

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

じん肺エックス線写真による診断精度向上に関する研究

平成 29 年～令和元年度 総合研究報告書

研究代表者 芦澤 和人

令和 2 (2020) 年 3 月

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総合研究報告書

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
研究者一覧

研究代表者

長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授 芦澤 和人

研究分担者

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 岸本 卓巳
獨協医科大学 放射線医学講座 講師 荒川 浩明
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 大塚 義紀
川崎医科大学 総合放射線医学 教授 加藤 勝也
医療法人友仁会 友仁山崎病院 放射線科 院長 高橋 雅士
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 仁木 登
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 野間 恵之
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 本田 純久
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 五十嵐 中
地域医療機能推進機構 諫早総合病院 放射線科 診療部長 林 秀行

研究協力者

京都岡本記念病院 放射線科 主任部長 新田 哲久
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 西本 優子
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 丸山雄一郎
労働者健康安全機構 旭ろうさい病院 呼吸器科 主任部長 加藤 宗博

目次

I. 総合研究報告

- 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 1
芦澤 和人（長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授）

II. 分担研究報告

- (1) 「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版の症例改定の試み 9
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）
- (2) 溶接工肺の胸部単純写真：文献的考察 19
荒川 浩明（獨協医科大学 放射線医学講座 講師）
- (3) デジタル版じん肺画像とモニター導入に関する地方じん肺診査医アンケート：最終報告 23
高橋 雅士（医療法人友仁会 友仁山崎病院 放射線科 院長）
- (4) じん肺審査におけるモニター診断の最適化 29
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）
- (5) じん肺審査におけるモニター読影ソフトの構想に関する研究 33
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）
- (6) 欧米先進国のじん肺スクリーニング調査 39
荒川 浩明（獨協医科大学 放射線医学講座 講師）
- (7) じん肺の3次元CT画像診断支援システムの開発状況 43
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）
- (8) 通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の比較試験 47
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）
- (9) 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
評価に関する研究 57
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）

- III. 研究成果の刊行に関する一覧表 65

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 ± 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 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における粒状影の定量的評価, 第10回呼吸機能イメージング研究会, 2018. 2. | 2. 実用新案登録
該当なし |
| [7]K.Hino, H.Suzuki, M.Matsuhira, Y. Kawata, N.Niki, K.Kato, T.Kishimoto, K.Ashizawa. Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, 2018. 2. | 3. その他
該当なし |
| [8]Takahashi M, Nitta, N, Kishimoto T, Otsuka Y Ashizawa K CT findings for Arc-welders' pneumoconiosis: Comparison with silicosis, 第77回日本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 佳樹, 仁木 登, 加藤 勝也, 岸本 卓巳, 芦澤 和人: 胸部3次元CT画像を用いたじん肺の粒状影定量的評価, 第26回日本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 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支援システム, 第38回日本医用画像工学会大会, OP3-17, 2019. 7. | |
| [11]森 奈々, 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次元胸部CT画像によるじん肺のコンピュータ診断支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告医用画像 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

（１）「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版の症例改定の試み

研究分担者 林 秀行¹、大塚 義紀²、岸本 卓巳³、荒川 浩明⁴、加藤 勝也⁵、高橋 雅士⁶、
野間 恵之⁷
研究協力者 新田 哲久⁸、西本 優子⁹
研究代表者 芦澤 和人¹⁰

所属 1 地域医療機能推進機構 諫早総合病院 放射線科 診療部長
所属 2 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
所属 3 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
所属 4 獨協医科大学 放射線医学講座 講師
所属 5 川崎医科大学 総合放射線医学 教授
所属 6 医療法人友仁会 友仁山崎病院 放射線科 院長
所属 7 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
所属 8 京都岡本記念病院 放射線科 主任部長
所属 9 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
所属 10 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授

研究要旨 本研究は胸部CTによるじん肺診断の基準を確立することを目的とする。じん肺の画像診断は、現在専ら胸部単純X線写真が用いられているが、過去の報告や昨年までの本研究班での研究にて、これに胸部CT検査を加えることで的確な診断に寄与する可能性が示唆された。過去の村田班の研究により、「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版が作成され、じん肺審査の場面でも用いられているが、一部に変更、追加の必要も挙げられている。今回、本研究班で収集した症例の中で追加症例としてふさわしい症例を抽出し、班会議での協議の上で、追加症例を決定した。

A. 背景

現在、じん肺健康診断は、粉じん作業についての職歴調査のほか、胸部単純X線撮影や胸部に関する臨床検査、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。一方で、一般診療における胸部画像検査では、胸部単純X線撮影に加えて、胸部CT検査が診断において広く行われており、じん肺健康診断における、胸部CT撮影の活用促進を求める意見がある。

じん肺管理区分の決定における胸部X線写真での区分判定において、「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）フィルム版及び電子媒体版が加わったが、標準X線写真の症例の偏りや、添付されているCT画像と標準X線写真の病型の整合性などの問題点も指摘されている。

B. 問題点の把握

本芦澤班の研究において、地方じん肺診査医アンケートにより、実際の診査医からの意見を収集した（詳細は高橋らの報告を参照）。それを踏まえ、本研究班の班会議にて「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版に追加すべき症例を選択した。

C. 研究目的

これまでの本研究で明らかとなった点を踏まえ、芦澤班、新芦澤班で前向きに収集した症例から症例を抜粋、研究分担者の施設からの典型症例を追加し、「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版を改定すること。

D. 研究方法

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、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14症例を選択した。

E. 説明文

追加症例に対し、その説明文を研究分担者・協力者で作成した。

F. 追加症例

以下、追加症例の胸部単純写真とCT画像（代表的なスライス）と症例の説明文を記す。

CR：Computed Radiography

DR：Digital Radiography



型分類：0/0

作業歴：炭坑 27年3ヶ月、溶接 11年9ヶ月

年齢：64歳

単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：左下肺野に索状影がみられる。両肺野とも、じん肺を疑う所見は認められない。

胸部CT：じん肺を疑う所見は認められない。

型分類：0/1

作業歴：炭坑 34年5ヶ月

年齢：66歳

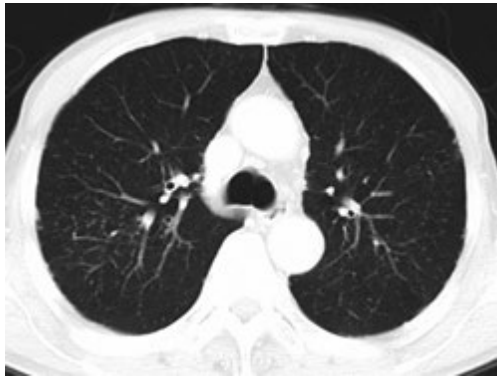
単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側上肺野にわずかに粒状影が認められる。

胸部CT：両側上葉の胸膜下を主体に少数の粒状影が認められる。本例は、粒状影の密度と分布がごく限られているため、第1型に至らず、第0型(0/1)に相当する。



型分類：1/1

作業歴：石の粉碎・運搬 30年間

年齢：89歳

単純写真撮像形式：DR（キヤノン）

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側上肺野に粒状影が多発性に認められる。中肺野にも少し認められるが、下肺野には認められない。粒状影の大きさは「q」、第1型（1/1）に相当する。

胸部CT：肺尖部から中間気管支幹のレベルまで、境界明瞭な粒状影が多発性に認められる。右上葉では粒状影の癒合傾向が認められる。

胸膜に接する粒状影も認められ、いわゆるpseudo-plaqueである。

型分類：PR 2/2（p/p）

作業歴：31歳～55歳 クレー製造作業

56歳～62歳 耐火レンガ製造作業

年齢：79歳

単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側上中肺野主体に境界明瞭な粒状影が多数認められる。

胸部CT：両側上葉主体に境界明瞭な粒状影が多数認められる。

両側肺門部リンパ節腫大がみられ、一部には石灰化を伴う。



型分類：PR4A

作業歴：15歳～26歳 耐火レンガ製造
26歳～60歳 コンクリート製造

年齢：79歳

単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側上肺野を主体に粒状影が多数認められる。さらに、右上肺野に大陰影が認められるが、その径は5cm未満であり、第4型（A）に相当する。

胸部CT：両側上葉主体に境界明瞭な粒状影が多数認められ、右上葉には大陰影が確認できる。

型分類：PR4B

作業歴：16歳～62歳 石材掘削、運搬作業
年齢：81歳

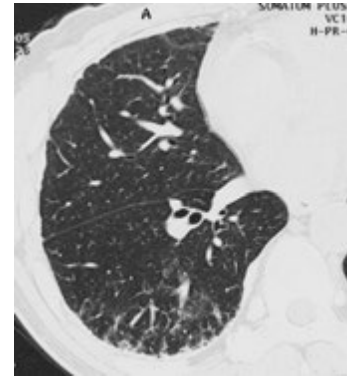
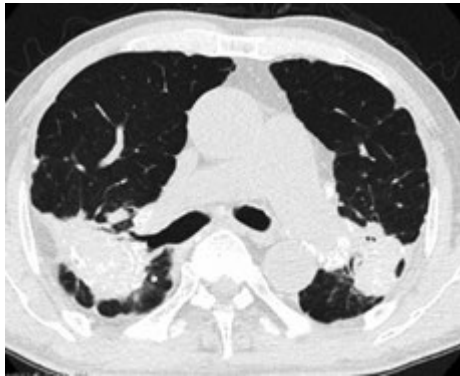
単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側上肺野にそれぞれ大陰影が認められる。大きさを合わせると5cmを超えるが、肺野全体の3分の1には達していないため、第4型（B）に相当する。

胸部CT：両側上葉にそれぞれ大陰影が認められ、周囲には粒状影が多発している。また、大陰影および縦隔リンパ節には石灰化を伴う（es）。



型分類：PR4C

作業歴：16歳～58歳 石材加工

年齢：79歳

単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側中肺野を主体に複数の大陰影が認められ、これらを合わせた広がり肺野全体の3分の1を越えるため、第4型（C）に相当する。

胸部CT：両肺に粗大な石灰化を伴う大陰影が多数認められる。その周囲には多数のブラ（bu）もみられる。また、縦隔・肺門リンパ節は多数腫大しており、明瞭な石灰化（es）を伴っている。

型分類：0/1

作業歴：石綿調合・配合 22年

年齢：61歳

単純写真撮像形式：DR（キヤノン）

CT画像の有無：有

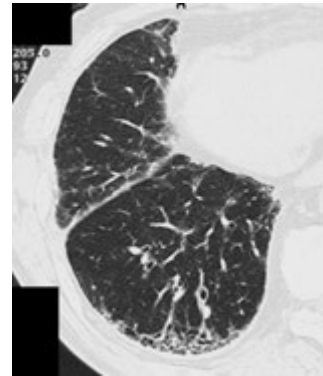
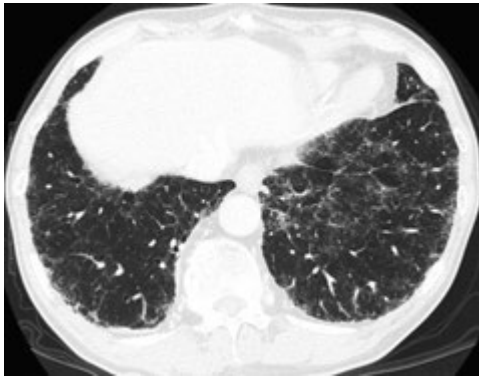
画像所見：

胸部X線：両側下肺野に網状影がわずかに疑われるが、第1型に至らず、第0型（0/1）に相当する。両側中肺野外側に不均一な透過性低下域がみられる。右横隔膜に石灰化胸膜プラークが認められる。

胸部CT：両側下葉胸膜側に不均一なすりガラス影が認められる。

蜂巣肺や牽引性気管支拡張は認められない。

石灰化胸膜プラークは右横隔膜だけではなく、両側胸壁側に多発性に認められる。



型分類：不整形陰影 1/0型

作業歴：アスベスト加工（アスベストを含む建築材、保温材、パッキング材、保温）25年
年齢：74歳

単純写真撮像形式：シーメンス フラットパネル

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側下肺野に網状影が認められる。その密度と分布は第1型（1/1）と比較してやや限られるため、第1型（1/0）に相当する。右下肺野縦隔側に淡い結節影が認められる。

胸部CT：両側下葉の背側胸膜下に軽度の網状影が認められる。右中葉縦隔側に充実性結節（肺がん）がみられる。

型分類：1/1

作業歴：石綿使用 42年

年齢：72歳

単純写真撮像形式：DR（キヤノン）

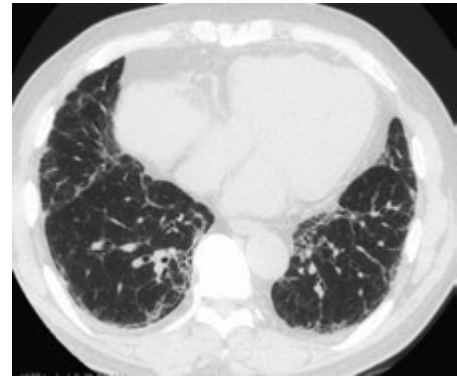
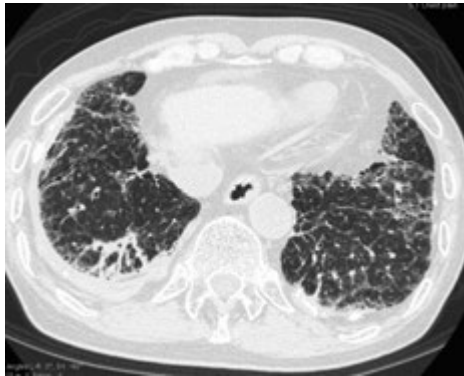
CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：左下肺野優位に両側性に網状影が認められる。陰影の広がり第1型（1/1）に相当する。心拡大も認められる。

胸部CT：両側下葉胸膜下に網状影を伴うすりガラス影が認められ、牽引性気管支拡張もみられる。左上葉の胸膜下には小葉中心性粒状影（dot-like nodule）が認められる。（非掲載）

多発性の胸膜プラークが明瞭に認められる。



型分類：不整形陰影 2型

作業歴：石綿使用 40年

年齢：70歳

単純写真撮像形式：シーメンス フラットパネル

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側下肺野に網状影が認められる。肺の容積減少を伴っている。

陰影の広がりには第2型相当である。

両側横隔膜に石灰化胸膜プラークがみられる。

胸部CT：両肺に胸膜下曲線状影と小葉中心性粒状影がみられ、後者は肺内層にもみられる。下葉では索状影や小葉間隔壁肥厚も認められる。両側性に石灰化胸膜プラークがみられる。

型分類：不整形陰影 2型

作業歴：石綿板の作成 30年

年齢：68歳

単純写真撮像形式：CR（日立）

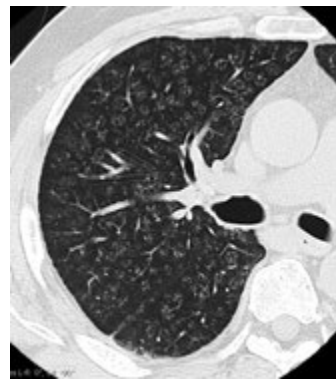
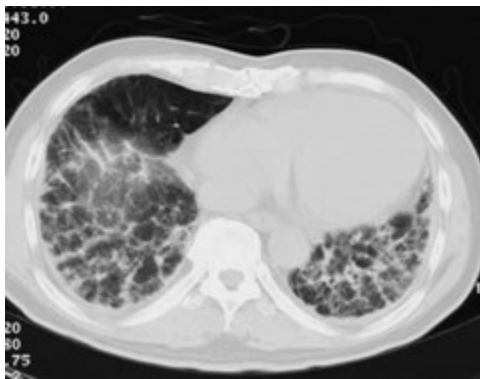
CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側下肺野に網状影が認められる。肺の容積減少を伴っている。

陰影の広がりには第2型相当である。

胸部CT：両側下葉優位に、小葉中心性粒状影と胸膜下曲線状影が認められる。下葉では網状影がみられ、容積が減少している。両側胸膜にプラークが散見され、右横隔膜のプラークは石灰化を伴う。



型分類：3/3

作業歴：石綿吹きつけ 22年

年齢：52歳

単純写真撮像形式：アナログ

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側下肺野優位に、肺野透過性低下および網状影が認められる。両側下葉の容積が減少している。第3型に相当する。右横隔膜に石灰化胸膜プラークが認められる。

胸部CT：両側下葉主体に気管支血管束の肥厚やすりガラス影が認められる。一部小葉間隔壁の肥厚もみられる。牽引性気管支拡張は殆ど認められない。

両側上葉には小葉中心性の淡い粒状影（dot-like nodule）が肺の内層まで認められる。

型分類：PR 2/2

作業歴：25歳～48歳まで鉄工所において溶接作業を行っていた。

年齢：58歳

単純写真撮像形式：CR

CT画像の有無：有

画像所見：

胸部X線：両側中下肺野主体に境界不明瞭な多発粒状影が認められる。

胸部CT：両肺びまん性に極めて多数の淡い小葉中心性粒状影が認められる。

（２）溶接工肺の胸部単純写真：文献的考察

研究分担者 荒川 浩明

所属 獨協医科大学 放射線医学講座 講師

研究要旨 溶接工肺の胸部単純写真について、文献を検索し、教科書の記述などと合わせて検討した。陰影のカテゴリーはqまたはpであり、ほぼ全肺野に均一に、やや中肺野から上肺野に優位に分布する。PMFは基本的に見られない。CTに比べ、その4－5割程度の症例では陰影は描出されないためスクリーニングには不十分である。

A. 研究目的

溶接工肺の胸部単純写真はCTとの間に病変の強さや広がり乖離が有り、胸部単純写真ではCTよりも過小評価する傾向が顕著である。現在、我が国ではじん肺管理区分の決定には胸部単純写真の型分類が重要な基準となっているが、こうした胸部単純写真の特性をどのように理解し、運用していくべきか改めて問われている。溶接工肺の胸部単純写真について正しい認識を持つことは重要であるが、必ずしも一般的なコンセンサスに至っていないと考えられるため、過去の文献的な考察を通して確認すべきと考えられた。本研究は、これまで報告された溶接工肺の胸部単純写真についての文献及びじん肺関連の教科書を検索し、溶接工肺の胸部単純写真についてまとめた。

B. 研究方法

溶接工肺に関する文献についてPubMedを利用して検索した。主に、胸部単純写真での型分類についての記載のある文献を要旨から絞り込んだ。

また、じん肺の教科書はParkes WRのOccupational Lung Disorders (3d ed.)、Morgan and SeatonのOccupational Lung Diseases (3d ed.)を用い、溶接工肺の項目を調べた。

C. 研究結果

胸部単純写真の所見を検討した文献は4件あり、CTと比較した文献は2件あった。このうち、胸部単純写真の所見を詳細に記載していたのは2件であった。

649名の溶接工の胸部単純写真を検討した文献では、0/1以上が51名(7.9%)で、qが77.5%、pが18.9%、rが3.6%であった(1)。PMFは認められなかった。

1,028名の溶接工肺を検討した文献では、10.4%にsmall rounded opacitiesを認め、うち53.4%がq、46.6%がpであった(2)。PMFは認められなかった。

同じ研究者が同一の症例を追跡し、12年後に発表した文献が1つあった(3)。その15例を追跡した研究では、陰影が見られた6例中、1例は離職11年後に胸部単純写真が正常化

し、1例では職場転換5年後に改善が観察されたと報告されている。他、4例は職業を継続中で陰影に変化がなかったとしている。

教科書は広く使用されているParkesのものとMorganらのものを使用した。

Parkesの教科書では「Chest radiograph shows a variable, usually large number of small opacities varying from 0.5mm to about 2mm in diameter, of striking density and associated with fewer fine, rather less dense, linear opacities」と記載されており、型分類ではp、qを主体として、sが混在するという理解になる(4)。

Morganらの教科書では、「…has similar appearances to and cannot be distinguished from simple silicosis」「…more evenly distributed throughout the lung fields, and the pre-dilection for the upper zones is absent」などと記載があり、珪肺と同様の粒状影が主に中肺野優位に分布するのが特徴であるとしている(5)。

胸部単純写真とCTとの陰影の検出率を検討した文献は2件あった。

85例の溶接工での胸部単純写真とCTを両方同時に撮影した検討では、44例でCTでは溶接工肺と診断されたが、胸部単純写真で描出されたのはそのうちの55.4%だけであった(6)。66例の溶接工での検討では、CTでは33例に溶接工肺の所見があり、うち64%で胸部単純写真でも確認できた(7)。

また、ばく露と胸部単純写真との関係を調べた文献は2つほどあり、いずれもばく露期間が胸部単純写真での異常影の有無と有意に関係するというものであった(1,2)。

D. 考察

溶接工肺は1936年にDoigらが3例の確信例と6例の疑診例の9例について症例を報告

したのが最初である(8)。彼らの記述では、不揃いな結節影がほぼ全肺野に均一に分布し、下肺野に相対的に少ない傾向があるが、石綿肺と異なり、珪肺にむしろ類似していると報告している。結節は珪肺に比べて辺縁が「soft」とであると表現されている。

我々の検討では、その後に発表された溶接工肺の胸部単純写真についての検討でまとまったものは少ないことが改めて確認された。Doigらの報告と同様、溶接工肺は珪肺に類似した陰影であるが、より広範囲に分布していること、特に上葉優位でなく、中肺野優位であることなどが特徴と考えられる。また、PMFは基本的には合併しない。ただ、他の職業でシリカなどにばく露する症例があり、その限りではない。

陰影のカテゴリーについては、qとpが大部分を占めることが確認された。珪肺のようにrになることは殆どないようである。また、不整形陰影が見られることも報告にはなく、Parkesの教科書に記載があるのみであった。

CTとの比較検討では、胸部単純写真での異常影の検出は55%から64%程度であり、珪肺と比べても検出しにくいと考えられる。病理学的にも線維化や硝子化などを伴わないことから、陰影はX線吸収率が低く、小さい病変は見えにくいことが原因と考えられる。このことは、溶接工肺のスクリーニングにおける胸部単純写真の限界を示すものである。ほぼ全肺野に均一に病変があるにもかかわらず、半数程度は胸部単純写真で写らないということは、スクリーニングのツールとして胸部単純写真は不十分であると言える。珪肺の診断においても、胸部単純写真だけでなくCTが現場で補助的に使われていることを考慮すれば、溶接工肺の診断に、CTは補助的以上のものになる可能性がある。

行政は、このような医学的な現実に鑑みて、
検診や認定作業の見直しを考慮すべきである。

また、陰影の有無はばく露期間と相関することが指摘されている点は興味深い。珪肺ではばく露量が胸部単純写真の型（profusion）と相関することが示されているが、溶接工肺ではprofusionではなく、異常影の有無のみ相関するということである。これは、胸部単純写真での溶接工肺の異常影が指摘しにくいことと関係している可能性があるが、詳細は不明である。

E. 結論

溶接工肺の胸部単純写真所見は中・上肺野優位に全肺野に均一に分布するqまたはp型の粒状影であり、多少の不整形陰影が混在することがある。PMFは基本的に合併しない。CTをゴールドスタンダードとして胸部単純写真は5 - 6割程度しか結節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。

F. 参考文献

1. Attfield MD, Ross DS. Radiological abnormalities in electric-arc welders. *British journal of industrial medicine* 1978; 35: 117-122.
2. Jun Bae Lee, Kun Il Kim, Chang Hyoe Sol, Byung Soo Kim, Hae Sook Sohn, Chae Eun Lee. Radiologic Findings of Chest Radiograph for the Mass Surveyin Shipyard Welders, Pusan *J Korean Radiol* 1990; 26: 82-90.
3. Doig AT, McLaughlin AIG. Clearing of X-ray shadows in welders' siderosis. *The Lancet* 1948; 251: 789-791.
4. Parkes RW. Non-fibrogenic ('inert') minerals and pneumoconiosis. In: Parkes RW, editor. *Occupational Lung Disorders*, 3 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd; 1994. p. 255-260.
5. Morgan WKC. Other Pneumoconioses. In: Morgan WKC, Seaton A, editors. *Occupational Lung Diseases*, 3 ed. Philadelphia: Saunders Company; 1995. p. 432-437.
6. Han D, Goo JM, Im JG, Lee KS, Paek DM, Park SH. Thin-section CT findings of arc-welders' pneumoconiosis. *Korean J Radiol* 2000; 1: 79-83.
7. 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.
8. Doig AT, McLaughlin AIG. X ray appearances of the lungs of electric arc welders. *The Lancet* 1936; 227: 771-774.

（3）デジタル版じん肺画像とモニター導入に関する地方じん肺診査医 アンケート：最終報告

研究分担者 高橋 雅士¹
研究協力者 新田 哲久²
研究代表者 芦澤 和人³

所属 1 医療法人友仁会 友仁山崎病院 放射線科 院長

所属 2 京都岡本記念病院 放射線科 主任部長

所属 3 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授

研究要旨 デジタル版の標準写真と旧アナログ版の整合性を地方じん肺審査医にアンケート形式で質問し、デジタル版の課題を抽出した。また、地方労働局におけるじん肺審査において、デジタル化の環境がどの程度進んでいるのか、あるいは今後の予定などを調査した。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。

A. 研究目的

デジタル版の標準写真と旧アナログ版の整合性を地方じん肺審査医にアンケート形式で質問し、デジタル版の課題を抽出する。また、地方労働局におけるじん肺審査において、デジタル化の環境がどの程度進んでいるのか、あるいは今後の予定などを調査し、今後のじん肺審査の在り方の参考にする。

B. 研究方法

地方じん肺審査医を対象に、紙媒体にて下記のアンケートを行った。

1. デジタル版の標準画像とアナログ版の標準画像との整合性について

- a. 十分担保されている
- b. おおよそ担保されている

c. あまり担保されていない

d. 全く担保されていない

2. 1でc、dとお答えになられた先生にお聞きします。具体的にはどの部分の整合性がとれていませんか？下記に具体的にご記入ください。

3. デジタル版を実際に判定区分決定に使用されて不都合な点があれば下記に具体的にご記入ください。（例：じん肺法における1型～3型の陰影の表現（少数～極めて多数）との一致性に乏しい、0型～3型の段階的変化が不自然、不足する病型・じん肺の種類がある、画質が不良 など）

4. 貴局のじん肺診査においてモニター診断をすでに導入されていますか？

- a. はい
- b. いいえ

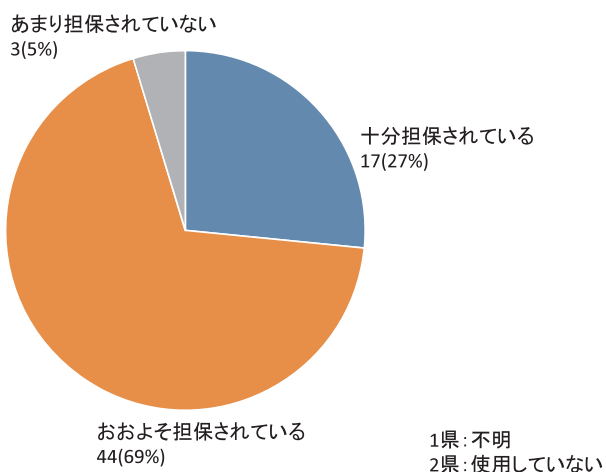
5. 上記でaとお答えの先生にご利用のモニターについてお尋ねします。(例：3Mモノクロ〇〇社製)
6. 上記でbとお答えの先生に今後のモニター導入の予定についてお尋ねします。
 - a. 導入が決定している。
(導入時期： 年 月 頃)
 - b. 導入の決定は未だであるが、導入に向けて検討したいあるいは検討中である。
 - c. 導入の予定は無い

C. 研究結果

・ 回答率

47都道府県の労働局から回答があった(47/47：100%)。

1. デジタル版の標準画像とアナログ版の標準画像との整合性について(審査医ベース)



2. 1でc、dとお答えになられた先生にお聞きします。具体的にはどの部分の整合性がとれていませんか？ 下記に具体的にご記入ください。

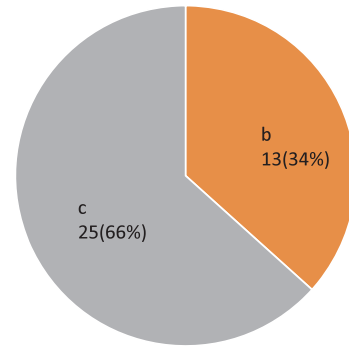
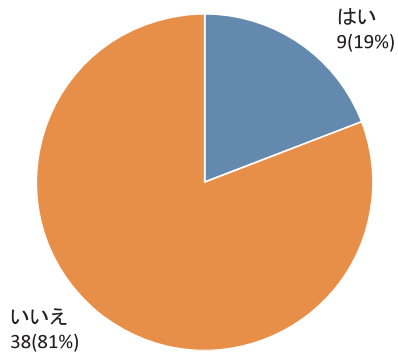
- ・ PC画面でありPACSではないため
- ・ 旧来のアナログ版の石綿肺の第1型～第3型の不整形陰影とデジタル版の不整形

