可能である。このことは同一部位のX線写真を撮影するときの患者被曝線量が、術者（主として放射線技師）あるいは施設によって異なる可能性が考えられる。

現在デジタルシステムに使用されている撮影条件は、各施設で使用されている増感紙-フィルム系の条件を一

つの指標にして決定されている場合が多い。しかし今後デジタル化が一層進むと、施設によっては増感紙-フィルム系を全く使用しない状況がでることも予想され、これまで永年にわたって築いてきた、X線撮影における〔条件論〕が崩れていくことも考えられる。

本シンポジウムの目的は、撮影条件または患者被曝線量の観点からデジタルシステム、あるいはデジタル画像の最適化を検討することである。ここではこれまで報告された論文の中から主としてCR（computed radiography）の論文を中心に、画質あるいは病変の検出能と被曝線量という観点から文献的考察を行う。またいくつかの部位における撮影線量を調査し、患者被曝線量の違いについても検討を加える。

2. CRシステムにおける撮影条件

2.1 CRシステムの基本的な考え方

CR システムは、現在臨床で使用されているデジタル装置の中で最も優れた物理特性を有しており、増感紙-フィルムに置き代るシステムとして位置づけられている。CR システムの基本的な考え方は以下の 4 点である^{1)~3)}。

- 1) 被曝線量の低減
- 2) 広いラチチュードを持ち、診断情報が豊富であること
- 3) 画像処理による新しい診断法の展開
- 4) 画像情報のデジタル化による保管、検索などへの対応

上記のいくつかについては、当初期待された効果が得られていないものもある。被曝線量低減の可能性についても、CR システム導入時は大きな期待が持たれたが、現在では特殊な撮影部位を除いてほぼ増感紙-フィルムと同等線量で撮影されている可能性が強い。

2.2 被曝線量低減の考え方

X線撮影時の患者被曝線量低減には、次の 2 つのアプローチが考えられる。

- 1) 再撮影の減少による被曝線量の低減

CR システムは、読みとり部の感度、画像レンジ自動設定機構により、撮影線量の大小にかかわらず常に適正な濃度の写真を得ることが出来る。この特性は病変の状態を経時的に観察する場合や、ポータブル撮影において特に有効である。Table 1 にポータブル撮影における CR と増感紙-フィルムシステムの再撮影率を示す⁴⁾。1 日平均 130 名のポータブル撮影を行っているが（このうち約 110 名が胸部撮影）、CR による再撮影率は約 1 % で、増感

紙-フィルム法の 4.5 % に比べ著しく少ない。また他の報告では、通常システムの 6 % に比べ CR システムでは 1 % の再撮影率となっている。CR システムをポータブル撮影に用いることにより再撮影率が大きく減少し、患者被曝線量に大きく寄与することを示している。CR による再撮影率はいずれも撮影時の患者の整位に問題があったと報告されている。

- 2) 1 回撮影における撮影線量の低減

CR による撮影線量は、CR 画像の物理特性や病変の検出能と深く関係しているため簡単には決定できない。このため CR システムにおける撮影条件は、一般的には各施設で使用されている増感紙-フィルム系の条件を指標にしたり、CR システムの S 値を参考にしていると考えられる。

CR システムを用いた被曝線量低減を有効に行うためには、撮影目的を明確にすることがまず必要であろう。Fig. 1 に示すように、撮影目的が比較的限定されているいくつかの部位では大幅な線量低減が可能であり、いくつかの報告が見られる⁵⁾⁶⁾。しかし CR システムの設計思想は、増感紙-フィルム系に代わるものとして考えられているため、むしろ他の部位に応用されることが多い。

Table 2 にこれまで文献に報告された^{7)~17)} CR による胸部検査の撮影条件を示す。CR の撮影条件は各施設で用いられている増感紙-フィルム系を基準に決定されており、全ての増感紙-フィルム系と同等線量で撮影されている。Table 3 に同等線量で撮影されたときのいろいろな疾患の検出能の比較を示す。報告者や病変の種類によって、CR と増感紙-フィルム系の検出能に差が見られる

Table 1 Comparison of the failure rate of radiography with a portable X-ray unit.

