

「胸部単純X線CADアプリケーション」 Bone Suppression処理の開発

Development of Bone Suppression Processing as an Application of
Computer Aided Detection of Nodules in Chest Radiographs

小林 剛* 螺 良 伸 一* 勝 原 慎 介** 笠 井 聡** 笹 野 泰 彦*
Tsuyoshi KOBAYASHI Shinichi TSUBURA Shinsuke KATSUHARA Satoshi KASAI Yasuhiko SASANO

要旨

ワールドワイドで最も一般的であり、且つ撮影数が多い胸部単純X線画像は、撮影は簡便だが広範な疾患を対象とするため読影は難しくコンピュータ上での読影支援が有効な分野の一つである。我々は胸部単純X線画像の読影を支援する胸部CAD (Computer Aided Detection) アプリケーションとして、骨を減弱するBone Suppression処理を開発した。本処理は、骨に隠れた病変の見落としを防止する効果や、骨の重なりによる偽像による誤検出を防止する効果を持ち、本処理を肺結節病変に対して20名の医師で読影実験を行った結果、臨床的有効性を確認した。

本稿では、ロバストに設計された本処理のアルゴリズム内容について報告し、画像切り替え表示により本機能を最大限に活用することで、今までの読影ワークフローを変えることなく、読影効率を改善するシステムを述べる。また本機能を多くの医師に有効に活用頂けるよう自社製コンソール (Unitea α) への搭載した事例を紹介し、PACSビューワ (I-PACS EX) への搭載内容を報告する。

Abstract

Chest x-ray images are widely used for their convenience, but interpreting chest images is difficult. Images of many components such as bones, blood vessels, and the heart are superimposed, and a wide variety of conditions must be diagnosed. Because of this, chest images are a field in which computer-aided diagnosis is particularly beneficial. To assist interpretation, we developed bone suppression processing that suppresses signals of ribs and clavicles in chest images. This lessens the chance of overlooking conditions due to subtle chest images, and it reduces false positives.

Twenty doctors participated in an observer performance study to evaluate the effectiveness of our bone suppression processing. In the study, we compared performances in 40 normal cases and 40 nodule cases (≤ 30 mm). Using bone suppression processing, the average area under the receiver operating characteristic (ROC) curve improved from 0.87 to 0.90 with statistical significance. We grouped the doctors into two groups based on diagnosis experience. Doctors with ten or fewer years experience benefitted the most from bone suppression processing.

In this paper, we give an overview of our bone suppression algorithm, which can robustly and selectively suppress signals of ribs and clavicles. We also present our new system, in which original and bone suppressed images can be viewed interchangeably without changing workflow. We also introduce examples of incorporating the bone suppression system with our console system, Unitea α , and we discuss our PACS viewer, I-PACS EX.

*ヘルスケアカンパニー 開発統括部 技術開発部

**Konica Minolta Laboratory U.S.A., INC. Health Care Division

Table 1 Dual energy subtraction and bone suppression.

1 はじめに

医療画像の急速なデジタル化により、フィルムによるハードコピー診断からWS（ワークステーション）上で読影するソフトコピー診断の時代へと変化し、更にはCR（コンピューテッドラジオグラフィ）からDR（デジタルラジオグラフィ）へ進化してきた。一方、ワールドワイドで最も一般的であり、且つ撮影数が多い胸部単純X線画像は、撮影は簡便だが広範な疾患を対象とするため読影は難しくコンピュータ上での読影支援が有効な分野の一つである。

読影が難しい理由として、①画像内に約80種類の所見（陰影パターン）¹⁾を1枚の画像から判定しなければならないこと、②写りこむ複数の解剖的な組織（肋骨、血管、心臓、縦隔、胸郭等）がオーバーラップしており、病変と区別しなければならないことがあげられる。特に②の組織の中で、骨の組織（肋骨、鎖骨、椎骨、肩甲骨等）は肺野部に対して75%をオーバーラップ²⁾し、骨以外の病変の読影に大きく悪影響を与える組織であり、骨に隠れた小さな陰影を見逃したり、骨の重なりが病変に見え、誤検出してしまうリスクが報告³⁾されている。同様に胸部単純X線読影の難しさを示す事例として肺がん検診での見落とし率が28.4%⁴⁾という報告もある。

我々はこのような胸部単純X線画像の読影を補助する胸部CADアプリケーションとして、肋骨、鎖骨を認識し減弱することで肺野内の視認性を高めるBS（Bone Suppression）処理を開発し、自社製コンソール（Unitea α）に搭載し、PACSビューワ（I-PACS EX）に搭載予定である。

