原 著

陽極の熱膨張時における
自動焦点追従機構搭載X線CT装置の有効性

渡邊恵美・船田智也・斉藤 肇・加藤京一・新田 勝・中澤靖夫

昭和大学病院 放射線部

論文受付

2001年10月7日

論文受理

2002年1月21日

Code No. 251

緒 言

1968年に英国でX線CT(computed tomography)装置が開発されてから30年以上が経過した今、CT診断は身体全体の画像診断領域へと進出した。広い領域を細いX線ビームを用いて1～2mm間隔で撮影することが可能となり、管腔臓器の壁の肥厚、不整、わずかな突出像のみが診断の目安となる胆管系の病変や気管支系の三次元画像やMIP(Maximum Intensity Projection)画像による診断、更には血管造影を行いながらの

Angio CTにより病変部の質的診断にも、X線CTの技術が広く利用されるようになった^{1)～13)}。しかし、thin sliceでの連続スキャンは、X線管の蓄積熱容量を上昇させてしまう。

前越、橘らが既に報告しているが、X線管は蓄積熱容量が増大したとき、陽極熱膨張により焦点の位置移動がおこる^{14), 15)}。強力なX線管を備えたX線CT装置でも、陽極蓄積熱容量の上昇に伴う焦点の位置移動の影響は無視できない。この焦点の位置移動により、焦

CT Scanners with Automatic Focus Alteration Capability

EMI WATANABE, TOMONARI FUNATA, HAJIME SAITOU, KYOICHI, KATOU, MASARU NITTA, YASUO NAKAZAWA

Department of Radiology, Showa University Hospital

Received Oct. 7, 2001; Revision accepted Jan. 21, 2002; Code No. 251

Summary

Heat accumulation in X-ray tubes results in disarrangement of focus owing to heat expansion of the anode. CT scanners with automatic focus alteration capability have been developed to counteract this problem. We compared CT scanners with and without focus alteration capabilities and discuss the effect of focus disarrangement on the CT images. Images were obtained when heat accumulation was high and low. Subtraction images were made to define the disarrangement of focus. A comparison was made between CT scanners with and without automatic focus alteration capability. ROI was selected and changes in CT values, SD, and slice thickness were observed under changing anode heat accumulation. Results indicated that images from both scanners showed disarrangement of the focus and elevation of CT values as anode heat accumulated. However, the scanner with automatic focus alteration produced images with less focus disarrangement from the center of the slice and less elevation of CT values. Scanners with automatic focus alteration are less prone to the focus disarrangement and elevation of CT values caused by anode heat accumulation and enable reproducible images to be obtained.

Key words: X-ray computed tomography, Computed tomography value, Anode heat expansion, Automatic focus alteration capability

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 渡邊恵美 宛

点がスライス面の中心から外れるのを防ぐために自動焦点追従機構を搭載したX線CT装置が開発されている。

今回、自動焦点追従機構を搭載したX線CT装置と搭載していない装置を用いて、焦点の位置移動が画像に与える影響を比較、検討したので報告する。

1. 方法

1-1 使用装置

X線CT装置：Proceed SA

(GE横川メディカル社製)，以下A装置

X線CT装置：Xvision(東芝社製)，以下B装置

X線CT装置：SOMATOM plus 4(シーメンス社製)，
以下C装置

A装置のX線管容量は3.5MHUで、コリメーションはsingle collimation system(X線管側コリメータあり、ビームトリマなし)、B装置のX線管容量は2.0MHUで、コリメーションはdouble collimation system(X線管側コリメータあり、ビームトリマあり)、C装置のX線管容量は5.3MHUで、コリメーションはdouble collimation system(X線管側コリメータあり、ビームトリマあり)で、加えて自動焦点追従機構が搭載されている。この自動焦点追従機構とは、X線管側のコリメータの前面でX線ビーム分布をモニタし、この分布データに基づきX線管側のコリメータの位置を常時自動補正している。それに追従し、ビームトリマも常時移動する。すなわち、陽極蓄積熱容量により焦点が移動するのに伴い、コリメータとビームトリマの二つが移動することで、焦点がスライス面の中心から外れるのを防ごうとする機構である。