陰影の第1型～第3型の間質影の強さが一致していない。

3. デジタル版を実際に判定区分決定に使用されて不都合な点があれば下記に具体的にご記入ください。(例：じん肺法における1型～3型の陰影の表現(少数～極めて多数)との一致性に乏しい、0型～3型の段階的変化が不自然、不足する病型・じん肺の種類がある、画質が不良 など)

- ・ ①石綿肺(不整形：線維化) ②鋳物肺(石綿によるもの) ③溶接工肺のデータを入れて欲しい。
- ・ デジタル版はコントラストなどが変更されて、誤診される懸念がある。
- ・ 不整形陰影の症例(特に[1/0]、[1/1])が複数あれば判定に有用である。
- ・ 画質が不良
- ・ 「その他の陰影」は2型しかないため、外部の陳情でも0型・1型・3型の標準写真を搭載するよう要請があるので、適切な判定のため搭載を検討いただきたい。
- ・ 1型など軽症例ではデジタル版の方がアナログ版よりも陰影がわかりやすいが、3型など重症例ではアナログ版の方が陰影が強調されてわかりやすい。
- ・ 第0型(0/1)左肺はびまん性胸膜肥厚のようになっており、0/1の標準として示すのはどうか。
- ・ 第1型(1/0)肺気腫が強く、繊維症は軽度のものがみられるが、気腫合併繊維症の可能性があり石綿肺1/0の標準としてしめすのはどうか。

4. 貴局のじん肺診査においてモニター診断をすでに導入されていますか？(局ベース)



5. 上記でaとお答えの先生にご利用のモニターについてお尋ねします。(例：3Mモノクロ〇〇社製)

- ・ EIZO RX340 (3Mカラー)
- ・ Totoku CCL208/AR (2Mカラー)
- ・ EIZO Flexscan EV2436W (カラー)
- ・ EIZO FlexScan Mix210 Slim Edge (カラー)
- ・ ナナオ EIZO 型号 SX2262X 日本製 (1Mカラー)
- ・ ナナオ (3Mモノクロ)
- ・ EIZO GS310 (3Mモノクロ) ※私物の中古モニターを参考として使用している
- ・ RadiForce GS320 EIZO 社製 2面 (3Mモノクロ)
- ・ NEC (モノクロ)

6. 上記でbとお答えの先生に今後のモニター導入の予定についてお尋ねします。(導入していない38局)

- a. 導入が決定している。
(導入時期： 年 月 頃)
- b. 導入の決定は未だであるが、導入に向けて検討したいあるいは検討中である。
- c. 導入の予定は無い。

コメント

- ・ モニター導入について以下の問合せが多く、CRでの申請を希望する意見が多数ある。
- －最近、デジタル画像 (CR) で申請できないか、医療機関からの問合せが多い。
- －胸部エックス線写真に焼けない。(デジタルが多くなり、フィルムに焼く設備がない)
- －胸部エックス線写真にしたいが、どこかで焼けないか。(他の医療機関では焼いてくれない)
- ・ 導入に向けて検討したことはあるが、当局の予算が全く足りず導入することが出来ない。
- ・ 導入を強く要望したい。X線フィルムの提出ができない病院が多くなっているため。
- ・ 予算措置がないので導入予定は無い。
- ・ 某労働局はモニター及びDICOM Viewerは持っていないが、地方じん肺診査医の厚意により読影端末を持ち込んで使用している。
- ・ 某労働局としては未導入であるが、局の備品として導入する方向で検討中である。

D. 考察

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。ただし、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。デジタル版の作成するにあたり、村田班の最終報告書には、以下の記載がみられる。

“個別検討において、より典型的な画像が得られた場合には追加又は置換を考慮とした画像の型、厚生労働科学研究からの候補画像に含まれなかった型については、新たな症例を収集する必要性が高い。具体的には、下記の型が挙げられる。

- ①大陰影のうち、第4型(A)及び第4型(C)に相当する画像。
- ②不整形陰影のうち、第0型(0/1)及び第3型に相当する画像。
- ③その他の陰影のうち、第1型に相当する画像。また、厚生労働科学研究からの候補画像に含まれなかった粉じん作業歴(特にアーク溶接)を持つ画像。

上記①～③以外の型についても、今後の研究等で典型例として適切な画像が収集された場合には、追加又は置換を考慮することが望ましい。”

これらに対しては、現在、新芦澤班の中で、画像の適格性、入れ替え症例の検討などを行っており、新しいデジタル標準写真集は、より地方じん肺審査医にとって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、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。ただし、導入に当たっての大きな障害はその予算化であり、モニター導入についての国からの十分な予算措置が強く望まれる。

E. 結論

1. 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、ほぼ担保されていることが確認できた。
2. 現行デジタル版は、溶接工肺などのその他の陰影や石綿肺などに不足がみられ、今後の収集が望まれる。
3. 地方局へのモニター導入は19%にとどまり、その種類や機能も一定の水準に達していなかった。
4. 地方局へのモニター導入によってじん肺審査のデジタル化を推進すべきであると考えられた。

F. 研究発表

1. 論文発表

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. 学会発表

Takahashi M, Nitta N, Kishimoto T, Ohtsuka Y, Ashizawa K
CT findings for Arc-welders' pneumoconiosis: Comparison with silicosis 第77回日本医学放射線学会総会 2018. 4. 14. 横浜

2018 年 1 月吉日

〇〇労働局
地方じん肺診査医各位

厚生労働省科学研究
労働安全衛生総合研究事業班会議
研究代表者 芦澤 和人
研究分担者 高橋 雅士

デジタル版じん肺画像とモニター導入に関するアンケートについて

謹啓

平素はじん肺行政にご協力を賜り誠にありがとうございます。

さて、じん肺診査に関しては、平成 23 年 1 月 21 日付けの「デジタル撮影によるじん肺標準エックス線画像に関する検討会の報告書」に基づき、同年 3 月に厚生労働省よりじん肺標準エックス線写真集電子媒体版が出版され、じん肺診査にご使用頂いているところです。

この作成に当たっては、アナログ画像集との整合性が確保できていることが必要条件とされ、また、発行後の課題として、症例において不足している病型や分類の画像については適宜追加又は置換を考慮するとされています。

厚生労働省科学研究労働安全衛生総合研究事業班会議（芦澤班）では、デジタル版発行後 7 年を経過した現在、上記の課題、問題点を精査し、より精度の高い写真集を作成すべく検討を重ねているところです。

地方じん肺診査医の先生方におかれましては、どうかこれらの趣旨をご理解いただき、現行のデジタル版写真集について忌憚のないご意見を頂戴いたしたくアンケートへのご協力をお願いする次第です。

また、今後のモニター読影の環境整備の参考のために、貴労働局におけるモニターの導入状況あるいは今後の予定についても併せて状況をお聞かせいただきたくお願いする次第です。ご多忙中、申し訳ございませんがご協力の程、お願い申し上げます。

謹白

【アンケート回答期間】2018 年 1 月～2 月に開催のじん肺診査医会

デジタル版じん肺画像とモニター導入に関するアンケート

1. デジタル版の標準画像とアナログ版の標準画像との整合性について
 - a. 十分担保されている
 - b. おおよそ担保されている
 - c. あまり担保されていない
 - d. 全く担保されていない
2. 1でc,dとお答えになられた先生にお聞きします。具体的にはどの部分の整合性がとれていませんか？ 下記に具体的にご記入ください。
3. デジタル版を実際に判定区分決定に使用されて不都合な点があれば下記に具体的にご記入ください。（例：じん肺法における1型～3型の陰影の表現（少数～極めて多数）との一致性に乏しい、0型～3型の段階的変化が不自然、不足する病型・じん肺の種類がある、画質が不良 など）
4. 貴局のじん肺診査においてモニター診断をすでに導入されていますか？
 - a. はい
 - b. いいえ
5. 上記でaとお答えの先生にご利用のモニターについてお尋ねします。（例：3M モノクロ〇〇社製）
6. 上記でbとお答えの先生に今後のモニター導入の予定についてお尋ねします。
 - a. 導入が決定している。（導入時期： 年 月 頃）
 - b. 導入の決定は未だであるが、導入に向けて検討したいあるいは検討中である。
 - c. 導入の予定は無い。

〇〇労働局用（2018年 月 日記入）

（４）じん肺審査におけるモニター診断の最適化

研究分担者 野間 恵之¹
研究協力者 西本 優子²

所属 1 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
所属 2 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

研究要旨 従来からじん肺健康診断には、胸部直接X線撮影（XP）と「じん肺標準X線フィルム」の比較による審査が行われていたが、平成19～21年度及び平成22年度の厚生労働科学研究「じん肺健康診断におけるエックス線デジタル撮影画像の活用に関する研究」、ならびに「じん肺健康診断等におけるデジタル画像の標準化ならびにモニター診断及び比較読影方法の確立に関する研究」において、適切な撮影条件や標準化装置を用いることでじん肺健康診断をデジタル画像システムで行うことが可能であることが示されている。本研究では、じん肺健康診断に導入するモニターの至適条件（モニターマトリックス、カラー/モノクロ）について検討を行う。

A. 背景

じん肺管理区分の判定は、申請者から提出された胸部X線写真を「じん肺標準X線フィルム」（昭和53年）（以下「標準フィルム」）と比較して行われていた。しかし、標準フィルムはアナログ写真であるため、経年劣化と複製による画質低下が問題であった。一方、近年の画像診断機器の発達により、CR（Computed radiography）やDR（Digital radiography）といったデジタル撮影装置、及び画像診断用モニタが広く普及しており、実臨床においてはフィルムレス化が一般的となっている。このような状況を鑑みて、平成19～21年度の厚生労働科学研究「じん肺健康診断におけるエックス線デジタル撮影画像の活用に関する研究」、ならびに平成22年度厚生労働科学研究「じん肺健康診断等におけるデジタル画像の標準化ならびにモニター診断

及び比較読影方法の確立に関する研究」（いずれも主任研究者 村田喜代史）が行われた。これらの研究により①ダイナミックレンジ圧縮処理をじん肺表示条件に加える妥当性、②じん肺診断に適切なモニターサイズは3M以上、③カラーモニターは白黒モニターと同等であることが示され、適切な撮影条件や標準化装置を用いることで、じん肺健康診断をデジタル画像システムで行うことが可能であると結論している。

また、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3.0版では、胸部X線画像診断用モニターについて、1M以上のモニターであればフィルムに代替して使用できると明記している。

デジタル画像撮影装置の急速な導入と普及により、モニター診断がじん肺患者の診療に

も幅広く使われている現状を鑑みて、じん肺健康診断にもモニター診断を導入する時期が来ていると考えられる。本研究では、村田班における検討結果や日本医学放射線学会のガイドラインを踏まえて、じん肺審査に最適なモニター条件を明らかとすることを目的とする。

B. 研究目的

じん肺審査に最適なモニターの条件を明らかにする。

C. 研究方法

2社×2種のモニターを使用して、4名の読影者（AK、KK、TM、NS）がじん肺症例の型分類を行い、読影者内一致、読影者間一致について検討した。

① モニター

2社（EIZO、JVC）の、2種類のマトリクスサイズ（1M、3M）のモニターを対象とした。3Mモニターは、EIZO（カラーモニター）、JVC（モノクロモニター）である。

② 対象症例

平成26～28年度の芦澤班で使用した症例（岡山ろうさい病院の前向き研究症例）から45例を抽出した。内訳は表1に示す。

型分類は、平成26～28年度の芦澤班において合議で決定されたもので、これをゴールドスタンダードとした。

表1 検討症例の型分類

型分類	0/1	1/0	1/1	2	3	4
症例数	7	6	6	8	4	14

③ 読影方法と検討項目

読影の順番は、EIZO1M → EIZO3M → JVC1M → JVC3Mとした。

読影は1回で、4人で同時に読影し、独立して型分類を行った。ゴールドスタンダードを正解として、読影者間及び読影者内の一致率、正診率を求めた。

また、メーカー間（EIZO-JVC）、モニターサイズ間（1M-3M）において、カッパ係数を計算し、McNemar検定で有意差検定を行った。

D. 研究結果

① 読影者内一致

結果を表2に示す。各読影者とも1Mと3Mモニターの比較で、中等度の一致を示すものが多かった。EIZO3M（カラーモニター）とJVC3M（モノクロモニター）においても、大きな差はみられなかった。

表2 読影者内一致：読影者内比較では、1Mと3Mのモニター間で、中等度の一致を示すものが多い（青枠：カッパ係数0.4～0.6：moderate）。

	EIZO1-3	JVC1-3	EIZO1-JVC3	EIZO3-JVC1	EIZO1-JVC1	EIZO3-JVC3
読影者1	0.67	0.679	0.389	0.245	0.431	0.477
読影者2	0.313	0.446	0.295	0.477	0.385	0.206
読影者3	0.496	0.549	0.321	0.363	0.479	0.437
読影者4	0.435	0.716	0.356	0.58	0.65	0.673

② 読影者間一致

結果を表3に示す。読影者間一致は1Mモニター、3Mモニターのともに中等度一致を

表3 読影者間一致：読影者間一致は、3Mモニターのほうが若干高い傾向がありそうだが、それでも中等度を超えるものはない（青枠：カッパ係数0.2～0.4：poor）。

	EIZO 1M	JVC 1M	EIZO 3M	JVC 3M	1M	3M	1+3M
読影者1-2	0.06	0.245	0.361	0.206	0.148	0.279	0.209
読影者2-3	0.09	0.024	0.207	0.173	0.108	0.24	0.143
読影者3-4	0.08	0.257	0.274	0.348	0.177	0.321	0.231
読影者1-4	0.212	0.039	0.035	0.015	0.055	0.097	0.02
読影者1-3	0.087	0.08	0.012	0.047	0.053	0.097	0.008
読影者-4	0.19	0.024	0.272	0.166	0.176	0.18	0.162



図1 1Mモニター



図2 3Mモニター

示すものはなかった。

③ メーカー間 (EIZO-JVC) とモニターサイズ間 (1M-3M) の比較

4名の読影結果をまとめて、検討を行った。

表4に正解・不正解の一致の程度を示す。1Mと3Mモニターの比較で、正解・不正解の一致の程度に大きな差はみられない。

メーカー間の比較(表5)では、3MモニターではMcNemar検定の正確有意確率(両側)0.522、カッパ係数0.476、1Mモニターでは正確有意確率(両側)1.000、カッパ係数0.316

であった。

モニターサイズの比較(表6)では、EIZOでは正確有意確率(両側)1.000、カッパ係数0.414、JVCで正確有意確率(両側)0.296、カッパ係数0.562であった。

メーカー間及びモニターサイズの比較において、両者に統計的に有意な中等度の一致が認められた。

E. 考察

メーカー間 (EIZO-JVC) とモニターサイズ間 (1M-3M) の比較において、両者に統計

表4 正解・不正解の一致の程度

	EIZO 3M	JVC 3M	EIZO 1M	JVC 1M
不正解	55 (30.6%)	50 (27.8%)	56 (31.1%)	56 (31.7%)
正解	125 (69.4%)	130 (72.2%)	124 (68.9%)	123 (68.3%)

表5 メーカーの比較

	McNemar検定 正確有意確率 (両側)	カッパ値
EIZO3M-JVC3M	0.522	0.476
EIZO1M-JVC1M	1.000	0.316

表6 モニターサイズの比較

	McNemar検定 正確有意確率 (両側)	カッパ値
EIZO 3M-1M	1.000	0.414
JVC 3M-1M	0.296	0.562

的に有意な中等度の一致が確認できた。

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ていることから、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いと考えられる。また、3MモニターはEIZO (カラー)、JVC (モノクロ) であるが、モニターの種類 (カラー/モノクロ) は読影結果には影響しないと考えられる。

村田班ではじん肺診断に適切なモニターサイズは3M以上の検討結果であったが、今回の読影実験結果から、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。

なお、今回の検討で読影者間一致が低い結果となった。これについては、対象症例に含まれる0/1、1/0、1/1が合計19例 (42%) と約半数を占めており、じん肺の型分類の難し

さを反映した可能性がある。また、1台のモニターを4名で観察する状況であったため、読影者とモニターの位置関係や距離が影響したことが推測される。

参考として、当院で使用している1Mモニターと3Mモニター (EIZO) の画面をNikon社製のデジタルカメラで撮影した画像を示す (図1、2)。モニターの色調の違いはあるものの、粒状影の描出能に大きな違いはないと思われる。

F. 結語

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ることが示された。

G. 参考文献

- 1) じん肺健康診断におけるエックス線デジタル撮影画像の活用に関する研究：平成19～21年度総合研究報告書：厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業
- 2) じん肺健康診断等におけるデジタル画像の標準化ならびにモニター診断および比較読影方法の確立に関する研究：平成22年度総括研究報告書：厚生労働科学研究費補助金労働安全衛生総合研究事業
- 3) 日本医学放射線学会電子情報委員会 デジタル画像の取り扱いに関するガイドライン3.0版

（５）じん肺審査におけるモニター読影ソフトの構想に関する研究

研究協力者 丸山 雄一郎¹
研究代表者 芦澤 和人²

所属 1 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
所属 2 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授

研究要旨 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際し、より簡便に医療用モニターを用いて胸部エックス線写真を読影できるシステムを構想した。「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であり、じん肺写真のモニター読影の推進に資するシステムと考える。

A. 研究目的

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エックス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構想する。

B. 研究方法

じん肺のモニター診断で求められる、「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」が2面の医療用モニターに同時に表示され、かつ、それぞれの画像が、必要に応じて入れ替えることができるアプリケーションソフトを考案する。

C. 研究結果

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エックス線写真を読影する場合は、じん肺健康診断に用いる医療機器の必要要件として、「デジタル撮影によるじん肺標準エックス線画像に関する検討会報告書」（平成23年1月）に、下記の4件が示されている。

（1）画像データの保存装置：画像データの保存は、グレースケール10ビット（1,024階調）以上、画素サイズ200ミクロン以下のフォーマットで行うこと。

（2）キャプチャー機器（CR又はDR（FPD）の撮影装置）及びビューワー（画像を表示するソフトウェア）：DICOM Part14に準拠したP-Value（グレースケール変換処理後の画素値）に対応した運用が行われていること。

（3）医療用モニター（ディスプレイ）：二

面モニターを用いることが望ましい。解像度は3メガピクセル(1,536×2,048ピクセル)以上であることが望ましい。輝度が300cd/m²以上であること。DICOM Part14に準拠したキャリブレーション(表示の補正)がなされていること。

(4) イメージャー(フィルム出力装置): DICOM Part14に準拠したP-Valueの画像データを適切に出力すること。

以上の要件(1)から(4)の全てを満たす場合、じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真の画像データと、電子媒体版に収録された標準写真の画像データを、医療用モニターを用いて比較読影することが可能となっていることから、今回の構想では、これらの要件をすべて満たすように構成した。

システムの構成は、汎用のPCと操作用のモニター1面、3メガピクセルの医療用モニター2面とした。

今回構想したじん肺読影専用DICOMビューアソフト(以下じん肺用DICOMビューア)の仕様では、じん肺のモニター診断で求められる、「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」が医療用モニターに同時に表示され、かつ、それぞれの画像を、必要に応じ、入れ替えることができることを必須とした。以下、実際に想定される読影の流れを説明する。

じん肺標準エックス線写真DICOM画像は、平成23年9月26日付け基安労発0926第1号『「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の取扱いについての別添『「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版について』に、「電子媒体版及びそれに収録された電子データは、非営利目的であれば無償にて使用及び複製が可能」との記載があることから、最初に、読影に使用

するPCにじん肺標準エックス線写真DICOM画像を複製し、保存する。

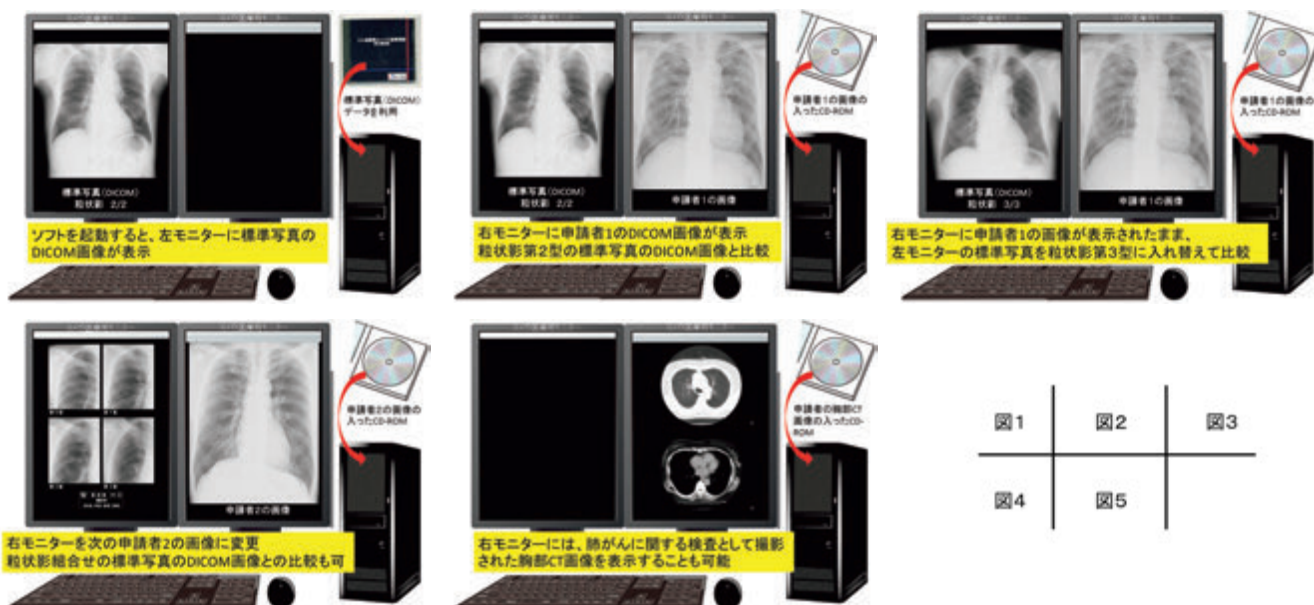
じん肺用DICOMビューアを起動すると、左モニターにじん肺標準エックス線写真DICOM画像が表示される(図1)。次に、申請者1の胸部エックス線写真のDICOM画像が入ったCD-ROM等のメディアを読み込ませると、右モニターに表示される(図2)。従来のじん肺の読影法に従って、左モニターのじん肺標準エックス線写真DICOM画像を入れ替えながら(図3)申請者1の画像と比較し、小陰影は12階尺度を用いて分布密度を判断し、胸部エックス線写真の像の区分を判定する。

引き続き、申請者2の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を行うには、申請者2のDICOM画像が入ったCD-ROM等のメディアを入れ替えることにより、遂行できる(図4)。あらかじめPCに、該当する申請者の全画像を移動しておけば、リスト表示され、連続して読影することも可能である。「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版にも、粒状影と不整形陰影の組合せ写真が含まれているので、それを表示させることもできる。

右モニターには、じん肺の合併症としての原発性肺がんに関する検査として撮影された胸部CT画像を表示することも可能である(図5)。

D. 考察

じん肺法(昭和35年法律第30号)に基づくじん肺健康診断及びじん肺管理区分の決定における胸部エックス線写真の像の区分の判定においては、「じん肺標準エックス線フィルム」(昭和53年)及びその増補版(平成15年)が用いられてきた。実際のじん肺標準エックス線フィルムの使い方については、「じん肺



診査ハンドブック」(労働省安全衛生部労働衛生課編 昭和53年)に「どの種類のじん肺のフィルムを用いるかをまず判断し、各型の標準エックス線フィルムの間読影の対象とするフィルムを置いて12階尺度を用いて判断する。」と記載されている。また、組合せエックス線写真の使い方として、「その写真がおおよそどの型に分類されるかを判断してからその型の標準写真を取り出して見くらべ、診断を行っている。(中略)読影者は『頭の中の標準写真』によって読影してしまう傾向があり、それにより読影結果の偏りが生じるおそれがある。」として、標準エックス線フィルムとの比較が必須であることが明記されている。

平成23年1月に報告された「デジタル撮影によるじん肺標準エックス線画像に関する検討会 報告書」(村田喜代史 班長)には、デジタル画像の撮影表示条件等について、標準的なデジタル医用画像規格であるDICOM Part 14に準拠していること、医療用モニター(ディスプレイ)は2面モニターを用い、解像度は3メガピクセル(1,536×2,048ピクセル)以上、輝度が300 cd/m²以上、DICOM

Part 14に準拠したキャリブレーション(表示の補正)がなされていることが明記されている。これを受け、平成23年9月26日付け基安労発0926第1号『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の取扱いについて」が通知され、じん肺健康診断における電子媒体版の使用方法として、じん肺健康診断に用いる医療機器の必要要件が示され、それらを満たせば、じん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真の画像データと、電子媒体版に収録された標準写真の画像データを、医療用モニターを用いて比較読影することが可能となった。

平成28年3月14日付け基発0314第4号には、「労働局におけるじん肺管理区分の決定及び中央じん肺診査医会における審査にあたり、医療用モニターを用いて胸部エックス線写真を読影する場合は、基安労発0926第1号の別添「じん肺標準エックス線写真集」電子媒体版について『望ましい』とされる要件以上の読影環境が望ましい」旨が記載され、労働局におけるじん肺管理区分の決定及び中央じん肺診査医会における審査においても、要件を満たせば医療用モニターによる読影が

可能となった。

このような背景のもと、じん肺診査医が業務を遂行するにあたり、じん肺標準エックス線写真のDICOM画像データとじん肺健康診断受診者の胸部エックス線写真のDICOM画像データを、DICOMビューア上で簡便に操作できることが求められたが、現在、一般に医療機関で用いられている画像診断用のDICOMビューアでは、単一アプリケーションソフト内で、異なる患者（ID）の画像を同時に表示し、それぞれを動かすことができない仕様になっている。患者取り違え等の医療事故防止の観点から、このような操作の運用は、医療機関においてはそもそも想定されていない。したがって、じん肺のモニター診断を行う上で要求される「標準写真画像」と「受診者画像」という異なる「ID」を持つDICOM画像を2面の医療用モニターに同時に表示させるには、それぞれに別途のDICOMビューアを用いて表示させる必要がある。

そこで、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」という、異なる「ID」を持つ画像を、2面の医療用モニターに同時に表示でき、各型の標準エックス線写真DICOM画像を、読影の対象とする受診者胸部エックス線写真DICOM画像と並べて表示し、じん肺標準エックス線写真DICOM画像を入れ替えながら両者を比較し、12階尺度を用いて判断することができる「じん肺用DICOMビューアシステム」を考案した。複数の申請者の管理区分決定や審査を行うことを想定し、連続して業務が遂行できるようにもした。また、じん肺の合併症としての原発性肺がんに関する検査として実施される胸部CT検査のCT画像

も、このソフトで表示することができるようにした。

今回構想したじん肺用DICOMビューアは、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おいて必要とされる画像の表示機能をすべて満たしていると考えている。また、じん肺健康診断における胸部エックス線写真の像の区分の判定においても、利活用可能なシステムであり、本邦におけるじん肺写真のモニター読影の推進に資するシステムと考える。このシステムの実用化には、製品化に協力してくれるシステム開発ベンダーの協力が必要である。

E. 結論

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」という、異なる「ID」を持つ画像を、2面の医療用モニターに同時に表示できるようにした。これにより各型の標準エックス線写真DICOM画像を、読影の対象とする受診者胸部エックス線写真DICOM画像と並べて表示し、じん肺標準エックス線写真DICOM画像を入れ替えながら両者を比較することが可能となった。この手法により、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で、より簡便に医療用モニターを用いて胸部エックス線写真を読影できるシステムを考案した。このシステムの実用化には、製品化に協力してくれるシステム開発ベンダーの協力が必要である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

（6）欧米先進国のじん肺スクリーニング調査

研究分担者 荒川 浩明

所属 獨協医科大学 放射線医学講座 講師

研究要旨 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。すべての国で、胸部単純写真が使用されているが、CTを用いている国はなかった。また、検診の間隔は指定がない国も見られた。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。

A. 背景

胸部単純写真によるじん肺の診断ではじん肺の重症度や存在について、軽症例ほどCTと齟齬を生じることが知られている^[1-4]。平成26～28年の労働安全衛生総合研究事業・芦澤研究班では、地方じん肺審査会において、じん肺の重症度0/1、1/0の境界例などを中心に、胸部単純写真に加えて胸部CTの必要性があることを報告した。

また、じん肺症例では、肺癌の合併が有意に高いことが知られている^[5-7]。特に、じん肺に合併する慢性間質性肺炎症例では、その頻度が極端に高くなる。そのような症例においては、もともとあるじん肺陰影のために肺がんの検出が難しい^[6]。CTをスクリーニングに導入することにより、患者の不利益を少しでも減らすことが可能となるかもしれない。

粉じん職場における労働者に対するスクリーニングに胸部CTを導入することの是非については、議論が必要である。諸外国の状況はどの様になっているかも、考慮する必要があるだろう。今回の研究では、粉じん職場での

