

# 胸部X線画像のTemporal Subtraction 処理における病変検出能向上のための Bone Suppression処理の有用性

*Usefulness of Bone Suppression Image Based Temporal Subtraction Processing for the Improvement of Lung Nodule Detection on Chest X-ray Images*

櫻井 典子<sup>1)</sup>, 高橋 真悟<sup>2)</sup>, 高橋 大志<sup>2)</sup>, 児玉 直樹<sup>1)</sup>

1) 新潟医療福祉大学 医療技術学部 診療放射線学科 2) 高崎健康福祉大学 健康福祉学部 医療情報学科

**Key words:** Digital Chest X-ray Images, CAD Temporal Subtraction Processing, Bone Suppression Processing, Improved Detection

## [Abstract]

Chest x-ray (CXR) is the most commonly used diagnostic examination in lung cancer screening. The temporal subtraction processing of CXRs using computer-aided diagnosis (CAD) software is a technique in which a previous CXR is used to enhance evaluation of changes in the intervening time. However, if the superpositioning of the two images is not accurate, excessive misregistration artifacts will make it difficult for radiologists to differentiate between true changes and simple artifacts. In this study, we tried to use bone suppression processing as a method to reduce artifacts when the detection of the lesion becomes difficult due to the occurrence of artifacts between two images. The contrast-to-noise ratio (CNR) of the temporal subtraction processing image with and without bone suppression processing were calculated and compared based on several positioning including anterior inclination, lateral inclination, RAO, and LAO. CNRs were improved with bone suppression processing with statistical significance.

## [要 旨]

胸部X線画像は肺癌検診において最も利用される検査法である。コンピュータ診断支援システム (Computer-Aided Diagnosis : CAD) の経時差分 (Temporal Subtraction : TS) 処理は、同一人物の過去画像と現在画像の経時変化を強調させるシステムである。しかし、2画像間の重ね合わせが正確でなければ強いアーチファクトが出現し読影の妨げとなる。本研究では、2画像間のズレが生じアーチファクトの発生のため病変の検出が困難となった場合に改善する方法として、骨減弱 (Bone Suppression : BS) 処理を利用することを試みた。TS処理のみの画像とBS処理後のTS処理画像のコントラストノイズ比 (Contrast to Noise Ratio : CNR) を算出し比較を行った。病変の検出能が低下した場合の改善策としてBS処理を利用すると、CNRは統計的に有意に改善され結節検出に有用であった。

## 1. はじめに

厚生労働省の平成30年人口動態統計によると、日本における死因第一位は悪性新生物 (がん) である。がんの部位別死亡率を見てみると、男性では肺癌が第1位であり、女性では第2位と、共に増加の一途をたどっている<sup>1)</sup>。そのため肺癌の早期発見・早期治療を目的とした予防医療の重要性が高まっている。

肺癌検診は高性能CTが普及しCT検診も推進されてはいるが、一般的には喀痰検査と胸部X線撮影が行われている。喀痰検査は喫煙歴などのハイリスク者が対象のため、胸部X線撮影が肺癌の早期発見手段として重要な役割を果たしている。胸部X線撮影は短時間

で簡便に行うことができ、費用負担および被ばくも少なく利点大きい。しかし、1枚の画像から80種以上もの病変の可能性があり、肺野には肋骨や内臓組織などの正常組織がオーバーラップしているため、初期段階の淡く小さな肺癌の検出は困難である。肺癌の見落としの95%で肋骨や鎖骨がオーバーラップしているとの報告もある<sup>2)</sup>。

現在、画像診断領域において画像のデジタル化が進み、広義での人工知能 (Artificial Intelligence : AI) 技術を利用したコンピュータ診断支援システム (Computer-Aided Diagnosis : CAD) の研究開発がなされている。CADの目的は、読影効率と診断精度の向上である。その中で、胸部X線画像の経時差分 (Temporal Subtraction : TS) 処理は、同一人物の過去画像と現在画像の2画像を重ね合わせ差分処理し、経時変化を強調させるシステムである。病変の抽出を行い、その結果を医師に提示するコンピュータ検出支援システム (Computer-Aided Detection : CADe) に分類される。TS処理は、正常組織と重なる見落とししやすい病変の視認性の向上に有用であるとさ

Noriko Sakurai<sup>1)</sup>, Shingo Takahashi<sup>2)</sup>,  
Daishi Takahashi<sup>2)</sup>, Naoki Kodama<sup>1)</sup>