1-2 方法

自動焦点追従機構を搭載していない2台の装置(A・B)と搭載した1台の装置(C)を用いて以下のように行った。ただし、いずれの測定でもX線管の陽極蓄積熱容量は各X線CT装置に表示されたHU(heat unit)%を用いた。またC装置では、装置に陽極蓄積熱容量表示がされないため、陽極の温度(K)を用いた。

1-2-1 スライス位置の変化

JIS規格スライス厚測定用ファントム¹⁶⁾を120kV、240mAs、FOV(field of view)220mm、スライス厚10mmでスキャンし、陽極蓄積熱容量が低いときの画像から高いときの画像をサブトラクションし、焦点の位置移動によるスライス位置のずれを確認した。再構成関数はA装置；Standerd、B装置；PF3、C装置；AH60を用いた。

まず、あらかじめHU0%の画像からスライス位置の移動がない画像、すなわちHUが0%に近いときの画像

をサブトラクションし、その作業が正確に行われているかを確認しておいた(Fig. 1)。

次に、各装置毎にHU0%の画像からHU90%の画像をサブトラクションし、スライス位置のずれを測定した(Fig. 2)。

また、C装置においてHU0%の画像からHU15%、30%、45%、60%、75%、90%画像をそれぞれサブトラクションし、HUが上昇するにつれ、どのようにスライス位置が変化するかを確認した(Fig. 3)。

1-2-2 CT値・SD(standard deviation)の変化

JIS規格CT値測定用水ファントムを120kV、240mAs、FOV220mm、スライス厚10mm、5mm、1mmでそれぞれスキャンし、陽極蓄積熱容量を変化させたときのファントム中心部と周辺部のCT値、SDの変化を測定した。なおROI(region of interest)は18.5cm²一定とした。

1-2-3 スライス厚の変化

JIS規格スライス厚測定用ファントムを120kV、240mAs、FOV220mm、スライス厚10mm、5mm、1mmでスキャンし、陽極蓄積熱容量を変化させたときの真のスライス厚10mm、5mm、1mmをスライスプロフィールの半値幅を用いて測定した。今回は精密な絶対値測定を必要としないためアルミ傾斜板法を用いた。

1-2-4 臨床画像(肺ファントム)でのスライス位置の変化

臨床画像でのスライス位置のずれを確認するために、肺ファントム(京都科学社製)を120kV、240mAs、FOV300mm、スライス厚1mmでスキャンし、陽極蓄積熱容量が低いときの画像から高いときの画像をサブトラクションし、焦点の位置移動によるスライス位置のずれを確認した。再構成関数はA装置；Standerd、B装置；PF3、C装置；AB60を用いた。

2. 結果

2-1 スライス位置の変化

各装置毎にHU0%の画像からHU90%の画像をサブトラクションし、スライス位置のずれを測定した結果をFig. 2に示した。スライス位置は、A装置では陽極側に3.2mm、B装置では陽極側に2.8mm、C装置では陰極側に1.0mm変化した。

これより、自動焦点追従機構を搭載していないA、B装置より、搭載したC装置の方が、スライス位置の変化が少なかった。

さらに、自動焦点追従機構を搭載していない2台の装置では、シングルコリメーション方式のA装置より、ダブルコリメーション方式のB装置の方がスライス位置の変化が少なかった。

Fig. 1 Subtraction image of HU0%-HU0%.
Precision of subtraction was confirmed.

Fig. 2 Subtraction images of HU0%-HU90% in each scanner.
Disarrangement of the slice position is confirmed.

Fig. 3 Subtraction images of each HU in scanner C.
Sequential disarrangement of slice position is confirmed.

Fig. 4 CT value changes due to anode heat expansion.

Fig. 5 SD changes due to anode heat expansion.