スクリーニングがどの様に行われているか、諸外国のガイドラインを検討してみた。

B. 研究目的

欧米の諸外国において、粉じん職場でのじん肺の検診がどの様に行われているか、その内容と頻度などについて、調査する。

C. 研究方法

イギリス、フランス、米国、カナダ、オーストラリア、ドイツなどを対象に、各国政府またはその管轄下にある労働安全の団体が公表しているガイドラインを調査した。調査はインターネットを検索した。ドイツについては、当該機関が発刊している書籍のコピーを当たった。

D. 研究結果

フランス^[8]

フランスでは、INRS（Institut National de Recherche et de Sécurité）が、職業病防止、労働災害の研究、それらの具体的な推進をする機関である。Tableau no. 25 du

regime generalにあるElements de prevention medical (2014年7月)には、結晶性珪酸によるじん肺のための予防策が提言されている。

それによれば、入職時検診として、胸部単純写真と肺機能を施行することが推奨されている。

定期健診は胸部単純写真と肺機能またはいずれかを定期的に行うこととされているが、その周期は決められていない。

離職後検診についても記述があり、基本的に5年ごとに行われるべきだが、医師の裁量により短縮が可能であり、検査方法も医師の裁量に委ねられている特徴がある。

CTについては、定期健診での使用の言及はないが、陰影が軽微で疑わしい症例や、画像と肺機能の乖離が大きい場合など、珪肺の正しい診断に有用であるとの記載がある。

イギリス^[9]

イギリスの労働衛生はHealth and Safety Executive (HSE) が政府の監督省庁であり、Health surveillance for those exposed to respirable crystalline silica (RCS) (January 2016改訂) により、珪肺に対する予防策が提唱されている。それによれば、

- ・呼吸器問診と肺機能検査は入職時から毎年行う
 - ・胸部単純写真は入職時、15年目、その後3年ごとに行う
 - ・CTは胸部単純写真が異常な場合に行う
- などとされている。胸部単純写真は40年間保管することを提唱している。

CTについては、将来的に放射線被曝が低減されればスクリーニングに取り入れられ頻度も高まると記載されている。

米国^[10]

Department of Health and Human Services管轄下のCenters for Disease Control and Preventionの一つであるNational Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) がガイドライン (Coal workers' health surveillance program) を提唱している。

それによれば、胸部単純写真、肺機能 (スパイロメトリー)、問診などを入職時及び5年ごとに行うことが勧告されている。ただし、入職後初回は3年目に行うこととされている。CTについての記載は無い。

カナダ^[11]

Canadian Centre for Occupational Health and Safetyによれば、入職時及び定期健診として、胸部単純写真、肺機能検査とともに、労働者に対し教育を行うことが勧告されているが、その周期は記載されていない。CTについての記載は無い。

オーストラリア^[12]

オーストラリアの労働衛生の監督はSafe Work Australiaが行っている。結晶性珪酸にばく露する職場での健康モニターリングとして、入職時に、職歴の聴取、呼吸器問診、理学所見 (特に呼吸器)、肺機能検査、胸部単純写真 (ILOの様式で読影) など行う。

また、定期検診としては、胸部単純写真以外は毎年行うが、胸部単純写真は必要に応じて施行することとしている。CTについての記載は無い。

ドイツ^[13]

ドイツではドイツ法定災害保険 (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) がガイドラインの出版をしている。ガイドラインはイ

インターネットでは閲覧できないため、本の該当部のコピーを参照した。そのガイドラインによれば、職業歴の聴取、理学所見、胸部単純写真（ILOに則って読影）、スパイロメトリーを行うこととし、期間は3年ごとと定められている。本人の申し出がある場合や、重篤な病気に罹患した場合、あるいは主治医が必要とみなした場合は3年以内でも検査を行うことができる。

E. 考察

各国政府またはその管轄下にある労働災害を担当する団体のホームページを検索し、珪酸や石炭などの粉じん曝露職場における労働者の健康スクリーニングのガイドラインを検索した。欧米諸国では、CTをスクリーニングに使用している国はなく、胸部単純写真の使用が殆どの国でも推奨されていた。CTの使用についてはイギリスで被曝の観点からの懸念を示しており、将来の低被曝のCTに期待する記載があった。フランスでは、じん肺診断におけるCTの有用性に言及しており、必要に応じてCTが使用されうるものと考えられる。

定期健診の間隔については、オーストラリアで毎年行うとされているが、その他の国では数年間隔である。ドイツは3年ごと、米国では5年ごと、イギリスでは入職後15年後、以後3年ごとである。フランス、カナダは何時行うべきかについての記載がなかった。

このように、欧米先進国での粉じん職場でのスクリーニングに対する法的な縛り、あるいはガイドラインは我が国と比べ緩やかで、患者本人や主治医判断に頼る傾向が見られる。イギリス、フランスなどのように、疑わしい症例ではCTの使用に言及しており、主治医の判断で症例ごとに対応していると考えられる。

今回の検索では粉じん職場での健康維持のためのガイドラインであり、じん肺がない労働者を対象としている点に注意が必要である。じん肺有所見者はこれらのスクリーニングのプログラムから外れるものと考えられる。また、じん肺の補償に関する検査は別途行われるものであり、じん肺審査を対象としたものではないことにも注意すべきである。

F. 参考文献

1. Gevenois, P.A., et al., Low grade coal worker's pneumoconiosis. Comparison of CT and chest radiography. *Acta Radiol*, 1994. 35(4): p. 351-356.
2. Remy-Jardin, M., et al., Coalworker's pneumoconiosis: CT assessment in exposed workers and correlation with radiographic findings. *Radiology*, 1990. 177(2): p. 363-371.
3. Begin, R., et al., Computed tomography scan in the early detection of silicosis. *Am Rev Respir Dis*, 1991. 144(3 Pt 1): p. 697-705.
4. Savranlar, A., et al., Comparison of chest radiography and high-resolution computed tomography findings in early and low-grade coal worker's pneumoconiosis. *European Journal of Radiology*, 2004. 51(2): p. 175-180.
5. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, in Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. 1997, IARC: Lyon. p. 41-242.
6. Arakawa, H., et al., Pulmonary malignancy in silicosis: Factors associated with radiographic detection. *Eur J Radiol*, 2009. 69(1):

- p. 80–86.
7. Katabami, M., et al., Pneumoconiosis-related lung cancers : preferential occurrence from diffuse interstitial fibrosis-type pneumoconiosis. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000. 162(1) : p. 295–300.
 8. Institut National de Recherche et de Sécurité. Affections dues à la silice cristalline, aux silicates cristallins, au graphite ou à la houille. Tableaux des maladies professionnelles 2014 ; Available from : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/mp/tableau.html?refINRS=RG%2025§ion=prevention-medicale>.
 9. Health and Safety Executive. Health surveillance for those exposed to respirable crystalline silica (RCS). 2016 ; Available from : <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/healthsurveillance.htm>.
 10. The National Institute for Occupational Safety and Health. COAL WORKERS' HEALTH SURVEILLANCE PROGRAM. 2017 ; Availablefrom : <https://www.cdc.gov/niosh/topics/cwhsp/ecwhsp.html>.
 11. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Answers Fact Sheets. 2017; Availablefrom : <http://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/silicosis.html>.
 12. Safe Work Australia. Crystalline silica health monitoring. 2013 ; Available from: <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/crystalline-silica-health-monitoring>.
 13. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Mineral Dust, Part1 : Respirable crystalline silica dust. In *Guidelines for Occupational Medical Examinations–Prophylaxis in Occupational Medicine*. p. 27–35 : 2007. Gentner Verlag.

（7）じん肺の3次元CT画像診断支援システムの開発状況

研究分担者 仁木 登

所属 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

研究要旨 我国において毎年24万人前後の粉じん労働者がじん肺健康診断を受診している。CT画像は胸部単純X線撮影に比べて第0型、第1型の微小な病変を検出することができる。本研究はCT画像から粒状影・不整形陰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する。

A. 研究目的

本研究は（1）多様な撮影装置・撮影条件のCT画像から珪肺・石綿肺・溶接工肺・炭坑夫肺の粒状影・不整形陰影の高精度な検出法の開発、（2）珪肺・石綿肺・溶接工肺・炭坑夫肺の質的診断のための定量化法の開発、（3）（1）と（2）の機能を有するじん肺のコンピュータ診断支援システムの開発を実施する。

B. 研究方法

CT画像を元に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症例を用いた。これらのCT画像に（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適用した。

（1）じん肺CT画像データベースの作成

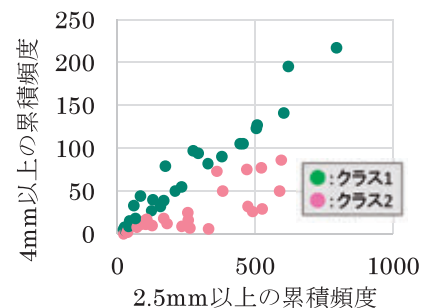
（1）-（a）粒状影のマニュアル抽出

ウィンドウ条件は肺野条件で設定しAxial面を用いて右肺尖部、右肺底部、左肺尖部、左肺底部の順番で抽出した。読影者は1人で、抽出は2回行い、1回目と2回目の読影

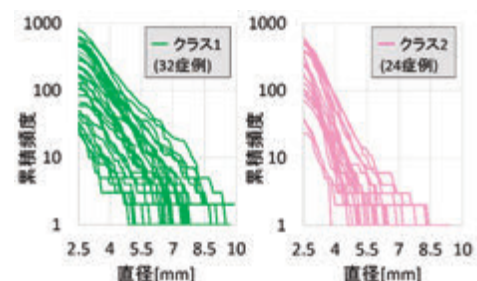
間隔は半年以上と1週間を置いた。

（1）-（b）粒状影の自動検出

肺がんCT検診のCADを改良し、微小結節（直径1.5mmから3.0mm）の検出を可能にし

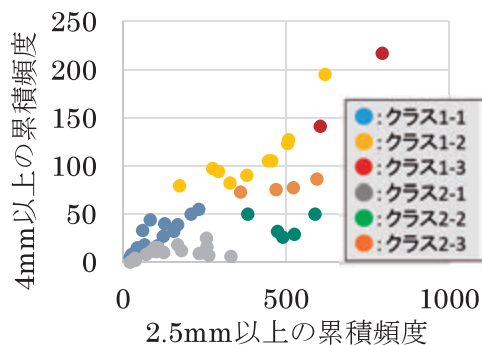


(a)

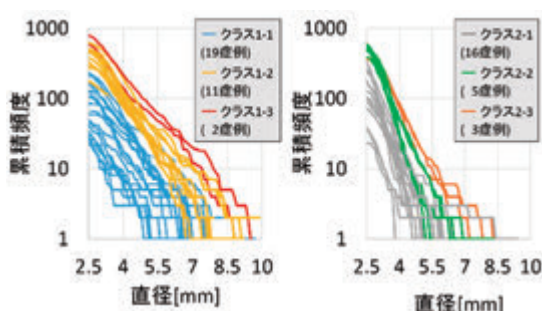


(b)

図1 大きさ別累積頻度の傾きによる2分類のクラスタリング結果 (a) 2.5mm以上の累積頻度と4mm以上の累積頻度の関係、(b) 分類結果による大きさ別累積頻度



(a)



(b)

図2 大きさ別累積頻度による6分類のクラスタリング結果 (a) 2.5mm以上の累積頻度と4mm以上の累積頻度の関係、(b) 分類結果による大きさ別累積頻度



図3 クラスタリング結果別の粒状影分布

た。1回目と2回目の論理和に自動検出結果を重ね合わせ粒状影を新たに見直し粒状影があればデータベースに追加した。

(2) 粒状影の定量的評価

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する。粒状影の

大きさは、粒状影が球であると仮定して、体積から求められる直径と定義する。病型区分の分類に必要な粒状影の大きさと分類数の検討をするために直径2.5mm以上、4mm以上、6mm以上の粒状影の累積頻度の傾きを用いて2クラスにクラスタリングを行う。更に累積頻度を用いて各3クラスに分類し、分類結果の粒状影分布を比較する。

C. 研究結果

粒状影の大きさ別累積頻度の傾きによる2分類のクラスタリング結果を図1に示す。また、2分類された各クラスを大きさ別累積頻度で更に分類し、6クラス分類したクラスタリング結果を図2に示す。また、6クラス分類結果においてクラス1-2と2-2の粒状影の肺内分布を図3に示す。

D. 考察

大きさ別における粒状影の累積頻度の傾きから、径の大きい粒状影が多い症例と径の小さい粒状影が多い症例と2クラスに分類でき、更に個数に基づいて6クラスに分類された。2クラスの分類結果の中でも、径の大きい粒状影が多いクラスでは上葉中心に粒状影が分布し、径の小さい粒状影が多いクラスでは全体に分布していることが確認された。

E. 結論

珪肺・石綿肺・溶接工肺・炭坑夫肺の微小な粒状影・不整形陰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。今後は多症例において粒状影の大きさと個数、分布による進展度への関連性を解析することで高度じん肺診断支援システムの開発

を目指す。

電子情報通信学会技術研究報告医用画像
Vol. 119, No. 399, pp. 1-3, 2020. 1.

F. 研究発表

学会発表

- [1] K. Hino, M. Matsuhira, H. Suzuki, Y. Kawata, N. Niki, K. Kato, T. Kishimoto, K. Ashizawa: Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, 2018.
- [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.
- [4] 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: 胸部3次元CT画像を用いたじん肺の粒状影定量的評価, 第26回日本CT検診学会学術集会, 2019. 2.
- [5] 森 奈々, 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支援システム, 第38回日本医用画像工学会大会, OP3-17, 2019. 7.
- [6] 森 奈々, 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次元胸部CT画像によるじん肺のコンピュータ診断支援システム,

（８）通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の比較試験

研究分担者 岸本 卓巳

所属 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

研究要旨 平成29年度から粉じん作業者を対象として、通常防じんマスクと電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の比較を行ってきた。通常防じんマスクの漏れ率は紐のゆるみやメリヤスの装着により平均25.95%であると昨年報告したが、その後防じんマスクの適正な使用の指導を行ったところ、3年間に測定した漏れ率の平均は23.96%に低下した。粉じん作業場における個人ばく露濃度を測定し、マスクの漏れ率を考慮し換算したところ、通常防じんマスクでは総粉じん濃度が平均0.760mg/m³、吸入性粉じん濃度が平均0.20mg/m³と漏れ率の改善とともに吸入粉じん量も低下した。一方、PAPRでは、マスクの漏れ率は平均0.45%で、個人ばく露濃度と漏れ率を換算しても総粉じん濃度は0.016mg/m³、吸入性粉じん濃度は平均0.004mg/m³と問題になる吸入量では無かった。

また、PAPR装着に対するアンケート調査結果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作業者もいたが、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作業者は84%あり、全体の68.1%は今後PAPRを使用したいと回答しており、昨年度集計より多くの作業者がPAPRを使用したいという結果を得た。

一方、通常防じんマスクでは機能低下を感じる作業者は32%あり、その中には面体の変形、紐あるいはゴムの劣化を指摘し、呼吸のしにくさや苦しさがあると回答した作業者もいた。

以上、通常防じんマスク着用の問題点とPAPRの利点及び欠点が明確になった。新たなじん肺の発生を防ぐためにPAPRの着用は有用であるが、導入費用が高額であるためこの問題をどのように解決するかという命題が残った。

A. 研究目的

日本の粉じん作業場は職場の環境改善により、著しくばく露粉じん量が減少している。一方、平成30年度の新規のじん肺有所見者数は91人とはじめて100人を割り込んだ。新たなじん肺の発生の1要因として、防じんマスクの適切な使用がなされていないことをこの3年間調査して平均約26%の漏れがあることを報告してきた。

一方、ファンの作動によりマスク内が陰圧とならないため、漏れが少ない電動ファン付

き防じんマスク（Powered Air Purifying Respirator（PAPR））を粉じん作業者に装着して、通常防じんマスクとの漏れ率の比較検討を行ってきた。また一部の作業者においては、個人の粉じんばく露量を測定するとともに漏れ率を考慮して、個人の粉じん吸入量（総・吸入性粉じん濃度）を換算した。

一方、PAPRの装着が作業において従来の防じんマスクとどのように異なるかについての比較感想をアンケート調査した。

B. 研究方法

耐火レンガ製造作業において、粉碎等の粉じん作業を常時行っている作業員71例と溶接作業を常時行っている作業員19例、炭素製造作業員14例の104例を対象とした。

対象者には性別、粉じん作業歴、呼吸器疾患の既往歴を聴取した。また、個人ばく露濃度測定は32例を対象として行った。

方法は昨年度と同様に、作業開始時に日常使用している通常防じんマスクの漏れ率を測定した。測定機器は柴田科学社製のマスク内圧・フィティングテスター (MNFT ver. 2) を使用した。その後通常防じんマスクの代わりに用意したPAPRは興研社製BL-1005と重松製作所製Sy28RX2、Sy11を使用した。そして、PAPRを装着してマスクの漏れ率を測定した。

PAPRにて3時間作業を行った後の装着感等の比較についてアンケート調査を行った。一方、個人サンプラーを用いて、個人の粉じん吸入量（総・吸入性粉じん濃度）を測定し

た。個人ばく露濃度とマスクの漏れ率から作業員の粉じん吸入量（総・吸入性粉じん濃度）を換算した。

通常防じんマスクとPAPRを使用した作業中の感想をPAPR着用後に表1に示す調査票を用いてアンケート調査し、比較検討を行った。

(倫理面への配慮)

事前に研究目的を説明し、全ての作業員の研究同意を得てから調査を開始した。

C. 研究結果

対象とした104例中101例は男性で、3例が女性であった。呼吸器疾患既往歴がある例は5例のみであった。粉じんばく露年数は1～5年が38.8%、6～10年が24.1%、11～15年が13.8%、16～20年が9.5%、21年以上が13.8%と10年以上粉じん作業を行っているベテランが全体の37.1%と比較的多かった。

通常防じんマスクの漏れ率は図1に示すよ

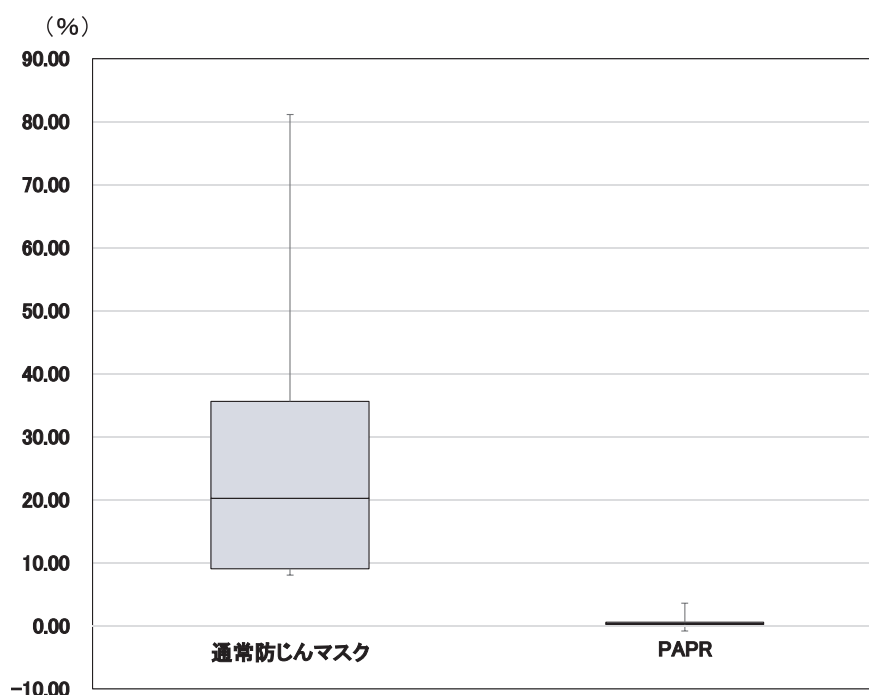


図1 通常防じんマスクとPAPRの漏れ率の比較

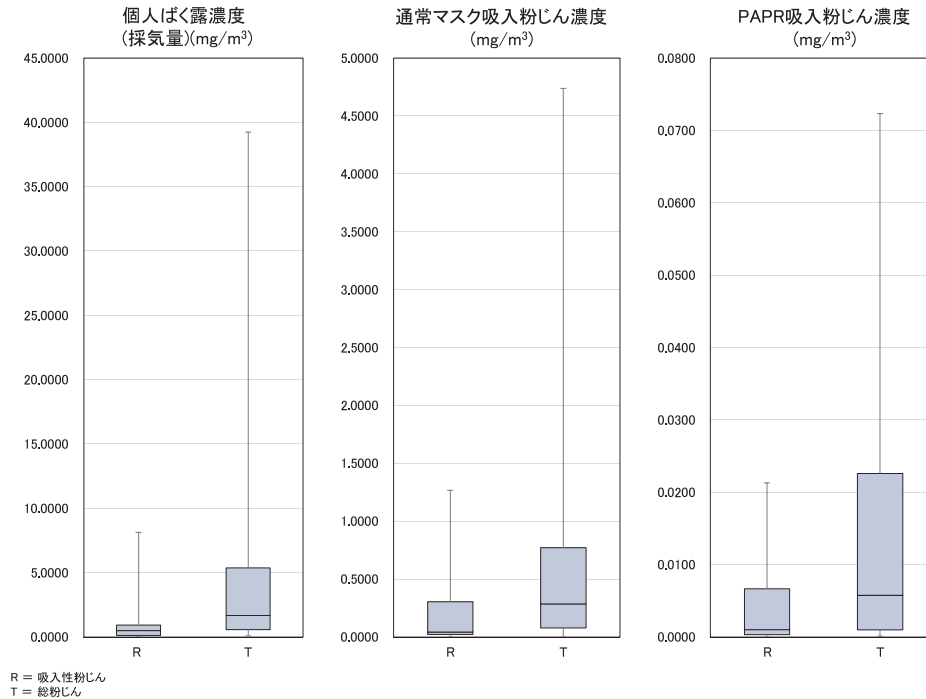


図2 個人ばく露濃度 通常防じんマスクとPAPRの比較

うに、 23.96 ± 18.39 (0.47~81.1) % 中央値 20.23%、PAPRでは、 0.45 ± 0.42 (0.08~3.59) % 中央値 0.35% であり、改善率は 95.73 ± 6.97 % (55.60~99.80) % 中央値 98.22% であった。

一方、個人ばく露濃度は図2に示すように総粉じんは 4.49 ± 7.30 (0.08~39.25) mg/m³ 中央値 1.67mg/m³ で、吸入性粉じんは 1.18 ± 1.83 (0.03~8.13) mg/m³ 中央値 0.5mg/m³ であった。

個人ばく露濃度とマスクの漏れ率から換算した通常防じんマスク装着者における総粉じん濃度が 0.761 ± 1.164 (0.001~4.739) mg/m³ 中央値 0.286mg/m³ であり、PAPR装着者では 0.016 ± 0.021 (0.000~0.072) mg/m³ 中央値 0.006mg/m³ であった。

通常防じんマスク装着者の吸入性粉じん濃度が 0.203 ± 0.294 (0.001~1.267) mg/m³ 中央値 0.043mg/m³ であり、PAPRでは 0.004 ± 0.005 (0.000~0.021) mg/m³ 中央値

0.001mg/m³ であった。

アンケート結果は図3~7に示す。PAPRは通常防じんマスクに比べて大きさが大きく、電池が組み込まれているため重い、重さ、大きさを少し以上感じる作業者が各81.2%、70.4%あった(図3)。また、動きや視界に変化を感じるかどうかの問いに対しては少し以上感じる作業者が各46.1%、41.9%と動きや視界に対する不満は半数以下であった(図4)。また、ファンの音に対しては全く気にならない作業者が49.3%と半数未満へと減少し、通常防じんマスクに比較して呼吸が楽であると回答した作業者が84%と大半を占めた(図5)。

これに反して通常防じんマスクでは機能低下を感じる作業者は32%あり、その中には面体の変形、ゴムや紐の劣化を感じたり、呼吸のしにくさや苦しさを感じたりした作業者もいた(図6)。以上の感想をまとめて、今後PAPRを使用したいと希望した作業者は昨年