1) Faculty of Medical Technology, Niigata University of Health and Welfare

2) Faculty of Health and Welfare, Takasaki University of Health and Welfare

Received March 29, 2019; accepted November 29, 2019

れている<sup>3),4)</sup>。

TS処理では、まずDRおよびCRで取得した同一患者の過去画像と現在画像の2画像を重ね合わせて差分処理する。具体的には、2画像を重ね合わせるためにまず過去画像のグローバルマッチング処理を行い、大まかに胸郭を合わせる。次にローカルマッチング処理で肺構造のゆがみの補正をする。この2段階からなる非線形画像変形を用いた自動重ね合わせ処理によって、経時の変化があった陰影を強調する仕組みとなっている<sup>5)</sup>。これまで、非線形画像変形を用いたアーチファクトを低減させたために、経時の変化の検出に有用との報告がある<sup>6)</sup>。しかし、画像変形を行ってもアーチファクトが残留している場合があるため、肋骨エッジの鋭い線状のアーチファクトや肺血管の細かなアーチファクトの除去が問題となる<sup>7)</sup>。このように、経時差分処理は過去画像と現在画像の再現性に大きく影響される<sup>8)</sup>。時系列な2画像間の重ね合わせが正確でなければ肺野全体に強いアーチファクトが出現し、読影の妨げとなること大きな問題点である。

本研究では、2画像間にズレが生じアーチファクトの発生により病変の検出能が劣った場合に改善させる方法を提案する。これまでTS処理システムのアルゴリズムの変更で病変の検出能向上を検討した報告はされてきたが<sup>7)</sup>、TS処理と骨減弱(Bone Suppression: BS)処理を利用して病変の検出能を改善する方法はこれまでに報告されていない。このBS処理とは胸部X線画像のCADアプリケーションであり、肺野から肋骨および鎖骨の信号を減弱させる本処理は1枚の画像で生成できる<sup>9)</sup>。また視認性改善のための処理で、胸部専門放射線科医でなくともBS処理を利用したことで病変の検出率が向上したと報告がある<sup>10)</sup>。これまでの筆者らの報告では、BS処理はポジショニングに大きな影響は受けないとの結果が示されている<sup>11)</sup>。本研究では、TS処理の前処理としてBS処理を利用し、過去画像と現在画像のそれぞれのBS処理画像を用いてTS画像を生成する。原画像から生成したTS画像とBS画像から生成したTS画像において、病変の検出能の違いについて物理的評価で比較検討を行った。

## 2. 使用機器

本研究で用いたX線撮影装置は日立メディコ社製のRadnext50であり、検出器のFPD (Flat Panel Detector) はコニカミノルタ社製のAeroDR (A50C-50438) を使用した。TS処理とBS処理については、

それぞれの機能を搭載したコニカミノルタ社製のNEOVISTA I-PACS EX (A791-0304) を用いた。胸部ファントムについては京都科学 N-1 ラングマンを使用した。またCNRの関心領域の統計値はImageJ (1.50i) を用いた。

## 3. 方法

本研究では、TS処理画像におけるポジショニングの影響によるCNRの検討のため、模擬結節を取り付けた胸部ファントムの画像を用いてポジショニングの角度変化ごとにCNRの算出を行った。さらにポジショニングのズレによるアーチファクトが発生した場合に、病変の検出能が劣った場合の改善策としてBS処理が有用であるかを明らかにするため、原画像から生成したTS画像とBS画像から生成したTS画像のCNRを算出し比較を行った。BS処理後のTS画像については、基準画像とポジショニングの角度を変化させた比較画像の全てに対しBS処理を施行し、この2画像を差分処理したものとする。結果としては、TS画像とBS処理後のTS画像のCNRの平均値と標準偏差を算出しCNRの向上率を算出した。さらにTS画像とBS処理後のTS画像について、CNRのMann-Whitneyのu検定により有意差検定を行った。有意水準は5%と設定した。

### 3-1 N-1 ラングマン

本研究では、胸部ファントムの肺野内に模擬結節を取り付けた画像を用いて実験を行った。このファントムは、X線撮影において人体と同様の吸収率を持つ軟組織代用物および人工骨を使用し、肺野には模擬血管を立体的に配置してある。そのため人体と同様の濃度変化が見られる。また肺野内部構造は着脱式となっており、内部に模擬病変の取り付けが可能である。

