資料

論文受付
2017年10月20日

論文受理
2019年1月15日

Code No. 921

ユーザによる X 線画像処理装置における 不変性試験の有用性に関する検討

田中伸博

社会医療法人医仁会中村記念病院放射線部

緒言

臨床業務において効果的な診療を行うためには、患者に対する電氣的・機械的安全性を確保し、かつ、最小の放射線量で正確な診断情報の提供と精度の高い検査を常に行うことが非常に重要である¹⁾。平成19年4月に医療法の一部が改正、施行され、医療機器に係る安全管理の体制の確保を目的に、責任者の配置、研修の実施、保守点検の計画および実施、安全使用のために必要となる情報の収集などが義務付けられた²⁾。更に、International Society of Radiographer and Radiological Technologist が作成した「診療放射線技師の役割」の中では、品質管理(quality control: QC)は診療放射線技師が責任をもって確実に実施するよう提言されている³⁾。このように、診療放射線技師による

診断用 X 線撮影装置などの保守点検の必要性が多方面で述べられている。

特に、QC における不変性試験⁴⁾の重要性に関しては、20 年程前から提言されている⁵⁾。不変性試験とは、装置が設置・受け入れされた後に、設置施設において、性能値が基準となる性能値(基礎値)に対してどの程度変動しているかを点検するために、ある試験項目についてある頻度で実施するものである⁶⁾。ユーザが実際に臨床で使用している装置の不変性試験を施行することによって、機器の性能・状態を把握することができる。そして、試験の結果に対応することによって、機器の信頼性・安定性・経済性が確保される。その結果として、不変性試験の実施が検査・診断・治療といった医療の質を向上させ、これが患者へのよい医

Study of the Usefulness of the Constancy Tests in X-rays Image Processing Device by User

Nobuhiro Tanaka

Department of Radiology, Nakamura Memorial Hospital

Received October 20, 2017; Revision accepted January 15, 2019

Code No. 921

Summary

The constancy test for quality control of X-ray image processing devices was evaluated using long-term and continuous constancy test results. Control was set so that under specific imaging conditions, variation in exposure dose is within 20% from the base line and variation in system sensitivity (S-value) obtained from images scanned with imaging plate is within 40%. Controlling the exposure dose enabled adjustments of tube currents and organized exchanges of the X-ray tube. Controlling the S-value allowed adjustments from increase due to age as well as organized exchanges of the photomultiplier tube foundation of the computed radiography scanner when control range is rapidly exceeded. Results from long-term and continuous constancy tests were of extreme value in comprehending the condition of the device for early detection of abnormalities, and thus indicate the significance of constancy tests for quality control of image processing device.

Key words: computed radiography (CR), quality control (QC), constancy tests, exposure dose, S-values

療サービスへと結びつく^{7,8)}。

しかし、近年においても、診断用 X 線撮影装置の不変性試験を行っている施設は 58.4%と少なく、装置を安定して使用するために更なる実施率の向上が望まれている⁹⁾。これまでに、X 線画像処理装置においては品質保証のためのテストツールが提案され^{6,10,11)}、その評価もされている^{11,12)}。しかし、実際にユーザが不変性試験を実施したことによって、どのような成果が得られたのかを具体的に報告した文献は少ない。

本研究では、X 線画像処理装置において、10 年以上にわたり継続的にユーザが実施してきた不変性試験の結果と、その結果に対する対応を調査した。そして、装置の部品交換タイミングの把握と調整による品質保証の観点から、ユーザが実施する不変性試験の有用性について検討したので報告する。

1. 方 法

X 線画像処理装置の不変性試験は、適切な画質基準を維持するために、基本的なパラメータの変化量が許容限度内にあることを確認するものである。テストツールおよび試験機器は、簡便で安定したものを用い、X 線照射条件は、臨床で最も頻繁に用いるものを使用する¹³⁾ことが望ましい。ファントムに関しては、国内外で販売されている品質保証用ファントム¹⁰⁾やメーカーの専用ファントム⁶⁾を用いた試験が推奨されている。