本稿では開業医層や新興国展開も視野に入れ、様々な医師へ臨床価値の提供を考え、システムの操作性や医師への有効性実験も含めて報告する。

2 従来技術

2.1 デュアルエネルギーサブトラクション

骨を除去する従来技術として、デュアルエネルギーサブトラクション（Dual Energy Subtraction（DES））があり臨床的効果が報告されている⁵⁾。またBS処理とDES処理の読影実験比較も報告されている⁶⁾。一方、DES処理は、特殊な撮影を行うことから、高価な装置が必要であること、また、過去に一般撮影された画像はDES画像を作成できないこと、DESの2回曝射法では、構造的な撮影の影響を受けボケ画像が生成されやすいこと、更に、患者の被ばくが増加することなど課題があった。一方、自社製のBS処理は画像認識技術信号処理技術を用いて骨の信号を減弱するため、特殊な装置を追加することなく、骨の信号を減弱した画像を利用することができるため、現状のワークフローのまま、DESより安価に、さらに過去に撮影された画像に対しても利用可能であるというメリットがある（Table 1）。

	Dual energy subtraction (Two shot method)	Bone suppression
Purpose	To improve visibility of lesions behind bones and bone lesions.	To improve visibility of lesions behind ribs and clavicles.
Method	Bone and soft-tissue images are made by two exposures, one of low voltage and one of high voltage, based on the patient's permeability of radiation.	Ribs and clavicles are recognized from their anatomical features using image recognition technology, allowing signals from the bones to be suppressed.
Price	Expensive because a special exposure device is required.	Inexpensive because no special exposure device is required.
Earlier image	Inapplicable to earlier images.	Applicable to earlier images.
Exposure	Large amounts of exposure due to two exposures.	Equivalent to a single regular exposure.
Image quality	Due to two exposures, motion blur occurs. Image quality is susceptible to body size of the patient.	Bone recognition errors are seldom. Normal tissue running in the same direction as accompanying bone may possibly be suppressed.

2.2 従来のBS処理

BS処理の従来技術の報告としては、DESから得られる画像を学習データとして利用しニューラルネットワークを改良した技術を用いてBS画像を生成する手法⁷⁾が報告されており、臨床的な効果も報告⁸⁾されている。本手法ではDESから得られる画像が必要なこと、DES画像のクオリティにBS画像が影響を受ける可能性があることなどの課題が考えられる。

3 処理アルゴリズム

3.1 処理の概要

我々が開発したBS処理はDRおよびCRで取得した画像（オリジナル画像（Fig. 1 (a)））を入力とし、肋骨および鎖骨の信号を減弱したBS画像（Fig. 1 (b)）を提供する。



Original image



Bone suppressed image

Fig. 1 A posterior-anterior chest image with a nodule (above) and a bone suppression image of the posterior-anterior chest image (below).

胸部単純X線画像において、肋骨および鎖骨の構造、および、それらの位置は被写体間で解剖学的に一定に保たれている。一方で、骨の太さ、骨信号の強度などは被写体間や撮影条件の違いにより、バラツキが大きく、更にはモダリティメーカー毎に画像処理条件が異なるため、多種多様な画像における骨の信号を推定することは高い信号処理技術が必要となる。

我々が開発したBS処理は、①肺野認識、②骨認識、③骨信号減弱の3ステップにより構成される（Fig. 2）。

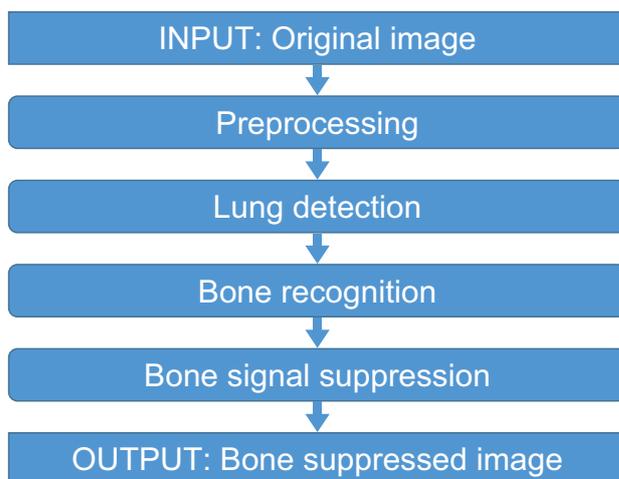


Fig. 2 The flow of bone suppression processing.

