

Dose Tracking System(皮膚入射線量モニタリング機能)

東芝メディカルシステムズ(株) X線開発部
佐藤 直高



【はじめに】

X線透視下で行われる血管内治療(Interventional Radiology: IVR)は、様々な疾患の治療に用いられ、急速に普及してきたが、その一方で、長時間 IVR などによる放射線皮膚障害の事例も報告されており、様々な機関から警告が出されている。ICRP 勧告 Publ.85 においては、「患者の被ばくで最も重要な点は、IVR 手技中に最大線量を受ける部位の皮膚の吸収線量である。」とし、皮膚線量管理の必要性について言及している¹⁾。確定的影響としての皮膚の被ばく線量を重視する考え方は、CT 被ばくの考え方と異なる点である。

このような背景の中で、より安全に IVR 手技を進められるように開発した、IVR 手技中にリアルタイムで患者皮膚線量を推定し、3次元患者モデル上に被ばく線量に応じたカラーマッピングを行う Dose Tracking System(DTS)の概要と技術的特長について解説する。

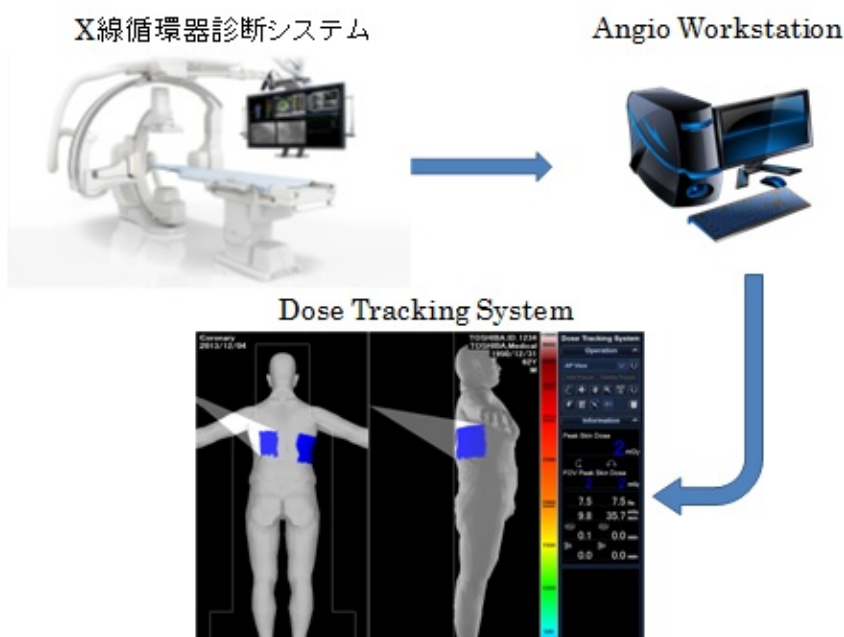


図 1 Dose Tracking System

【Dose Tracking System の概要】

本システムは、当社 X線循環器診断システムと組み合わせて使用する Angio Workstation のアプリケーション機能であり、以下のような概略仕様である。

1. 患者皮膚線量計算とカラーマップ表示

X線装置より、X線条件、各種幾何学的条件を受信し、DTS 内の 3次元患者モデルの皮膚入射線量を計算する。計算された皮膚入射線量を積算し、被ばく線量に応じたカラーマップとしてリアルタイムに表示する。患者モデルは、性別、体格などに応じて数十種類用意されており、様々な表示方法も選

択できる。

2. 最大皮膚線量の表示

患者モデル上の最も高い積算皮膚入射線量(PSD: Peak Skin Dose)を常に表示させ、X線照射することなく現在の照射野位置、およびその中のPSDも表示する。バイプレーンシステムでは、全体のPSDの他、各プレーンの現在の照射野のPSDも表示する。

3. 結果の保存

検査終了に連動して、その検査での最大皮膚入射線量 PSD とその角度のカラーマップ像、検査情報などを線量レポートとして自動的に保存する。線量レポートは、メディアへの保存や、ネットワークドライブによる外部出力も可能である。