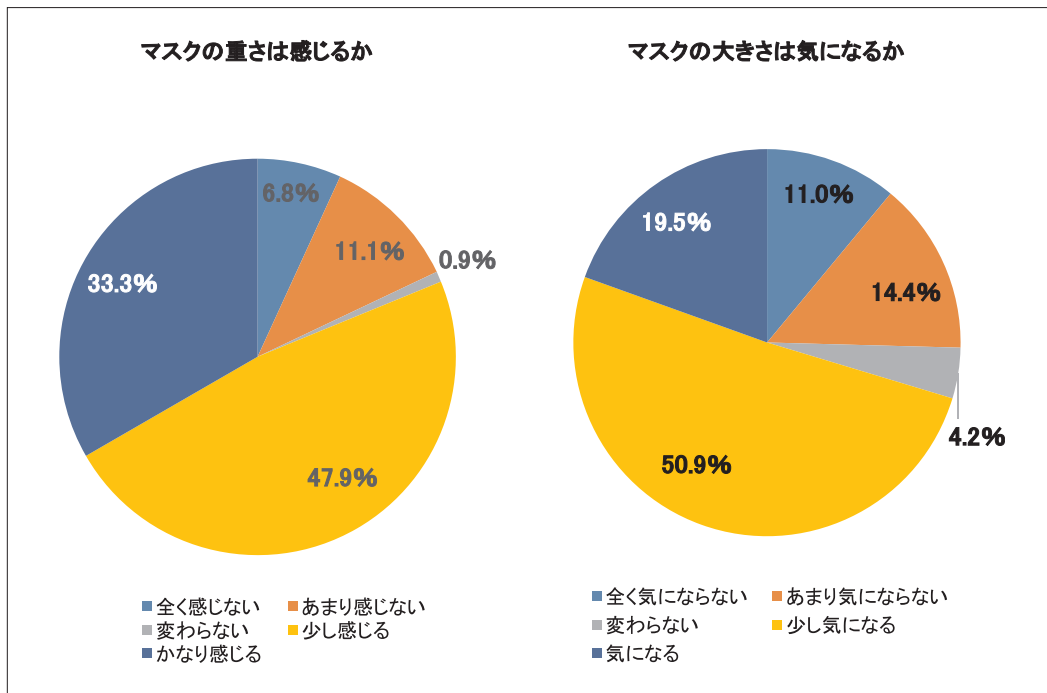


図3 マスクの重さと大きさの比較

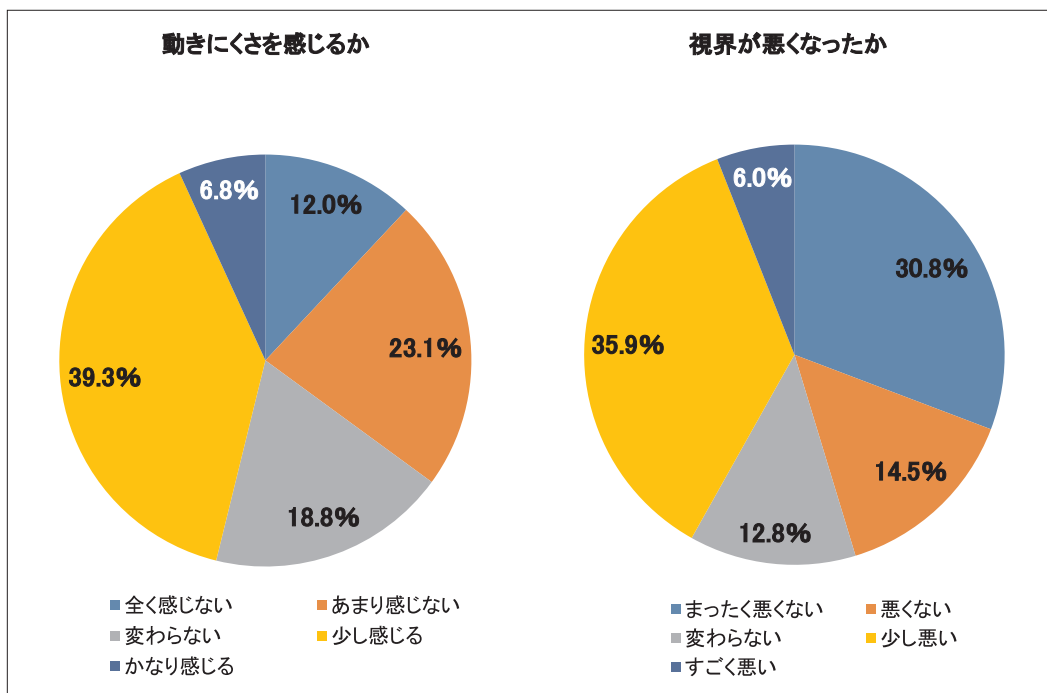


図4 動きにくさと視界の変化の比較

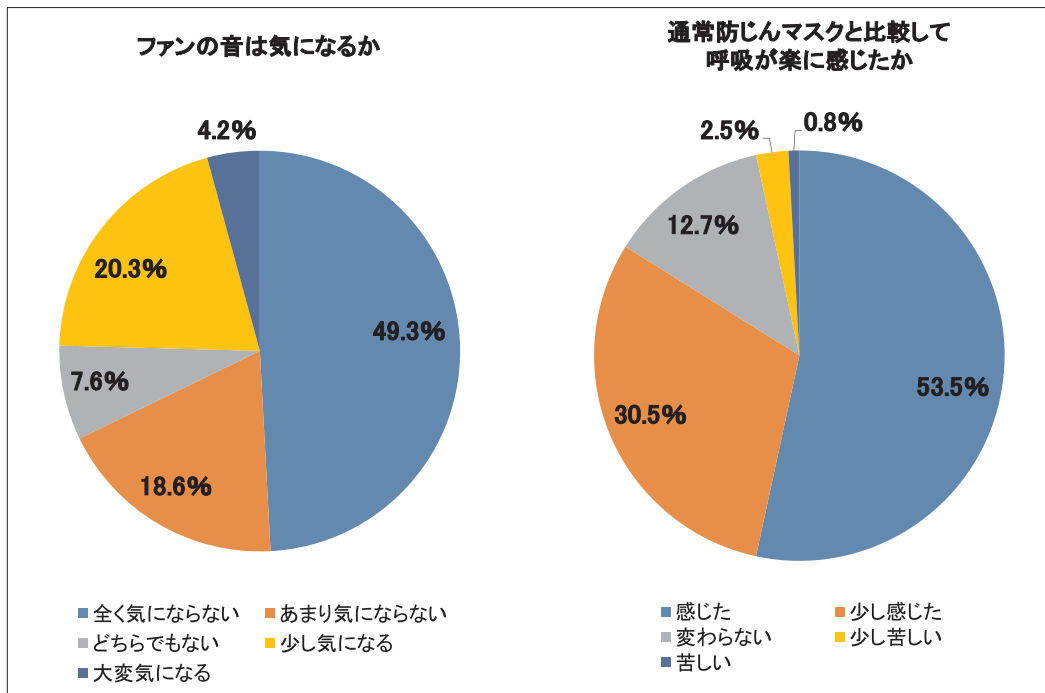


図5 ファンの音と通常防じんマスクと比較して呼吸が楽に感じたかの比較

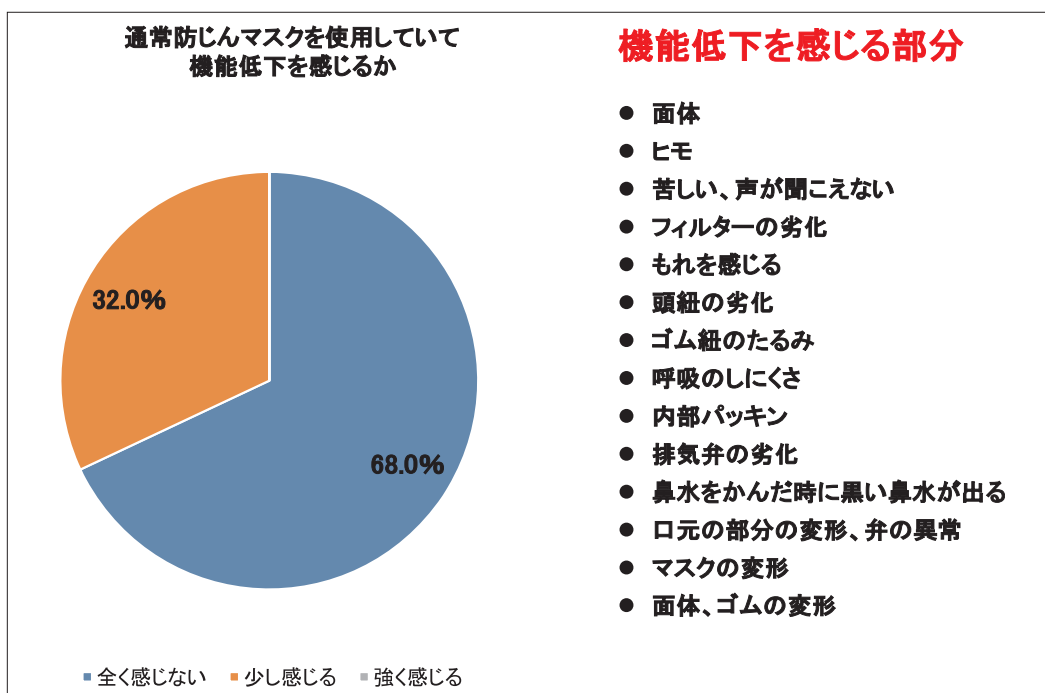


図6 通常防じんマスクを使用していて機能低下を感じるか

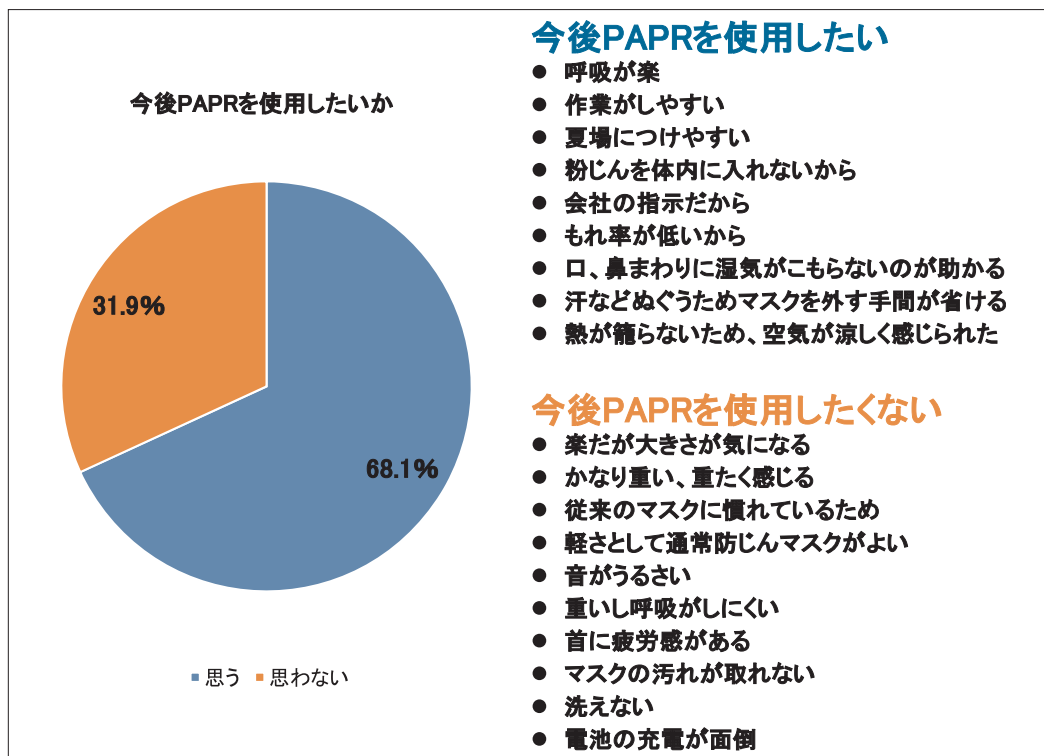


図7 今後PAPRを使用したいか

の59.7%より約10%増加し68.1%であった(図7)。以上の結果より、PAPRの装着感は概してよかったと判断した。

D. 考察

我々は平成12年度の岡山産業保健推進センター調査研究において、岡山・香川県の粉じん作業員1,006例中、胸部エックス線、PR0/1所見を含む有所見者が174例(17.3%)いることに注目し、粉じん作業員80例に防じんマスクの着用の有無について聴取したところ、岡山では97%、香川では92%が防じんマスクの着用を行っていた。そのため、じん肺有所見者が高率に存在する理由として防じんマスクの漏れが問題ではないかと考え、平成15年度の岡山産業保健推進センターの調査研究において、178例の粉じん作業員を対象として防じんマスクの漏れ率を測定したところ、平均24.3%の漏れがあった。そのため、耐火物粉砕作業員14例にマスクの適正な装着方法を

指導したところ、指導前の平均漏れ率は20.6%であったが、指導後には5.8%に減少した。この指導効果を継続させるため、粉じん作業場に定期的に出向いて防じんマスクの適切な装着方法について5年間指導を行ったが、長期的な改善が認められた事業場は指導した7事業場のうち2事業場のみであった。通常防じんマスクは、フィットテストをきちんと行った上で装着すると、圧着部位の皮膚の荒れや息苦しさなどがあり、仕事の効率が悪くなることが予想されるため、メリヤス等を装着している作業員が少なくない。そのため、我々は昨年通常防じんマスクにメリヤス装着した際の漏れ率を測定したが、有意差はなかったものの、漏れ率が増加することを報告した。

そこで、通常防じんマスクに替えて、フィットテストが厳しくなくても粉じん吸入量を減少させることが想定されるPAPRを選択し、通常防じんマスクとの比較試験を3年間施行

表1 電動ファン付き呼吸用保護具の調査アンケート票

電動ファン付き呼吸用保護具の調査アンケート票

整理番号()

氏名		年齢	
----	--	----	--

①初めにお聞きます。

1 性別	1 男	2 女	
2 粉じん作集の経験	年 月		
3 普段使用されているマスクはどんなマスクですか？	マスクの種類やメーカーなど分かる範囲でお書きください		
4 呼吸器疾患はありますか？	1 ない	2 ある	差し支えなければ、疾患名をお書きください

②防じんマスクと比較して電動ファン付き呼吸用保護具におけるアンケートをお願いいたします。

設 問	回 答 該当するものに○を付けてください				
	1 面体形		2 ルーズフィット形		
1 この度装着された電動ファン付き呼吸用保護具を教えてください。	製品名:		製品名:		
2 防じんマスクと比較して電動ファン付きは呼吸が楽に感じましたか？	1 感じた	2 少し感じた	3 変わらない	4 少し苦しい	5 苦しい
3 マスクの大きさは気になりますか？	1 まったく気にならない	2 あまり気にならない	3 変わらない	4 少し気になる	5 気になる
4 視界が悪くなりましたか？	1 まったく悪くない	2 悪くない	3 変わらない	4 少し悪い	5 すごく悪い
5 マスクの重さは感じますか？	1 まったく感じない	2 あまり感じない	3 変わらない	4 少し感じる	5 かなり感じる
6 動きにくさを感じますか？	1 まったく感じない	2 あまり感じない	3 変わらない	4 少し感じる	5 かなり感じる
7 ファンの音は気になりますか？	1 まったく気にならない	2 あまり気にならない	3 変わらない	4 少し気になる	5 かなり気になる
8 今後、電動ファン付き呼吸用保護具を使用していきたいと思えますか？	1 思う	2 思わない	その理由等があればお答えください		

してきた。

通常防じんマスクの適正使用の指導は行ったものの、今回の研究においても通常防じんマスクの平均漏れ率は23.96%と高率であり、15年前のデータ（24.3%）と比較しても防じんマスクの漏れはほとんど変わらないことが判明した。一方、PAPRは通常防じんマスクに比較して高額ではあるが、マスクの漏れ率は 0.45 ± 0.42 （0.08～3.59）%とその防じん効果は明らかによく、粉じん吸入濃度を有意に軽減していることが実際の粉じん作業現場においても実証された。PAPRは電池やファンの使用により、大きさや重さが増したため、装着し作業する上で不利益が予想されたため、アンケート調査によって作業者にその感想を求めた。しかし、意外にその欠点を指摘する率は低く、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、全体の7割に近い68.1%がPAPRを使用したいという結果を得た。なお、着用の推進に問題があるとすれば、高額である費用が問題であると思われる。

今後の新たなじん肺防止のためPAPRを上手く活用することが必要であると考えられた。

E. 結論

実際の作業現場においても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った。PAPRは大きさや重さあるいはファンの音に若干問題もあったが、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と思われる。

F. 参考文献

1. 粉じん作業場におけるじん肺患者発生状況に関する研究 岡山産業保健推進センター調査研究報告書 2001. 3
2. 香川県の粉じん作業場におけるじん肺発生状況に関する研究 香川産業保健推進センター調査研究報告書 2001. 3
3. 粉じん作業場におけるマスク効率と呼吸機能に関する研究 岡山産業保健推進センター調査研究報告書 2004. 3
4. 石綿飛散が想定される作業現場における石綿作業環境測定とマスク効率に関する調査 岡山産業保健推進センター調査研究報告書 2007. 3
5. 防じんマスク適正使用の教育指導の効果に関する検討 岡山産業保健推進センター調査研究報告書 2009. 3
6. 電動ファン付き防じんマスクと通常防じんマスクの比較に関する研究－電動ファン付き防じんマスク（PAPR）の主観的並びに客観的な効果の検討－ 岡山産業保健総合支援センター調査研究報告書 2019. 3

G. 研究発表

1. 論文発表
該当なし
2. 学会発表
該当なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし

3. その他
該当なし

（9）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する研究

研究分担者 五十嵐 中¹
研究協力者 岸本 卓巳²、芦澤 匠³
研究代表者 芦澤 和人⁴

所属 1 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
所属 2 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
所属 3 東京大学大学院 薬学系研究科 修士課程
所属 4 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 臨床腫瘍学 教授

研究要旨 電動ファン付き防じんマスク（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を検討するとともに、データ構築につながるスタディを実施した。平成29・30年度の研究で構築したプロトコルに基づき、電動ファン付き防じんマスクの費用対効果について、事業所の調査に基づいてその有用性・生産性損失・QOLを評価するパイロットスタディを実施した（N=28）。

現状のマスクの使用状況が、疾病予防の観点からは不適切な例が多いことが明らかになったが、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。このデータからは、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のマスク漏れ率とじん肺患者の標準化死亡比を用いた別シナリオの分析でも、生涯のPAPR使用数を1個と仮定した場合でも肺がん死亡1例回避あたりのICERが1.1億円となり、やや厳しめの結果となった。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うえでの再評価が今後の課題となる。

A. 研究目的

これまでの研究では、低線量CTによるじん肺検診の費用対効果に関して、CTの効率性が有所見者割合に大きく依存する（近年では1.0%を下回る）こと、肺がん発見者をアウトカム指標にすると費用対効果が悪くなり、むしろ偽陽性者減少を指標にすべきことを明らかにしてきた。

平成29・30年度の研究では、作業現場における防じんマスクに着目し、電動ファン付き

防じんマスクと通常の防じんマスクを比較する費用対効果研究のプロトコル作成を計画した。これを受けて令和元年度の研究では、構築したプロトコルに基づいて電動ファン付き防じんマスクの費用対効果について、事業所の調査に基づいてその有用性・生産性損失・QOLを評価するパイロットスタディを実施した。

なお分担研究課題のタイトル中の「コストベネフィット」、とくに「ベネフィット

(benefit、便益)」は、医療経済評価・費用対効果評価の領域では健康アウトカムの改善を金銭換算したものを指す。しかし本研究ではアウトカムの金銭換算を行ったCost-benefit analysis（費用便益分析）に特化することは目標としない。健康アウトカムの金銭換算を行わずにアウトカム1単位改善あたりの費用（増分費用効果比 Incremental Cost-Effectiveness Ratio: ICER）を算出して評価する費用効果分析Cost-Effectiveness Analysis・費用効用分析Cost-Utility Analysisも含めて、広い意味での「費用対効果の評価」を取扱うものである。

B. 研究方法

粉じん作業に従事する際に着用が推奨される防じんマスクに関しては、通常の防じんマスクでは漏れが発生する確率が高く、漏れがじん肺の発症に繋がることが指摘されている。電動ファン付きの防じんマスクは、通常マスクに比べて高コストである一方で、装着感の改善を通して、漏れ率減少ひいてはじん肺の発症減少が見込める。

PAPRと通常防じんマスクの比較について、以下の二つの研究が研究班内で進行中である。

- 1) 常時呼吸用保護具を使用している作業員に対する、PAPRと通常防じんマスクのクロスオーバーによる装着感・精神的ストレスの調査
- 2) 溶接作業に従事する作業員に対する、PAPRと通常防じんマスクの主観的評価指標（装着感や疲労感）・客観的評価指標（漏れ率ならびに粉じん曝露量）の評価

これに先だって実施された研究では、健康人を被験者としてPAPR・通常防じんマスクをそれぞれ装着させ、一定時間装着後の身体機能を比較した。しかし、身体機能に関して

二つのマスクで差が見られなかった。

1) の調査のパイロット版 (N=9) では、PAPRと通常の防じんマスクとで漏れ率の平均が0.51% vs. 32.86%と、大きな差があった。吸入粉じん量を測定できた3名では、同様にPAPRと通常防じんマスクで大きな差が見られた。

2) の研究では、マスク内の暑さに関してはPAPRが有意に優れていた一方で、精神的ストレス指標に関しては集中力低下・工作中断・憂うつ感の3項目に関して通常の防じんマスクが良好な値を示した。調査が短期間であったことから、慣れの有無の影響も示唆された。

これらのデータを受けて、費用対効果評価の援用方法を検討した。

主観的な評価指標（装着感や疲労感、作業効率）は、現段階ではマスクへの慣れなどの他の要因の影響も大きく、アウトカム指標として用いるにはやや困難な部分も残されている。

一方で客観的評価指標（粉じん曝露量やマスクの漏れ率）に関しては、少ない被験者数のパイロット研究においてもPAPRと通常防じんマスクで大きな差が観察されている。

そのため、費用対効果評価研究のアウトカムとしては、累積吸入量から推計した超過じん肺罹患数を設定し、じん肺罹患1人減少あたりのICERとして算出することを基本とすべきと推定した。

実際の研究では、電動ファン付き防じんマスクを試験的に導入した2施設について、各施設での防じんマスク利用者に対するアンケート調査を行った。

具体的には、年齢や従事年数・基礎疾患などの使用者特性に加えて、以下の項目を質問した。

- 1) 通常使用中の呼吸用保護具と比較した上

表1 電動ファン付き防じんマスクの使用感

		初回改善 回答者数	初回 回答者数	初回「改善」 回答割合	4週改善 回答者数	4週 回答者数	4週「改善」 回答割合
2	呼吸が楽に感じる	22	28	78.6%	20	28	71.4%
3	マスクの大きさ	9	28	32.1%	10	28	35.7%
4	視界	9	28	32.1%	8	28	28.6%
5	マスクの重さ	0	28	0.0%	4	28	14.3%
6	動きにくさ	12	28	42.9%	9	28	32.1%
7	粉じんの漏れ	23	27	85.2%	25	28	89.3%
8	疲労感	5	28	17.9%	9	28	32.1%
9	作業効率	3	28	10.7%	6	28	21.4%
10	粉じん吸引感	21	27	77.8%	24	28	85.7%
11	メガネの曇り度合い	11	15	73.3%	6	14	42.9%
12	ファンの音	18	28	64.3%	14	28	50.0%
13	今後の使用意思	25	27	92.6%	23	28	82.1%

での電動ファン付き防じんマスクの使用感
(13項目)

- 2) 通常使用中の呼吸用保護具に関し、マスクの装着状況 (9項目)
- 3) 生産性損失 (仕事を休む損失アブセンティーズムと、仕事の効率が低下する損失プレゼンティーズム。WPAI (Work Productivity Activity Index) 質問票で調査を実施する。)
- 4) QOL値 (完全な健康を1、死亡を0とするスコア。EQ-5D-5L (EuroQOL 5Dimension 5Level) で調査を実施。)

C. 研究結果

2施設各14名、合計28名について導入初回と4週間後の2時点で調査を実施した。年齢は44.8±14.0歳、従事年数は14.3±10.4年(いずれも平均±SD)であった。

マスク使用感関連の12項目(13項目から「使用マスク種」を質問した1項目を除く)は、「全く影響なし」から「かなり影響があった」までの5段階で質問している。「全く影響なし」「あまり影響なし」もしくは「かなり改善した」「改善した」の2項目を回答した人数と

割合を表1に示す。回答者数が限定的であるため、元々の5段階の評価結果を用いた検定では、質問5の「マスクの重さを感じますか?」のみが有意に改善していた(Fisher正確検定、 $p=0.013$)。その一方、質問11の「メガネの曇り」に関する質問は、4週間後の満足度が初回よりも有意に低下していた(正確Cochrane Armitage検定、 $p=0.02$)。

呼吸用保護具の使用状況について、フィットチェックを行っていない(28.5%、8/28)・マスクと顔の間にメリヤスカバーなどを挟んでいる(50.0%、14/28)・必要な状況でもマスクを外すことがある(78.6%、22/28)など、適切な使用がなされていない実態が見られた。4週間後のデータでは、他の素材を挟む割合は低下した(32.1%、9/28)ものの、「必要な状況で外すことがある」と回答した者の割合はむしろ増加した(89.7%、25/28)。

QOL及び生産性損失の評価結果を示す。

QOL値について、初回では28人中23人・4週間後では28人中22人が、QOL値1.0(すべて1)と回答した。初回と4週後のQOL値は0.964及び0.963で、有意な差はなかった($p=0.96$)。

生産性損失について、アブゼンティーイズム部分は初回で $1.7 \pm 8.3\%$ 、4週間後で $1.6 \pm 4.9\%$ 。プレゼンティーイズム部分は初回で $4.8 \pm 12.2\%$ 、4週間後で $8.3 \pm 19.0\%$ 。両者を統合した（Overall Work Impairment）では、初回が 4.3% ・4週間後が 9.3% となり、有意ではないものの（ $p=0.08$ 、Wilcoxonの符合付き順位和検定）生産性損失がむしろ増大した。

これらのデータを用いた場合、電動ファン付き防じんマスクは通常マスクと比較して「費用は高く、効果は同等」の形となり、増分費用効果比を算出できず「費用対効果に劣る」結論となった。

D. 考察

費用対効果評価のアウトカム指標を選択する際には、「測定の容易さ（あるいは、差の検出しやすさ）」と「最終結果である増分費用効果比ICERの解釈の容易さ」のバランスを考慮して、適切なアウトカムを選択する必要がある。

この観点でアウトカム指標を考慮した際に、もっとも差が検出しやすいのは粉じん曝露量であるが、「粉じん曝露量1単位減少当たり」や「漏れ率1%改善当たり」のICERを算出しても、解釈は非常に困難であり、また結果のインパクトも乏しい。

そのため、客観的評価項目に関連するアウトカムとしては、累積吸入量から推計した超過じん肺罹患数を設定し、じん肺罹患1人減少あたりのICERとして算出することを基本とすべきと推定した。

あわせて主観的評価項目について、多岐にわたるストレス関連指標を一つに統合するには、労働生産性に関する調査票が有用と思われる。労働生産性の指標として代表的なものはWPAIもしくはWHO-HPQがあるが、過去

あるいは現在進行中の同種の研究の結果を考慮した場合、後者のWHO-HPQは「所定内労働時間」を基準としているために、残業の多い労働環境では正確な値が計測できない可能性が高い（場合によっては、生産性損失がゼロもしくは負の値をとってしまう）。現場で起こりがちな「休業は困難だが、仕事の効率が低下する」プレゼンティーイズムを十二分に補足できる指標としては、WPAIが最も適していると思われた。

これらの議論に基づいて、使用施設でのアンケート調査を実施したものである。しかし、個別の使用感に関するアンケート（12項目）でも、電動ファン付き防じんマスクの使用感については評価が分かれ、統計的に有意な改善が見られたのは質問5の「マスクの重さを感じますか？」のみであった。その一方、既存マスクの着用状況の調査で、メリヤスを挟んだ使用や取り外しなど、疾病予防の観点からは不適切な使用法が多いことは明らかになった。今回の調査では時間的な限界もあり、4週間後の調査が最大限であった。「今後も使用したい」のアンケート結果で、肯定的な結果がやや低下していることから、短期間では電動ファン付き防じんマスク（及びそれを装着した作業）について十分に慣れていない状態での調査となったことが、結果に非一貫性が生じたことの原因と考えられる。

別の分析シナリオとして、岸本らの電動ファン付き防じんマスクによるマスク漏れ率調査と、じん肺健康診断によるじん肺有所見率、さらにBabazonoらのじん肺患者の肺がん標準化死亡比に関するメタアナリシスを用いた分析も試みた。

岸本らのPAPRのマスク漏れ率調査（ $N=14$ 、中央値35歳）の結果によれば、通常マスクとPAPRの漏れ率の中央値はそれぞれ 22.66% vs 0.15% であった。このことから、

表2 費用対効果評価における仮定と限界

<PAPRに不利な仮定>		<PAPRに有利な仮定>	
超過医療費の推計	肺がん超過死亡のみを考慮 超過罹患やじん肺そのものは考慮なし	超過死亡の推計法	「漏れ率0%」のとき、じん肺発症完全回避を仮定
PAPRの満足度・QOL向上	事業所調査では差なし→組み込みなし	マスクの使用数	従業期間中のトータルで 「PAPRの増分費用」5万円と仮定 (交換発生すればより高額)
対象集団	特殊健康診断受診者全員(30万人)を仮定 絶対リスク低下		

電動ファン付き防じんマスクの使用によって、マスク漏れ率をほぼゼロにできることが分かる。一方Babazonoらのメタアナリシスでは、じん肺発症者の標準化死亡比SMRは一般と比較して2.70倍であった。平成29年のがん統計での、35歳男性の肺がんの生涯死亡リスクは5.97%（40-50歳でもほぼ同等）であり、じん肺発症に伴う絶対死亡リスク増加は、SMRの数値と生涯死亡リスクを使用して単純計算すれば、 $(2.70 - 1.00) \times 5.954\% = 10.12\%$ となる。

やや強い仮定であるが、「電動ファン付き防じんマスクの使用により、漏れを排除することで、じん肺の発症を回避できる」仮定をおく。平成30年の業務上疾病発生状況等調査によるじん肺の有所見者割合は0.45%（306,475人中1,366人）であった。有所見者をBabazonoらのじん肺発症者と同等とみなして、同じ肺がんの超過死亡数を適用できると考えれば、みなすと、30.6万人中の超過死亡数は $1,366 \times 10.12\% = 138$ 人となる。

また、濱島らのレセプトを用いたがんの生涯医療費に関する研究では、肺がん発症者の5年間の平均医療費は374万円であった。死亡回避をそのまま罹患回避の数字に当てはめると、医療費削減額は5億1,612万円となる。本来は「じん肺に伴う肺がんの超過罹患患者」は「じん肺に伴う肺がんの超過死亡者」より

も多い（罹患しても死亡しない患者も存在するため）と考えられるが、ここでは超過罹患のデータが存在しないため、死亡者の数値を利用して控えめな推計を行った。一方でマスクのコストは30万人全員が防じんマスク（通常マスクとの差額1台5万円）を使用したと仮定すると、 $5万円 \times 30.6万人 = 153$ 億円（1人1個換算）となり、交換頻度などを勘案するとコストはさらに増加する。費用の増分を効果の増分で割ったICERは、マスクを勤続期間中1台のみ使用した場合でも（153億円 - 5.1億円） $\div 138人 = 1.1$ 億円/肺がん死亡回避となる。マスク使用数が1台増えると、ICERの値はおよそ1億円ずつ増大する。現状の仮定では、電動ファン付き防じんマスクは費用対効果に劣ると考えられる。

この分析は、現状使用しうるデータのみを用いて費用対効果の評価を行ったため、表2にまとめたいくつかの限界点がある。

<PAPRにとって不利になる仮定>

1) 医療費推計の範囲

前述のとおり、じん肺有所見者上昇の影響は、肺がんの超過死亡のみで評価している。それゆえ、じん肺そのものの医療費や、「肺がん罹患したものの死亡しなかった」患者の医療費はここでは含めていない。生涯リスクの算出に用いた肺がんの生涯死亡リスクは5.97%であったが、これを生涯罹患リスクで

みると10.15%に上昇する。仮に罹患者数ベースで超過医療費を推計した場合、医療費削減幅は5.2億円から8.8億円に増加する。(もっとも、医療費削減幅の変動は、PAPRの増分費用150億円に比べれば小さく、全体の結果への影響は小さいと考えられる)

2) PAPR使用自体のメリット

今回の分析では、PAPR使用そのものについての使用感改善その他のメリットは、短期間・少人数(4週間28人)の調査では十分に捕捉できず、「効果や使用感・QOL・生産性損失は同等」という結果になった。PAPRの満足度そのものも4週間の期間では捕捉しきれないことから、より長期かつ規模の大きな研究による再検討が強く望まれる。

3) 患者の絞り込み

特殊健康診断受診者のうちのじん肺有所見者の割合は漸減傾向にあり、最新のデータでは0.45%にとどまる。今回の仮定は受診者30万人全員がPAPRを使用すると仮定したことから、マスクそのもののコストが高額(増分費用150億円)になった。30万人全員がPAPRを使用するのではなく、よりハイリスクの従業者に絞り込んだ推奨を行う場合、費用対効果は改善することが見込まれる。

<PAPRにとって有利になる仮定>

1) 漏れ率データと肺がん超過死亡回避の関係

今回の分析では、漏れ率調査のデータをもとに「現状のじん肺由来の超過肺がん死亡者数」を通常マスク使用者群の数値と設定し、PAPRの使用によりじん肺由来の超過死亡は完全に抑制できると仮定している。「漏れ率が0%にほぼ近似できる」と、「超過死亡を完全に抑制できること」は本来は区別すべきで、より長期のデータの整備が望まれる。

2) マスクの使用数

防じんマスクの費用対効果を評価する際に

は、「就労期間中全体(退職まで)のマスクの費用」の差分を算出する必要がある。今回おいた「通常マスクとの差額5万円」という仮定は、PAPRの使用数を1~2個に設定するもので、PAPRにとっては大きく有利に働く。個数を1つ増やした場合、増分費用は100~150億円増加し、肺がん死亡1人回避あたりのICERも1億円程度増加する。複数個のマスクを使用する従事者は曝露期間も長い分、より高いリスクがある(健康アウトカムへの影響も増加する)。それゆえ、単純に費用のみを考慮することはやや問題もあるが、使用個数やマスクの費用のばらつきなども考慮した分析が強く望まれる。

今後の分析として考えられる手法としては、アンケートから算出した「マスクの装着法として不適切な使用」が生じた事例の割合をもとに、呼吸器疾患回避・QALY改善の影響を評価しつつ、費用対効果の算出を行うことが考えられる。QOLや生産性損失の評価には、医療機器におけるラーニングカーブと同様、電動ファン付き防じんマスクに十分習熟した状況での再調査が(可能であれば)望まれる。

E. 結論

現状の仮定では、短期間の使用感からのアプローチ・PAPRの漏れ率からのアプローチのいずれの手法でも、有所見率の大幅な低下などが要因で、PAPRは費用対効果に劣る結果となった。

今後の分析として考えられる手法としては、アンケートから算出した「マスクの装着法として不適切な使用」が生じた事例の割合をもとに、呼吸器疾患回避・QALY改善の影響を評価しつつ、費用対効果の算出を行うことが考えられる。QOLや生産性損失の評価

には、医療機器におけるラーニングカーブと同様、電動ファン付き防じんマスクに十分習熟した状況での再調査が望まれる。

F. 文献

なし

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍：なし

論文：

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.
4. 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.

