

『胸部X線動画像診断アプリケーション』 動態解析技術の開発

Dynamic Image Analysis in Dynamic Chest Radiography

勝原 慎介*	野地 翔*	二村 仁*	福元 剛智**	村岡 慎太郎**
Shinsuke KATSUHARA	Sho NOJI	Hitoshi FUTAMURA	Takenori FUKUMOTO	Shintarou MURAOKA
松谷 哲嗣**	嶋村 謙太***	松本 悠希***	笠井 聡*	
Noritsugu MATSUTANI	Kenta SHIMAMURA	Yuki MATSUMOTO	Satoshi KASAI	

要旨

単純X線画像を用いた胸部画像診断の主な目的は、形態から判断される解剖学的異常を診断することであった。一方で、呼吸器疾患や循環器疾患は解剖学的な画像所見に加え、動的機能を評価することができれば、より正確な診断や治療を行うことができる。そのため、臨床現場からの機能診断可能な診断装置開発への要望は強いが、機能情報の取得には特別な大型装置の導入が必要であるなど課題も多い。そこで我々は、従来の単純X線撮影装置並みの簡易なシステムで、肺機能の可視化、定量化を可能とする新たな胸部診断手法の実現を目指して、胸部動態X線診断システムの開発に取り組んでいる。本システムは、X線動画撮影装置と動態解析ワークステーションから構成され、動画像をユーザーへ提供するために、撮影から表示までの全てが最適化されている。更に、動態解析ワークステーションには、取得されたX線動画像から様々な機能情報を抽出する胸部動態解析アプリケーションが搭載されており、動画像の持つ特徴を最大限に活かした高付加価値の提供が可能となっている。

本稿では、胸部動態X線診断システムの特徴を紹介し、ワークステーションに搭載された胸部動態解析アプリケーション技術について述べ、その臨床応用の可能性について報告する。

Abstract

The standard chest radiograph has long been playing the role of the diagnosis of abnormalities based on anatomical findings. But respiratory and cardiovascular diseases can be more accurately diagnosed when respiratory and cardiovascular functions are evaluated in addition to anatomical findings. Unfortunately, functional diagnosis has long required a large system.

Our solution was the development of a compact dynamic chest X-ray diagnostic system that enables visualization and quantification of pulmonary and cardiovascular functions while being as simple in operation as a conventional X-ray system.

Dynamic X-ray imaging is composed of a flat-panel detector (FPD) and pulsed X-rays to create a series of x-rays that allow observation of diaphragm kinetics, pulmonary ventilation, and circulation.

Our system is configured with a dynamic chest X-ray imaging device and a dynamic image analysis workstation. The dynamic image analysis workstation is equipped with dynamic chest analysis applications that extract various functional information from the dynamic images, thereby providing valuable diagnostic information. Presented here are the advantages of this dynamic chest X-ray diagnostic system and its potential in clinical use.

*ヘルスケア事業本部 ヘルスケア事業部 開発統括部 要素技術開発部

**ヘルスケア事業本部 ヘルスケア事業部 X線事業推進部

***IoTサービスPF開発統括部 データサイエンス技術部

1 はじめに

単純X線画像を用いた画像診断は、長きに渡り解剖学的な所見から判断される異常を診断することを主な目的として、プライマリケアや経過観察などにおいて、大きな役割を担ってきた。その中でも撮影数が最も多い胸部単純X線画像を用いた診断は、主に呼吸器系疾患、循環器系疾患を対象としている。一般にこれらの胸部疾患は形態的な所見の評価に加え、呼吸機能や循環器機能を評価することで、より正確な診断や治療を行うことができるため、臨床現場からの機能診断可能な診断装置開発への要望は多い。

現在、肺の機能検査としては、スパイロメトリー、肺換気シンチグラフィや肺血流シンチグラフィが用いられている。しかしながら、スパイロメトリーは再現性が低く、また努力呼吸を必要とするため患者への負担が大きい。また、シンチグラフィ検査は、特別な撮影装置が必要なこと、放射性同位元素 (RI=Radioisotope) を吸入または静脈注射する必要があるため、被ばくによる患者への負担が大きいことなど課題も多い。