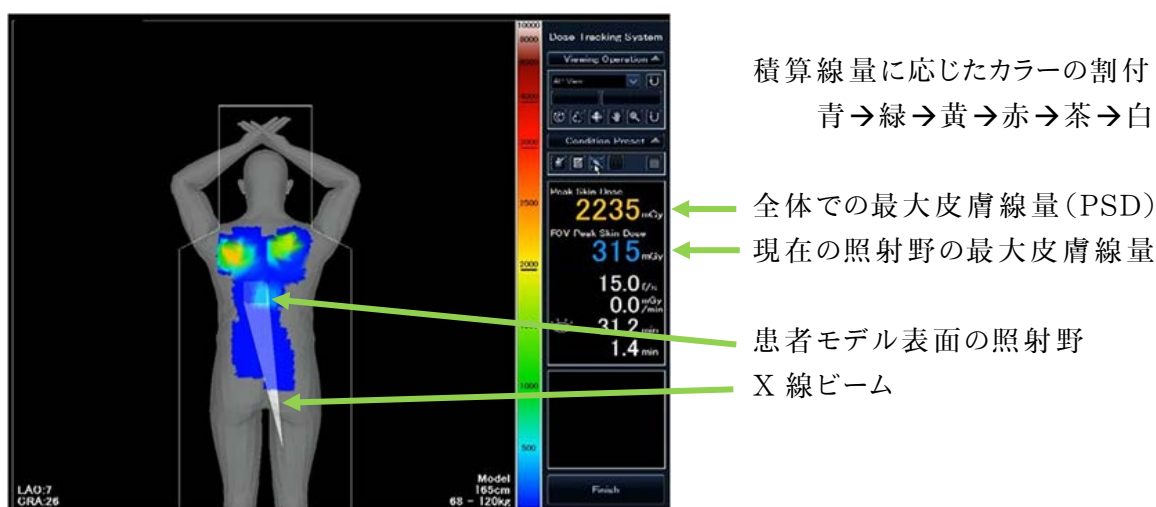


図 2 DTS 表示画面例

【Dose Tracking System の技術解説】

本システムは、IVR中のリアルタイム皮膚線量モニタリングを目的にしており、その主な技術的特長について概要を説明する。

1. リアルタイム応答性の実現

患者の皮膚入射線量を推定するための方法としては、面積線量計を用いる方法、NDD(Non Dosimeter Dosimetry)法、TLD(Thermo Luminescence Dosimeter)を用いる方法など各種方法が提案されている。面積線量計を用いる方法は、汎用性のある線量モニタリング機能を実現できる可能性があるが、刻々と変化する照射条件、照射位置、照射面積などの条件変化にリアルタイムに追従させるのは技術的に困難である。特に、X線照射中の天板移動や絞り開閉、X線循環器診断システムでは不可欠な機能となった3D画像収集のための高速回転撮影などへの追従性が課題であった。最近、IEC規格において、RDSR(Radiation Dose Structured Report)による基準位置での空気カーマの線量情報出力が要求され、さらに追加の付帯情報の議論も行われているが、この情報を利用した線量管理システムにおいても、術中に使用できるリアルタイム性の実現には多くの課題が残されている。

これらの問題を解決し、入射線量をリアルタイムに推定、表示させるためには、パルスX線の照射毎に皮膚入射線量、皮膚照射面積、照射位置を精度よく計算することが不可欠である。そこで、本システムでは、面積線量計の出力を利用せず、照射毎にX線条件、幾何学的な位置情報など各種情報から、

基準位置の線量を元に、患者モデル表面での皮膚入射線量を計算する方法を採用している。これにより、X線照射中のX線条件変化はもちろんのこと、アーム回転、天板移動などにリアルタイムに追従することが可能となった。図3は、30フレーム/秒、50度/秒の高速回転撮影での表示画像例である。回転撮影中もリアルタイムに被ばく状況が観察できる。

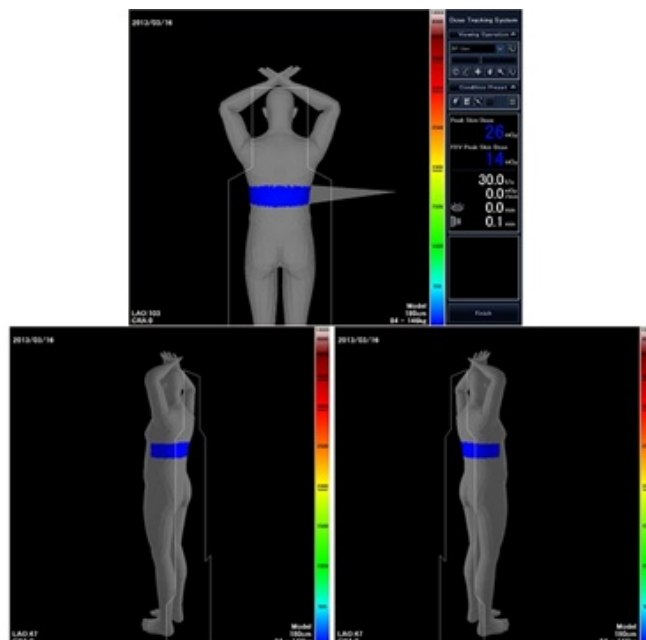


図3 高速回転撮影時の表示例

2. 皮膚線量計算、表示位置精度の確保

皮膚入射線量 ESD は、基準位置の空気カーマ RAK から、以下の計算方法で変換できる²⁾。

$$ESD = RAK \cdot (FRD/FSD)^2 \cdot BSF \cdot (\mu_{en}/\rho_{en})_{tiss} / (\mu_{en}/\rho_{en})_{air}$$