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. 2017.6.18
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.
6. 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における粒状影の定量的評価, 第10回呼吸機能イメージング研究会, 2018. 2.
7. K. Hino, H. Suzuki, M. Matsuhira, Y. Kawata, N. Niki, K. Kato, T. Kishimoto, K. Ashizawa. Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, 2018. 2.
8. Takahashi M, Nitta, N, Kishimoto T, Otsuka Y Ashizawa K. CT findings for Arc-welders' pneumoconiosis: Comparison with silicosis, 第77回日本医学放射線学会総会 (横浜) 2018. 4. 14.
9. 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: 胸部3次元CT画像を用いたじん肺の粒状影定量的評価, 第26回日本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 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支援システム, 第38回日本医用画像工学会大会, OP3-17, 2019. 7.
11. 森 奈々, 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次元胸部CT画像によるじん肺のコンピュータ診断支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告医用画像 Vol. 119, No. 399, pp. 1-3, 2020. 1.



Contents lists available at ScienceDirect

European Journal of Radiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ejrad

Computed tomography findings of arc-welders' pneumoconiosis: Comparison with silicosis



Masashi Takahashi^{a,*}, Norihisa Nitta^b, Takumi Kishimoto^c, Yoshinori Ohtsuka^d, Sumihisa Honda^e, Kazuto Ashizawa^f

^a Dept. of Radiology, Yujin-Yamazaki Hospital, 80 Takegahana, Hikone, Shiga, 522-0044, Japan

^b Dept. of Radiology, Shiga University of Medical Science, Japan

^c Dept. of Respiratory Medicine, Okayama-Rosai Hospital, Japan

^d Dept. of Internal Medicine, Hokkaido-Chuo-Rosai Hospital, Japan

^e Dept. of Community-based Rehabilitation Sciences, Nagasaki University Graduate School of Biomedical Sciences, Japan

^f Dept. of Clinical Oncology, Nagasaki University Graduate School of Biomedical Sciences, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:

Arc-welders' pneumoconiosis
Silicosis
Computed tomography
Chest radiograph

ABSTRACT

Objective: Arc-welders' pneumoconiosis (AWP) is a less fibrogenic pneumoconiosis with radiographic shadows that can improve after isolation from dusty environments. Therefore, early diagnosis is important. However, the exact role of chest radiograph and computed tomography (CT) for diagnosing AWP is not fully understood. This study was performed to assess the CT appearance of AWP using semi-quantitative methods and to compare the findings with those of silicosis. The profusion of pulmonary abnormality on chest radiograph were also compared with the semi-quantitative CT score.

Materials and methods: Sixty-six patients with clinically diagnosed AWP were included and compared with 33 patients with silicosis. The CT images were interpreted according to the International Classification of HRCT for Occupational and Environmental Respiratory Diseases (ICOERD). Data on the profusion score by chest radiograph were also compared with CT score.

Results: Ill-defined centrilobular nodules, ground-glass opacity (GGO) and centrilobular branching opacity were more frequently observed ($p = 0.0031$) in AWP, whereas well-defined rounded opacity ($p < 0.0001$), progressive massive fibrosis ($p < 0.0001$), and mediastinal lymphadenopathy ($p < 0.0001$) were more frequently observed in silicosis. Regarding lung nodules, there was a high correlation between the ICOERD and CXR profusion scores in silicosis, but CXR underestimated AWP.

Conclusion: Ill-defined centrilobular nodules, GGO and centrilobular branching opacity were more frequently observed in AWP than silicosis. Because these findings are difficult to detect by chest radiograph, CT should be considered for the assessment of patients with suspected AWP.

1. Introduction

Arc-welders' pneumoconiosis (AWP) is a type of pneumoconiosis that is caused by chronic inhalation of fumes, which is mainly comprises iron oxide, during the welding procedure [1–3]. This condition was first reported in 1936 by Doig and McLaughlin who assessed 16 electric arc welders clinically and radiologically and found that 6 of them showed generalized fine mottling on both lung fields on chest radiograph; the remaining showed less marked changes [4]. Subsequent follow-up of the 15 patients for 9 years showed complete or partial resolution of the chest radiograph abnormalities after isolation from environmental exposure [5]. Therefore, iron oxide has been considered

to be inert and to rarely cause fibrosis. However, several researches have demonstrated that some fibrosis can occur from exposure to the various materials in welding smoke other than iron oxide [6–11]. Welding smoke contains a mixture of several kinds of fumes and gases, such as nickel, asbestos, manganese, silica, beryllium, oxides of nitrogen and ozone, although some researchers have believed that iron oxide itself could cause fibrosis [6,9–11]. Early detection of AWP is crucial because early isolation from occupational exposure can contribute to resolve the abnormality and reduce the risk of fibrosis development.

High resolution computed tomography (HRCT) plays an important role in managing pneumoconiosis, not only in detecting the lung

* Corresponding author.

E-mail address: masashi@belle.shiga-med.ac.jp (M. Takahashi).

<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.08.020>

Received 25 May 2018; Received in revised form 23 July 2018; Accepted 22 August 2018
0720-048X/ © 2018 Elsevier B.V. All rights reserved.

parenchymal abnormalities but also in assessing its extent and severity. This is especially applied in AWP because the chest radiograph is generally believed to have limited value in demonstrating minimal lung fibrosis. However, only few manuscripts have demonstrated the HRCT appearance of AWP [12–14], and there have been no studies that assessed the imaging difference between AWP and silicosis. This study was performed to clarify the HRCT appearance of AWP in comparison with that of silicosis using a semi-quantitative approach. The lung parenchymal profusion score on chest radiograph were compared with the semi-quantitative CT score, and their relationships were compared between AWP and silicosis.

2. Materials and methods

This study was supported by the Ministry of Health, Labor and Welfare Scientific Research Grant of Japan and was approved by the institutional review board of Nagasaki University Hospital and informed consent was waived from each subjects.

2.1. Subjects

A total of 66 arc welders who were seen at 3 institutes (i.e., Chugoku Rodo Eiseikyokai, Okayama-Rosai Hospital, and Hokkaido-Chuo-Rosai Hospital) were analyzed. The cases who visited each institute for a regular health check for workers who had histories of fume dust exposure were consecutively collected from Jul 2014 to May 2015. All were men, with a mean age of 64.3 years (range, 49–84 years), who were exposed to dust fumes for a mean duration of 35.9 years (range, 9–55 years). All these subjects have been diagnosed at each institute as AWP based on occupational history and clinical findings. For comparison, 33 cases of silicosis were recruited from 1 institute (Okayama-Rosai Hospital). The cases who visited an institute for a regular health check for workers who had histories of silica dust exposure were consecutively collected from Oct 2014 to Jan 2015. 30 subjects were men and 3 were women with a mean age of 74.0 years (range, 58–83 years) and who were exposed to silica dust for a mean duration of 37.8 years (range, 8–48 years). In both the AWP and silicosis groups, there were 16 and 0 current smokers (mean Brinkman Index (BI): 664.0), respectively; 41 (mean BI: 764.0) and 26 (mean BI: 882.3) ex-smokers, respectively; and 9 and 7 never-smokers, respectively.

2.2. Imaging studies

All the subjects in both the AWP and silicosis groups underwent digital chest radiograph and CT for the purpose of regular health check, according to the Japanese workplace health management system. The CT machines used were Alexion TSX-032A/1J (Toshiba Medical Systems, Japan); TSX-302A/1A Aquilion PRIME (Toshiba Medical Systems, Japan); and Light Speed VCT (GE Health Care, USA). A supine helical CT acquisition was performed at full inspiration without contrast injection. Axial images were reconstructed contiguously 1- or 2-mm and 5 mm slice thickness. On thin-section CT, an algorithm with high spatial resolution was used for image reconstruction; the images were displayed with window width (1500 HU) and levels (–550 to –700 HU) that were appropriate for visualizing the pulmonary parenchyma. Posteroanterior digital chest radiographs were obtained using the following systems and technical factors: Velocity U (Fuji Film Medical, Japan): 125–135 kV, 125–200 mA, 30 msec; DR CALENO HC SQ (SE) (Fuji Film Medical, Japan): 125 kV, 100 mA, 20–60 msec; and KXO-80 G (Toshiba Medical Systems, Japan): 125 kV, 200–250 mA, 28–36 msec. CT and chest radiograph were displayed in a 3-megapixel LCD medical-grade, gray-scale monitor (Radiforce GS 320, Eizo, Japan).

2.3. Imaging analysis

a) Semi-quantitative analysis of CT findings:

Chest CT was interpreted with a semi-quantitative system using the International Classification of HRCT for Occupational and Environmental Respiratory Diseases (ICOERD), with some modifications [15,16]. The grade of each CT finding was judged based on the reference images of the ICOERD by consensus of 2 chest radiologists with experience of 34 and 28 years, respectively. The anonymized images of the AWP and silicosis cases were mixed and randomly displayed on the monitor.

The definitions of each CT finding were as follows [15,16]:

- a Well-defined rounded micronodule: less than 5 mm, well-defined margin, intralobular distribution may be variable (Grade 0–3).
- b Poorly-defined centrilobular micronodule, ground-glass opacity (GGO), or branching linear structure: less than 5 mm, ill-defined border, 2–3 mm from the lobular borders, or intralobular branching structure without normal tapering (Grade 0–3).
- c Diffuse to regional GGO: GGO extent of larger than 10 mm (Grade 0–3).
- d Large opacity: well-defined nodule larger than 10 mm (Grade 0, A–C, details will be described in the following section).
- e Honeycomb: clustered cystic air spaces, typically of comparable diameters in the order of 3–10 mm but occasionally as large as 25 mm; usually subpleural and is characterized by well-defined walls (Grade 0–3).
- f Reticulation: interlobular septal thickening and intralobular lines (Grade 0–3).
- g Emphysema, bullae: focal areas or regions of low attenuation, usually without visible walls; a rounded focal lucency or area of decreased attenuation, ≥ 10 mm in diameter, and bounded by a thin wall (Grade 0–3).
- h Pleural plaque, thickening, calcification: well-demarcated areas of pleural thickening, seen as elevated flat or nodular lesions that often contain calcification.
- i Mediastinal or hilar lymphadenopathy: bilateral, multiple enlargement of lymph nodes larger than 10 mm in the short axis.

The lungs were divided into a total of 6 zones, according to the following boundaries on the right and left: 1) upper (U), at the level of the arch of the aorta and above; 2) middle (M), from the arch of the aorta down to the inferior pulmonary vein; and 3) lower (L), inferior pulmonary vein and below, including the diaphragm. The CT findings in each zone were assessed to obtain the cumulative score for grading. The semi-quantitative scores were compared between AWP and silicosis.

b) Assessment of lung profusion abnormality by chest radiograph.

Chest radiograph was assessed in accordance with the Pneumoconiosis Law Classification System of Japan [17]. In this system, the radiographic findings of the chest were classified as either 1 of the 7 profusion (PR) categories (i.e., PR 0, 1, 2, 3, 4A, 4B, and 4C), which was equivalent to the International Classification of Radiographs of Pneumoconioses developed by the International Labour Organization. The absence of radiographic signs of pneumoconiosis was designated as PR0, whereas the presence of pneumoconiosis abnormalities was designated as PR1 to PR4. Chest radiographs with opacities that measured up to 10 mm were categorized as PR1, PR2, or PR3, depending on the increasing profusion. Small opacity profusion was recorded on a 12-point scale from 0/– to 3/+ , where 0/– indicated no abnormality in both lungs and 3/+ signified the highest concentration of small opacities. Rounded and irregular opacities were independently assessed based on these categories. Large opacities, which were defined as having > 10-mm longest diameter, were classified as PR4 and sub-categorized into A, B, or C, depending on the increasing size of the opacity; category A

for up to 50 mm, B for larger than 50 mm but less than 1/3 of one hemithorax, and C for larger than 1/3 of one hemithorax. The size of a large opacity was determined by the longest diameter of a single lesion or by the cumulative longest diameters of several large opacities, relative to the area of the upper 3rd of the right lung field. The chest radiographs were independently interpreted by 2 chest radiologists with 34 and 28 years of experience, respectively; if there was discordance, the final decision was made by consensus. The anonymized chest radiographic images of the AWP and silicosis cases were mixed and randomly displayed on the monitor. To eliminate recall bias, an interval of 1 month from the CT reading session was allotted. The chest radiograph PR category for small rounded opacity was correlated with the ICOERD score, and the correlation was compared between AWP and silicosis.

2.4. Statistical analysis

The interobserver agreement for the chest radiograph PR category was assessed by Cohen's kappa coefficient; values < 0 as no agreement, 0–0.20 as slight, 0.21–0.40 as fair, 0.41–0.60 as moderate, 0.61–0.80 as substantial, and 0.81–1 as almost perfect. The original 12-point scales by the chest radiologists were converted into 5 grades (PR 0, 1, 2, 3 and 4) for statistical analysis. Comparison of the incidence of the CT findings between AWP and silicosis was assessed by the chi-square test. The relationship between the PR and ICOERD scores was compared between AWP and silicosis using analysis of covariance (ANCOVA). In the ANCOVA model, interaction terms and PR scores for the AWP and silicosis groups were included. In these analyses, a p value < 0.05 was considered statistically significant. These statistical tests were performed using MedCalc ver.10.0.2 (Medcalc Software, Mariakerke, Belgium).

3. Results

3.1. The incidence of each computed tomography finding (Table 1 and Figs. 1 and 2)

The incidence of poorly defined centrilobular nodule/GGO or branching opacity was significantly higher in AWP than in silicosis (30/66 vs. 5/33, $p = 0.0031$). On the other hand, the incidence of well-defined rounded nodule was significantly higher in silicosis than in AWP (25/33 vs. 5/66, $p < 0.0001$). Large opacity and mediastinal or hilar lymphadenopathy with/without calcification were significantly more frequent in silicosis than in AWP (14/33 vs. 4/66, $p < 0.0001$ and 27/33 vs. 10/66, $p < 0.0001$, respectively). There was no difference between AWP and silicosis in terms of reticulation, honeycomb, diffuse GGO, emphysema, and pleural plaque. The lung distribution tended to be diffuse for poorly-defined centrilobular nodule/GGO or branching opacity and more in the upper and middle lung fields than in the lower lung field for well-defined rounded nodule both in AWP and

Table 1
Incidence of each CT findings in the cases with AWP and silicosis.

	AWP (n = 66)	Silicosis (n = 33)	
Well defined round nodule	5	25	$P < 0.0001$
Poorly defined centrilobular nodule, GGO, branching opacity	30	5	$P = 0.0031$
Large opacity	4	14	$P < 0.0001$
Reticulation	17	7	$P = 0.2772$
Honeycomb	2	1	$P = 1.000$
Diffuse GGO	10	8	$P = 0.2714$
Emphysema	43	17	$P = 0.1928$
Pleural plaque	22	11	$P = 1.0000$
Mediastinal and hilar lymphadenopathy (with calc.)	10 (6)	27(27)	$P < 0.0001$

silicosis.

3.2. The assessment of PR by chest radiograph

The interobserver agreement on the PR categories 0, 1, 2, 3, and 4 was substantial for both round opacity ($\kappa = 0.748$, 95% CI 0.654–0.858) and irregular opacity ($\kappa = 0.776$, 95% CI 0.640–0.912). The incidence of each category is shown in Fig. 3. Large opacity was found in 5% of the AWP cases (4A, n = 2 and 4B, n = 1) and in 18% of the silicosis cases (4A, n = 6). The category for small rounded opacity was higher in silicosis than in AWP.

3.3. Correlation between chest radiograph PR and CT scores (Figs. 4 and 5)

The chest radiograph PR for small rounded opacity was almost linearly correlated with the CT scores in silicosis, but it was underestimated in AWP. ANCOVA showed borderline significance ($p = 0.077$) of these two relationships.

4. Discussion

This study revealed that 1) the incidence of ill-defined centrilobular nodule/GGO or centrilobular branching opacity was significantly higher in AWP than in silicosis; 2) the incidence of large opacity and mediastinal lymphadenopathy with/without calcification was significantly higher in silicosis than in AWP; and 3) chest radiograph had a tendency to underestimate the lung parenchymal profusion abnormality of AWP, compared with that of silicosis.

The pathological findings of AWP include the presence of pigmented macrophages in the air spaces and interstitium, close to the center of the acinus, with limited fibrosis. This low component of fibrosis may be seen as an ill-defined centrilobular opacity on CT. Akira et al. assessed the thin-section CT findings of 21 arc welders and found that the most common findings were ill-defined micronodules that were diffusely distributed in the lungs (n = 15, 71.4%) [12]. Some of the micronodules appeared as fine branching structures and tended to show centrilobular distribution [12]. These ill-defined centrilobular micronodules reflect the deposition of minute iron oxide particles along the perivascular and peribronchial lymphatic vessels [12]. Han et al. analyzed the thin-section CT findings of 85 arc welders with 3–30 years of exposure and found that the predominant CT findings were poorly-defined centrilobular micronodules (n = 30, 35.3%); branching linear structure (n = 18, 21.2%); and ground glass attenuation (n = 6, 7.1%) [13]. Our results were basically consistent with previous two studies and could confirm the consensus regarding HRCT appearances of AWP. In this study, 45.5% (30/66) of the arc welders demonstrated ill-defined centrilobular nodule/GGO or branching abnormality on CT. The slight differences in the incidence of these findings among these studies were probably due to the reversible nature of AWP. Our cohort was based on a regular health check for workers who had histories of fume dust exposure and might have included both active and inactive workers.

One differential diagnosis of centrilobular ill-defined opacity and branching opacity on thin-section CT is respiratory bronchiolitis [13], which is similar to AWP in terms of the pathological findings of inflammatory cell infiltration, which is often accompanied by pigment, in the walls of the membranous and respiratory bronchioles and alveolar ducts. Han et al. revealed that centrilobular ill-defined opacity on thin-section CT was much frequently observed in AWP than in smokers [13]. In that study, the high percentage of smokers in the AWP cases might cast doubt on whether the findings truly represented exposure to welding and were not the results of smoking; however, the authors suggested that the findings were mostly due to exposure to arc welding because the rates of positive thin-section CT findings in the arc welders were almost equal between smokers and non-smokers. In our present study, all cases had smoking history; therefore, the influence of smoking on the thin-section CT findings cannot be excluded. To solve this issue,

Poorly-defined centrilobular micronodule, GGO or branching linear structure

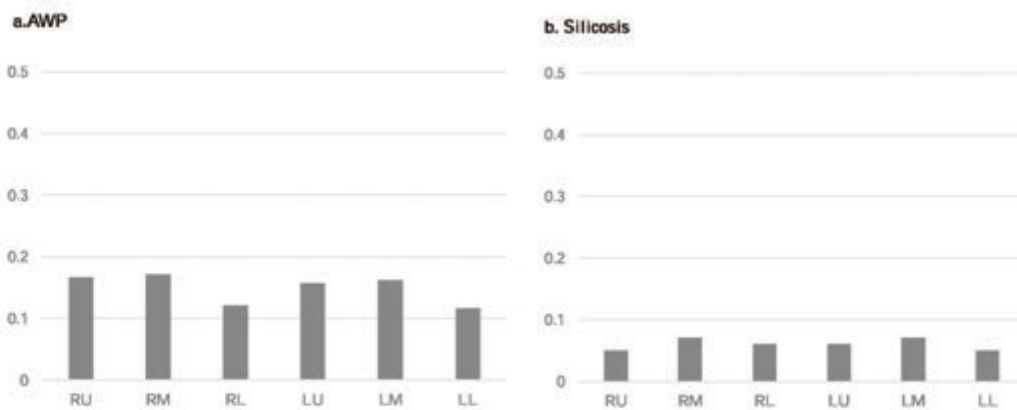


Fig. 1. Comparison of the CT score and the distribution of poorly-defined centrilobular micronodules, GGO, and branching linear structures within the lungs between AWP (a) and silicosis (b). The height of each bar represents the average score for each lung zone. The lung distribution tended to be diffuse for poorly-defined centrilobular nodule/GGO or branching opacity both in AWP and silicosis.

the CT findings should be compared between AWP and smokers, as performed by Han et al. [13].

Mixed dust pneumoconiosis (MDP) is another differential diagnosis. MDP is a less fibrotic pneumoconiosis in the presence of low silica content [18]. Hyalinization which is a hallmark for silicosis is not observed in MDP and infiltrative fibrosis is found in the surrounding interstitium [18]. Therefore chest radiograph shows ill-defined nodules and CT shows irregular shaped nodular opacity [18]. Usually mixed dust fibrosis and silicotic nodules are coexisted in the lung field and diffusely distributed ill-defined centrilobular nodule/GGO or branching abnormality as observed in AWP is not demonstrated. Information regarding typical occupations associated with a diagnosis of MDP include metal miners, quarry workers, foundry workers, pottery and ceramic workers, and stonemasons is also helpful for making a diagnosis of MDP [18].

Silicotic nodules tend to conglomerate and form a > 1-cm large opacity, which is consistent with progressive massive fibrosis [19]. Additionally, hilar and mediastinal lymphadenopathy with calcification is a radiologic hallmark of silicosis [19,20]. This study has demonstrated that the incidences of both large opacity and lymphadenopathy

were significantly lower in AWP than in silicosis. Many researchers have believed that large opacity and lymphadenopathy are due to the strong fibrogenic property of inhaled silica [19]. Silica-exposed macrophages release fibroblast growth factor that facilitates the accumulation of fibroblasts and fibroblast products, which, in turn, induce inflammatory and fibrogenic reactions in the interstitium, alveoli, and lymph node [20]. These fibrogenic reactions lead to the formation of interstitial silicotic nodules that tend to conglomerate. Additionally, the free-particulate silica that is not ingested by macrophages can enter the perivascular lymphatic channels to be translocated to the draining mediastinal lymph nodes and cause fibrosis [20]. On the other hand, iron oxide itself is considered an inert material and has a low potential to cause fibrosis in both the lung and lymph node. The low incidence of large opacity and lymphadenopathy in the imaging of AWP probably reflected this pathological background. Attfield et al. analyzed the chest radiograph of 661 British electric arc welders and found no case with large opacity [21].

Thus AWP have been believed not develop fibrosis both in the lung field and lymphnode, some researchers found that AWP can be associated with fibrosis [6–11]. Akira et al. found that 3 of 21 arc welders

Well-defined rounded micronodule

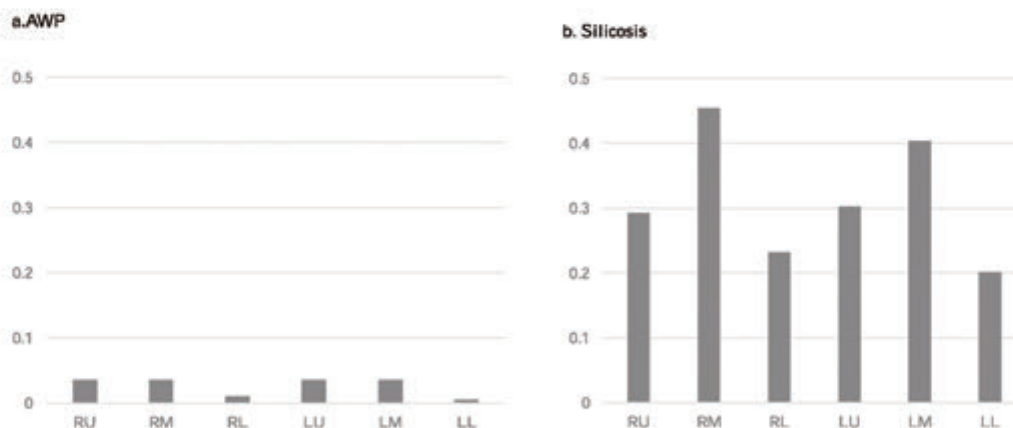


Fig. 2. Comparison of the CT score and the distribution of well-defined rounded micronodules within the lungs between AWP (a) and silicosis (b). The height of each bar represents the average score for each lung zone. The lung distribution tended to be more in the upper and middle lung fields than in the lower lung field for well-defined rounded nodule both in AWP and silicosis.

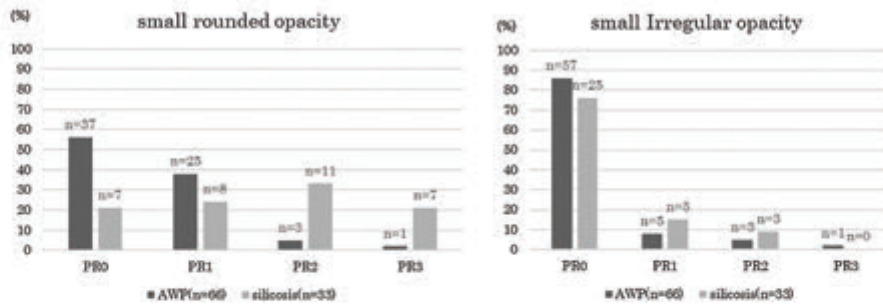


Fig. 3. The incidence of chest radiograph profusion for small rounded opacity and irregular opacity. The large opacity (PR4) was excluded. The category for small rounded opacity was higher in silicosis than in AWP.

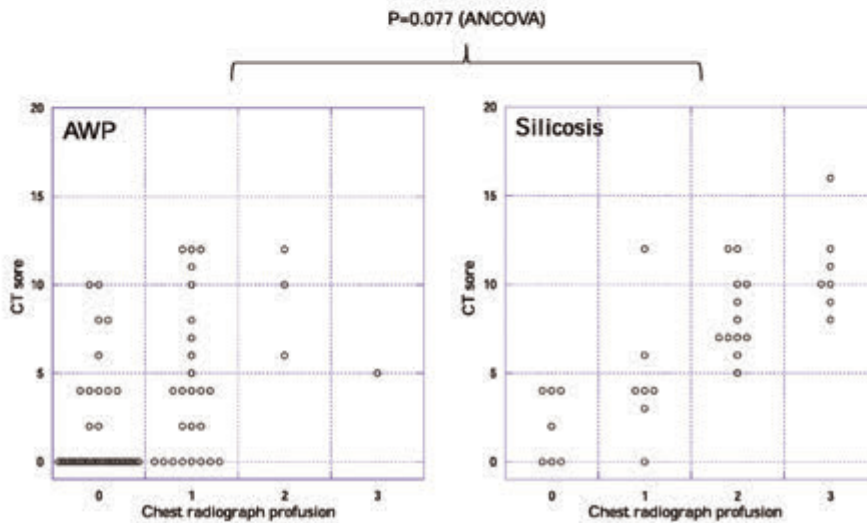


Fig. 4. Relationship between chest radiograph profusion and CT score in cases with AWP and silicosis. Although there is an almost linear correlation between the chest radiograph profusion and CT scores in silicosis, the chest radiograph profusion score was underestimated in AWP. Analysis of covariance revealed borderline significance of these 2 relationships ($p = 0.077$).

showed a pulmonary conglomerate mass on CT [12]. The fibrosis in AWP is suspected to develop from concomitant exposure to irritants, such as asbestos and silica [12]. Although the number of cases was small, this study demonstrated that some AWP cases had large opacity (4/66, 6.0%) and lymphadenopathy (10/66, 15.2%) on CT. Probably, in these workers, the inhaled fumes contained some fibrogenic irritants other than iron oxide.