不変性試験では、再現性のよい試験を実施するために、撮影条件や試験環境の一貫性が不可欠となる。不変性試験を実施するにあたり、最初に基礎値と管理幅を決定する。測定値が管理幅以内であれば正常値とし、管理幅から外れた場合には、まず試験方法に不備がないかを確認し再検査を実施し、再度外れた場合には管理責任者に報告し、メーカーによる調整・修理を検討する⁶⁾。

本研究では、専用ファントム⁶⁾を用い継続的に X 線画像処理装置の不変性試験を実施した。この試験において、①一様露光画像を用いた検査では、装置読取感度(相対感度)・均一性・ノイズ、②ファントム画像を用いた検査では、鮮鋭度・スキャニング精度・線形性・幾何学的歪み・低コントラスト分解能・空間分解能・アーチファクト、③消去性能確認画像を用いた検査では、消去性能・ダークノイズの 12 項目の評価が可能である。本研究では異常を感知し対策までに至った相対感度の項目を対象とした。この不変性試験における相対感度とは、一様露光画像を得るための撮影条件で測定した線量とシステム感度値(以下、S 値)の積から得

られる⁶⁾ものである。線量と S 値の不変性試験の経過について調査をした。

1-1 使用機器

画像読取装置：FCR 5000 Plus(富士フイルム株式会社)、画像処理ユニット：CR Console(富士フイルム株式会社)、Console Advance(富士フイルム株式会社)(2012 年 1 月更新)の QC を、imaging plate(IP)：ST VN(富士フイルム株式会社)、カセット：CR カセット(富士フイルム株式会社)、専用ファントム：1 Shot Phantom Plus(富士フイルム株式会社)、専用ソフトウェア：FCR QC ソフトウェア(富士フイルム株式会社)を用い、ガイドブック⁶⁾に基づき実施した。撮影装置として、医用 X 線管装置：UH-6GE-31T(株式会社日立ヘルスケア・マニュファクチャリング)、医用 X 線高電圧装置：DHF-155HII(株式会社日立ヘルスケア・マニュファクチャリング)、線量計は、Test-O-Meter 6001(Unfors RaySafe 社)、Mult-O-Meter MOM-332(Unfors RaySafe 社)、RaySafe Solo(Unfors RaySafe 社)の順に使用した。

1-2 撮影室

本試験は、撮影室 A および B において、それぞれに医用 X 線管装置、医用 X 線高電圧装置、画像読取装置、画像処理ユニットの組み合わせがあり、撮影室ごとに不変性試験を実施した。撮影室 A では 2004 年 1 月より、撮影室 B では 2004 年 10 月より試験を開始した。また、撮影室 B では、開始から 2 年 4 カ月間はメーカーによる定期点検の際に試験が実施された。

1-3 測定線量

X 線画像処理装置の不変性試験をするにあたり、試験ごとに撮影条件を決定し、その中で一様露光画像を得る撮影条件で線量測定を実施した。散乱線防止のために、床の上に鉛板(鉛当量：1.0 mm Pb、サイズ：50×50 cm²)を置き、その上に大角サイズのカセットを置いた。X 線管は、焦点とカセットの中心を結んだ直線がカセット面と垂直になるようにし、可能な限り離して設置した。ガイドブックでは 180 cm 以上を推奨しているが、撮影室の構造上 179 cm とした。照射野の大きさは、カセットの外枠より 3 cm 程広くなるように設定した。照射野を設定したのち、カセットを取り外して照射野中央に線量計を配置した(Fig. 1)⁶⁾。撮影条件は、管電圧を 80 kV に設定し照射線量が 0.258 $\mu\text{C/kg}$ (1 mR) $\pm 20\%$ 以内となるような条件⁶⁾を求め(管電流：40 mA、撮影時間：10 ms、距離：179

Fig. 1 Geometry for radiation dosimetry.