FRD : 焦点から基準位置までの距離

FSD : 焦点から患者モデル入射面位置までの距離

BSF : 後方散乱係数

$(\mu_{en}/\rho_{en})_{tiss} / (\mu_{en}/\rho_{en})_{air}$: 組織線量変換係数

ここで、組織線量変換係数は、空気と軟組織の質量エネルギー吸収係数比から求めることができる。焦点から患者モデル入射面までの距離は、X線装置からの幾何学的情報を元に、3次元座標軸において患者モデル上数万点のポイントでリアルタイムに計算している。一方、後方散乱係数は、X線条件、付加フィルタ、照射野サイズ、被写体条件などでダイナミックに変化するため、正確な後方散乱係数をいかに正確に求めるかが、皮膚線量への換算における大きな課題であった。そこで、本システムでは、参照する基準線量を、各種条件下での後方散乱線を含めた線量とし、据え付け調整時にシステム毎にキャリブレーションを行う工夫を取り入れている。また、照射野サイズによる補正のほか、照射角度に応じた天板吸収補正、検査部位による補正など各種補正を行うことで精度を向上させている。

図4は、胸部ファントムでのDTS表示線量精度の検証の一例である。アーム角度を変えながらファントム表面線量を実測し、その線量を皮膚線量に換算した値とDTS表示線量の比較を行った。適切な患者モデルを選択すれば、様々な条件下でも±20%以内の誤差であった。

また、Gafchromic Filmを使用した試験も行われており、線量分布の相関を比較し、およそ10%以下の誤差であった³⁾。

位置情報としては、X線装置側からリアルタイムに各種幾何学的情報を受信し、一般的な天板、ア

ームの動きだけではなく、天板起倒、天板回転、FPD回転、X線絞り、支持器挿入方向などにも対応している。

また、X線照射しない状態でも常に現在の照射野位置を計算し表示できるため、アームや天板を動かすだけで現在の照射野表示が移動し、X線照射することなく被ばくの集中しているホットスポットを避けたポジショニングを選択することができる。また、バイプレーンシステムでは、2系統の幾何学的位置情報、線量情報を並列処理して、患者モデルの2方向からの同時表示も行える。

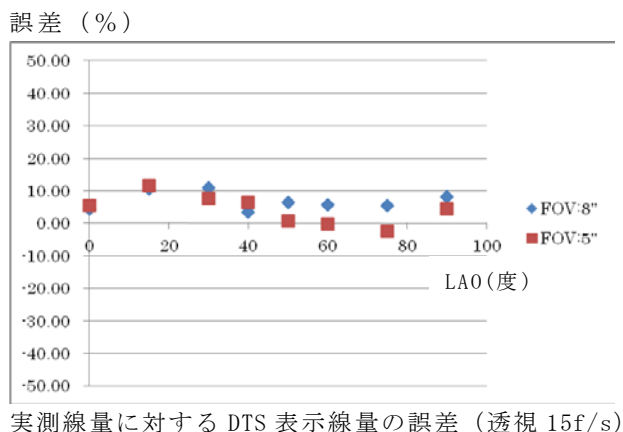
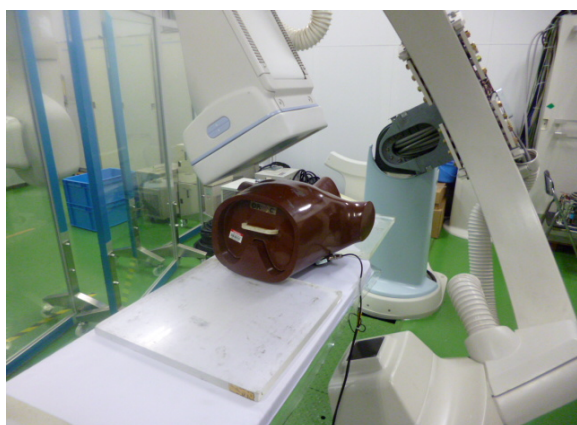