The Ministry of Health, Labor and Welfare of Japan has established the Pneumoconiosis Law in 1960 to protect the health and promote the welfare of dust-exposed workers [17]. This law indicated the use of chest radiograph to assess and classify the severity of pneumoconiosis, and CT can be used only as a reference. However, this present study demonstrated that chest radiograph had a tendency to underestimate the detection of lung abnormalities of AWP, in comparison with silicosis. This result may account for the less fibrogenic features of the lung nodule in AWP. To avoid overlooking the presence of AWP, the use of CT should be considered if a detailed work history on arc welding is obtained early. Although most of the lung abnormalities of AWP were reversible, some cases developed lung fibrosis. Therefore, early detection of AWP is extremely important to prevent the development of fibrosis and to protect the health of arc welders.

This study had some limitations. First, in this cohort, pathological proof was not obtained and the diagnosis of AWP was established only by clinical findings and occupational history. As described above, the possibility of disorders other than AWP, such as smoking-related diseases, could not be confidently excluded because almost all of the workers in this study were smokers. Second, the imaging protocol for the workers was not fixed because the cohort was recruited from 3 different institutes. Therefore, the different technical factors of CT scan

might have influenced the incidence of each CT finding. Third, although the ICOERD was used with some modification for semi-quantitative analysis, it did not contain enough imaging references, especially for ill-defined centrilobular nodules/GGO or branching opacity. Therefore, subjective bias on the grading for each CT finding cannot be completely excluded.

In conclusion, ill-defined centrilobular nodules/GGO and centrilobular branching opacity were more frequently observed in AWP, whereas well-defined rounded opacity, large opacity, and mediastinal lymphadenopathy were more frequently observed in silicosis. Regarding lung nodules, there was a high correlation between the CT score and the chest radiograph PR for silicosis, but the chest radiograph underestimated AWP. Therefore, in patients with suspected AWP, CT should be considered for the detection of early-stage disease before progression to fibrosis.

Author declaration

We confirm that the manuscript has been read and approved by all named authors and that there are no other persons who satisfied the criteria for authorship but are not listed. We further confirm that the order of authors listed in the manuscript has been approved by all of us. We confirm that we have given due consideration to the protection of intellectual property associated with this work and that there are no impediments to publication, including the timing of publication, with respect to intellectual property. In so doing we confirm that we have followed the regulation of our institutions concerning intellectual property.

We further confirm that any aspect of the work covered in this

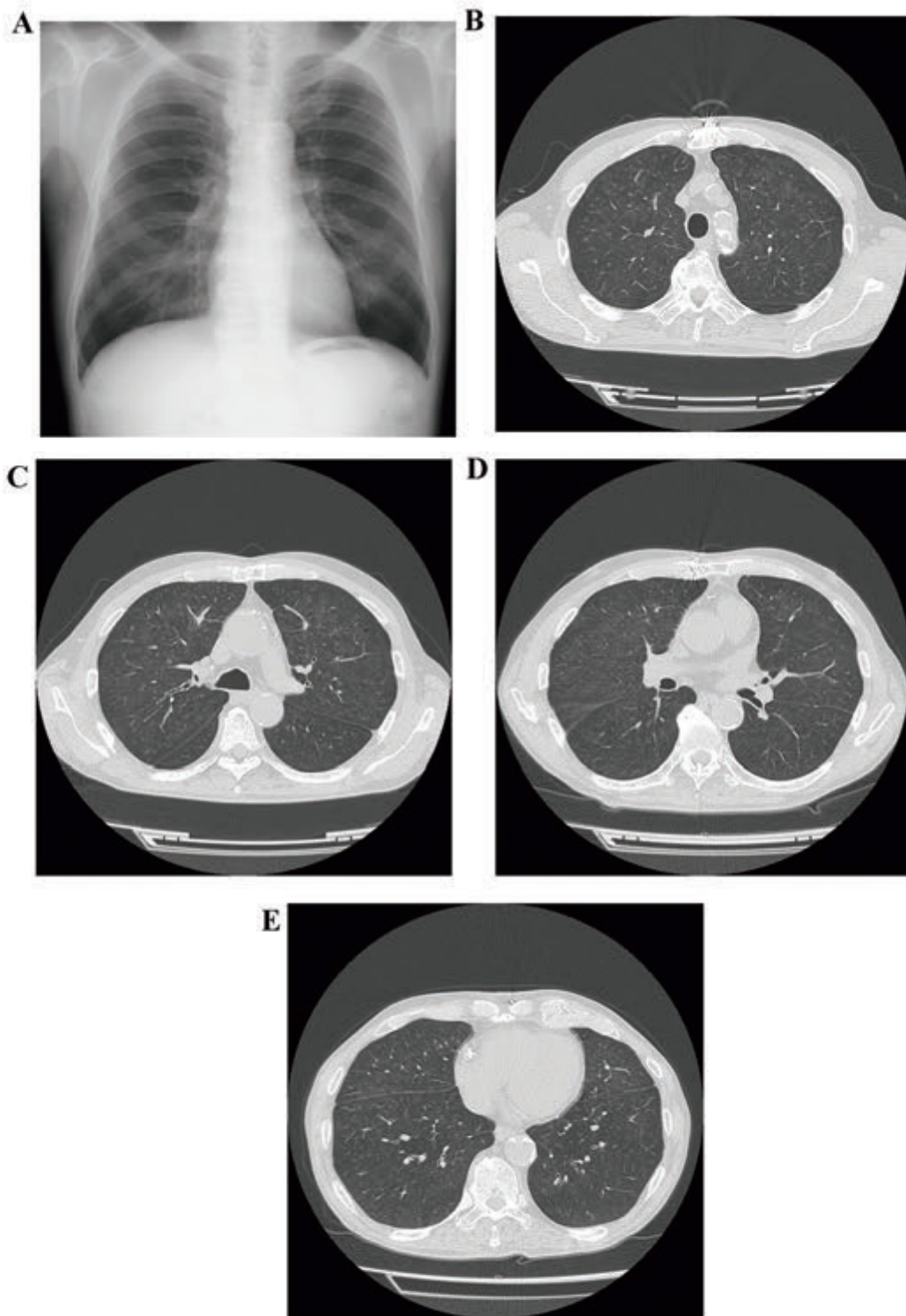


Fig. 5. Images in a 71-year-old man who was employed as an arc-welder for 55 years. (a) Chest radiograph reveals no parenchymal abnormality and was judged by both chest radiologists to have a score of 0 for lung profusion abnormality. (b–e) Thin-section CT scans show numerous poorly defined centrilobular ground-glass nodules that are diffusely distributed throughout the lung. The ICOERD score for poorly-defined centrilobular micronodule, GGO, or branching linear structure in this case is 10 (full score is 18).

manuscript that has involved either experimental animals or human patients has been conducted with the ethical approval of all relevant bodies and that such approvals are acknowledged within the manuscript.

Acknowledgement

This study was supported by the Ministry of Health, Labor and Welfare Scientific Research Grant of Japan.

References

- [1] S.J. Sferlazza, W.S. Beckett, The respiratory health of welders, *Am. Rev. Respir. Dis.* 143 (5 Pt. 1) (1991) 1134–1148.
- [2] J.M. Antonini, Health effects of welding, *Crit. Rev. Toxicol.* 33 (1) (2003) 61–103.
- [3] C.G. Billings, P. Howard, Occupational siderosis and welders' lung: a review, *Monaldi Arch. Chest Dis.* 48 (4) (1993) 304–314.
- [4] A. Doig, A. McLaughlin, X ray appearances of the lungs of electric arc welders, *Lancet* 1 (4) (1936) 771–775.
- [5] A. Doig, A. McLaughlin, Clearing of X-ray shadows in welders' siderosis, *Lancet* 1 (6508) (1948) 789–791.
- [6] A. Funahashi, D.P. Schlueter, K. Pintar, E.L. Bemis, K.A. Siegemund, Welders' pneumoconiosis: tissue elemental microanalysis by energy dispersive x ray analysis, *Br. J. Ind. Med.* 45 (1) (1988) 14–18.
- [7] W.K. Morgan, Arc-welders' lung complicated by conglomeration, *Am. Rev. Respir. Dis.* 85 (1962) 570–575.
- [8] T.L. Guidotti, J.L. Abraham, P.B. DeNee, J.R. Smith, Arc Welders' pneumoconiosis: application of advanced scanning electron microscopy, *Arch. Environ. Health* 33 (3) (1978) 117–124.
- [9] R. Charr, Respiratory disorders among welders, *Am. Rev. Tuberc.* 71 (6) (1955) 877–884.
- [10] R. Charr, Pulmonary changes in welders: a report of three cases, *Ann. Intern. Med.* 44 (4) (1956) 806–812.
- [11] E.C. Meyer, S.F. Kratzinger, W.H. Müller, Pulmonary fibrosis in an arc welder, *Arch. Environ. Health* 15 (4) (1967) 462–469.
- [12] M. Akira, Uncommon pneumoconioses: CT and pathologic findings, *Radiology* 197 (2) (1995) 403–409.
- [13] D. Han, J.M. Goo, J.G. Im, K.S. Lee, D.M. Paek, S.H. Park, Thin-section CT findings of arc-welders' pneumoconiosis, *Korean J. Radiol.* 1 (2) (2000) 79–83.
- [14] C. Yoshii, T. Matsuyama, A. Takazawa, et al., Welder's pneumoconiosis: diagnostic usefulness of high-resolution computed tomography and ferritin determinations in bronchoalveolar lavage fluid, *Intern. Med.* 41 (12) (2002) 1111–1117.
- [15] Y. Kusaka, K. Hering, J. Parker, *International Classification of HRCT for Occupational and Environmental Respiratory Diseases*, Springer-Verlag, Tokyo, 2005.
- [16] K.G. Hering, K. Hofmann-Preiß, T. Kraus, Update: standardized CT/HRCT classification of occupational and environmental thoracic diseases in Germany, *Radiologe* 54 (4) (2014) 363–384.
- [17] N.A. Jp, M. Imanaka, N. Suganuma, Japanese workplace health management in pneumoconiosis prevention, *J. Occup. Health* 59 (2) (2017) 91–103.
- [18] K. Honma, J.L. Abraham, K. Ghyotani, et al., Proposed criteria for mixed-dust pneumoconiosis: definition, descriptions, and guidelines for pathologic diagnosis and clinical correlation, *Hum. Pathol.* 35 (12) (2004) 1515–1523.
- [19] G.C. Ooi, K.W. Tsang, T.F. Cheung, et al., Silicosis in 76 men: qualitative and quantitative CT evaluation—clinical-radiologic correlation study, *Radiology* 228 (3) (2003) 816–825.
- [20] C.G. Ooi, P.J. Khong, R.S. Cheng, et al., The relationship between mediastinal lymph node attenuation with parenchymal lung parameters in silicosis, *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* 7 (12) (2003) 1199–1206.
- [21] M.D. Attfield, D.S. Ross, Radiological abnormalities in electric-arc welders, *Br. J. Ind. Med.* 35 (2) (1978) 117–122.

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

日野 公貴^{*1} 松廣 幹雄^{*2} 鈴木 秀宣^{*2} 河田 佳樹^{*2} 仁木 登^{*2}
加藤 勝也^{*3} 岸本 卓巳^{*4} 芦澤 和人^{*5}

要旨

じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。我国において毎年24万人前後の粉じん労働者がじん肺健康診断を受診している。じん肺診断では胸部単純X線写真を用いているが近年ではCT画像を用いた定量的な診断法が検討されている。本報告では、じん肺CT画像の第0型0/1, 第1型1/0, 第1型1/1, 第1型1/2, 第2型2/2から2回のマニュアル処理と自動処理で粒状影を抽出し、じん肺CT画像データベースを作成する。このデータベースを用いてX線写真の診断結果と粒状影の個数・大きさ・重症度別に解析・比較・評価を行う。

キーワード: CT, CAD, 医用画像処理

1. はじめに

じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。日本の粉じん作業従事労働者数は昭和60年をピークに減少し、平成12年で35万人であったが、近年は約50万人前後で推移しており増加傾向となっている。じん肺が進行すると肺結核・続発性気胸・肺がんなどの合併症に罹患しやすくなるため、健康診断で適切な診断・治療が必要である。

また、じん肺健康診断として胸部単純X線撮影や肺機能検査が実施されている。胸部単純X線写真によって第0型, 第1型, 第2型,

第3型, 第4型に分類され、第1型以上の患者は労災認定となるが第0型の患者は労災認定の対象とならないため正確に診断しなければならない。ここで、近年では胸部CT検査による定量的な診断法が検討されている。本報告では、じん肺CT画像の第0型0/1, 第1型1/0, 第1型1/1, 第1型1/2, 第2型2/2から2回のマニュアル処理と自動処理で粒状影を抽出し、じん肺CT画像データベースを作成する。このデータベースを用いてX線写真の診断結果と粒状影の個数・大きさ・重症度別に解析・比較・評価を行う。

2. 撮影条件と手法

岡山ろうさい病院で診断されたじん肺25症例(0/1-5例, 1/0-5例, 1/1-5例, 1/2-5例, 2/2-5例)を用いた。撮影条件を表1に示し、症例別の職業歴を表2に示す。これらのCT画像に(1)粒状影のマニュアル抽出, (2)CADを用いた結節の自動抽出, (3)粒状影の定量評価を適用した。

*1 徳島大学大学院先端技術科学教育部
〔〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町2-1〕

e-mail: c501738006@tokushima-u.ac.jp

*2 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

*3 川崎医科大学

*4 岡山ろうさい病院

*5 長崎大学

表 1 撮影条件

装置	Aquilion PRIME
管電圧[kV]	120
管電流[mA]	240
スライス厚[mm]	1.0
画素間隔[mm]	0.625, 0.781
再構成間隔[mm]	1.0
再構成関数	FC13-H,FC52

表 2 型区分と職業歴

病型区分	職業歴
第 0 型 0/1	窯業 3 症例
	船舶製造業 1 症例
	隧道掘削 1 症例
第 1 型 1/0	窯業 5 症例
	建設業 2 症例
第 1 型 1/1	採石業 2 症例
	船舶製造業 1 症例
	建設業 2 症例
第 1 型 1/2	窯業 3 症例
	セメント製造業 1 症例
	採石業 1 症例
第 2 型 2/2	採石業 4 症例
	採鉱業 1 症例

(1) 粒状影のマニュアル抽出

粒状影のマニュアル抽出は、WL500, WW1500 で設定し Axial 面で抽出する。右肺尖部, 右肺底部, 左肺尖部, 左肺底部の順で抽出し, 抽出は 2 回行い 1 回目と 2 回目の読影間隔は半年以上と 1 週間を置いた。1 回目と 2 回目の論理和をマニュアル抽出結果とする。

(2) CAD を用いた結節の自動抽出

本研究室で開発されている CAD の結節自動抽出結果とマニュアル抽出結果を重ね合わせ新たに見直し, 未抽出の粒状影があればじん肺 CT 画像データベースに追加する。

(3) 粒状影の定量評価

粒状影が球であると仮定して, 粒状影の大きさは体積から求められる直径で定義する。そして, じん肺の重症度を粒状影の個数, 大きさ, 体積によって評価する。

3. 結果

第 0 型 0/1 と第 1 型 1/0 の粒状影の抽出結果例を図 1 に示す。粒状影数を見ると診断結果と一致しない症例があった。図 2 に粒状影の直径と累積頻度の関係を示す。重症度に関わらず直径 3mm 以上の粒状影では指数関数的に数が増加しているが 3mm 以下になると緩やかになる傾向が見られた。

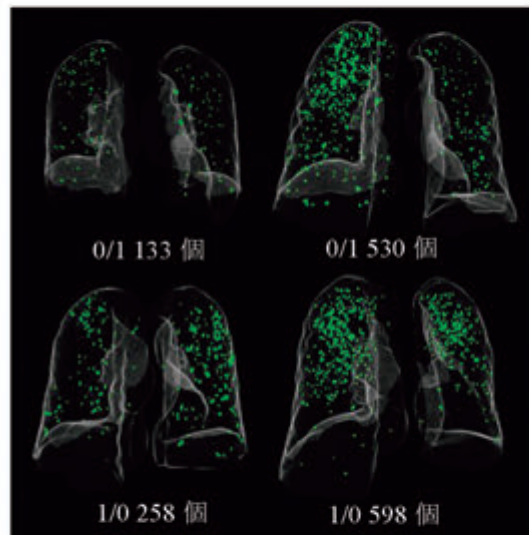


図 1 粒状影の抽出結果

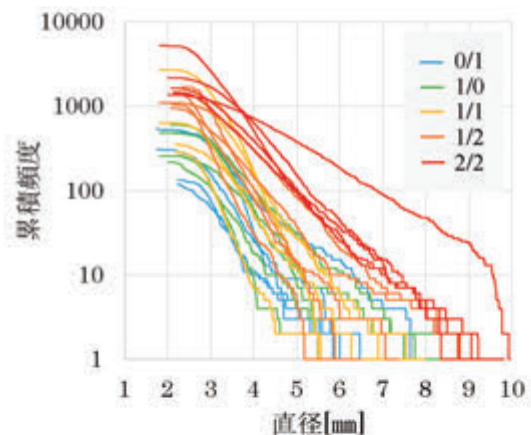


図 2 粒状影の直径と累積頻度

図3にX線写真によって第0型 0/1, 第1型 1/0 と診断された症例と CT 画像による定量評価結果(粒状影数)に基づいて第0型 0/1 (CT), 第1型 1/0 (CT) と診断された症例について重症度別で平均粒状影数と標準偏差を求めた結果を示す。また, Mann-Whitney U 検定をそれぞれの診断結果に対して行った結果 X線写真の診断結果では有意差はみられなかったが, CT 画像の定量評価結果に基づく診断結果では有意差が認められた。

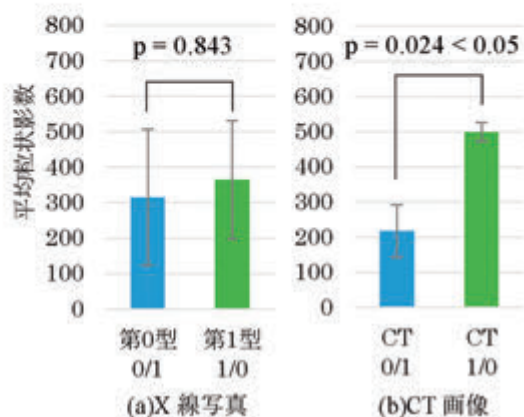


図3 X線写真の診断結果とCT画像を用いた診断結果の評価

4. まとめ

じん肺 CT 画像から粒状影を抽出し, 粒状影の定量評価を行った。CT 画像を用いた定量評価結果を提示することにより, より正確にじん肺の重症度を分類することが可能となり, 診断精度の向上が期待できる。今後の課題として多症例に適用し, より正確なじん肺 CT 画像データベースの作成と高精度な粒状影自動抽出法について検討する。

利益相反の有無
なし

文献

- [1] H. Suzuki, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer aided diagnosis for severity assessment of pneumoconiosis using CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.9785, pp.978531-1-6, 2016.
- [2] K. Kanazawa, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer-aided diagnosis for pulmonary nodules based on helical CT images, Comput. Med. Imag. Graphics, vol. 22, no. 2, pp. 157-167, 1998.
- [3] Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, et al: Quantitative classification based on CT histogram analysis of non-small cell lung cancer: Correlation with histopathological characteristics and recurrence-free survival, Medical Physics, vol.39, no.2, pp.988-1000, 2012.
- [4] 松廣幹雄, 鈴木秀宣, 河田佳樹, 他: 胸部マルチスライス CT 画像における葉間裂抽出法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J.96-D, no.4, pp.834-843, April, 2013.
- [5] 滝島任, 中村雅夫, 千代谷慶三: じん肺患者の呼吸機能検査ハンドブック. 真興交易医書出版部, 1991, P3-10
- [6] 永井厚志編: 呼吸器疾患 第3版. 日本医事新報社, 2015, P241-250
- [7] K. Hino, M. Matsuhiro, H. Suzuki, et al: Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.10575, pp.105753J-1-6, 2018.

Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images

Koki Hino^{*1}, Mikio Matsuhiro^{*2}, Hidenobu Suzuki^{*2}, Yoshiki Kawata^{*2}, Noboru Niki^{*2}
Katsuya Kato^{*3}, Takumi Kishimoto^{*4}, Kazuto Ashizawa^{*5}

*1 System Innovation Engineering Graduate School of Advanced Technology and
Science The University of Tokushima

*2 Tokushima University

*3 Kawasaki Medical School

*4 Okayama Rosai Hospital

*5 Nagasaki University

Pneumoconiosis is an occupational respiratory illness that occur by inhaling dust to the lungs. 240,000 participants are screened for diagnosis of pneumoconiosis every year in Japan. Radiograph is used for staging of severity rate in pneumoconiosis worldwide. CT imaging is useful for the differentiation of requirements for industrial accident approval because it can detect small lesions in comparison with radiograph. In this paper, we extracted lung nodules from 3D pneumoconiosis CT images by two manual processes and automatic process, and created a database of pneumoconiosis CT images. We used the database to analyze, compare, and evaluate visual diagnostic results of radiographs and quantitative assessment (number, size and volume) of lung nodules. This method was applied to twenty five pneumoconiosis patients. Initial results showed that the proposed method can assess severity rate in pneumoconiosis quantitatively. This study demonstrates effectiveness on diagnosis and prognosis of pneumoconiosis in CT screening.

Key words: X-ray image, CT, Medical image processing

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

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^{†‡‡}

[†]徳島大学大学院 先端技術科学教育部〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1

[‡]徳島大学大学院 社会産業理工学研究部

^{†‡}川崎医科大学

^{‡‡}岡山ろうさい病院

^{†‡‡}長崎大学

E-mail: [†]c501738006@tokushima-u.ac.jp

あらまし じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。我国において毎年 24 万人前後の粉じん労働者がじん肺健康診断を受診している。じん肺の診断では単純 X 線写真を用いているが、近年では単純 X 線写真に比べて正確に病変を評価することができる 3 次元 CT 画像を用いた高精度な病型区分を作成することが期待されている。本研究では、3 次元 CT 画像を用いてじん肺の定量的な診断基準を作成することを目指している。このために、じん肺 CT 画像のデータベースを作成して解析し、じん肺の粒状影の個数、大きさと CT 値、分布型を用いて重症度を定量的に評価する。

キーワード CT, CAD, 医用画像処理, じん肺

1. 背景・目的

じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。日本の粉じん作業従事労働者数は昭和 60 年をピークに減少し、平成 12 年で 35 万人であったが、近年は約 50 万人前後で推移しており増加傾向となっている。じん肺が進行すると肺結核・統発性気胸・肺がんなどの合併症に罹患しやすくなるため、健康診断で適切な診断・治療が必要である。

また、じん肺健康診断として胸部単純 X 線撮影や肺機能検査が実施されている。胸部単純 X 線写真によって第 0 型、第 1 型、第 2 型、第 3 型、第 4 型に分類され、第 1 型以上の患者は労災認定となるが第 0 型の患者は労災認定の対象とならないため正確に診断しなければならない。ここで、近年では単純 X 線写真に比べて正確に病変を評価することができる 3 次元 CT 画像を用いた高精度な病型区分を作成することが期待されている。本研究では、3 次元 CT 画像を用いてじん肺の定量的な診断基準を作成することを目指している。このために、じん肺 CT 画像のデータベースを作成して解析し、じん肺の粒状影の個数、大きさと CT 値、分布型を用いて重症度を定量的に評価する。

2. 撮影条件と手法

岡山ろうさい病院で診断されたじん肺 25 症例(0/1 -

5 例, 1/0 - 5 例, 1/1 - 5 例, 1/2 - 5 例, 2/2 - 5 例)を用いた。症例別の病型区分と職業歴を表 1 に示し、撮影条件を表 2 に示す。これらの CT 画像に(1)粒状影のマニユアル抽出、(2) CAD を用いた結節の自動抽出、(3) じん肺の定量評価を適用した。

表 1 病型区分と職業歴

病型区分	職業歴
X 線 0/1	窯業 3 症例
	船舶製造業 1 症例
	随道掘削 1 症例
X 線 1/0	窯業 5 症例
X 線 1/1	建設業 2 症例
	採石業 2 症例
	船舶製造業 1 症例
X 線 1/2	窯業 3 症例
	セメント製造業 1 症例
	採石業 1 症例
X 線 2/2	採石業 4 症例
	採鉱業 1 症例

表 2 撮影条件

装置	Aquilion PRIME
管電圧[kV]	120
管電流[mA]	240
スライス厚[mm]	1.0
画素間隔[mm]	0.625, 0.781
再構成間隔[mm]	1.0
再構成関数	FC13-H,FC52

(1) 粒状影のマニュアル抽出

粒状影のマニュアル抽出は、WL500, WW1500 で設定し Axial 面で抽出する。右肺尖部, 右肺底部, 左肺尖部, 左肺底部の順で抽出し, 抽出は 2 回行い 1 回目と 2 回目の読影間隔は半年以上と 1 週間を置いた。1 回目と 2 回目の論理和をマニュアル抽出結果とする。

(2) CAD を用いた結節の自動抽出

本研究室で開発されている CAD の結節自動抽出結果とマニュアル抽出結果を重ね合わせ新たに見直し, 未抽出の粒状影があればじん肺 CT 画像データベースに追加する。

(3) じん肺の定量評価

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する。

(3)-1 粒状影の個数と大きさ

粒状影の大きさは, 粒状影が球であると仮定して, 体積から求められる直径で定義する。

(3)-2 粒状影の分布型

粒状影を構成するピクセル群から重心点の座標を求め, 各粒状影の重心点間の最短距離を算出し, その最短距離と相対度数で分布型を評価する。

3. 結果

X 線 0/1 と X 線 1/2 の粒状影の抽出結果例を図 1 に示す。

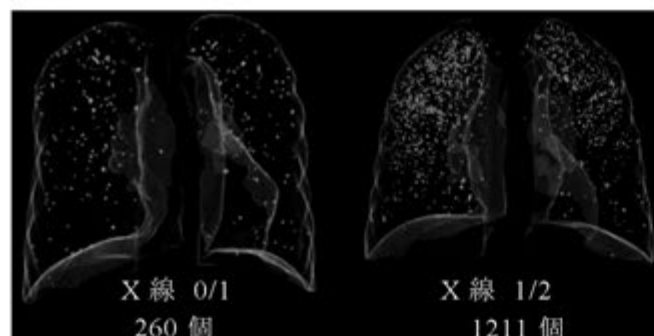


図 1 粒状影の抽出結果

図 2 に大きさ別における粒状影数の増加パターンを示す。重症度の低い症例と高い症例が混在しており診断結果と一致していない症例があり, 増加パターンも様々であることが分かった。

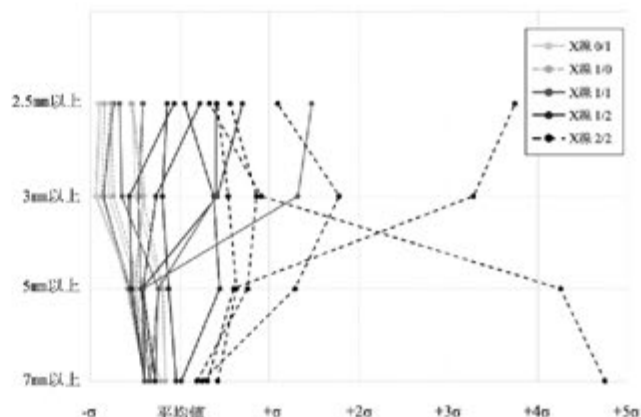


図 2 大きさ別における粒状影数の増加パターン

図 3 に肺の部位別における粒状影の個数と大きさの関係を示す。部位別では 25 症例中 18 症例が上部に粒状影がある割合が多く, 左肺より右肺のほう多い傾向が見られた。

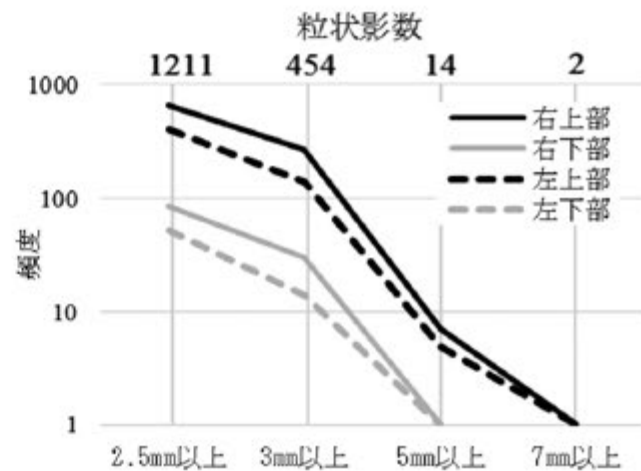


図 3 肺の部位別における粒状影の個数と大きさの関係 (X 線 1/2)

図 4 に病型区分別における粒状影の大きさと平均 CT 値の関係を示す。1-5 mm までは, 同じ大きさでも重症度別に差がある事が分かった。5 mm 以上では, 平均 CT 値にばらつきがある傾向が見られた。

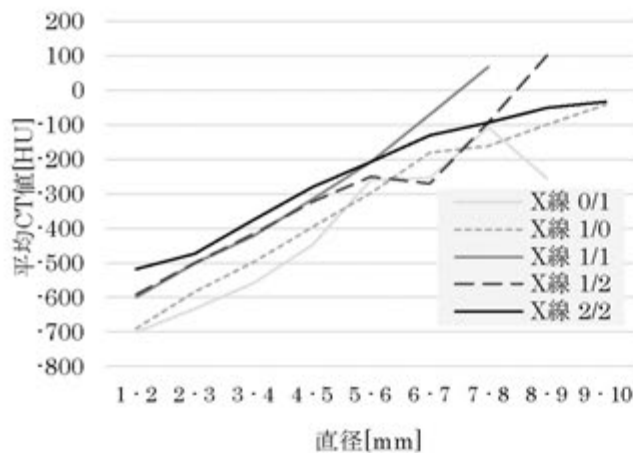


図4 病型区分別における粒状影の大きさと平均CT値

表1にCT画像の粒状影総数に基づいて医師が病型区分を再検討した結果を示す。症例(c)と(e)はCT画像を用いた定量評価により診断結果が変更されていることが分かる。

表1 CT画像の粒状影総数に基づく病型区分の再検討結果

症例番号	粒状影総数	第11回小委員会での病型区分		再検討後の病型区分	
		①X線合議スコア	②CT合議スコア	③X線合議スコア	④CT合議スコア
(a)	103	0/1	- (アスベスト)	0/1	0/1
(b)	126	0/1	0/1	0/1	0/1
(c)	474	0/1	0/1	0/1	1/0
(d)	260	0/1	0/1	0/1	0/1
(e)	474	0/1	1/0	0/1	1/0
(f)	168	1/0	0/1	0/1	0/1
(g)	237	1/0	0/1	0/1	0/1
(h)	234	1/0	0/1	0/1	0/1
(i)	458	1/0	1/0	1/0	1/0
(j)	577	1/0	4A	4A	4A

4. まとめ

じん肺CT画像から粒状影を抽出し、X線の病型区分に基づいて、CT画像の粒状影を個数、大きさとCT値、分布型について解析した。CT画像を用いた定量評価結果を提示することにより、より正確にじん肺の重症度を分類することが可能となり、診断精度の向上が期待できる。今後の課題として多症例に適用し、より正確なじん肺CT画像データベースの作成と高精度な粒状影自動抽出法について検討する。

文献

- [1] H. Suzuki, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer aided diagnosis for severity assessment of pneumoconiosis using CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.9785, pp.978531-1-6, 2016.
- [2] K. Kanazawa, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer-aided diagnosis for pulmonary nodules based on helical CT images, Comput. Med. Imag. Graphics, vol. 22, no. 2, pp. 157-167, 1998.
- [3] Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, et al: Quantitative classification based on CT histogram analysis of non-small cell lung cancer: Correlation with histopathological characteristics and recurrence-free survival, Medical Physics, vol.39, no.2, pp.988-1000, 2012.
- [4] 松廣幹雄, 鈴木秀宣, 河田佳樹, 他: 胸部マルチスライスCT画像における葉間裂抽出法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J.96-D, no.4, pp.834-843, April, 2013.
- [5] 滝島任, 中村雅夫, 千代谷慶三: じん肺患者の呼吸機能検査ハンドブック, 真興交易医書出版部, 1991, P3-10
- [6] 永井厚志編: 呼吸器疾患 第3版, 日本医事新報社, 2015, P241-250
- [7] K. Hino, M. Matsuhira, H. Suzuki, et al: Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.10575, pp.105753J-1-6, 2018.