①肺野認識処理

辺縁の性質が異なる4領域（肺尖部、外胸郭部、横隔膜部、縦隔部）に肺野を分類し、各境界の性質に最適なエッジ情報を用いて領域を抽出している。

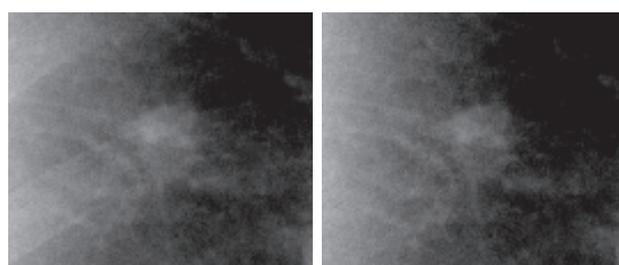
②骨認識処理

大量データから構築した骨のモデル情報を示す事前情報を元にした骨構造の推定値と、対象の胸部単純X線画像から計測した被写体固有の骨構造の推定結果を合わせることにより、骨の詳細構造を精度よく抽出するロバストな骨認識を実現している。

③骨信号減弱処理

認識された骨候補から骨の信号成分を推定し減弱を行う。推定には肋骨および鎖骨とオーバーラップしていない構造物の信号変化を利用している。これにより、オリジナル画像とBS画像の切り替え表示によって比較する際、肋骨と鎖骨の信号を減弱させることが可能である。

骨の上にオーバーラップしている結節影の例をFig. 3に示す。骨に起因する信号変化のみを減弱することにより、骨に重なる異常陰影や血管などの微細構造の信号をオリジナル画像のまま残し、病変の視認性を改善している。



Original image

Bone suppressed image

Fig. 3 A nodule overlapped with a posterior rib.

4 評価

4.1 読影実験

本BS処理を利用した単純胸部X線画像における肺結節病変の読影に対する有用性に関する読影実験について、三好ら⁹⁾の報告がある。

4.1.1 読影実験方法

三好らは、臨床的に読影検出可能な8~30mmのサイズの肺結節病変が存在する病変症例40例、正常症例40例に対して、20名の呼吸器外科及び内科の医師による読影実験を行った (Table 2)。実験結果は、主解析にROC (Receiver Operating Characteristic) 解析, サブ解析にLROC (localized ROC) 解析により求めた。

Table 2 Observer detection study.

Item	Content																
Method	<ul style="list-style-type: none"> Sequence test with a continuous confidence-rating scale Viewer: ROCViewer V11.4.0.7¹⁰⁾ 																
Analysis	<ul style="list-style-type: none"> ROC (receiver operating characteristic) analysis Rockit V0.9.1 & DBM MRMC V2.2 LROC (localized ROC) analysis 																
Observers	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>Surgery</th> <th>Internal medicine</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pulmonology residents</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Experienced pulmonologists</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>9</td> <td>11</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	Class	Surgery	Internal medicine	Total	Pulmonology residents	6	7	13	Experienced pulmonologists	3	4	7	Total	9	11	20
	Class	Surgery	Internal medicine	Total													
	Pulmonology residents	6	7	13													
	Experienced pulmonologists	3	4	7													
Total	9	11	20														

4.1.2 読影実験結果

医師全員の読影実験の結果、BS処理を利用しないで読影した場合に比べて、BS処理を利用して読影した場合の方が、AUC (Area Under the Curve) が0.867から0.900と向上し、医師の結節影に対する検出性能が改善されることが統計的有意差をもって確かめられた (p値0.004) (Fig. 4)。

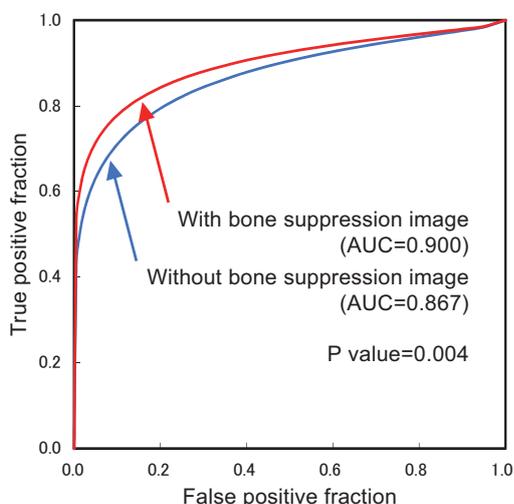


Fig. 4 ROC curves for detection of nodules by all observers. Detection capability is higher with bone suppression processing than without.