Fig. 2 Geometry for S -values of uniformly exposed image.

cm), 5回測定し平均値を求め, 更に数日間の平均値を基礎値とし, 管理幅を $\pm 20\%$ とした¹³⁾. 以降試験の際は, この条件で5回測定し, 平均値を不変性試験での測定値とした⁶⁾.

1-4 一様露光画像検査を用いた S 値測定

続いて一様露光画像検査へ移行する. 前項での線量測定後, そのままの配置で線量計を取り外し, 1次消去済みの大角サイズのIPが入ったカセットを照射野中央に置き (Fig. 2), 前項で求めた撮影条件で撮影し, 撮影後5分にて画像読取装置によりIPを読み取った. IPは日常業務で使用するものとは分けて保管し, 毎回同じものを使用した⁶⁾. 画像処理ユニットにインストールされた専用ソフトウェアを用いて, 読み取った画像情報から相対感度が得られた. 相対感度は前項で得られた線量と S 値との積により得られた⁶⁾. S 値とは, IPに到達したX線量をヒストグラムにて解析した際のデータ中心であり, 線量の大小と反比例の関係にある. 本研究では, 測定線量をソフトに入力すると相対感度が試験結果として得られるので, 逆算して求

めた S 値を S_{QC} 値と表記する.

S_{QC} 値の基礎値は, 装置納入時では納入後数日間の平均値を, その後経時的変化が発生し基礎値の再設定や S 値の調整が必要になった場合は設定・調整後数日間の平均値をそれぞれ基礎値とし, 管理幅は S 値に影響を与える要因として, IP感度バラツキ $\pm 10\%$ 以下, 経時変化(IP感度 $\pm 10\%$ 以下, CR装置感度 $\pm 10\%$ 以下), 線量計の校正精度 $\pm 10\%$, を考慮し, $\pm 40\%$ とした.

画像処理パラメータ: 階調処理 $GA=1$, $GT=A$, $GC=1.2$, $GS=0$, その他の画像処理はOFF (処理適用されないパラメータ値へ変更)とした⁶⁾.

2. 結果

2-1 試験間隔

試験開始当初, 撮影室Aでは, 試験間隔を週に2回 (月曜, 金曜) で実施した. 約2カ月の期間では12項目の試験結果での異常はなかった. 今回検討する相対感度を求める線量と S_{QC} 値の結果を Fig. 3 に示す. 線量, S_{QC} 値とも結果に大きな変化を認めなかった.

このことから, 1カ月に1回の試験間隔で装置の状

Fig. 3 X-ray dose and S_{QC} -values in room A; from start to 80th day.

Fig. 4 X-ray dose in room A.

態を把握することは可能と判断し、試験間隔の変更を決定した。

2-2 線量測定

2-2-1 撮影室 A

撮影室 A で測定した結果を Fig. 4 に示す。390 日と 1064 日に管理幅を超えたので、それぞれ管電流調整を実施した。1064 日の調整前後の管電流を Table 1 に示す。次に、1500 日以降のグラフの急変動部分を詳細に示す (Fig. 5)。1636 日に管理幅を超えたが、1660 日には基準値に戻った。しかし、1679 日には $0.230 \mu\text{C}/\text{kg}$ (0.89 mR) になり、短期間で線量は急降下した。

Table 1 X-ray tube current change in room A

Setting value (mA)	X-ray tube current		
	Before an adjustment (mA)	Degree of variability (%)	After an adjustment (mA)
50	62.3	124.6	49.8
63	77.9	123.7	62.0
80	95.6	119.5	80.5
100	121.0	121.0	103.0
125	148.0	118.4	127.0
160	186.0	116.3	160.0
200	233.0	116.5	200.0

Fig. 5 X-ray dose in room A; from 1500 to 1900th day.