石綿(アスベスト)が 人体に与える健康影響

独立行政法人 労働者健康安全機構 アスベスト疾患研究・研修センター 岸本卓巳

きしもと たくみ ● 1978年岡山大学医学部卒業。呼吸器内科医で職業性呼吸器疾患及び産業保健に関わり約35年になる。専門はじん肺及び石綿関連疾患の診断。日本職業・災害医学会理事、日本産業衛生学会代議員、日本呼吸器学会専門医・指導医、環境省中央環境審議会委員及び石綿健康被害判定小委員会委員長。

石綿繊維は気道を経由して吸入することにより細気管支・肺胞に到達する。また、肺に入った石綿繊維はリンパを介して胸膜腔に達するため、肺あるいは胸膜(臓側胸膜あるいは壁側胸膜)に病変を形成する(図1)。石綿繊維を体内に吸入したことを医学的に証明する所見として石綿小体・繊維と胸膜ブランクがある。

1. 石綿ばく露の医学的所見

(1) 石綿小体・繊維

気道を介して吸入した石綿繊維は生体内で肺胞マク

ロファージ等の白血球が処理するが、処理しきれず、タンパク質などが繊維に付着したものが石綿小体である。石綿小体は光学顕微鏡で肺組織内あるいは気管支肺胞洗浄液にて確認できるが、その色は鉄タンパクであるフェリチンあるいはヘモジデリンに由来する(図2)。

石綿繊維については電子顕微鏡による確認が必要となる(図3)。石綿繊維とその他の繊維状物質を鑑別するにはX線回折装置を用いて繊維を構成する金属の成分分析が必要である。

(2) 胸膜ブランク

胸膜ブランクは壁側胸膜にできる線維性の硬い組織

である。通常、胸部単純写真、CTによって確認することができるが、薄い胸膜ブランクは肉眼でしか確認できないため、手術や剖検時に壁側胸膜を丁寧に観察する必要がある。石綿低濃度ばく露によっても発生するが、病的なものではなく、石綿ばく露があったとする医学的証拠となる。

現在では胸膜ブランクが石綿肺という用語としばしば混同されているため、適正な用語使用が望まれる。

図1. 臓側胸膜と壁側胸膜(イラスト画)

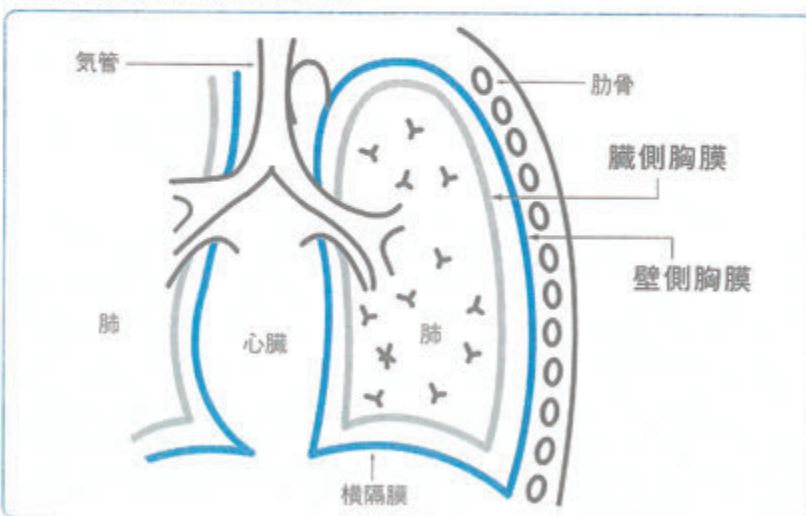


図2. 石綿小体 (光学顕微鏡像)

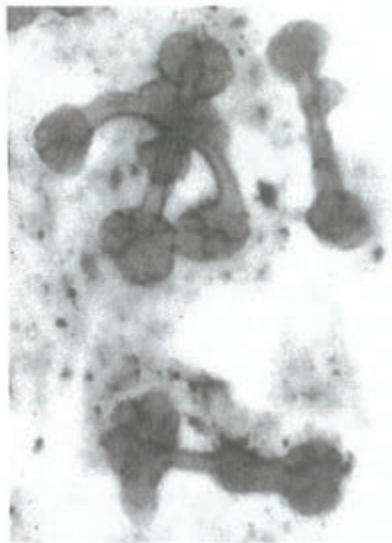
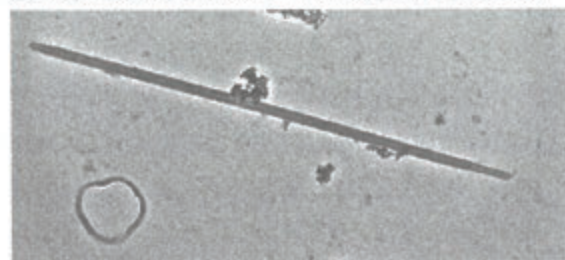


図3. 石綿繊維のI種 (クリソタイル) (透過型電子顕微鏡像)



2. 石綿関連疾患

良性病変として肺に石綿肺、胸膜には良性石綿胸水・びまん性胸膜肥厚を生じる。一方、悪性腫瘍として、肺には肺がんを、胸膜をはじめ、腹膜、心膜、精巣鞘膜に中皮腫を発症させることが医学的に明らかにされている(表1)。

これら疾患のうち、悪性腫瘍の場合には吸入する石綿繊維の種類に関係が深く、石綿吹付作業や水道管製造に使用され環境ばく露が社会問題となったクロシドライト(青石綿)の発がん性が最も高い。しかし、日本で過去に最も多く使用されたクリソタイル(白石綿)についても肺がんおよび中皮腫の発がん性が確認されている。

石綿がこれら疾患を招来して健康に影響を与えることが明らかになったのは産業革命後の19世紀末からである。また、医学的に最初に明らかになった疾患は石綿肺である。

表1. 石綿による呼吸器疾患の分類

	炎症・線維化	悪性腫瘍
肺実質	石綿肺	肺がん
胸膜	良性石綿胸水 びまん性胸膜肥厚	胸膜中皮腫

(1) 石綿肺

石綿肺は石綿高濃度ばく露によって発生するじん肺の1種であり、珪肺とは異なり胸部単純写真上不整形陰影(線維化)を呈する。発症までの潜伏期間は大阪泉南の石綿紡績作業ではわずか5年程度であったと報告されているが、通常は10年以上を要する。

しかし、日本では作業環境改善がなされて以降、石綿高濃度ばく露がなくなったため、ほとんど認められなくなった。中国では現在でも石綿紡績作業等高濃度石綿ばく露作業が行われており、石綿肺と診断されている作業者は少なくない。

(2) 石綿肺がん

石綿による肺がん発生には、石綿高濃度ばく露が必要であると考えられているが、石綿単独ばく露での肺がん発生頻度はそれほど高くなく、喫煙が相乗あるいは相加作用として重要であり、石綿肺がん患者の大半が喫煙者である。

石綿ばく露によって発生する肺がんには組織学的な特徴はなく、一般肺がんと同様である。石綿初回ばく露から肺がん発症までの潜伏期間は40年以上と長いと長いと、今後も増加が予想されている。日本では石綿ばく露による肺がんの労災あるいは救済法による認定においては、胸膜プラークの存在や肺内石綿小体・繊維の定量が重要視されている。

石綿吹付作業、石綿紡績作業、石綿セメント製造作業者に発生した石綿肺がんでは医証は求められず、作業期間が5年以上であれば労災認定されることになっている。

(3) 中皮腫

中皮腫は胸膜、腹膜、心膜、精巣鞘膜に発生する悪性腫瘍であるが、中皮細胞ががんにも肉腫にも分化する性質を持つため、中皮腫と呼ばれる。

中皮腫の約80%が石綿ばく露に起因するが、石綿ばく露単独で発症するため喫煙との関連性はない。石綿肺がんと同様、石綿初回ばく露から40年以上の長い潜伏期間を要することから、今後日本でも増加すると予想されている。事実、中皮腫による死亡者数は1995年には1年間で500人であったが、2017年には1,555人と3倍以上に増加している。増加の著しい中皮腫は男性の胸膜中皮腫であり、過去の石綿ばく露との関連性が明らかである。

診断は腫瘍組織によるが、顕微鏡下で観察してもがんに類似した上皮型、肉腫に類似的肉腫型とこれら二者が混じりあう二相型の3種類のタイプに分類される。中皮腫に特徴的な免疫抗体がないため、複数の抗体やその他の手法を用いて確定診断をする必要がある。現在でもなおその確定診断は難しく、そのため誤った診断がなされていることも少なくない。特に肺がんや卵巣がんあるいは良性疾患である線維性胸膜炎との鑑別診断が必要となる。

一方、治療は限られており、早期病変を診断した場合には壁側胸膜切除・臓側胸膜剝離術という手術療法が行われる。化学療法としては唯一シスプラチン+ベメトレキセド併用療法が有効で、この治療が無効になった際には免疫チェックポイント阻害剤であるニボルマブの使用が承認された。しかし、これ以外に治療方法がなく予後不良な疾患である。

(4) 良性石綿胸水

石綿ばく露により臓側胸膜に炎症が生じるために胸水が貯留する疾患を良性石綿胸水という。良性とは非悪性という意味であり、臨床経過が良好であるという意味ではない。胸水を穿刺すると滲出液で、悪性腫瘍細胞を認めないことが大原則であるが、本疾患の診断基準は今のところ定められていない。

また、本疾患は発生機序が不明であるため治療方法がないのが現状である。ほとんどの症例では自然に胸水は減少するが、完全に消失することは少なく、あとに器質化胸水あるいはびまん性胸膜肥厚を残すことが多い。早期の胸膜中皮腫との鑑別が重要で

あるため、胸腔鏡による検査と胸膜の生検が必要になることもある。労災では補償の対象疾病となっているが救済法では対象外である。

(5) びまん性胸膜肥厚

広範囲で肺の一葉以上を巻き込むような胸膜の線維化をびまん性胸膜肥厚という。臓側胸膜の線維化で通常壁側胸膜との癒着を来している。そのため、肺の膨張が妨げられることによって、肺活量が低下する疾患である。石綿ばく露以外でも発生するため、石綿ばく露歴が明確であることを必要とし、その他のこのような病態を来し得る疾患、たとえば心臓手術後やリウマチ胸膜炎、がん性胸膜炎等を鑑別する必要がある。石綿ばく露による場合には良性石綿胸水後に発生することが多いと報告されている。

労災・救済の対象はその病変の範囲が胸部単純写真正面像で、片側の場合は片側胸郭全体の1/2以上、両側の場合は両側胸郭全体の1/4を超えるものである。

潜伏期間は石綿肺がんと同様40年以上である。著しい呼吸機能障害を伴う本疾患は比較的予後が不良であることが明らかになりつつあるための確な診断、適切な治療が望まれる。

3. 今後の対策

石綿関連疾患は石綿吸入後の潜伏期間が長い疾患が多いことから、吸入してもすぐに症状が出ない。しかし、石綿肺がんや中皮腫のみならずびまん性胸膜肥厚は一度発症すると予後不良であることが多い。過去に使用された石綿が負の遺産として沢山残っている日本では、建物の解体作業がこれからピークを迎えるため、新たな石綿吸入機会も少なくない。石綿関連疾患防止のために最も重要なことは石綿吸入防止対策である。そのためには、電動ファン付き防じんマスク等を使用した適切な石綿吸入防止策が望まれる。

また、過去の石綿ばく露者については、石綿関連疾患発症の可能性があるため早期診断・早期治療が必要である。医師をはじめとする医療従事者及び石綿ばく露者はこれら疾患についての知識を持つておくことが必要である。

Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images

Koki Hino⁽¹⁾, Mikio Matsuhiro⁽¹⁾, Hidenobu Suzuki⁽¹⁾, Yoshiki Kawata⁽¹⁾, Noboru Niki⁽¹⁾,
Katsuya Kato⁽²⁾, Takumi Kishimoto⁽³⁾, Kazuto Ashizawa⁽⁴⁾

(1) Tokushima University, 2-1, Minamijosanjima-cho, Tokushima, Japan 770-8506;

(2) Kawasaki Medical School, 577, Matsushima, Kurashiki, Okayama, Japan 701-0192;

(3) Okayama Rosai Hospital, 1-10-25, Chikkomidorimachi, Minami-ku, Okayama, Japan 702-8055;

(4) Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-machi, Nagasaki, Japan 852-8521

ABSTRACT

Pneumoconiosis is an occupational respiratory illness that occur by inhaling dust to the lungs. 240,000 participants are screened for diagnosis of pneumoconiosis every year in Japan. Radiograph is used for staging of severity rate in pneumoconiosis worldwide. CT imaging is useful for the differentiation of requirements for industrial accident approval because it can detect small lesions in comparison with radiograph. In this paper, we extracted lung nodules from 3D pneumoconiosis CT images by two manual processes and automatic process, and created a database of pneumoconiosis CT images. We used the database to analyze, compare, and evaluate visual diagnostic results of radiographs and quantitative assessment (number, size and volume) of lung nodules. This method was applied to twenty pneumoconiosis patients. Initial results showed that the proposed method can assess severity rate in pneumoconiosis quantitatively. This study demonstrates effectiveness on diagnosis and prognosis of pneumoconiosis in CT screening.

Keywords: pneumoconiosis, computed tomography, computer aided diagnosis

1. INTRODUCTION

Pneumoconiosis is an occupational respiratory illness that occur by inhaling dust to the lungs. 240,000 participants are screened for diagnosis of pneumoconiosis every year in Japan. Radiograph is used for staging of severity rate in pneumoconiosis worldwide. The International Labor Office (ILO) provides a staging of pneumoconiosis using radiographs [1]. Its advantages are relatively low cost, low radiation dose, and wide availability. However, the chest radiograph is relatively insensitive for detecting early stage pneumoconiosis [2]. Chest CT scans are more sensitive than routine radiographs in detecting pneumoconiosis. However, the utility of CT as a screening modality is still a question of debate [3]. The reason is that CT scans are not recommended for routine surveillance due to the increased radiation exposure and the lack of scoring scheme [4]. Since 1992, several classification or coding systems for evaluating pneumoconiosis in CT studies have been reported [5]. We have analyzed the relationship between the size and frequency of lung nodules so as to quantify the severity rate of pneumoconiosis so far [6]. We extracted lung nodules from 3D pneumoconiosis CT images by two manual processes and automatic process, and created a database of pneumoconiosis CT images. We used this database to analyze, compare, and evaluate visual diagnostic results of radiographs and quantitative assessment (number, size and volume) of lung nodules. This method was applied to twenty pneumoconiosis patients. The results showed that the proposed method can assess severity rate in pneumoconiosis quantitatively. This study demonstrates effectiveness on diagnosis and prognosis of pneumoconiosis in CT screening.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

This study was approved by institutional review board in Nagasaki University. The scanning was carried out with 120 kV, 240mA, 1mm slice thickness, 512x512 matrix, pixel size of 0.625mm or 0.781mm, 1mm reconstruction interval, and

FC13-H or FC52 convolution kernel. Private information that was contained in DICOM header information is replaced by a DICOM anonymization system [7].

Pneumoconiosis was classified into 12 stages based on a guideline defined by ILO: 0/-, 0/0, 0/1, 1/0, 1/1, 1/2, 2/1, 2/2, 2/3, 3/2, 3/3, 3/+ . The total number of patients is twenty: stage 0/1 is five, stage 1/0 is five, stage 1/1 is five, and stage 2/2 is five. The stages were certified by consensual decision of physicians.

2.2 Methods

2.2.1 Manual extraction of lung nodules

Extraction of pulmonary nodules was set under the conditions of window level - 500 and window width 1500 and extracted using an axial plane. Extraction procedure was achieved in the order of right lung apex part, right lung bottom part, left lung apex part and left lung bottom part. This procedure was repeated many times. Micro nodules was extracted twice by one person. The period between the first time and the second time was more than 6 months or one week.

2.2.2 Detection of lung nodules

Our group has developed computer aided detection (CADe) and computer aided diagnosis (CADx) systems for lung cancer CT screening [8][9]. This CADe has detection functions for multi diseases; lung nodules, pleural diseases, emphysema, and osteoporosis [10][11][12]. In early stage of pneumoconiosis, a lot of small nodules are occurred, so this CADe is set so that nodules from 1 mm to 3 mm can be detected. The CADe detection result on the first and second logical sums are superimposed and newly reviewed, and if a nodule is detected, it is added to the database.

2.2.3 Quantitative assessment of pneumoconiosis

Severity rate in pneumoconiosis was assessed by number, size and volume of lung nodules. Assuming that nodules have spherical shape, nodule size is defined by a diameter that is computed from nodule volume. The number of nodules was counted by three dimensional labeling method.

2.2.4 Comparison and evaluation of the first and second manual extraction

To assess the inter-observer variability in the manual detection process, we computed precision, recall, and F scores based on the first and the second manual extractions. Additionally, the coincidence rates by size of the lung nodules were evaluated.

2.2.5 Comparison and evaluation between visual diagnostic results of radiographs and quantitative assessment results of CT images

Compared with the diagnosis obtained physicians' visual assessments based on radiographs, we investigated whether the quantitative assessments based on 3D CT images can improve the classification of severity rate of pneumoconiosis.

3. RESULTS

Fig.1 shows three dimensional distributions of lung nodules that extracted by this method. In Fig.1 (a), (b), (c), (d), (e) are stage 0/1, (f), (g), (h), (i), (j) are stage 1/0, (k), (l), (m), (n), (o) are stage 1/1, and (p), (q), (r), (s), (t) is stage 2/2. Several cases are found which do not coincide with diagnostic results mainly in cases of low severity rate. Table 1 shows evaluation results of the coincidence rates by sizes of lung nodules from first and second extraction results. For small nodules from 2mm to 4mm in diameter, the coincidence rate was low, and the coincidence rate was high for nodules with 4mm or more. This showed a similar tendency in other cases. Fig.2 shows the relationship between the number and volume of lung nodules in each case. It is suggested that it may not be accurately in the disease type classification using radiographs. Fig.3 shows the results of calculating the average number and standard deviation of lung nodules for each type classification of radiographs and CT images. Classification of CT images was classified according to the number of nodules. Table 2 shows the results of comparisons with radiographs and CT classification. Mann-Whitney U test was performed for each type, and comparison was performed at a signification level of 0.0083 (0.05 / 6) by the Bonferroni correction. As a result, there was no significant differences in classification of radiographs, but significant differences were found in classification using CT images. By quantitative assessment using CT images, there is a possibility that the severity rate of pneumoconiosis can be accurately classified.

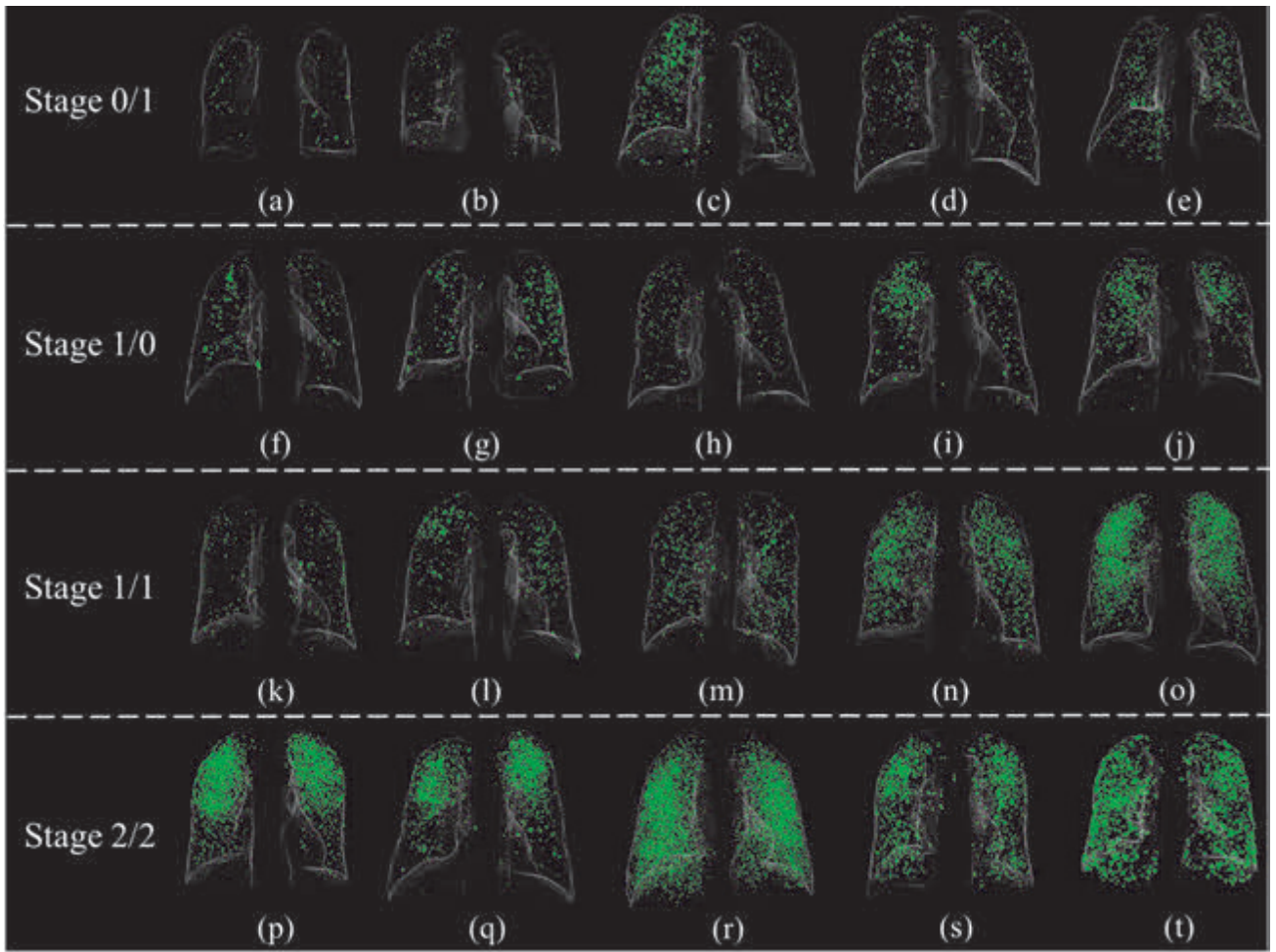


Fig.1 Three dimensional distribution of extracted lung nodules.

Table 1: Coincidence rate by size of lung nodules of first and second times (case 1/0(g)).

diameter[mm]	The number of lung nodules			Coincidence rate	
	Final	First	Second	First	Second
$0 < d < 1$	0				
$1 \leq d < 2$	1	0	1		
$2 \leq d < 3$	75	51	68	0.654	0.872
$3 \leq d < 4$	124	118	121	0.944	0.968
$4 \leq d < 5$	42	42	42	1	1
$5 \leq d < 6$	6	6	6	1	1
$6 \leq d < 7$	4	4	4	1	1
$7 \leq d < 8$	1	1	1	1	1
$8 \leq d < 9$	1	1	1	1	1
$9 \leq d < 10$	0				

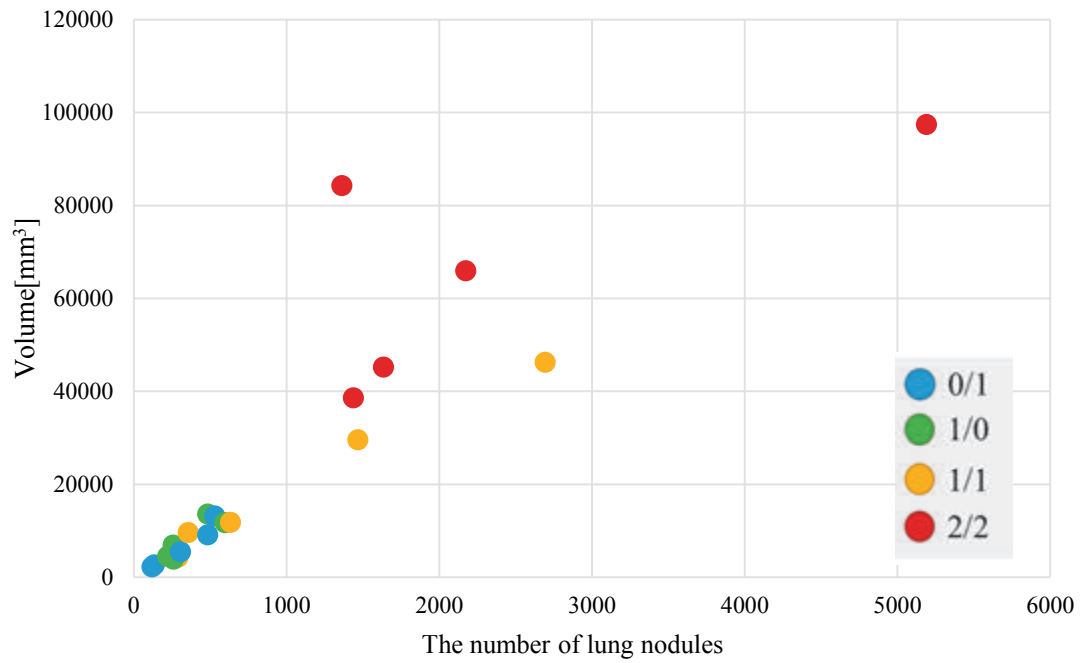


Fig.2 Relationship between the number of lung nodules and volume

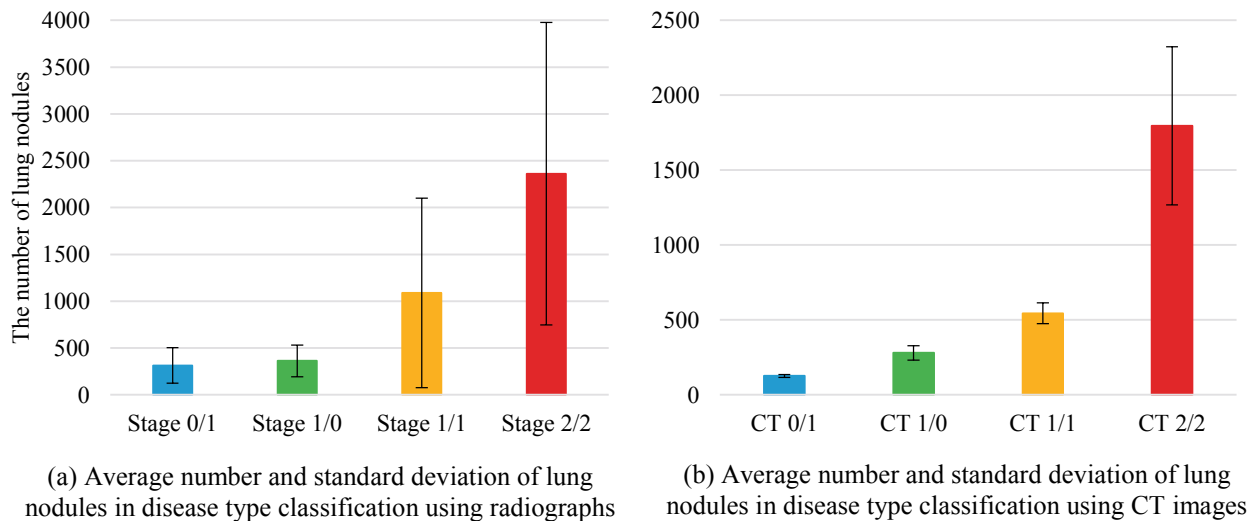


Fig 3. The evaluation results of the disease type classification using the radiographs and the disease type classification using the CT images

Table 2: Comparison disease type classification with radiographs and CT
(a) Classification of radiographs (b) Classification of CT images

Radiographs		CT images		
Disease type classification	p-value	Disease type classification	p-value	
Stage 0/1-1/0	0.7540	CT 0/1-1/0	2.26E-19	*
Stage 0/1-1/1	0.1171	CT 0/1-1/1	1.59E-17	*
Stage 0/1-2/2	0.0090	CT 0/1-2/2	2.26E-19	*
Stage 1/0-1/1	0.0758	CT 1/0-1/1	0.0062	*
Stage 1/0-2/2	0.0090	CT 1/0-2/2	0.0040	*
Stage 1/1-2/2	0.1745	CT 1/1-2/2	0.0062	*

*: $p < 0.0083$ (0.05 / 6)

4. CONCLUSIONS

We extracted lung nodules from 3D pneumoconiosis CT images by two manual processes and automatic process. We used this database to analyze, compare, and evaluate visual diagnostic results of radiographs and quantitative assessment (number, size and volume) of lung nodules. By presenting the results of quantitative assessment using CT, it becomes possible to more accurately classify severity of pneumoconiosis, and high diagnostic accuracy can be expected.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported (in part) by JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas (Multidisciplinary Computational Anatomy), JSPS KAKENHI Grant Number 26108007.