我々は、胸部X線動画画像を用いることで肺機能の可視化、定量化を可能とする革新的な胸部診断手法として、胸部動態X線診断システムの開発に取り組んでいる。胸部動態X線診断システムは、動画対応のX線フラットパネルディテクタを用い、連続画像撮影を可能としたX線動画撮影装置、得られた動画画像を最適な表示形態で提供する動態解析ワークステーションから構成される。動態解析ワークステーションには、取得されたX線連続画像から様々な胸部の機能情報を抽出可能とする胸部動態解析アプリケーションが搭載される。

本稿では、開発中である胸部動態X線診断システムの特徴および胸部動態解析アプリケーション技術について報告する。

2 X線動画撮影装置

X線動画撮影は、静止画撮影と同様のユーザー操作で、パルスX線照射 (15frames/秒) と高速画像取得により、一定期間の連続的な画像データ (マルチフレーム画像) を取得することが可能となっている¹⁾ (Fig. 1)。

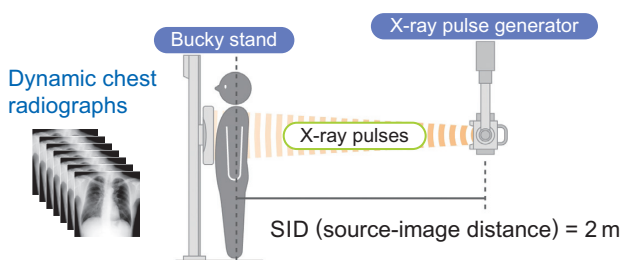


Fig. 1 Acquisition of dynamic chest radiographs.

Dynamic chest radiographs are acquired using X-ray pulses and high-speed image acquisition, yet they are just as easy to acquire as with conventional chest radiographs.

また、従来の胸部単純X線画像の正面像+側面像程度の被ばく線量で10~15秒程度の胸部X線動画画像を取得することができる。一般的にCTやMRIは臥位での撮影に限定されるが、本撮影システムでは、通常の胸部単純X線画像と同様、臥位撮影に加え、立位や座位での撮影が可能である。このため、日常生活と同様の体勢で呼吸に伴う構造物の動的な形態情報や機能に関連する情報を取得できる、という特徴をもつ。

3 動態解析ワークステーション

動態解析ワークステーションは、各種モダリティコンソールにて生成されたX線デジタル画像 (静止画像、マルチフレーム画像) を入力とし、画像処理、画像および解析結果を表示することができる。また、URL連携によりWebクライアントから閲覧することが可能であり、既存システムからもシームレスにアクセスすることができる (Fig. 2)。

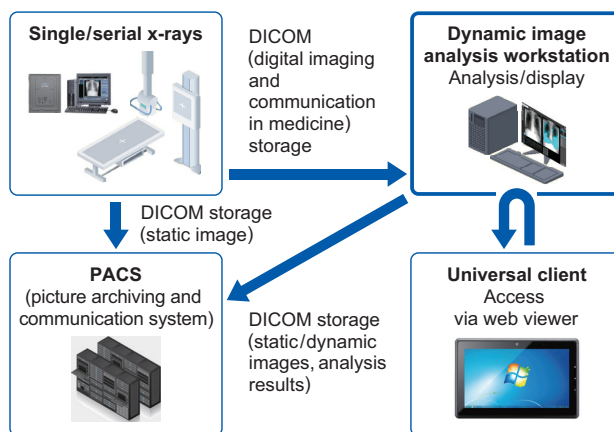


Fig. 2 Data availability.

The dynamic image analysis workstation provides processed images and analyzed results to PACS and universal clients, via DICOM storage and web viewers.

4 胸部動態解析アプリケーション

胸部動態解析アプリケーションとして、取得された胸部X線動画画像から呼吸器や循環器の動的な形態情報の可視化および視認性向上を行う Chest Dynamic Imaging 技術、呼吸や心拍数などの機能に関連した情報の可視化を行う Chest Functional Imaging 技術について報告する。

4.1 Chest Dynamic Imaging 技術

4.1.1 B-Mode (特定成分差分処理)

静止画用 Bone Suppression 処理で培われた技術²⁾を動画画像向けに最適化し、動画画像における肺野内の肋骨および鎖骨の信号減弱を実現している (Fig. 3)。これにより、骨以外の組織の視認性が向上し、更に肺野内部組織の動きの観察が容易になるため、肺がん等の肺疾患検出能の向上が期待される。



(A) Original image



(B) B mode image



(A) Original image



(B) E mode image

Fig. 3 Posterior-anterior chest dynamic images.