このため、管電流確認をメーカーに依頼し、表示電流 80 mA において 99.7 mA の管電流を計測し、約 20% の管電流超過を認めた。管電流の超過と線量不足という結果であったが、この時点で管電流を 79.4 mA に調整し、線量を測定すると、 $0.175 \mu\text{C/kg}$ (0.68 mR) となり、管電流の調整分に近い線量の低下が認められ、その結果管理幅を下回った。その後、更に線量の低下が続く、1764 日には線量が $0.152 \mu\text{C/kg}$ (0.59 mR) となったため、1772 日に X 線管を交換した。X 線管の使用期間は 6 年 11 カ月であった。

2-2-2 撮影室 B

撮影室 B で測定した線量を Fig. 6 に示す。191 日に X 線管の交換を実施した。この期間は不変性試験を開始してから間もないことと、試験の実施がメーカーで行う定期点検時のみだったため、詳細なデータが得られなかった。1293 日、1726 日および 2297 日に管理幅を超えたので、管電流調整を実施した。2297 日の調整前後の管電流を Table 2 に示す。撮影室 A で X 線管を交換したときと同様の現象が出ているため、線量低下が出現する前に X 線管の交換を検討し、2328 日に X 線管の交換を実施した。使用期間は 5 年 11 カ月であった。

2-3 S_{QC} 値測定

2-3-1 撮影室 A

撮影室 A で得られた S_{QC} 値を Fig. 7 に示す。 S_{QC} 値は不変性試験開始当初から徐々に上昇し、876 日に管理幅を超えたため、S 値の調整を実施した。1636～1772 日の間は、2-2-1 項の X 線管の出力異常の影響で S_{QC} 値も異常値を示した。1772 日に X 線管を交換し

たため、基礎値を再設定した。これ以降も、 S_{QC} 値は上昇し続けた。2517 日に管理幅を超えたので、S 値の調整を実施し、基礎値を再設定した。3091 日に S_{QC} 値が急激に上昇し異常値を示したためメーカーに調査を依頼し、3092 日に光電子増倍管の基盤を交換した。

2-3-2 撮影室 B

撮影室 B で得られた S_{QC} 値を Fig. 8 に示す。X 線管の交換後に基礎値を再設定した。それ以外では特に異常値を示すことはなかった。

3. 考 察

ユーザが不変性試験を継続して実施するには、手技が煩雑にならないような簡便な方法と、業務に負担の掛からない試験間隔にする必要がある。本試験で実施した不変性試験の所要時間は 1 台あたり約 10 分と短く簡便に実施でき、担当スタッフの負担も少ない。更に、試験間隔も週に 2 回で 2 カ月間の測定では、大きな変化もみられず安定した結果が得られたため、1 カ月に 1 回の試験間隔で装置の状態を把握することが可能と判断し、試験間隔を変更して実施した。その結果、装置の異常を早期に発見し、不変性試験の重要性を実際に経験し、10 年以上にわたって不変性試験を継続して実施することが可能となった。

X 線画像処理装置の相対感度が異常値を示した場合、 S_{QC} 値または線量の異常、もしくは両者の異常が考えられる。また、相対感度が正常値でも S_{QC} 値または線量が異常を示す可能性がある (S 値と線量は反比例の関係にあるため、一方が管理幅を超えて増加し、もう一方が減少すると、両者の積は正常値になる場合がある)。このため、単純に相対感度の管理だけでは、画像読取装置の異常を把握することは難しい。そのため、得られた相対感度から S_{QC} 値を求め、線量とともに管理した。このことにより、X 線画像処理装置の不変性試験を実施することによって、線量を測定し線量の管理も実施することができた。

線量は日数の経過とともに上昇傾向であった。照射線量の測定値の平均が基礎値の管理幅を超えた場合、メーカーへ連絡し、管電流の調整を行った。操作パネルのサービス用調整モード(ユーザ非公開)から調整を実施し、高圧トランス側からのフィードバック値が基盤を通して実電流の測定値として操作パネルに表示されるので、調整前の管電流と測定線量の変動を比較し、管電流の調整を実施した。今回の試験では、測定線量が基礎値から 20% 超過した際に調整を依頼した。調整モードでの各管電流値も表示値より 20% 超過しており、線量の超過分と一致したので、管電流の調整を

Fig. 6 X-ray dose in room B.