また、読影経験11年以上の医師のグループA (experienced pulmonologists)、読影経験10年以下の医師のグループB (pulmonology residents) でも、それぞれBS処理を利用しないで読影した場合よりも、BS処理も利用した方が統計的有意差をもって、読影能力が向上した (Fig. 5)。

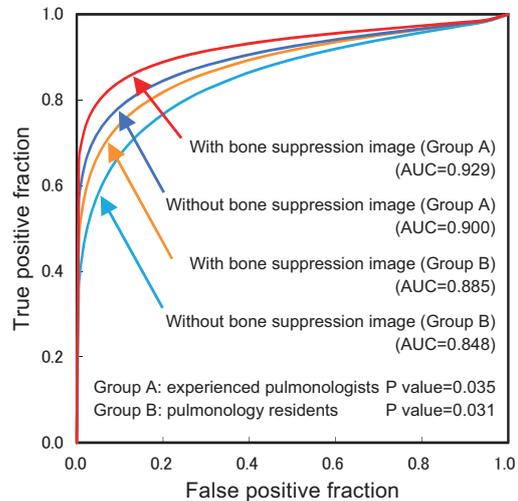


Fig. 5 Receiver operating characteristic curves for detection of nodules by experienced pulmonologists and inexperienced residents. With each, detection is higher with bone suppression processing.

さらに、各医師のLROC解析の結果、グループBの医師の方が、グループAの医師よりもAUCの値が低い傾向にあるが、BS処理も利用した読影のAUCの改善率はより高く、読影経験が浅い医師ほどBS処理が読影能力向上に寄与したと言える (Fig. 6)。

これらの結果から、三好らは、BS処理は肺結節性病変の検出に有用であるとの結論を導いている。

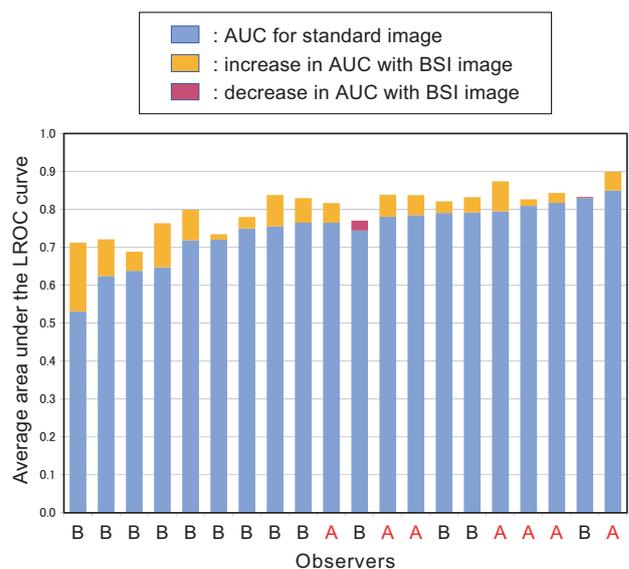


Fig. 6 Comparison of area under the curve for the localized ROC curves by all observers. In the interpretation of radiographs using bone suppression processing, doctors with less diagnosis experience (B) improved more than those with more experience (A).

5 製品化へのステップ

5.1 開業医向けの製品開発

上述の臨床評価の結果を受け、放射線科や呼吸器科の専門医が少なく胸部単純X線画像だけで診断しなければならない開業医層が、本BS処理の恩恵を最も享受できるユーザー層であると考えた。これより、自社製開業医向けコンソールのUnitea α (Fig. 7) にBS処理を搭載した事例を紹介する。



Fig. 7 The Unitea α console system, a product in which bone suppression processing is incorporated. The Unitea α is Konica Minolta's original all-in-one solution, combining reliability and superior throughput.

特徴① 画像切り替え表示により読影効率を向上

オリジナル画像とBS画像を、マウスホイールの上下で画像を切り替えることで、視点を変えることなく骨が減弱された状態が分かるよう設計した (Fig. 8)。本表示方法は人間の持つ残像効果により、減弱する組織と減弱しない組織の識別がしやすく、骨にオーバーラップしていた病変の視認性を大幅に改善し、これにより読影効率の向上を期待できる。

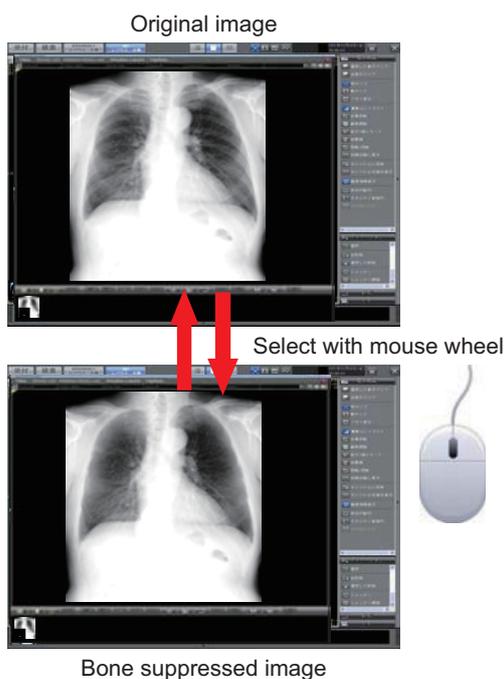


Fig. 8 Because the original image and the bone suppressed image are captured from the same viewpoint, the radiologist can readily discern what bone suppression processing reveals.