(A) original image. (B) B mode (specific-component differential processing) image. In the B mode image, visibility of soft tissue is improved with ribs and clavicles suppressed.

Fig. 4 Posterior-anterior chest dynamic images.

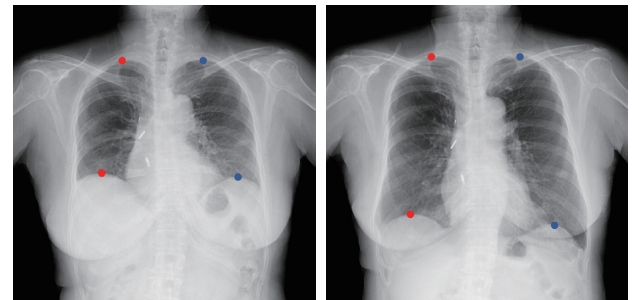
(A) original image. (B) E mode (frequency emphasizing processing) image. In the E mode image, movement of pulmonary blood vessels and bones are enhanced.

4.2 E-Mode (周波数強調処理)

呼吸に伴い、上位肋骨、下位肋骨、浮遊肋、肺野内組織はそれぞれ別の挙動をすることが知られており³⁾、その動きを観察することで、呼吸機能をより正確に診断することが期待される。E-Mode処理は、これらの構造物を周波数強調処理により選択的に強調することで、特定組織の動きを観察しやすい動画を提供する (Fig. 4)。

4.3 D-Mode (特定成分追跡処理)

D-Modeは、肺野内の構造物の動きを追跡する処理である。例えば、肺機能を診断する上で重要な指標となる横隔膜などの追跡を可能とする。具体的には、ユーザーが指定した肺尖部と横隔膜部を、エッジ抽出処理とパターンマッチングを組み合わせることにより追跡する。さらに、追跡結果から、横隔膜の移動量および移動速度、肺尖と横隔膜間の距離が算出され、ユーザーはこれらの値を用いた定量解析が可能となる (Fig. 5)。D-Modeの臨床応用として、山田らは本処理から得られた情報から、健常者に比べ、慢性閉塞性肺疾患 (COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease) 患者の横隔膜の移動量が大きく、かつ移動速度が速いことを明らかにしており⁴⁾⁵⁾、呼吸機能の新たな評価指標として期待される。



Exhalation

Inhalation

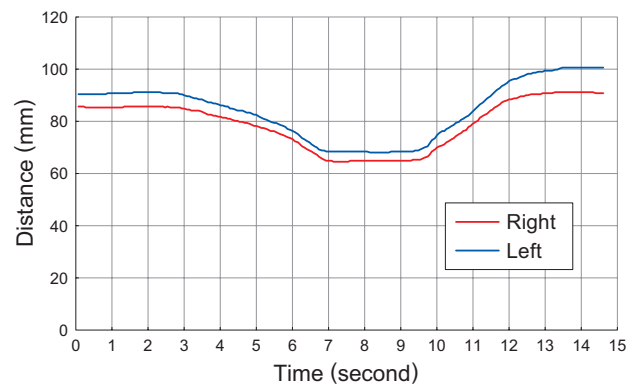


Fig. 5 D mode (specific-component tracking processing) results: exhalation, inhalation, and the vertical excursion of apex-diaphragm distance.

5 Chest Functional Imaging 技術

5.1 V-Mode (特定信号変化量抽出処理)

呼吸に伴う肺組織変化により、胸部動画像において肺野内の信号値に変化が生じているとの田中らの報告がある⁶⁾。V-Modeでは、動画像から呼吸に関連した周期的な信号変化を抽出し、最大呼気位からの信号変化量を表示することで、肺組織挙動の信号変化の可視化を実現している (Fig. 6)。V-Modeの臨床への応用検討として、田中らは、V-Modeの処理結果が、健常者においては、肺底部付近から上肺に向かって徐々に信号値が小さくなり、左右対称に分布して可視化されるのに対し、患者の場合は不均一に分布するように表現される差異を診断に用いることで、呼吸器疾患検出への寄与を示唆している⁶⁾。