Table 2 X-ray tube current change in room B

Setting value (mA)	X-ray tube current		
	Before an adjustment (mA)	Degree of variability (%)	After an adjustment (mA)
50	68.9	137.8	49.6
80	99.0	123.8	81.8
100	137.0	137.0	101.0
160	203.0	126.9	161.0

実施した。調整後、線量も基礎値付近になった。このことより、出力線量が上昇し基礎値の管理幅を超過した原因は、管電流の過電流によるものであることがわかった。その後、撮影室 A では同様の現象を繰り返す、最終的には、線量が上昇し管理幅を超えた後、線

量が急激に下降し X 線管の交換を実施して対応した。この X 線管の交換は、異常感知から約 100 日間の期間があった。この要因は、交換作業に時間がかかるため、救急当番日等を避け、比較的検査の少ない週末や連休を利用して交換するスケジュールにしたためである。費用に関しても事務サイドに事前に報告することができた。線量が低下している中で日常の検査を行っていたが、ここで問題は、臨床画像に影響が出ることである。その対応として、管理幅を下回っている期間の不変性試験において画質に関する項目がすべて管理幅内にあることを定期的に確認し、更に不変性試験時に測定された線量が正常時からどれだけ減少しているかを掲示し、不足分を管電流やタイムで調節し、検査を行った。また、多少の線量不足であれば CR の画像

Fig. 7 S_{QC} -values in room A.

Fig. 8 S_{QC}-values in room B.

処理がはたらく。これらのことより、臨床画像に影響は出ることなく業務を行うことができた。

また、線量上昇を繰り返す現象は撮影室BのX線管でも発生した。その際、撮影室Aでの経験を活かし、線量が下降する前にX線管の交換を実施した。

線量測定によりX線管の状態把握が可能になったことで、休日や夜間などで計画的にX線管の交換の予定を立てることが可能となり、突然撮影室が使用できなくなり患者の待ち時間が増えるという事態を回避することができた。また、実際の出力線量を把握することによって、撮影条件を調整しながら検査ができ、患者への過剰な被ばくや無駄な再撮影を防ぐことができた。X線管の交換後はいずれにおいても、線量は基礎値の管理幅を超えず安定していることから、線量の上昇は経時的変化によるものであり、その原因としては、フィラメントの素線が長時間の使用によって蒸発し¹⁴⁾、線径が細くなることにより抵抗値が増え、同じフィラメント加熱条件でも、フィラメント温度が上昇して管電流が増える¹⁵⁾というメカニズムが考えられる。また、フィラメントの表面状態の変化や、真空度の劣化、焦点の荒れ、などによっても線量の異常が起これと考えられる。デジタル撮影では画像から線量を把握することは難しく、撮影線量の最適化を行い診断価値の高い画像データを提出するためにも、定期的に線量測定を実施しなければならない。

S_{QC}値の管理では、S値は本来線量が増加すれば減少するが、増加傾向になっている場合は、読取装置の経時変化により装置自体の感度が低下することで、到達したX線をデジタル値に変換する効率が悪くなり、その結果、あたかもS値を増加させて対応してい

るようにみえてくるのである。S値の経時変化を引き起こす原因は、集光ガイド等のスキャナ部の汚れや、computed radiography (CR)の光センサである光電子増倍管の増幅率の低下が考えられる。集光ガイド等のスキャナ部の汚れによる感度低下は、IP到達線量と画像デジタル値の対応にずれを生じさせ、S値の増大を招き、粒状性が悪化する¹⁶⁾。光電子増倍管の増幅率(陽極感度)の変化は、陽極電流の積算に依存すると考えられる。つまり、CRの撮影枚数や線量が増えるほど、S値の変化は大きくなり、増幅率の低下はIP到達線量と画像デジタル値の対応にずれを生じさせ、S値を増大させるが、粒状性には影響を与えない¹⁶⁾。S値の経時変化によって管理幅を超えた場合は、集光ガイド等のスキャナ部の清掃や光電子増倍管に印加する電圧を上げるなどによるS値の調整が必要となる。また、S値の調整ができない場合や、S値が経時的ではなく急激に増加した場合は、光電子増倍管や集光ガイド等のスキャナ部に何かしらの異常が発生し、S値が急激に増加したことが考えられる。そうすると装置の修理・部品交換が必要となってくる。S値の変動は、場合によっては画像に影響を与える可能性があるため、S値は定期的に測定し適正な範囲で使用しなければならない¹⁶⁾。