### 3-2 模擬結節

Φ1cm, CT値50HUの模擬結節を使用した。取り付け位置は、左肺尖部の鎖骨下に模擬結節①、左心臓裏に模擬結節②、右中肺野に模擬結節③、右肺門部に模擬結節④とした。Fig.1に示す。

### 3-3 コントラストノイズ比 (Contrast to Noise Ratio : CNR)

TS処理画像における病変陰影の見えやすさの物理的特性の定量評価として、模擬結節影のCNRを算出

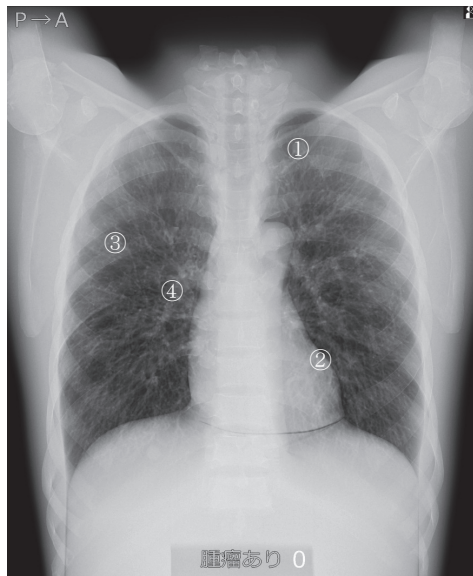


Fig.1 Mounting position of simulated nodule

- ①Left under the clavicle ②Left edge of the heart  
③Right lobumediastinum, middle lobe ④Right hilus pulmonis

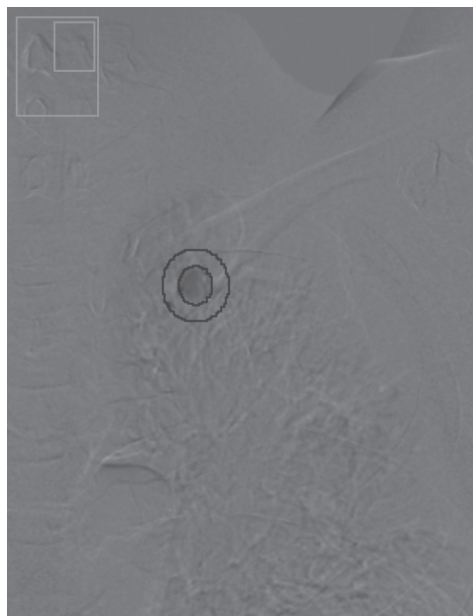


Fig.2 ROI setting

した。

ImageJ (1.50i) で視覚的に認識される模擬結節の境界を指定しその内部を信号 (Signal) 領域 S, その外部のドーナツ状の領域をバックグラウンド (Background) 領域 B とした。肺野の位置による特徴が失われないようバックグラウンド領域 B のサイズは 5mm 幅と設定した。 Fig.2 に示す。

$$\text{CNR} = \frac{|S_{ave} - B_{ave}|}{B_{sd}}$$

$S_{ave}$  は、信号領域の平均輝度値であり、 $B_{ave}$  は、バックグラウンド領域の平均輝度値である。

$B_{sd}$  は、バックグラウンド領域の輝度値の標準偏差を表す。

CNR は、関心領域によって数値が変動するため計測を 2 回行いその平均値を用いて解析を行った。

### 3-4 基準画像と比較画像

ポジショニングのズレは、肺癌検診で多く用いられている立位正面背腹 (Posterior-Anterior: PA) 方向からズレの角度に着目し前傾・RAO・LAO・右側屈・左側屈方向のズレで評価した。TS 処理画像については、ファントムを立位正面 PA 方向で撮影した基準画像に対しポジショニングの角度を変化させた比較画像を差分処理したものとした。比較画像は基準画像からそれぞれの方向に 1 度刻みに 1 度～9 度までずらした。なお、ポジショニングがズレて模擬結節の辺縁が周辺のアーチファクトと混乱し不明瞭となるものが出現した場合は ROI の特定が不可能となるため、全ての模擬結節が測定できた角度までの結果データで比較した。