Radiographic system	Repeat rate
Screen/film	4.5%*
C R	<1%* (positioning error)
Screen/film	6%**
C R	<1%**

*130 portable studies/day (110 are chest examinations)

Sagel et al. (J Thorac Imag, 1990)

**Murphey et al. (AJR, 1992)

1. Scoliosis
(Cobb angle measurement, apical vertebrae)
2. Children
(Legg-Perthes disease, congenital hip dysplasia)
3. Pelvimetry
4. ICU(intensive care unit)
(catheter, tube)
5. Pediatric chest

Fig. 1 Region where a reduction in patient exposure is expected.

Table 2 Comparison of the radiographic condition with screen-film and CR systems for chest radiography.

Authors	Tube Potentials (kV)	Screen/Film	CR
Newell et al	124	Medium Speed	Iso dose
Onitsuka	120	BM-III/RX	Iso dose
Oestmann et al	141	Lanex Medium/OC	Iso dose
Oestmann et al	141	Lanex Medium/OC	Iso dose
Fajardo et al	105	Quanta-III/SR334	Iso dose
Schaefer et al	141	Lanex Medium/OC	Iso dose
Schaefer et al	141	Lanex Medium/OC	Iso dose
Higashida	140	BH-III/RX	Iso dose
Schaefer et al	140	Lanex Medium/OC	Iso dose
Akita	140	HR4/HRS	Iso dose
Carr et al	120	Quanta-III/Cronex	Iso dose

Table 3 Comparison of the detectability for chest diseases with screen-film and CR systems.

Authors	Subjects	Detectability
Newell et al	*nodule	comparable
Onituka	*nodular, interstitial, *alveolar pattern	comparable CR inferior
Oestmann et al	*fine pulmonary line	CR superior
Fajardo et al	pneumothorax	CR slightly inferior
Schaefer et al	asbestosis	CR superior
Schaefer et al	chest diseases (overall) (mediastinal)	comparable CR superior
Higashida	nodule	comparable
Schaefer et al	mediastinal abnormalities	CR superior
Akita	interstitial lung diseases	comparable
Carr et al	pneumothorax	comparable

* simulated disease

Table 4 Comparison of the detectability for bone diseases with screen-film and CR systems.

Authors	Subjects	Detectability
Wilson et al	extremities	CR slightly inferior
Prokop et al	cortical bone defects	comparable

(Iso dose)

Fig. 2 Relative exposure for chest and bone radiograph with the CR system.

ケースもあるが、これには他の物理特性も大きく関係している。

Table 4 に同等線量で撮影したときの骨疾患の検出能の比較を示す¹⁸⁾¹⁹⁾。これら 2 つの部位における撮影線量と報告例を **Fig. 2** にまとめた。縦軸は報告の数を示し、横軸は中等度感度の増感紙-フィルム系(BM-III/RX)を 1.0 として計算した相対線量を示す。施設によって線質が異なっているため、横軸の相対線量は誤差が大きいと考えられるが、胸部、骨撮影とも約 2.5 倍の線量差がある。この差は CR システムの撮影条件を考慮して決定されたものではなく、各施設で使用されている増感紙-フィルム系の違いによるものである。

3. CR 撮影における撮影条件の調査

CR システムを用いた胸部および腹部ポータブル撮影の標準体厚の撮影条件をアンケートにより調査した。12 施設に調査表を送ったが、このうち CR を胸部および腹部ポータブルに使用している 6 施設から解答を得た。6

