

## じん肺エックス線写真による診断精度向上に関する研究

研究代表者 芦澤 和人

所属 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授

### <研究分担者>

岸本 卓巳	（労働者健康安全機構 アスベスト疾患研究・研修センター	所長）
荒川 浩明	（獨協医科大学 放射線医学講座	講師）
大塚 義紀	（労働者健康安全機構 北海道中央労災病院 呼吸器内科	院長）
加藤 勝也	（川崎医科大学 総合放射線医学	教授）
高橋 雅士	（医療法人友仁会 友仁山崎病院 放射線科	院長）
仁木 登	（徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 理工学域	名誉教授）
野間 恵之	（天理よろづ相談所病院 放射線部診断部門 放射線診断学	部長）
本田 純久	（長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 地域リハビリテーション学	教授）
五十嵐 中	（公立大学法人 横浜市立大学 医学群（健康社会医学ユニット）	准教授）
林 秀行	（地域医療機能推進機構 諫早総合病院 放射線科	診療部長）

### <研究協力者>

新田 哲久	（京都岡本記念病院 放射線科	主任部長）
西本 優子	（天理よろづ相談所病院 放射線部診断部門 放射線診断学	医員）
丸山雄一郎	（J A長野厚生連 浅間南麓こもろ医療センター 放射線科	部長）
加藤 宗博	（労働者健康安全機構 旭ろうさい病院 呼吸器科	主任部長）

### 研究要旨

「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版作成当時の基本的合意事項・課題を検討し、症例の偏りなどを把握して、CT画像を含めた新たな症例の追加を検討した。珪肺とは異なる画像所見を呈する溶接工肺に関しては、胸部単純X線所見を文献的考察を行った。単純X線デジタル画像を種々のビューワで読影し、モニター診断の最適化を行った。また今後、中央や地方のじん肺診査におけるモニター診断を想定して、「じん肺標準エックス線写真」と「じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真」を比較読影できるシステムの開発を行った。じん肺診査における諸外国の動向調査も行った。じん肺の存在診断に関しては、CTにおける粒状影の定量化、CAD（コンピューター支援診断）の応用を試みた。さらに、低線量CT画像の前向き収集を行った。

一次予防に関しては、電動ファン付き防じんマスク（PAPR）と従来型の防じんマスクの比較調査研究を行い、マスク効率や労働者の装着感、費用対効果の解析を行った。

## A. 研究目的

現在、じん肺健康診断は、粉じん作業の職歴調査の他、胸部単純X線撮影や臨床検査、肺機能検査等の方法を用い診断基準に則って行われている（労働省安全衛生部労働衛生課編．「じん肺診査ハンドブック」．中央労働災害防止協会．平成16年、東京）。じん肺管理区分の決定における胸部X線写真の区分の判定において「じん肺標準エックス線フィルム」（昭和53年）に、新たに「じん肺標準エックス線写真集」（平成23年3月）フィルム版及び電子媒体版が加わった。しかし、標準X線写真の症例の偏り、添付されているCT画像と標準X線写真の病型の整合性、デジタル画像のモニター診断の普及、などの問題点が指摘されている。

また、じん肺健康診断に、一般診療で広く用いられている胸部CTの活用促進を求める意見がある。他方、じん肺法における、じん肺健康診断等に関する検討会の報告書（「じん肺法におけるじん肺健康診断等に関する検討会」報告書、平成22年5月13日、

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000006bik.html>）のなかで、胸部CT検査に関する3つの課題（①放射線被曝量が、単純X線写真に比べて高いこと、②事業者がじん肺健康診断の費用を負担すること、③読影技術の普及が必要であること）が示されたことから、平成26～28年度の厚生労働科学研究費 芦澤班「じん肺の診断基準及び手法に関する調査研究」（厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業） じん肺の診断基準及び手法に関する調査研究 平成26～28年度 総合研究報告書）では、課題①について、じん肺の存在診断における低線量CTの通常線量CTに対する非劣性を明らかにするとともに、じん肺の鑑別診断におけるCTの単純X線写真に対する優位性を証明し