図 4 DTS 表示線量の精度検証結果の一例

3. 3次元患者モデルでの直感的な表示

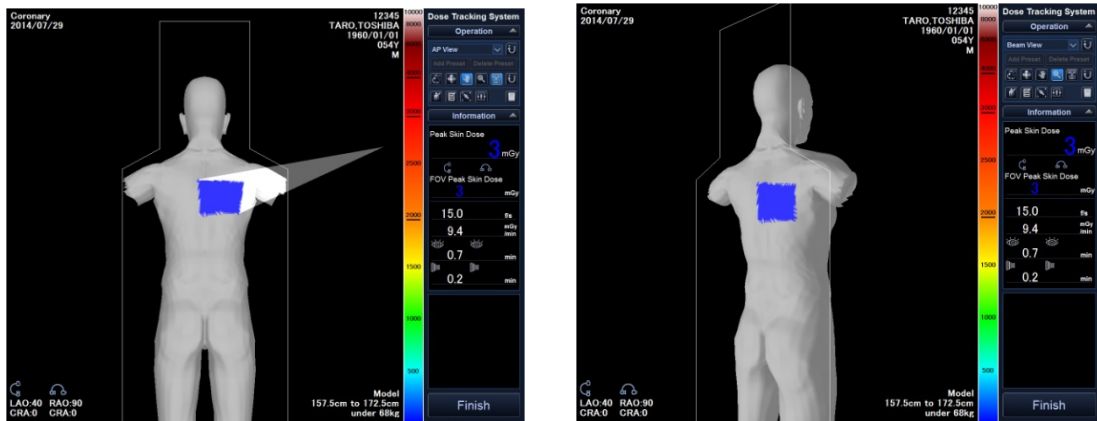
被ばく状況を術者が直感的に理解できるように、患者モデルは3次元モデルとし、性別、体格などに応じて数十種類準備されている。また、小児患者モデル、Neuro検査用頭部モデルの他、腕の状態も選択可能である。患者モデルの位置合わせは、XYZ方向に微調整が可能であり、基準位置からのずれを検査中にも修正できる。

皮膚線量は、この患者モデル入射面の位置に換算して計算しているため、実際の患者に近い患者モデルの選択と位置あわせが、この種の線量モニタリング機能の精度を確保する上での重要なポイントである。

患者モデルの表示方法は、X線管側から観察した表示(アームを回転させると患者が回転し、常に照射野位置が固定される)、特定の位置から観察した表示(アームを回転させても患者は固定のまま、X線ビームが回転して照射野を表示する)の選択ができ、表示の拡大・縮小、回転、水平移動なども検査中に変更ができる。

積算皮膚線量に応じた患者モデル上のカラーの割付は、線量の増加に対して、青→緑→黄→赤→茶→白と連続的に変化させており、最大 10Gy までの表示が可能である。ICRP勧告 Publ.85 では、皮膚の蓄積線量が 3Gy を超えた場合、被ばく位置を含めた被ばく記録を保存し、皮膚への影響を確認するため、10~14日後の再診察を行う必要性を勧告している。また、NCRP(米国放射線防護測定審議会) Report 168 においても、患者の最大皮膚線量の閾値として、SRDL(Substantial radiation dose level) : 3Gy を推奨しており⁴⁾、この線量付近が IVR 中の被ばくりスク判断の重要なポイントとなる。

そこで、積算皮膚線量 2Gy(黄)、3Gy(赤)付近までの割付を大きくし、3Gy付近を赤色の警告色としている。また、表示する積算線量の数値もこの色に合わせて変化させているほか、あらかじめ設定した3段階の閾値に達すると、注意を喚起するための警告が表示される。



(a) 固定位置(天板下)が視点

(b) 管球焦点が視点

図 5 患者モデル表示方法例 (LAO40 度/CRA0 度の場合)

【まとめ】

社会的にも被ばくに対する関心が高まっており、医療被ばくに対しても更なる安全性が求められている。患者に対する医療行為によって、不幸にも放射線皮膚障害が発生する事例は世界中で報告されているが、IVR手技中に DTS機能を使用することで、最大皮膚線量分布をリアルタイムに確認でき、被ばくの集中するホットスポットを避けたポジショニングなどの対応によって、放射線皮膚障害の防止につながる事が期待される。

また、被ばく低減には、装置側の対応だけではなく、術者側の被ばく低減意識の向上も重要である。本システムを使用している施設では、最大皮膚線量を下げる工夫をしていく中で、患者被ばくに対する術者の意識にも大きな変化が見られており、被ばく低減に対する意識付けが深まるという効果も見られている。

【参考文献】

- 1) ICRP, Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures, ICRP Publication 85, Ann ICRP 30: 7-67 (2000)
- 2) 坂本 肇 他, 医療被ばく測定テキスト (放射線医療技術学叢書 25), 59-69, 日本放射線技術学会 (2006)
- 3) V.K. Rana et al, Comparison of skin-dose distributions calculated by a real-time dose -tracking system with that measured by gafchromic film for a fluoroscopic c-arm unit, Med Phys 38:3702 (2011)
- 4) NCRP, Report 168: Radiation dose measurement for fluoroscopically-guided interventional procedures, NCRP Report No. 168 (2010)