特徴② 迅速な開業医ワークフローにも対応

開業医のワークフローでは、撮影後すぐに診察室で読影するケースがある。このため、医師の読影開始前までにBS画像が提供されるよう、撮影後コンソールに取り込まれた画像を未処理画像の状態でもBS処理を出来るよう設計した。これにより医師は、待ち時間なくBS画像を利用した読影が可能となる。

特徴③ 他社モダリティ画像にも対応

Unitea α では他社モダリティで撮影された画像もインポートされるが、本BS処理は他社の画像処理済み（読影可能な状態）の画像でもBS画像を作成可能である。

5.2 その他医師向けの製品開発

その他医師向けとしてコニカミノルタの病院向けPACSであるI-PACS EX (Fig. 9) への搭載を進めている。開業医医師向けと同様に、医師の様々な読影ワークフローを考慮した設計を行っている。



Fig. 9 BS processing will have been used with I-PACS EX, in which a rapid diagnostic environment is realized with various monitors that provides abundant functionality and simple operation.

6 まとめ

コニカミノルタ社が開発した胸部CADアプリケーションBS処理について、アルゴリズム概要と、臨床評価、システムの特徴について報告し、ロバストかつ視点変更なしでのBS処理有無画像切替え機能を提供することにより、病院の現行ワークフローを維持したまま読影効率を改善できるシステム提案が可能となった。また、本BS処理の臨床評価実験結果を受け、読影経験が浅い医師から経験豊かな医師まで、幅広い医師に効果があることを確認した。特に経験の浅い医師に効果が高いことから、開業医向けのUnitea α を皮切りに搭載し、病院向けのI-PACS EXへ順次展開していく。

謝辞

本BS処理を開発するにあたり、国立がん研究センターの吉田純司医長、三好智裕先生には、医学的見地から様々なアドバイスを頂きました。また、群馬県立県民健康科学大学の土井邦雄学長には、読影実験のノウハウや診断支援の見地から多くのアドバイスを頂きました。心より感謝いたします。

●参考文献

- 1) 日本人間ドック学会 人間ドック画像検査判定ガイドライン
- 2) 佐川 元保 “有効性評価に基づく肺がん検診ガイドライン” 平成18年度厚生労働省がん研究助成金
- 3) Lehr L. J, Lodwick S. G, Farrell C, Braaten O. M, Virtama P, Koivisto L. E, “Direct Measurement of the Effect of Film Miniaturization on Diagnostic Accuracy” ,Radiology 1976;118:257-263
- 4) 日本医師会雑誌 107巻527ページ 1992年
- 5) McAdams H. P, Samei E, Dobins J III, Tourassi D. G, Ravin E. C, “Recent Advances in Chest Radiography”, Radiology December 2006, Volume241, Number3
- 6) Li F, Engelann R, Pesce L. L , Doi K, Metz E. C, MaMahon H, “Small Lung Cancers: Improved Detection by Use of Bone Suppression Imaging-Comparison with Dual-Energy Subtraction Chest Radilgraphy”, Radiology December 2011, Volume261, issue3
- 7) Suzuki K, Abe H, MacMahon H, Doi K, “Image-processing technique for suppressing ribs in chest radiographs by means of massive training artificial neural network (MTANN)”,IEEE Transactions on Medical Imaging 25, 406-416, 2006
- 8) Li F, Engelmann R, Doi K, MacMahon H, “Improved detection of small lung cancers with dual-energy subtraction chest radiography” In Radiological Society of North America scientific assembly and annual meeting program.Oak Brook, III: RSNA 2009;p433
- 9) Miyoshi T, Yoshida J, Aokage K, Hishida T, Kobayashi T, Tsubura S, Katsuhara S, Kasai S, Sasano Y et al., “Novel bone suppression imaging technique in small lung nodule detection: Evaluation using localized ROC method” In Radiological Society of North America scientific assembly and annual meeting program RSNA2014, In printing
- 10) Shiraiishi J, Fukuoka D, Hara T et al., “Basic concepts and development of an all-purpose computer interface for ROC/FROC observer study,” Radiol Phys Technol Vol.6 p35-41 (2013)