### 3-5 TS 処理・BS 処理

I-PACS EX の画面で処理を実行する。約 1 秒で処理画像が全自動的に生成・出力される。その初期表示画像を使用した。

## 4. 結果

TS 画像と BS 処理後の TS 画像のポジショニングの変化における CNR のグラフを Fig.3 に示す。前傾における TS 画像では、5 度で模擬結節②③④が測定できなくなり 6 度以上では全て測定できなくなった。BS 処理後の TS 画像では、5 度で模擬結節②が測定できなくなり 6 度で模擬結節④が測定できなくなった。RAO における TS 画像では、5 度で模擬結節④が測定できなくなり 6 度で模擬結節②が測定できなくなった。BS 処理後の TS 画像では、全ての模擬結節が測定できた。LAO における TS 画像では、5 度から模擬結節②④が測定できなくなった。BS 処理後の TS 画像では、全ての模擬結節が測定できた。右側屈・左側屈においては、どちらの画像においても 9 度まで全ての模擬結節が測定できた。

全てのポジショニングにおいて、全ての模擬結節が測定できた 4 度までの CNR の比較をした。TS 画像と BS 処理後の TS 画像の模擬結節①～④の CNR の平均

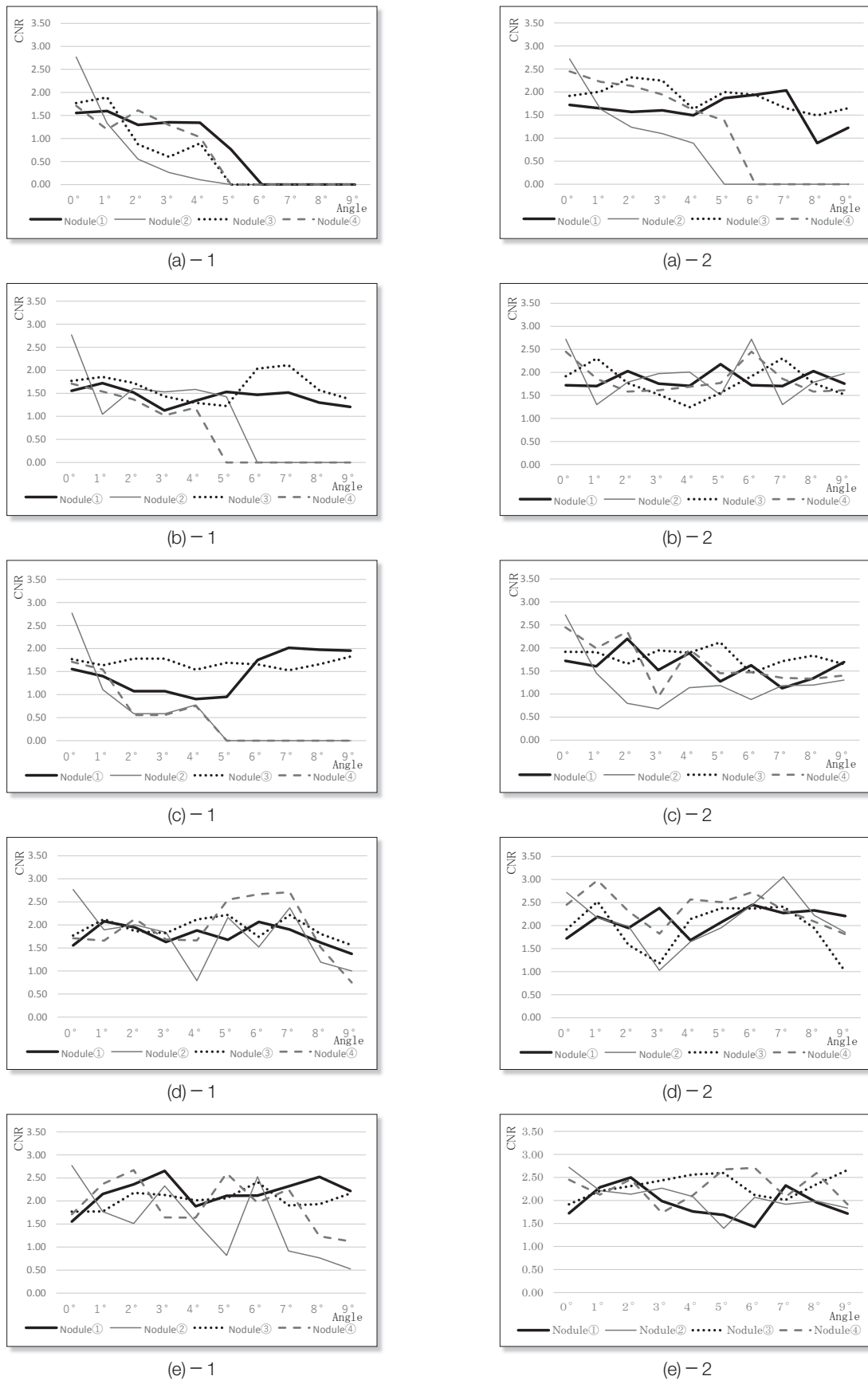


Fig.3 CNR with and without BS of all Simulated Nodules

(a) Anterior inclination position (b) Right anterior oblique position (RAO) (c) Left anterior oblique position (LAO)  
 (d) Right lateral inclination position (e) Left lateral inclination position  
 1. Temporal Subtraction images 2. Temporal Subtraction images with Bone Suppression

Table1 Value of CNR for each simulated nodule on Temporal Subtraction images with and without Bone Suppression.

- (a) Anterior inclination position
- (b) Right anterior oblique position (RAO)
- (c) Left anterior oblique position (LAO)
- (d) Right lateral inclination position
- (e) Left lateral inclination position

Simulated Nodule	①		②		③		④	
	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std