施設では胸部、腹部に中等度感度の増感紙-フィルム系を用いており、CR の撮影条件は全ての増感紙-フィルム系と同一条件で撮影していた。**Fig. 3** に各施設で使用している増感紙-フィルム系と相対感度を示す。増感紙-フィルム系の感度差は約 25% であり、6 施設における胸部、腹部の撮影線量の違いは一見少ないように見える。

Fig. 3 に示した施設の中で、1 施設を選んで実際にポータブル撮影を行っている術者(放射線技師)の胸部と腹部の撮影条件(電圧、電流、撮影時間)について聞き取り調査を行った。**Fig. 4** に胸部の結果を示す。5 mAs を用いている者が全体の 75% を占めるが、撮影者により最大 2 倍の mAs の違いが見られる。腹部ポータブル撮影における撮影条件の違いを **Fig. 5** に示すが、術者によって約 5 倍の mAs の違いが見られる。術者による撮影電圧の違い(6 kV 程度)があるため、mAs の違いがそのまま被曝線量には反映しないが、増感紙-フィルム系と同等線量で撮影していると答えた施設の中でも、術者によって撮影条件が異なることを示している。

4. 考 察

今回の報告では、CR システムの撮影条件について、まずこれまで報告されたいくつかの論文について調査した。撮影対象は胸部、骨部および腹部としたが、これらの部位には CR の撮影条件は各施設で使用されている増感紙-フィルム系と同じ条件(同等線量)が用いられており、この条件下での病変の検出能の比較が試みられている。研究的には低線量撮影による報告も見られるが²⁰⁾、一般的には CR の撮影条件は増感紙-フィルム系と同等線量が用いられていると見なすことができる。

アンケート調査でも、ポータブル撮影における胸部および腹部の CR の撮影条件は、増感紙-フィルム系と同等線量で撮影されている施設が多かった。しかし同等条件

Fig. 3 Screen-film systems and their relative speeds used for chest and abdominal examinations.

Fig. 5 Fluctuation of the radiographic conditions for abdominal radiography with the CR system

Fig. 4 Fluctuation of the radiographic conditions for chest radiography with the CR system.

で撮影を行っている施設の中でも、撮影者によって条件が異なるケースが見られた。胸部では撮影条件の差は少なかったが、腹部では撮影者によって5倍程度の条件の差が見られた。撮影条件を増して撮影を行っている根拠を2, 3の術者に尋ねたが、線量を増加させてX線量子ノイズの影響を少なくしようという配慮をしていることがわかった。CRシステムによる正確な撮影線量の測定については現在調べており、今後報告する計画である。

前述したように、今後放射線診断領域の中でCRの利用が大きくなると従来の増感紙-フィルム系が用いられない施設も考えられる。CRの導入初期には増感紙-フィルム系を指標にして決定した撮影条件が、次第に崩れて

Dose control

1. Radiographic purpose
2. Objective thickness
3. Phototimer

Image quality control

1. Quality of radiation (tube voltage)
2. Dose
3. Scatter
4. System or detector response

Fig. 6 Important factors for the optimum radiographic condition with the CR system.

行くことも予想できる。画像処理を含めた最適撮影条件の決定は、CR画像をつくる立場にある放射線技師の重要なテーマであり、CRシステムが持っている多くの優れた特性を臨床に生かすためにも今後取り組まなければならない問題である。また今後CRシステムの導入は、放射線技師に関して専門の知識を持っていない施設にも広がることが予想される。これらの施設でCRシステムが適正に使われるためには、現在のS値のほかに撮影にあたって線量をチェックできるような機構を取り入れることも必要と考えられる。これらをまとめると、今後CRシステムが臨床の場で適正に使われるためには、Fig. 6に示すように、画質管理と線量管理の両面から検討することが必要であろう。