REFERENCES

- [1] International Labour Organization, “Guidelines for the use of the ILO international classification of radiographs of pneumoconiosis, revised edition 2011,” 2011.
- [2] C.W. Cox, C.S. Rose, D.A. Lynch, “State of the Art: Imaging of Occupational Lung Disease,” *Radiology*, vol.270, no.3, pp.681-696, 2014.
- [3] B. Satija, S. Kumar, U.C. Ojha, D. Gothi, “Spectrum of high-resolution computed tomography imaging in occupational lung disease,” *Indian Journal of Radiology and Imaging*, vol.23, no.4, pp.287-296, 2013.
- [4] E.L. Petsonk, C. Rose, R. Cohen, “Coal Mine Dust Lung Disease, New Lessons from an Old Exposure,” *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol.187, no.11, pp.1178-1185, 2013.
- [5] N. Sukanuma, Y. Kusaka, K.G. Hering, T. Vehmas, T. Kraus, H. Arakawa, J.E. Parker, L. Kivisaari, M. Letourneux, P.A. Gevenois, S. Tuengerthal, M.D. Crane, H. Shida, M. Akira, D.A. Henry, Y. Nakajima, Y. Hiraga, H. Itoh, Y. Hosoda, “Reliability of the proposed international classification of high resolution computed tomography for occupational and environmental respiratory diseases,” *Journal of Occupational Health*, vol.51, no.3, pp.210-222, 2009.
- [6] H. Suzuki, M. Matsuihiro, Y. Kawata, N. Niki, K. Kato, T. Kishimoto, K. Ashizawa, “Computer aided diagnosis for severity assessment of pneumoconiosis using CT images,” *Proc. SPIE* vol.9785, pp.978531, 2016.
- [7] H. Suzuki, M. Amano, M. Kubo, Y. Kawata, N. Niki, H. Nishitani, “Anonymization server system for DICOM images,” *Proc. SPIE* vol.6516, pp.65160Z, 2007.
- [8] K. Kanazawa, Y. Kawata, N. Niki, H. Satoh, H. Ohmatsu, R. Kakinuma, M. Kaneko, N. Moriyama, K. Eguchi, “Computer-aided diagnosis for pulmonary nodules based on helical CT images,” *Comput. Med. Imag. Graphics*, vol. 22, no. 2, pp. 157–167, 1998.
- [9] Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, M. Kusumoto, T. Tsuchida, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Quantitative classification based on CT histogram analysis of non-small cell lung cancer: Correlation with histopathological characteristics and recurrence-free survival,” *Medical Physics*, vol.39, no.2, pp.988-1000, 2012.
- [10] E. Takahashi, Y. Kawata, N. Niki, Y. Nakano, M. Harada, N. Moriyama, “Computer aided diagnosis for osteoporosis based on vertebral column structure analysis,” *Proc. of SPIE*, vol.8315, pp.831533, 2012.
- [11] H. Suzuki, R. Mizuguchi, M. Matsuihiro, Y. Kawata, N. Niki, Y. Nakano, H. Ohmatsu, M. Kusumoto, T. Tsuchida, K. Eguchi, M. Kaneko, N. Moriyama, “Quantitative assessment of smoking-induced emphysema progression in longitudinal CT screening for lung cancer,” *Proc. of SPIE*, vol.9414, pp.94142O, 2015.
- [12] M. Matsuihiro, H. Suzuki, Y. Kawata, N. Niki, Y. Nakano, H. Ohmatsu, M. Kusumoto, T. Tsuchida, K. Eguchi, M. Kaneko, “Peripleural lung disease detection based on multi-slice CT images,” *Proc. of SPIE*, vol.9414, pp.94142W, 2015.

3次元CT画像を用いた じん肺の重症度診断支援システム

森 奈々*¹ 日野 公貴*¹ 松廣 幹雄*² 鈴木 秀宣*² 河田 佳樹*²
仁木 登*² 加藤 勝也*³ 岸本 卓巳*⁴ 芦澤 和人*⁵

要旨

じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。我国において毎年24万人前後の粉じん労働者がじん肺健康診断を受診している。じん肺診断では胸部単純X線写真を用いているが近年ではCT画像を用いた定量的な診断法が検討されている。本報告では、じん肺CT画像の第0型0/1, 第1型1/0, 第1型1/1, 第1型1/2, 第2型2/2からマニュアル処理によって粒状影を抽出し、じん肺CT画像データベースを作成する。このデータベースを用いてX線写真の診断結果と粒状影の個数・大きさ・重症度別に解析・比較・評価・診断支援システムの開発を行う。

キーワード：CT, CAD, 医用画像処理

1. はじめに

じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。日本の粉じん作業従事労働者数は昭和60年をピークに減少し、平成12年で35万人であったが、近年は約50万人前後で推移しており増加傾向となっている。じん肺が進行すると肺結核・続発性気胸・肺がんなどの合併症に罹患しやすくなるため、健康診断で適切な診断・治療が必要である。

また、じん肺健康診断として胸部単純X線撮影や肺機能検査が実施されている。胸部単純X線写真によって第0型、第1型、第2型、第3

型、第4型に分類され、第1型以上の患者は労災認定となるが第0型の患者は労災認定の対象とならないため正確に診断しなければならない。ここで、近年では胸部CT検査による定量的な診断法が検討されている。本報告では、じん肺CT画像の第0型0/1, 第1型1/0, 第1型1/1, 第1型1/2, 第2型2/2からマニュアル処理によって粒状影を抽出し、じん肺CT画像データベースを作成する。このデータベースを用いてX線写真の診断結果と粒状影の個数・大きさ・重症度別に解析・比較・評価・診断支援システムの開発を行う。

2. 撮影条件と手法

岡山ろうさい病院で診断されたじん肺25症例(0/1-5例, 1/0-5例, 1/1-5例, 1/2-5例, 2/2-5例)を用いて解析を行った。撮影条件を表1に示す。これらのCT画像に(1)じん肺CT画像データベースの作成, (2)粒状影の定量評価を適用した。

*1 徳島大学大学院先端技術科学教育部
〔〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町2-1〕

e-mail: c501938019@tokushima-u.ac.jp

*2 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

*3 川崎医科大学

*4 岡山ろうさい病院

*5 長崎大学

表 1 撮影条件

装置	Aquilion PRIME
管電圧[kV]	120
管電流[mA]	240
スライス厚[mm]	1.0
画素間隔[mm]	0.625, 0.781
再構成間隔[mm]	1.0
再構成関数	FC13-H,FC52

(1) じん肺 CT 画像データベースの作成

(1) - (a) 粒状影のマニュアル抽出

WL500, WW1500 で設定し, Axial 面を用いて右肺尖部, 右肺底部, 左肺尖部, 左肺底部の順で抽出する. 抽出は 2 回行い 1 回目と 2 回目の読影間隔は半年以上と 1 週間を置いた. 1 回目と 2 回目の論理和をマニュアル抽出結果とする.

(1) - (b) CAD を用いた結節の自動抽出

本研究室で開発されている CAD の結節自動抽出結果とマニュアル抽出結果を重ね合わせ新たに見直し, 未抽出の粒状影があればじん肺 CT 画像データベースに追加する.

(2) 粒状影の定量評価

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する. 粒状影の大きさは, 粒状影が球であると仮定して, 体積から求められる直径と定義する. 病型区分の分類に必要な粒状影の大きさと分類数の検討をするために各大きさ別の粒状影数でクラスタリングを行い, クラス数を求める.

3. 結果

第 0 型 0/1 と第 1 型 1/0 の粒状影の抽出結果例を図 1 に示す. 粒状影数を見ると診断結果と一致しない症例があった. 図 2 に粒状影の直径と累積頻度の関係を示す. 重症度に関わらず直径 3mm 以上の粒状影では指数関数的に数が増

加しているが 3mm 以下になると緩やかになる傾向が見られた.

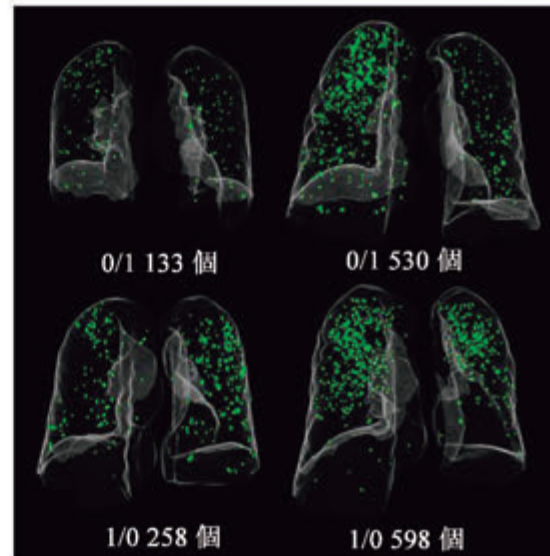


図 1 粒状影の抽出結果

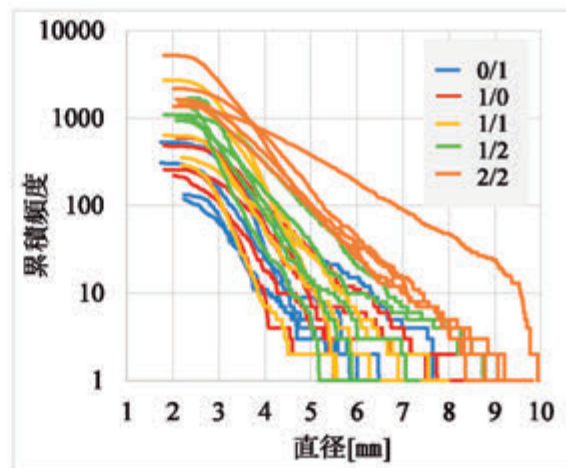


図 2 粒状影の直径と累積頻度

次に, 大きさ別における粒状影数を用いてクラスタリングを行った. 分類結果を X 線写真の重症度分類と比較すると, 3mm 以上では十分に分類できず, 2.5mm 以上の微小な粒状影の検出が必要である. また, CT 分類後の粒状影大きさ別平均 CT 値と, 部位別における粒状影の大きさと個数の関係をそれぞれ図 3, 4 に示す. 2-5mm の粒状影は, 同じ大きさでも分類別に CT 値の差があった. 肺の部位別における粒状影の個数と大きさの関係では 25 症例中 18 症例が上部に粒状影のある割合が高く, 左肺より右肺のほうが多い傾向が見られた.

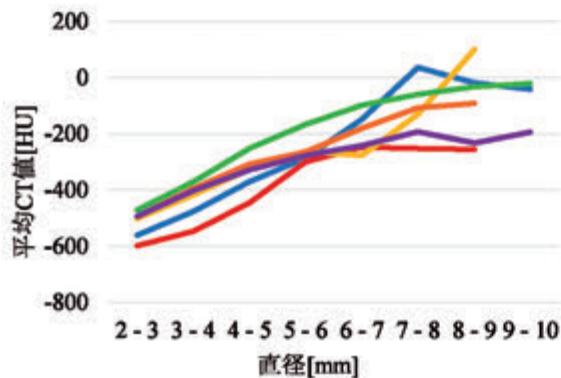


図3 CT分類後における粒状影の大きさと平均CT値の関係

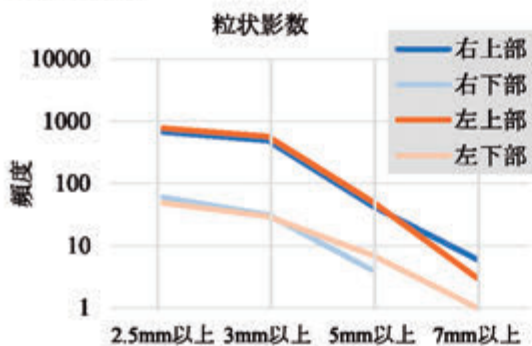


図4 肺の部位別における粒状影の個数と大きさの関係

4. まとめ

じん肺CT画像からデータベースを作成し、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、X線写真の診断結果と比較・評価した。今後の課題として多症例の粒状影を統計解析し、高精度なじん肺診断支援システムの開発を目指す。

利益相反の有無

なし

文献

- [1] H. Suzuki, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer aided diagnosis for severity assessment of pneumoconiosis using CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.9785, pp.978531-1-6, 2016.
- [2] K. Kanazawa, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer-aided diagnosis for pulmonary nodules based on helical CT images, Comput. Med. Imag. Graphics, vol. 22, no. 2, pp. 157-167, 1998.
- [3] Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, et al: Quantitative classification based on CT histogram analysis of non-small cell lung cancer: Correlation with histopathological characteristics and recurrence-free survival, Medical Physics, vol.39, no.2, pp.988-1000, 2012.
- [4] 松廣幹雄, 鈴木秀宣, 河田佳樹, 他: 胸部マルチスライスCT画像における葉間裂抽出法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J.96-D, no.4, pp.834-843, April, 2013.
- [5] 滝島任, 中村雅夫, 千代谷慶三: じん肺患者の呼吸機能検査ハンドブック. 真興交易医書出版部, 1991, P3-10
- [6] 永井厚志編: 呼吸器疾患 第3版. 日本医事新報社, 2015, P241-250
- [7] K. Hino, M. Matsuhiro, H. Suzuki, et al: Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.10575, pp.105753J-1-6, 2018.
- [8] 日野公貴, 松廣幹雄, 鈴木秀宣, 他: 胸部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

A Computer Aided Diagnosis system for pneumoconiosis severity using 3D CT images

Nana Mori^{*1}, Koki Hino^{*1}, Mikio Matsuhira^{*2}, Hidenobu Suzuki^{*2}, Yoshiki Kawata^{*2}, Noboru Niki^{*2}
Katsuya Kato^{*3}, Takumi Kishimoto^{*4}, Kazuto Ashizawa^{*5}

*1 System Innovation Engineering Graduate School of Advanced Technology and
Science The University of Tokushima

*2 Tokushima University

*3 Kawasaki Medical School

*4 Okayama Rosai Hospital

*5 Nagasaki University

Pneumoconiosis is an occupational respiratory illness that occur by inhaling dust to the lungs. 240,000 participants are screened for diagnosis of pneumoconiosis every year in Japan. Radiograph is used for staging of severity rate in pneumoconiosis worldwide. CT imaging is useful for the differentiation of requirements for industrial accident approval because it can detect small lesions in comparison with radiograph. In this paper, we extracted lung nodules from 3D pneumoconiosis CT images by two manual processes and automatic process, and created a database of pneumoconiosis CT images. We used the database to analyze, compare, and evaluate visual diagnostic results of radiographs and quantitative assessment (number, size and volume) of lung nodules. This method was applied to 25 pneumoconiosis patients. Initial results showed that the proposed method can assess severity rate in pneumoconiosis quantitatively. And we analyzed the CT values and the distribution types of result. This study demonstrates effectiveness on diagnosis and prognosis of pneumoconiosis in CT screening. .

Key words: X-ray image, CT, Medical image processing

3次元CT画像による

じん肺のコンピュータ診断支援システム

森 奈々[†] 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^{†‡‡}

[†]徳島大学大学院 先端技術科学教育部 〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町 2-1

[‡]徳島大学大学院 社会産業理工学研究部

^{†‡}川崎医科大学

^{‡‡}岡山ろうさい病院

^{†‡‡}長崎大学

E-mail: [†]c501938019@tokushima-u.ac.jp

あらまし じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。我国において毎年24万人前後の粉じん労働者がじん肺健康診断を受診している。じん肺の診断では単純X線写真を用いているが、近年では単純X線写真に比べて正確に病変を評価することができる3次元CT画像を用いた高精度な診断が期待されている。本研究では、3次元CT画像を用いてじん肺の診断支援システムの開発を目指している。このために、CT画像を用いてじん肺の粒状影を自動抽出し、粒状影の個数、大きさとCT値、分布型を可視化することで定量的な診断を支援する。

キーワード CT, CAD, 医用画像処理, じん肺

1. 背景・目的

じん肺は、粉じんを肺に吸入することによって生じる職業性呼吸器疾患である。日本の粉じん作業従事労働者数は昭和60年をピークに減少し、平成12年で35万人であったが、近年は約50万人前後で推移しており増加傾向となっている。じん肺が進行すると肺結核・続発性気胸・肺がんなどの合併症に罹患しやすくなるため、健康診断で適切な診断・治療が必要である。

また、じん肺健康診断として胸部単純X線撮影や肺機能検査が実施されている。胸部単純X線写真によって第0型、第1型、第2型、第3型、第4型に分類され、第1型以上の患者は労災認定となるが第0型の患者は労災認定の対象とならないため正確に診断しなければならない。ここで、近年では単純X線写真に比べて正確に病変を評価することができる3次元CT画像を用いた高精度な診断が期待されている。そこで本研究では、3次元CT画像を用いてじん肺の診断支援システムの開発を目指している。このために、CT画像からじん肺の粒状影を自動抽出し、粒状影の個数、大きさとCT値、分布型を可視化することで定量的な診断を支援する。

2. 撮影条件と手法

岡山ろうさい病院で診断されたじん肺12症例(CT0/1-8例, CT1/0-3例, CT1/1-1例)と、北海道中央労災病院で診断された44症例(CT0/1-22例,

CT1/0-15例, CT1/1-7例)の合計56症例を用いた。症例別の病型区分と症例数を表1に示し、撮影条件を表2に示す。これらのCT画像から(1)じん肺CT画像データベースの作成、(2)粒状影の定量評価、(3)k-means法による重症度のクラスタリングを行い、医師の診断結果と比較・評価を行った。

表1 病型区分と症例数

岡山ろうさい病院		北海道中央労災病院	
病型区分	症例数	病型区分	症例数
CT 0/1	8 症例	CT 0/1	22 症例
CT 1/0	3 症例	CT 1/0	15 症例
CT 1/1	1 症例	CT 1/1	7 症例
合計	12 症例	合計	44 症例

表 2 撮影条件

データ元	岡山ろうさい 病院	北海道中央 労災病院
装置	Aquilion PRIME	LightSpeed VCT
管電圧[kV]	120	120
管電流[mA]	240	167-698
スライス厚 [mm]	1.0	1.25
画素間隔 [mm]	0.625, 0.781	0.527-0.742
再構成間隔 [mm]	1.0	1.25
再構成関数	FC13-H,FC52	STANDARD

(1) じん肺 CT 画像データベースの作成

じん肺の粒状影は半自動処理で抽出する。まず、粒状影をマニュアル処理で抽出する。抽出は 2 回行い、1 回目と 2 回目の論理和を最終結果とする。次に、本研究室で開発されている CAD を用いて抽出を行う。マニュアル処理で未抽出の粒状影があれば追加し、その結果をじん肺 CT 画像データベースとする。

(2) じん肺の定量評価

じん肺の重症度を粒状影の個数、大きさによって評価する。

(2)-1 粒状影の個数と大きさ

粒状影の大きさは、粒状影が球であると仮定して、体積から求められる直径で定義する。

(2)-2 クラスタリングによる重症度分類

直径 2.5mm 以上、4mm 以上、6mm 以上の粒状影の累積頻度を用いて k-means 法によるクラスタリングを行う。ここで、2.5mm 以上、4mm 以上、6mm 以上の累積頻度には大きな差があるため、それぞれの累積頻度の最大値を 1 として正規化した値を用いて、0/1 と 1/0 の境界を明確にするため 2 クラスに分類を行う。

3. 結果

CT1/0 の粒状影の抽出結果例を図 1 に示す。画像の下に示す個数は直径 2.5mm 以上の粒状影数である。これより、同じ 1/0 でも径の大きい粒状影の占める割合が高いが個数の少ない症例と、径の小さい粒状影の占める割合が高い症例があることが確認できる。

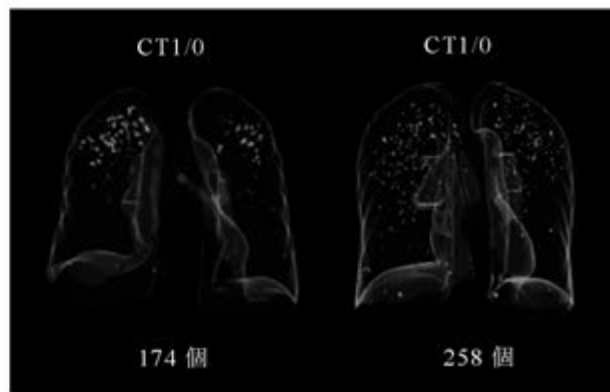


図 1 粒状影の抽出結果

図 2 に粒状影の大きさ別累積頻度を示す。これより、CT0/1 と 1/0 にばらつきがあることが分かる。また、同じ CT1/0 の中に直径が大きい粒状影を多く含む群とそうでない群が存在することが確認できる。

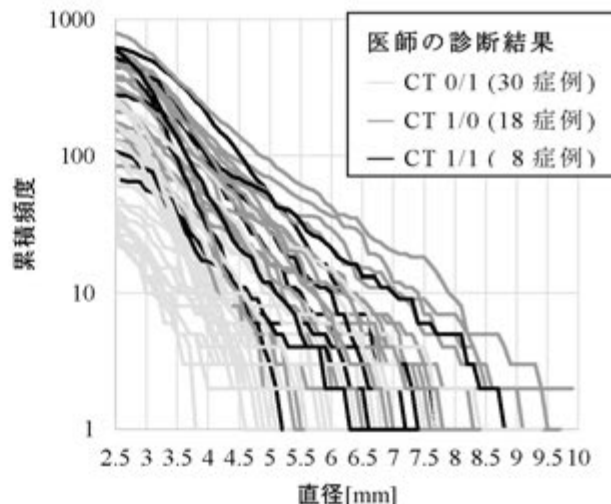
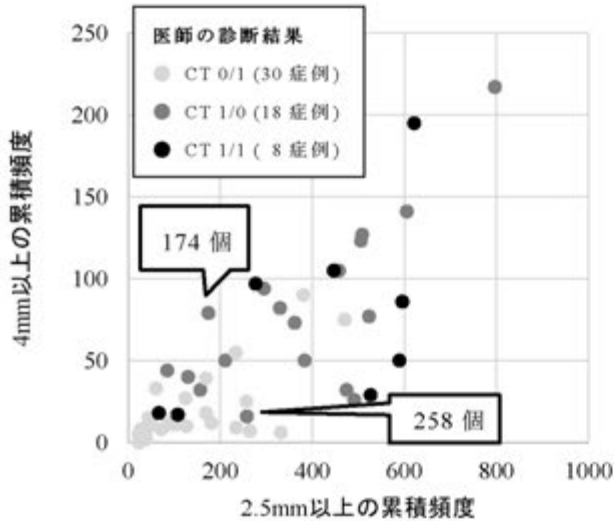


図 2 大きさ別における粒状影数の増加パターン

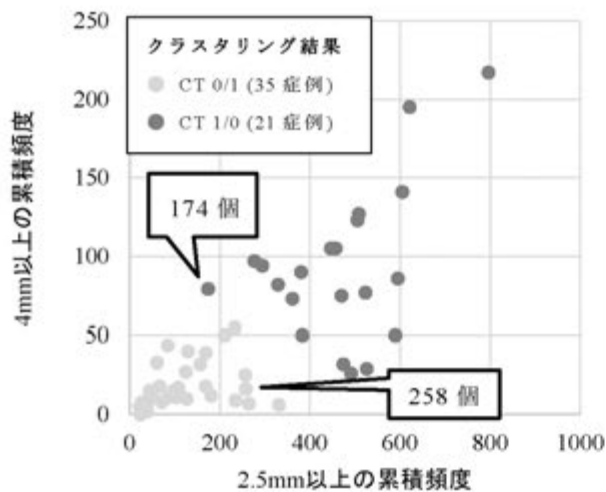
また、図 3 に直径 2.5mm 以上の粒状影数と、4mm 以上の粒状影数の関係を示す。図 3(a)は医師の診断結果による分布で、こちらを見ると診断結果のばらつきが顕著に見られる。また、図 1 で示した 174 個の症例と 258 個の症例は大きく離れた点に位置することが確認できる。(b)はクラスタリング後の分類結果である。これより、クラスタリングを行うことで直径の大きい粒状影を考慮した重症度分類を提示した。

文 献

- [1] 滝島任, 中村雅夫, 千代谷慶三: じん肺患者の呼吸機能検査ハンドブック. 真興交易医書出版部, 1991, P3-10
- [2] K. Kanazawa, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer-aided diagnosis for pulmonary nodules based on helical CT images, *Comput. Med. Imag. Graphics*, vol. 22, no. 2, pp. 157-167, 1998.
- [3] Y. Kawata, N. Niki, H. Ohmatsu, et al: Quantitative classification based on CT histogram analysis of non-small cell lung cancer: Correlation with histopathological characteristics and recurrence-free survival, *Medical Physics*, vol.39, no.2, pp.988-1000, 2012.
- [4] 永井厚志編: 呼吸器疾患 第3版. 日本医事新報社, 2015, P241-250
- [5] H. Suzuki, Y. Kawata, N. Niki, et al: Computer aided diagnosis for severity assessment of pneumoconiosis using CT images, *Proc. SPIE Medical Imaging*, Vol.9785, pp.978531-1-6, 2016.
- [6] K. Hino, M. Matsuhira, H. Suzuki, et al: Quantitative assessment for pneumoconiosis severity diagnosis using 3D CT images, *Proc. SPIE Medical Imaging*, Vol.10575, pp.105753J-1-6, 2018.
- [7] 日野公貴, 松廣幹雄, 鈴木秀宣, 他: 胸部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



(a)



(b)

図3 直径2.5mm以上の累積頻度と4mm以上の累積頻度の関係 (a) 医師の診断結果 (b) クラスタリングによる分類結果

4. まとめ

じん肺CT画像データベースを作成し、粒状影の大きさと個数を定量化し、専門医の診断結果と比較・評価を行い、径の大きい粒状影を考慮した定量的な分類法を提示した。

今後の課題として、専門医と協議の上、定量的病型区分法を確立する。また、高精度な粒状影自動抽出ソフトウェアを開発する。