TS images without BS	1.51	0.11	1.11	0.88	1.37	0.47	1.50	0.28
TS images with BS	1.66	0.05	1.49	0.65	2.07	0.24	2.08	0.28
Improvement rate (%)	10.2		34.5		51.0		38.1	

(a)

Simulated Nodule	①		②		③		④	
	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std
TS images without BS	1.45	0.20	1.71	0.57	1.62	0.21	1.37	0.25
TS images with BS	1.78	0.12	1.96	0.46	1.75	0.36	1.84	0.32
Improvement rate (%)	22.8		14.7		8.3		34.7	

(b)

Simulated Nodule	①		②		③		④	
	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std
TS images without BS	1.27	0.24	1.19	0.81	1.69	0.09	1.20	0.46
TS images with BS	1.79	0.24	1.36	0.73	1.87	0.11	1.94	0.54
Improvement rate (%)	40.3		14.2		10.1		61.6	

(c)

Simulated Nodule	①		②		③		④	
	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std
TS images without BS	1.82	0.20	1.86	0.63	1.94	0.15	1.77	0.18
TS images with BS	1.98	0.27	1.91	0.56	1.87	0.46	2.43	0.38
Improvement rate (%)	9.2		2.8		-3.7		37.2	

(d)

Simulated Nodule	①		②		③		④	
	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std	Ave	Std
TS images without BS	2.12	0.38	1.98	0.49	1.97	0.17	2.01	0.43
TS images with BS	2.05	0.30	2.28	0.23	2.29	0.22	2.17	0.27
Improvement rate (%)	-3.3		15.1		15.9		8.4	

(e)

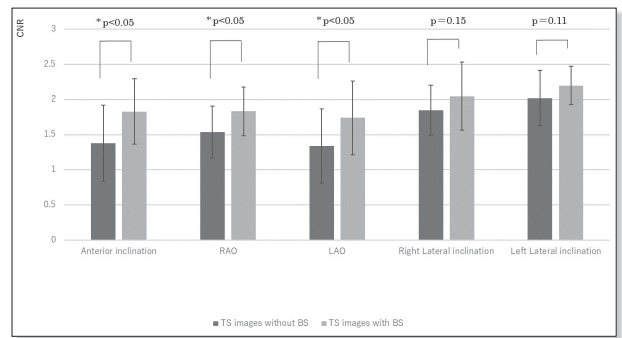


Fig.4 Comparison of CNR for Temporal Subtraction images with and without Bone Suppression of four position. Mean value and standard deviation of CNR.