たところである。

他方、新たなじん肺発生がゼロではない現状に鑑み、じん肺発生に対する一次予防の重要性を再検討する必要がある。

本研究では、現在じん肺診査の画像診断に用いられている「じん肺標準エックス線写真集」（平成23年3月）フィルム版及び電子媒体版に新たな症例を追加することで標準写真の取りまとめを行うこととする。また、平成26年～28年度の厚生労働科学研究費 芦澤班「じん肺の診断基準及び手法に関する調査研究」を継続し、じん肺健診における胸部CT検査の課題を整理し、診断精度向上のための読影技術を示すとともに、今後の施策を検討する上で重要な基礎資料を提示する。他方、粉じん患者の新規発生を抑えるため、粉じん労働者の防じんマスク効率を調査・検討する。

## B. 研究方法

「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版作成当時の基本的合意事項・課題を検討し、症例の偏りなどを把握して、CT画像を含めた新たな症例の追加を検討した。地方じん肺診査の現状（電子媒体版の使用状況やモニター診断の有無等）把握のためアンケート調査を行い、今後の電子媒体版の症例追加の方針やモニター診断導入の参考資料とした。また、単純X線デジタル画像を種々のビューワで読影し、モニター診断の最適化を行った。また今後、中央や地方のじん肺診査におけるモニター診断を想定して、「じん肺標準エックス線写真」と「じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真」を比較読影できるシステムの開発を行った。じん肺診査における諸外国の動向調査も行った。また、低線量CT画像を労災病院から前向きに収集し、じん肺の存在診断に関して、CTにおける粒状影の定量化、CAD（コンピューター支援診断）の応

用を試み、読影技術の普及方策を検討した。

一次予防に関しては、粉じん作業者を対象として、電動ファン付き防じんマスク(PAPR)と従来型の防じんマスクのマスク効率や作業現場における呼吸用保護具の装着感に関する比較調査、さらに、費用対効果の解析を行った。

(倫理面への配慮)

事前に研究目的を説明し、全ての作業者の研究同意を得てから調査を開始した。

### C. 研究結果

「じん肺標準エックス線写真集」(平成23年3月)フィルム版及び電子媒体版が作成される過程で確認された基本的合意事項・課題を、議事録を用いて検証した。電子媒体版の必要要件や画像掲載の基本方針、残された課題や新たな症例収集の必要性に言及されていることを再確認した。その上で、医療用モニターを用い、「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版の全症例を見直し、それぞれの症例について、そのまま採用するか差し替えが望ましいかについて参加者の合議により判定を行った。結果、症例の差し替えは行わないこととし、症例追加を行うこととした。追加が必要な病型に対して、芦澤班で岡山ろうさい病院から前向きに収集した98例の症例と、新芦澤班で北海道中央労災病院から収集した62例の症例から事務局にて、候補となる症例13例を抽出。これに、芦澤班で収集した溶接工肺症例11例、さらに研究分担者の施設(天理よろづ相談所病院、獨協医科大学、岡山ろうさい病院、及び関連病院)から、計42例の症例を追加し、研究分担者・協力者計10名の合議で症例を選択した。最終的に14例の候補が抽出された。なお、珪肺とは異なる画像所見を呈する溶接工肺に関しては、胸部単純X線

所見についての文献的考察を行った。

地方じん肺診査医へのアンケート調査結果(2018年1~2月)では、デジタル版の標準写真と旧アナログ版の整合性については、95%の都道府県で担保されているという回答であった。モニター導入は19%にとどまり、また導入を検討している県が34%、導入の予定はない県が66%であった。

モニター診断に関しては、2社×2種(1M、3M)のモニターを使用して、4名の読影者がじん肺45症例の型分類の読影実験を行った。その結果、メーカー間及びモニターサイズの比較において、両者の読影結果に有意差は認められず、統計的に有意な中等度の一致が認められた。また、読影者内一致の検討でも1Mモニターと3Mモニター間には中等度の一致が認められた。

中央じん肺診査医会における審査及び労働局におけるじん肺管理区分の決定にあたり、医療用モニターを用いて胸部X線写真を読影する際に、より簡便に「じん肺標準エックス線写真」と「じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真」を比較読影できるシステムの開発を行った。