わが国におけるCRのシステムの実用画像処理に関しては最近大規模な調査が行なわれたが²¹⁾、撮影線量の正確な調査に関しても今後取り組まなければならない問題である。

参考文献

- 1) 高野正雄: FCR の目的と背景. 日放技学会誌. 41, 43-48, (1985).
- 2) 山口 宏, 松永 剛, 服部憲二, 他: FCR の現状と問題点. 日放技学会誌. 41, 49-54, (1985).
- 3) 診療画像学 I—ディジタル画像の基礎と臨床—. 日本放射線技師会, (1989).
- 4) Sagel SS, Jost RG, Glazer HS et al: Digital mobil radiography. Journal of thoracic imaging, 5, 36-48, (1990).
- 5) 植松貞夫, 岡田淳一, 木川隆司, 他: 脊柱側弯症に対する集検システムの開発. 映像情報, 18, 277-280, (1986).
- 6) 井村慎一, 中瀬裕介, 大橋義一, 他: 低線量新生児股関節検診ならびに乳児股関節 X 線撮影における FCR の有用性. 臨整外, 21, 683-688, (1986).
- 7) Newell JD, Seeley G, Hagaman RM, et al: Computed radiographic evaluation of simulated pulmonary nodules; preliminary results. Invest Radiol. 23, 267-270, (1988).
- 8) 鬼塚英雄: 輝尽性蛍光体イメージング. プレートを用いた胸部デジタルラジオグラフィーの診断能. 日医放会誌, 49, 177-190, (1989).
- 9) Fajardo LL, Hillmam BJ, Pond GD, et al: Detection of pneumothorax: comparison of digital and conventional chest imaging. AJR. 152, 475-480, (1989).
- 10) Oestmann JW, Green R, Rubens JR, et al: High frequency edge enhancement in the detection of fine pulmonary lines. Parity between storage phosphor digital image and conventional chest radiography. Invest Radiol. 24, 643-646, (1989).
- 11) Oestmann JW, Rubens JR, Bourgouin PM, et al: Impact of postprocessing on the detection of simulated pulmonary nodules with digital radiography. Invest Radiol. 24, 467-471, (1989).
- 12) Schaefer CM, Green R, Oliver LC, et al: Screening for asbestos-related pleural disease with digital storage phosphor radiography. Invest Radiol. 25, 645-650, (1989).
- 13) Schaefer CM, Green R, Oestmann JW, et al: Digital storage phosphor imaging versus conventional film radiography in CT-documented chest disease. Radiology. 174, 207-210, (1990).
- 14) 東田善治: 乳房および胸部 X 線検査におけるコンピュータドラジオグラフィー (CR) の応用—乳児微小石灰化および胸部腫瘍の検出能について—. 日放技学誌, 46, 1690-1711.
- 15) Schaefer CM, Greene R, Hall DA, et al: Mediastinal abnormalities: detection with storage phosphor digital radiography. Radiology. 178, 169-173, (1991).
- 16) 秋田真一: びまん性間質性肺病変における FCR ライフサイズ像の臨床評価. 日医放会誌, 51, 1306-1313, (1991).
- 17) Carr JJ, Reed JC, Choplin RH, et al: Plain and computed radiography for detecting experimentally induced pneumothorax in cadavers: implications for detection in patients. Radiology. 183, 193-199, (1992).
- 18) Wilson AJ, Mann FA, Murphy, Jr WA et al: Photostimulable phosphor digital radiography of the extremities: diagnostic accuracy compared with conventional radiography. AJR. 157, 533-538, (1991).
- 19) Prokop M, Galanski M, Oestmann JW, et al: Storage phosphor versus screen-film radiography: effect of varying exposure parameters and unsharp masking filtering on the detectability of cortical bone defects. Radiology. 177, 109-113, (1990).
- 20) Langen HJ, Klein HM, Wein B et al: Digital radiography versus conventional radiography for the detection of a skull fracture under varying exposure parameters. Invest Radiol., 28, 231-234, (1993).
- 21) 松田秀治, 阿南充洋, 上田克彦, 他: CR の実用画像処理 (CR の画像処理検討班), 日放技学誌, (1993).