値と標準偏差および向上率を Table 1 に示す。前傾・RAO・LAOでは、模擬結節①～④全てにおいてTS画像よりBS処理後のTS画像の方がCNRは向上した結果となった。CNR向上率は、前傾では模擬結節①で10.2%と低い値であったが、模擬結節③で最も高い51.0%であった。RAO・LAOでは、模擬結節③が約10%と低い値であったが、模擬結節④で34.7%と61.6%と最も高い値であった。右側屈・左側屈では、全体的にも低い向上率であり、中にはマイナスの向上率の模擬結節もあった。TS処理だけでもCNRは安定的に2.0前後と安定的に高く十分に検出されていた。

TS画像とBS処理後のTS画像のCNRについて、平均値と標準偏差のグラフを Fig.4 に示す。前傾・RAO・LAOについては、有意な差が認められた。右側屈・左側屈については、有意な差が認められなかった。

## 5. 考察

胸部X線画像は多大な情報量の割に簡便で被ばく線量も少なく、コスト面から見ても優れた検査法である。医師は見落としをできるだけ少なく、短時間で数多くの写真を読影する、効率の良い読影を求められる業務の現場では大変な負担である。TS処理は、病変の経時変化を瞬時に可視化できるため、検出能を改善させることが可能であるとの報告がある<sup>4)</sup>。ただし、過去画像と現在画像の再現性に影響を受け、2画像間にズレが生じるとアーチファクトが発生してしまう。このズレによるアーチファクトによって、病変の経時変化の検出と単なるアーチファクトを区別することが困難となるのが問題である<sup>12)</sup>。アーチファクトの主な特徴は、肋骨エッジの線状のものと細かな肺血管の

複雑なものが挙げられる。

本研究では、基準画像に対して比較画像のポジショニングを前傾・RAO・LAO・右側屈・左側屈の方向に1度ずつずらすことでアーチファクトを生じさせた。結果の特徴として前傾・RAO・LAOと右側屈・左側屈で2つにグループ分けができた。

右側屈・左側屈へのズレに対してはCNRの変動は大きいものの、9度までの範囲ではTS処理の重ね合わせが十分に対応できアーチファクトの少ないTS画像であったと考える。これらは、FPDに胸部前面を付けたまま回転する2次元的なズレでありX-Y軸方向のズレである。TS処理のグローバルマッチング処理により位置ズレの補正がされ、TS処理だけでも十分に検出できたと考える。そのためBS処理後のTS画像であってもCNRに大きな向上は見られなかった。

それに対し前傾・RAO・LAOでは、FPDから体の一部が離れX-Y軸方向だけではなくさらにZ軸方向にもズレが生じた3次元的なズレである。グローバルマッチング処理の次のローカルマッチング処理で複雑なワーピング処理がなされたが、ズレが大きくなるにつれ十分な対応がし切れていなかったと考える。そのためTS画像ではアーチファクトが出現し、5度を境に辺縁が確認できなくなる模擬結節が出現した。その場合に、先にBS処理画像を生成しておきTS画像を生成する手法を用いると、RAO・LAOでは全ての模擬結節が9度まで測定できるようになり、前傾では模擬結節①③が9度まで測定できるようになった。前傾の模擬結節②④においては、TS画像とBS処理後のTS画像でも測定できなくなる角度に大きな違いは見られず、いずれも全ての模擬結節が測定できたのが4度までであった。この前傾4度とは、計算上ではあるがFPD下端においてパネルと体が3cm離れる状態である。腰の屈曲した高齢者などでは可能性はあるが検診などでは十分な許容範囲と考えられる。

また前傾・RAO・LAOについては、Mann-Whitneyのu検定によりTS画像とBS処理後のTS画像のCNRの値についても統計的有意差が認められた。このように、3次元的なズレによるアーチファクトに対しては、先にBS処理画像を生成しておきTS画像を生成することでCNRを向上させることができた。その結果、前傾・RAO・LAOにおける全ての模擬結節の検出能を改善させることができたと考えられる。

CNRの向上率は、いずれも肺門部で30%以上の高い向上率の結果を得た。この部位は、肋骨エッジの線

状のものと細かな肺血管の複雑な2つのアーチファクトが混在する部位である。BS処理によって肋骨信号を減弱させてからTS処理を行うことにより、肺野全体に存在する肋骨影のアーチファクトの部分が減弱された結果と考える。アーチファクトの要因が1つになったことで、複雑な重ね合わせの処理が軽減されCNRは向上したと考える。ただし、TS処理の重ね合わせのテンプレートには、正常組織の胸郭や肺血管および肋骨も含まれていると予測される。肋骨が減弱されると精度が落ちるかどうかについては検証されていない。血管の多い部分は肋骨が減弱されると血管だけの重ね合わせにより正確に重ね合わせられるが、血管の少ない抹消になるにつれて位置が合わなくなる可能性も考えられる。