じん肺診査における諸外国の動向調査に関しては、欧米先進国6カ国を対象に、粉じん職場におけるスクリーニングのガイドラインを比較検討した。結果、CTをスクリーニングに使用している国はなく、単純X線写真の使用が推奨されていた。また、検診の間隔に関しては指定がない国もみられた。

CADに関して、合議制によって決定された岡山ろうさい病院12例(0/1-8例, 1/0-3例, 1/1-1例)と北海道中央労災病院44例(0/1-22例, 1/0-15例, 1/1-7例)の合計56症例のCT画像を用い、(1)じん肺CT画像データベースの作成、(2)粒状影の定量的評価を行った。じん肺の重症度を粒状影の個数、大



きさとCT値、分布型によって評価したところ、単純X線写真の診断結果と一致しない症例があった。

防じんマスクに関しては、作業員104名に対して、PAPRと通常防じんマスクの比較検討を行った。通常防じんマスクの平均もれ率は23.96%と高率であり、PAPRのマスクのもれ率は $0.45 \pm 0.42$  (0.08~3.59)%とその防じん作用は明らかに良かった。マスク装着に関するアンケート調査では、呼吸が楽で、粉じん吸入量が少ないというメリットを指摘し、68.1%がPAPRを使用したいという結果を得た。

電動ファン付き防じんマスクの通常防じんマスクを比較対照としたコストベネフィット評価に関しては、PAPRの使用感及びQOL・生産性損失について、4週間の調査では有意な差は見られなかった。

#### D. 考察

「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版の症例の偏りや不足に関しては、これまでも指摘を受けているところであるが、今回の検討結果から、最終的に、現行の「じん肺標準エックス線写真集」の改訂において、①CT(特にHRCT)が撮影されており、胸部単純X線写真とCTの所見が揃っている症例の追加が望ましい、②不整形陰影・その他の陰影については、新たな症例追加が望ましいことで一致した。最終的に、14例の候補症例が抽出されており、今後、本症における検討会で更に議論を重ね、「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体の改定が行われることを期待する。

珪肺とは異なる画像所見を呈する溶接工肺の文献的考察では、CTをゴールドスタンダードとして胸部単純X線写真では5-6割程度しか粒状影を描出しないため、スクリーニン

グのツールとしては不十分であることが、再認識された。

デジタル版の標準画像とアナログ版の標準画像の整合性については、ほぼ95%の審査医が十分あるいはおおよそ担保されていると回答していたが、デジタル版においては、石綿肺の画像が不足している点、軽度の不整形陰影の画像が不足している点、その他の陰影が十分に病型をカバーできていない点、などが指摘されている。これらに対しては、前述したように画像の適格性、追加症例の検討などを行っており、デジタル標準写真集の改訂が行われることにより、地方じん肺診査医にとってより利用しやすいものになると思われる。地方局のモニター導入については、平成30年1~2月時点の回答ではあるが、19%にとどまり、その機種や機能についてもバラツキが大きく、精度管理上問題が大きいことが推測される。また、現在、多くの医療施設では、画像がデジタル化されており、ハードコピー作成環境が激減している。従って、ソフトコピーによる審査を安定して行える環境作りは、じん肺審査の精度管理を維持する上で急務であると思われる。

モニター診断に関しては、メーカー及びモニターサイズが異なっても、じん肺の型分類の正解率に有意差は認められなかった。また、3Mモニターにおいて、モニターの種類(カラー/モノクロ)も読影結果には影響しないことが確認された。村田班の先行研究では、じん肺診断に適切なモニターサイズは3M以上という結果であったが、今回の読影実験の結果からは、日本医学放射線学会電子情報委員会のデジタル画像の取り扱いに関するガイドラインと同様に、1Mモニターもフィルムの代替えとして使用できると考えられる。

モニター診断に関しては、「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版の取扱いに準拠し

て、1台のPC端末にインストールされた単一アプリケーションソフト内で、「じん肺標準エックス線写真DICOM画像」と「じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真DICOM画像」を、2面の医療用モニターに同時に表示できるシステムを開発した。今後、じん肺X線写真のモニター読影の推進に資するシステムと考えられる。

欧米先進国の粉じん職場におけるスクリーニングは、単純X線写真が主体であり、フランスでは必要に応じてCTが使用されることが明らかとなった。ただ、粉じん職場での健康維持のためのガイドラインではあり、じん肺診査を対象としたものではないことにも注意が必要である。