なお、今回実施した不変性試験はメーカ専用のツールを使用しているため、線量の測定条件も管電圧80 kV、照射線量が0.258 $\mu\text{C}/\text{kg}$ (1 mR) $\pm 20\%$ 以内であったが、線量管理だけを目的とするのであれば、臨床で頻繁に用いる撮影条件で実施することも可能である。またS値においても、装置の感度指標の求め方はメーカごとに独自の方法を採用しているが、各メーカでの

読取装置の管理条件(なければ一定の試験条件)で感度指標を求めて経時変化を管理することが可能である。

現在、ほとんどの施設でX線撮影のデジタル化が進んでいる¹⁷⁾。フィルム-スクリーン系の撮影では、撮影条件が直接フィルムの濃度として表現されていた。そのため、フィルムの濃度管理を実施していれば、出力異常を認識できた。また、現在よりも撮影条件に対する意識が強かった¹⁸⁾ため、標準体型の患者で濃度の異常が続けば、X線の出力異常は認識できた。しかし、CRでは、撮影条件が多少ずれてもある程度までは画像処理によって適正な画像が得られ¹⁹⁾、X線の出力の異常には気づきにくくなっている。また、光電子増倍管の故障では画質に影響を与えず、出力データから異常を察知することは困難である。本研究で行った不変性試験により、線量やS値の異常をユーザが早期に感知でき、装置の状態を把握し、的確なタイミングでの調整やX線管の交換時期を決定し、その経験を活用することもできた。また、画質には現われない読取装置の故障を発見し速やかに対処することができた。

不変性試験を含むQCをユーザが実施するには、専用ファントムや線量計、解析ソフトなどさまざまなツールが必要となる。これらは決して安価に購入できるものではない。そしてこれらの使用が直接の利益を生むことはない。このような状況から自施設から試験ツールの購入許可を受けるのは難しい。このことが不変性試験の実施率が低い原因の一つとも考えられるが、ユーザによる不変性試験を実施することによって、装置の信頼性、検査の安全性・最適化、そしてデータの安定性・確実性が担保され、適切な医療情報の提供を可能とし、それが患者への安心・安全となり、患者サービスへの充実にもつながることとなったと考える。以上より、直接利益は生まなくとも、ツールの購入の意義は十分にあり、施設にその必要性を理解していただき、ユーザによる不変性試験の実施施設が増えることを期待したい。

参考文献

- 1) 新開英秀. 第1総論, 放射線管理士・放射線機器管理士認定講習会テキスト Vol.2 放射線機器管理士, 日本放射線技師会: 5.
- 2) 「良質な医療を提供する体制の確立を図るための医療法等の一部を改正する法律の一部の施行について」 厚生労働省医政局長通知 医政発第 0330010 号 平成 19 年 3 月 30 日
- 3) ISRR. 診療放射線技師の役割. 日放技師会誌 1996; 43 (7): 934-942.

4. 結 語

X線発生装置の線量の管理においては、経年変化によって線量は変化するため、管理幅から外れた場合は管電流等の調整が必要である。長期的に線量を測定することで、X線管の状態を把握することができ、X線管を交換する際の一つの指標となる。また、線量の管理から、制御器、高電圧発生装置の異常の発見にもつながることになる。

X線画像処理装置の管理においては、読取装置自体の感度の劣化とともにS値は経時的に増加するため、管理幅を超えた場合は感度調整が必要である。感度調整ができない場合や経時的な増加を伴わず急激な上昇がみられた場合は、光電子増倍管や集光ガイド等のスキャナ部の部品交換が必要となる。