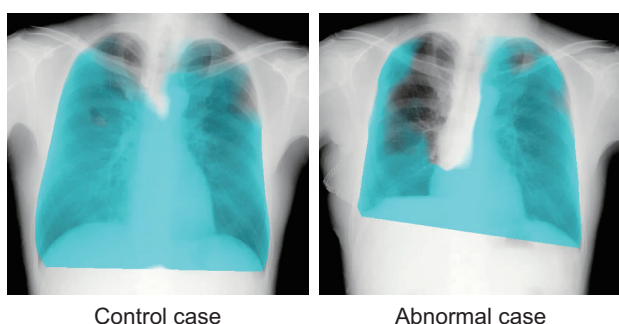


Fig. 6 Maximum inhalation frames in V mode (specific-signal's variation extracting processing) images, a control case, and a COPD patient. In the control case, the colored area is symmetric, but with the COPD patient, the colored area is asymmetric.

5.2 P-Mode (特定類似波形パターン抽出処理)

P-Modeは、特定の波形パターンとの類似度を可視化する機能である。例えば左心室領域から抽出された信号波形 (心拍波形) を特定の波形パターンとして使用することで、心拍に同期した信号変化との類似度を可視化することが可能となる (Fig. 7)。前述の田中らの報告⁷⁾において、P-Modeの処理結果は、健常者の肺では肺門部から左右対称に放射状に広がって表現されるのに対し、肺血管疾患の場合は不均一に分布することが示されており、肺血管疾患検出への寄与が期待されている。

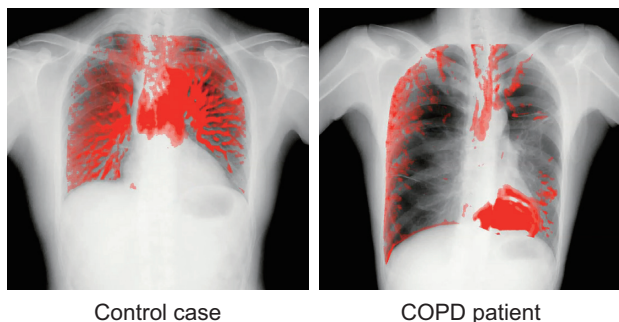


Fig. 7 P mode (similar waveform pattern extraction processing) images, a control case, and an abnormal case. In the abnormal case, the colored area exhibits asymmetrical distribution, indicating a pulmonary embolism or pneumothorax.

6 まとめ

開発中である胸部動態X線診断システム、動画像の価値を最大限高める胸部動態解析アプリケーション技術について紹介した。これらを導入いただくことにより、従来の診断に加えて、呼吸器や循環器の動的な形態情報および機能に関連する情報を低コスト・低侵襲で取得することが可能となり、医療の質向上が期待できる。

我々は今後も、臨床現場での価値向上に貢献できる魅力的な商品を開発する所存である。

●参考文献

- 1) Nakanobu T, Nishi T, Kikuchi R, Miyoshi K, Ohta I, Ishizaka S, "Development of the Third Generation Wireless Portability Type DR (AeroDR3)", KONICA MINOLTA Tech. Rep. VOL. 14, p.76-81 (2017)
- 2) Kobayashi T, Tsubura S, Katsuhara S, Kasai S, Sasano Y, "Development of Bone Suppression Processing as an Application of Computer Aided Detection of Nodules in Chest Radiographs", KONICA MINOLTA Tech. Rep. VOL. 12, p.71-76 (2015)
- 3) 臨床検査 61/10 2017年増刊号 呼吸機能検査 BASIC and PRACTICE, (2017)
- 4) Yamada Y, Ueyama M, Abe T, Araki T, Abe T, Nishino M, Jinzaki M, Hatabu H, Kudoh S, "Difference in diaphragmatic motion during tidal breathing in a standing position between COPD patients and normal subjects: Time-resolved quantitative evaluation using dynamic chest radiography with flat panel detector system ("dynamic X-ray phrenicography")", Eur J Radiol Volume 87, p.76-82 (2017)
- 5) 山田祥岳, "胸部X線動態撮影: その技術とアプリケーション", Rad Fan Vol. 15 No. 2, p.97-98 (2017)
- 6) Tanaka R, "Dynamic chest radiography: flat-panel detector (FPD) based functional X-ray imaging", Radiol Phys Technol.9 (2), p.139-53 (2016)
- 7) Tanaka R, Sanada S, Kasahara K, Matsumoto I, Sakuta K, "Fundamentals of Dynamic Chest Radiography: Low-cost and High Performance Functional Imaging", RSNA (2016)