CT画像におけるCADを用いた粒状影の個数、大きさとCT値、分布型による評価は、じん肺の病型の判断に有用であることが示された。今後、さらに症例を追加し、PR0/1、PR1/0症例を含めた多症例の粒状影を統計解析し、高度じん肺診断支援システムの開発を目指す。

防じんマスクに関しては、PAPRは通常防じんマスクと比較して、粉じん吸入濃度を有意に軽減していることが実証された。アンケート調査では、マスクの重さや大きさ、ファンの音、さらには動きにくさが気になる人もいたが、通常防じんマスクと比較して呼吸が楽あるいはやや楽と感じた人が大部分であり、マスク効率だけでなく、作業者のアンケート結果からも有用であると考えられた。

一方、PAPRと通常の防じんマスクを比較する費用対効果研究の方法論の検討では、PAPRの使用感及びQOL・生産性損失について、4週間の調査では有意な差は見られなかったが、このデータのみからは、PAPRは、通常のマスクに比べて「追加的有用性がなく、費用がかかる」点で、費用最小化分析のスタ

イルで費用対効果に劣ると判断された。PAPR電動ファン付き防じんマスクの追加的有用性をより長期の装着感調査などで明らかにした上での再評価が今後の課題となる。

## E. 結論

- 1) 地方じん肺診査医アンケート結果等も考慮した上で、「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版の症例を再検討し、最終的に14例の候補症例を抽出した。
- 2) CTと比較して、溶接工肺の4-5割の症例は胸部単純X線写真で粒状影が描出できず、スクリーニングのツールとしては不十分である。
- 3) 平成30年1～2月時点の回答ではあるが、地方局へのモニター導入は19%にとどまり、その機種や機能についてもバラツキが大きかった。デジタル画像のモニターによる審査を安定して行える環境作りは、じん肺審査の精度管理を維持する上で急務である。
- 4) じん肺症例のモニター診断において、1Mモニターは3Mモニターに対して非劣性であった。
- 5) 1台のPC端末にインストールされた単一アプリケーションソフト内で、「じん肺標準エックス線写真DICOM画像」と「じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真DICOM画像」を、2面の医療用モニターに同時に表示できるシステムを開発した。
- 6) 欧米先進国6カ国の粉じん職場におけるスクリーニングのガイドラインでは、すべての国で、胸部単純X線写真が使用されており、CTを用いている国はなかった。ただし、健常者を対象とするガイドラインであり、じん肺有所見者の検診とは異なることに注意が必要である。
- 7) 珪肺の粒状影を高精度に検出し、じん肺の診断を支援するシステムを開発した。CT画像を用いて粒状影の個数、大きさとCT値、分布

型からじん肺の重症度を定量評価し、粒状影の大きさを考慮した分類法を提示した。

- 8) PAPRは通常防じんマスクに比較して有意に粉じん吸入量を減少させる効果があり、呼吸のしやすさ等のメリットが大きいことから着用したいと望む作業者が約70%を占めることから、今後の新たなじん肺防止のためうまく活用して行く必要がある。

## F. 健康危険情報

該当なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- [1] Takahashi M, Nitta N, Kishimoto T, Ohtsuka Y, Honda S, Ashizawa K. Computed tomography findings of arc-welders' pneumoconiosis: Comparison with silicosis. *Eur J Radiol* 2018; 107: 98-104.
- [2] 日野 公貴, 松廣 幹雄, 鈴木 秀宣, 河田 佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳, 芦澤 和人: 3次元CT画像を用いたじん肺の重症度診断基準の定量的評価, 第37回日本医用画像工学会大会, OP13-2, 2018. 7.
- [3] 日野 公貴, 松廣 幹雄, 鈴木 秀宣, 河田 佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳, 芦澤 和人: 3次元CT画像を用いたじん肺の重症度診断基準に関する粒状影の定量的評価, 電子情報通信学会技術研究報告 医用画像 Vol. 118, No. 286, pp. 13-15, 2018. 11.

### 2. 雑誌

- [1] 岸本 卓巳: 石綿(アスベスト)が人体に与える健康影響, 産業保健21, 第97号, P5-7, 2019. 7.