また、Fig. 3より自動焦点追従機構を搭載しているC装置において、HU0%のときの画像から、HUが上昇したときの画像をそれぞれサブトラクションすることで、徐々にスライス位置が陰極側にずれていくことを確認できた。

2-2 CT値・SDの変化

陽極蓄積熱容量の変化によるCT値の変化をFig. 4に、SDの変化をFig. 5に示した。自動焦点追従機構の有無にかかわらず、いずれの装置でも、陽極蓄積熱容量の上昇に伴いCT値が上昇した。ファントム中心部でも周辺部でも同様の結果であった。A装置ではCT値が最大0.8、B装置では最大1.4、C装置では最大0.4上昇し、自動焦点追従機構を搭載したC装置の方が、搭

載していないA、B装置よりCT値の上昇が少なかった。更に、自動焦点追従機構を搭載していない2台の装置では、ダブルコリメーション方式のB装置よりシングルコリメーション方式のA装置の方がCT値の変化が少なかった。

SDにおいては、いずれの装置でもばらつきが認められたが、自動焦点追従機構の有無、装置間による差はなく、ファントム中心部でも周辺部でも同様の結果であった。

2-3 スライス厚の変化

陽極蓄積熱容量の変化によるスライス厚の変化をFig. 6に示した。Fig. 6は、公称値に対する割合として表示した。自動焦点追従機構の有無にかかわらず、い

Fig. 6 Slice thickness changes due to anode heat expansion.

Fig. 7 Subtraction images of HU0%-HU90% in a chest phantom.
Slice position changes were confirmed.

ずれの装置でも、陽極蓄積熱容量の上昇に伴うスライス厚の変化は認められなかった。しかし、B装置が他の装置に比べ全体的に薄いスライス厚になった。

2-4 臨床画像(肺ファントム)でのスライス位置の変化

各装置毎にHU0%の画像からHU90%の画像をサブトラクションし、スライス位置のずれを測定した結果をFig. 7に示した。

いずれの装置でも、陽極蓄積熱容量の上昇に伴いスライス位置が変化した。また、3台の装置とも寝台の足方に移動したことが分かった。

3. 考 察

陽極蓄積熱容量の上昇に伴い変化が見られたものは、CT値とスライス位置であった。陽極蓄積熱容量の上昇とともにCT値が上昇したのは、陽極の熱膨張による焦点の位置移動がおこった結果、スライス位置

が移動したためと思われる。これは、X線束が変化することで、X線の一部がコリメータによりカットされ、検出器への入射X線がコレクションデータ(補正データ)収集時と比べ、変化してしまったことによると考えられた。

装置毎に、CT値とスライス位置の変化が異なった理由として、それぞれの装置は陽極熱膨張により焦点が移動しX線束の方向が変わったが、A装置においては、検出器側のコリメータ、すなわちビームトリマがないためスライス位置の移動は最も大きくなり、カットされるX線の影響がなかったためCT値の変動もB装置より少なく、スライス厚の変化も少なかったと考えられた。

B装置においては、X線管側のコリメータとビームトリマの2つのコリメータによりX線の一部がカットされており、他の装置よりカットされたX線が多かったことがCT値の変動を最も大きくし、またスライス

厚を薄くしたと考えられた。

C装置では、X線管側コリメータとビームトリマが焦点の位置移動に伴い平行移動したため、他の装置と異なり陰極側にスライス位置が移動し、またコリメータによりカットされるX線そのものが少なかったためCT値の変化が最も少なく、スライス厚の変化も少なかったと考えられた(Fig. 8, 9)。

また、肺ファントムをスキャンした際、いずれの装置でも寝台の足方にスライス位置がずれたのは、自動焦点追従機構を搭載したC装置は、X線管の陰極と陽極の付いている方向が他の2台の装置と異なるためである。

これらより、自動焦点追従機構を装備していない装置ではダブルコリメーション方式よりシングルコリメーション方式の方がCT値の変動は少ないが、スライス位置の移動は大きくなる。また、自動焦点追従機構を搭載した装置は搭載していない装置に比べCT値の変動もスライス位置の移動も少ない。

4. 結 語

X線管の陽極蓄積熱容量が上昇し陽極の熱膨張がおこった結果、焦点の位置移動がおこる。そして、焦点の位置移動によりスライス位置の移動がおこり、検出器への入射X線が変化し、CT値が上昇する。しかし、自動

焦点追従機構を搭載した装置では焦点の移動によりスライス面の中心が外れることを少なくすることができ、CT値の変動を抑えることができる。

これより、陽極蓄積熱容量の変化によりスライス位置、CT値が変化するが、自動焦点追従機構を搭載したX線CT装置は、これらの変化が少なく、再現性のある画像を得られると期待できる。大容量X線管を備え3D-CT等のthin slice連続スキャンが可能となった一方、自動焦点追従機構を搭載していないX線CT装置で

Fig. 8 Slice position changes due to anode heat expansion in a single collimation system.