われわれが経験した装置の異常以外の事例も、ユーザがQCを実施することで早期に発見することは可能であると考えられる。

本研究により、ユーザが実施する定期的かつ長期的な不変性試験のデータは、装置の状態を把握し安全に使用するために非常に有用であり、QCを実施するうえで不変性試験の重要性が示唆された。

また、現在CRからflat panel detector(FPD)へ移行する施設が増えているが、ユーザによる装置のQCとして、FPD、画像表示装置、そしてX線発生装置の不変性試験の重要性は変わるものではない。

謝 辞

不変性試験の実施、および、解析の際に助言をいただいた富士フィルムメディカルの金田和幸氏、ならびに、長年にわたり不変性試験を実施していただいております中村記念病院放射線部の皆様に深く感謝いたします。

なお、平成 27 年 11 月 15 日に札幌にて開催された日本放射線技術学会北海道支部学術大会第 71 回秋季大会計測防護セミナーにて、本内容の一部を発表した。

- 4) 日本規格協会. JIS Z 4752-1 医用画像部門における品質維持の評価および日常試験方法—第 1 部: 総則. JIS ハンドブック放射線(能)2001; 1850-1859.
- 5) 矢野 太. 医用画像部門における品質維持の評価及び日常試験の方法について. 東京保険科学会誌 2001; 4(1): 22-28.
- 6) 医療機関のための FCR 品質管理プログラム PLUS ガイドブック・画像読取装置編. 東京: 富士フィルム株式会社, 2003.

- 7) 川崎善幸, 芥川雄一, 塙 知道. 一般撮影装置における機器管理の有用性について. 日放技師会誌 2003; 50(4): 270-279.
- 8) 宮崎 茂. X線装置出力の測定とその意義 後編. 日放技学誌 2010; 66(4): 389-398.
- 9) 佐藤伸彦, 齋藤祐樹, 宮蘭忠文, 他. 平成22年度診断用X線装置アンケート調査報告(撮影装置を中心に). 日放技学誌 2014; 70(12): 1455-1462.
- 10) 小田敍弘, 藤本啓司, 陣内裕介, 他. CRシステムの品質保証プログラムの構築および標準化検討班報告. 日放技学誌 2003; 59(1): 97-116.
- 11) 長島千恵子, 内山菜智子, 森山紀之, 他. FCRを用いたマンモグラフィシステム専用品質管理ツールとしての1Shot Phantomの評価. 日放技学誌 2009; 65(7): 921-930.
- 12) 藤本啓司, 小田敍弘, 陣内裕介, 他. 診療用X線撮影システムおよびCRシステムにおける簡便な始業点検プログラムの評価. 日放技学誌 2009; 65(10): 1391-1399.
- 13) 日本規格協会. JIS Z 4752-2-11 医用画像部門における品質維持の評価および日常試験方法-第2-11部: 不変性試験-直接撮影用X線装置. JISハンドブック放射線(能) 2005; 1892-2009.
- 14) (社)日本画像医療システム工業会. 第1編 診断用X線システム. 医用画像・放射線機器ハンドブック(改定第七版). 名古美術印刷株式会社, 東京, 2007: 8-18.
- 15) 山根 巖. mAs式管電流制御装置. 日立評論 1963; 45(2): 30-33.
- 16) 第10章S値とFCRのQC, FCR画像処理解説書II. 富士フイルムメディカル株式会社, 東京, 2007: 51-53.
- 17) 鈴木昇一, 浅田恭生, 加藤英幸, 他. X線診断時に患者が受ける線量の調査研究班—中間報告—. 日放技学誌 2009; 65(5): 681-685.
- 18) 岸本健治, 有賀英司, 石垣陸太, 他. デジタル画像の画質と被ばくを考慮した適正線量の研究. 日放技学誌 2011; 67(11): 1381-1397.
- 19) ICRP Publication 93. デジタルラジオロジーにおける患者線量の管理. 社団法人日本アイソトープ協会. 2007: 1

問合先

〒060-8570 札幌市中央区南1条西14丁目
社会医療法人医仁会中村記念病院放射線部 田中伸博