これまでは、過去-現在画像にズレが生じ重ね合わせが不十分でアーチファクトの発生により病変の検出能が劣った場合にも、PACSで自動生成されるTS画像のまま読影を行ってきた。しかし本研究では、臨床の現場で改善させる方法として、2画像にBS処理後の画像を用いてTS処理を行えば病変の検出能が改善されることが実証できた。TS画像もBS画像もあくまで参照画像であるため診断はオリジナルの原画像で行うことが前提であるが、両処理の導入によりさらにTS画像の検出能が改善されれば診断精度は高まると考える。

今回は検診で多く撮影されている立位正面P-A方向を前提に角度に着目しズレの検討をしたが、臨床では撮影方法は多種にわたるため多様なズレの評価も必要と考える。3次元的なズレであるZ軸方向が影響する拡大率やX線中心線、またファントム実験では限界である呼吸のズレや他の病変について今後検討していく必要がある。さらに臨床で生かすためには、ROC (Receiver Operating Characteristic) 観察者実験などの物理的評価と視覚的評価の双方で検討する必要があると考える。

## 6. まとめ

TS処理は、過去画像と現在画像のポジショニングのズレによりアーチファクトが出現しやすく、病変の経時的変化と混乱してしまう。特に3次元方向のズレには重ね合わせが対応し切れず病変の検出能が低下する。その場合の改善策として、BS処理を事前に利用するとCNRは向上し結節検出に有用であった。

## 表の説明

Table 1 TS画像とBS処理後のTS画像の模擬結節①～④のCNRの平均値と標準偏差および向上率

## 図の説明

- Fig.1 模擬結節①～④取り付け位置  
①左鎖骨下 ②左心臓裏 ③右中肺野 ④右肺門部
- Fig.2 ROIの設定
- Fig.3 TS画像とBS処理後のTS画像のポジショニングの変化におけるCNR  
a) 前傾  
b) RAO  
c) LAO  
d) 右側屈  
e) 左側屈  
1. TS画像  
2. BS処理後のTS画像
- Fig.4 TS画像とBS処理後のTS画像のCNRについての平均値と標準偏差

## 参考文献

- 1) 厚生労働省：平成30年人口動態統計月報年計（概数）の概況。各種統計調査，2018年。
- 2) Priya Kumar Shah, et al.: Missed Non-Small Cell Lung Cancer: Radiographic Findings of Potentially Resectable Lesions Evident Only in Retrospect. Radiology, Vol.226, No.1, 235-241, 2003.
- 3) Shingo Kakeda, et al.: Improved Detection of Lung Nodules by Using a Temporal Subtraction Technique. Radiology, Vol.224, No.1, 145-151, 2002.
- 4) Hiroko Okazaki, et al.: Improved Detection of Lung Cancer Arising in Diffuse Lung Diseases on Chest Radiographs Using Temporal Subtraction. Academic Radiology, Vol.11, No.5, 498-505, 2004.
- 5) 小林 剛：病院からクリニックまでの利用を目指した経時差分処理。日放技誌, Vol.62, No.747, 87-89, 2015.
- 6) Katsuragawa S, et al.: Comparison of the quality of temporal subtraction images obtained with manual and automated methods of digital chest radiography. J Digit Imaging, 12(4), 166-172, 1999.
- 7) 杉元藍子, 他：胸部単純X線画像におけるピクセルマッチング法を用いた経時的差分画像法の開発。日放技学誌, Vol.69, No.8, 855-863, 2013.
- 8) 加野亜紀子, 他：胸部集団検診X線画像の経時差分処理の研究。Konica Tech Rep, 8巻, 65-68, 1995.
- 9) 小林 剛, 他：「胸部単純X線CADアプリケーション」Bone Suppression処理の開発。KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT, Vol.12, 71-76, 2015.
- 10) Naoki Kodama, et al.: Effectiveness of bone suppression imaging in the diagnosis of tuberculosis from chest radiographs in Vietnam: An observer study. Clinical Imaging, 51, 196-201, 2018.
- 11) 櫻井典子, 他：Bone Suppression処理における肺野領域の視認性評価と骨減弱の信号値プロファイル解析。日放技誌, Vol.64, No.781, 21-27, 2017.
- 12) Shuji Sakai, et al.: Evaluation of the Image Quality of Temporal Subtraction Images Produced Automatically in a PACS Environment. Journal of Digital Imaging, Vol.19, No.4(December), 383-390, 2006.