Fig. 9 Slice position changes due to anode heat expansion in a double collimation system.

正確なスライス感度分布を測定するときは、CT値の変動やスライス位置の移動を考慮すべきである。

謝 辞

本研究を行うにあたり御協力いただきました昭和大学病院放射線部技師諸氏に感謝いたします。

なお本論文の要旨は第27回日本放射線技術学会秋季学術大会(福岡)にて発表した。

参考文献

- 1) 森山紀之: CTの最新動向. 月刊・新医療, 25(10), 44-45, (1998).
- 2) 金子昌生: CTパラダイム・出現当時の回想とその後の流れ. 月刊・新医療, 24(10), 44-45, (1997).
- 3) 澤野誠志: CTパラダイム・CT画像診断の歴史と将来. 月刊・新医療, 24(10), 48-50, (1997).
- 4) 片田和廣: CTの現状と展望. 月刊・新医療, 26(1), 72-77, (1999).
- 5) 西村竜子, 佐々木正幸, 富田博信, 他: ヘリカルCTによる気管支内視法. INNER-VISION, 13(5), 50-54, (1998).
- 6) 内田政史: CTの最新技術と臨床応用の動向. INNERVISION, 13(3), 11-12, (1998).
- 7) 市川勝弘, 小寺秀一, 今村裕司, 他: 3D-CTの現状と課題. INNERVISION, 14(11), 4-52, (1999).
- 8) 本多豊正, 利府俊裕, 他: X線管の超高冷却化によるヘリカルスキャンの性能向上. 日放技学誌, 51(8), 928, (1995).
- 9) Marilyn J. Siegel and Gary D. Luker: Pediatric Applications of Helical CT. THE RADIOLOGIC CLINICS OF NORTH AMERICA, 33(11), 997-1017, (1995).
- 10) Richard B. Schwartz: Helical CT in Neuroradiologic Diagnosis. THE RADIOLOGIC CLINICS OF NORTH AMERICA, 33(11), 981-995, (1995).
- 11) Dominik Fleischmann, Helmut Ringl, Rainer Schofl, et al.: Three-dimensional Spiral CT Cholangiography in Patients with Suspected Obstructive Biliary Disease. Radiology, 198(3), 861-867, (1996).
- 12) Matsui O, Takashima T, Kadoya M, et al.: Liver metastases from colorectal cancers. Radiology, 165(3), 65-69, (1987).
- 13) Napel S, Marks MP, Rubin GD, et al.: CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection. Radiology, 185(3), 607-610, (1992).
- 14) 前越 久, 津坂昌利, 西沢邦秀, 他: エックス線管陽極の熱膨張による焦点移動の解析. 日放技学誌, 45(1), 18-19, (1989).
- 15) 橘 昌幸, 馬場 仁, 吉中正則: X線管陽極熱量によるCT値の変動. 日放技学誌, 54(7), 857-864, (1998).
- 16) 日本規格協会: JISハンドブック 1998 放射線(能)Z-4923, (1998).

図表の説明

- Fig. 1 HU0%-HU90%のサブトラクション画像
サブトラクションが正確に行われていることが確認できた
- Fig. 2 各装置における, HU0%-HU90%のサブトラクション画像
スライス位置のずれを確認できた
- Fig. 3 C装置における各HU毎のサブトラクション画像
スライス位置が徐々にずれていくのが確認できた
- Fig. 4 陽極熱膨張によるCT値の変化
- Fig. 5 陽極熱膨張によるSDの変化
- Fig. 6 陽極熱膨張による真のスライス厚
- Fig. 7 肺ファントムを用いたHU0%-HU90%のサブトラクション画像
スライス位置のずれを確認できた
- Fig. 8 single collimation systemにおける陽極熱膨張によるスライス面の移動
- Fig. 9 double collimation systemにおける陽極熱膨張によるスライス面の移動