### 3. 学会発表

- [1] 高橋雅士(友仁山崎病院 放), 新田哲久(滋賀医大 放), 岸本 卓巳(岡山労災病院 呼内), 大塚義紀(北海道中央労災病院 呼内), 芦澤和人(長崎大学 臨床腫瘍学), 溶接工肺のCT所見: 珪肺との比較, 第316回公益社団法人日本医学放射線学会関西地方会, 平成29年6月3日 ホテルエルセラール大阪
- [2] Kato Katsuya, Genba Kenichi, Ashizawa Kazuto, Kishimoto Takumi, Fujimoto Nobukazu, Aoe Keisuke, Takeshima Yukio, Inai Kouki. CT Findings of Malignant Pleural Mesothelioma and Correlation with the Survival Period. World Congress Thoracic Imaging Boston(WCTI2017). MA, USA. 2017. 06. 18
- [3] 日野 公貴, 鈴木 秀宣, 河田 佳樹, 仁木 登(徳島大), 加藤 勝也(川崎医科大), 岸本 卓巳(岡山労災病院), 芦澤 和人(長崎大), 胸部3次元CT画像を用いたじん肺の粒状影の空間分布パターン解析, 電子情報通信学会 医用画像研究会平成29年7月6-7日、東北大学 片平桜ホール
- [4] 日野 公貴, 鈴木 秀宣, 河田 佳樹, 仁木 登(徳島大), 加藤 勝也(川崎医科大), 岸本 卓巳(岡山労災病院), 芦澤 和人(長崎大), 胸部3次元CT画像を用いたじん肺の粒状影解析, 第36回日本医用画像工学会大会平成29年7月27-29日、じゅうらくプラザ(岐阜市)
- [5] 日野 公貴, 鈴木 秀宣, 松廣 幹雄, 河田 佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳, 芦澤 和人, 3次元CT画像を用いたじん肺の重症度診断のための定量的評価, 第40回日本生体医工学会中国四国支部大

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 会, 2017. 10.  | 該当なし              |
| [ 6 ]日野 公貴, 鈴木 秀宣, 松廣 幹雄, 河田<br>佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳,<br>芦澤 和人, 3次元CT画像を用いたじん<br>肺の重症度診断における粒状影の定量的<br>評価, 第10回呼吸機能イメージング研究<br>会, 2018. 2.  | 2. 実用新案登録<br>該当なし |
| [ 7 ]K.Hino, H.Suzuki, M.Matsuhira, Y.<br>Kawata, N.Niki, K.Kato, T.Kishimoto,<br>K.Ashizawa. Quantitative assessment<br>for pneumoconiosis severity diagnosis<br>using 3D CT images, Proc. SPIE<br>Medical Imaging, 2018. 2. | 3. その他<br>該当なし    |
| [ 8 ]Takahashi M, Nitta, N, Kishimoto T,<br>Otsuka Y Ashizawa K CT findings for<br>Arc-welders' pneumoconiosis:<br>Comparison with silicosis, 第77回日本<br>医学放射線学会総会 2018. 4. 14. 横浜   |                   |
| [ 9 ]日野 公貴, 松廣 幹雄, 鈴木 秀宣, 河田<br>佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳,<br>芦澤 和人: 胸部3次元CT画像を用いた<br>じん肺の粒状影定量的評価, 第26回日本<br>CT検診学会学術集会, 2019. 2.   |                   |
| [10]森 奈々, 日野 公貴, 松廣 幹雄, 鈴木<br>秀宣, 河田 佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也,<br>岸本 卓巳, 芦澤 和人: 3次元CT画像を<br>用いたじん肺の重症度診断支援システ<br>ム, 第38回日本医用画像工学会大会,<br>OP3-17, 2019. 7.   |                   |
| [11]森 奈々, 松廣 幹雄, 鈴木 秀宣, 河田<br>佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳,<br>芦澤 和人: 3次元胸部CT画像による<br>じん肺のコンピュータ診断支援システ<br>ム, 電子情報通信学会技術研究報告医用画像<br>Vol. 119, No. 399, pp. 1-3, 2020. 1.  |                   |

## H. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

