

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04257

研究課題名（和文）肺炎早期発見のための肺音解析技術の確立と在宅使用可能な聴診支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of Auscultation Support System and Lung Sound Analysis Method for Early Pneumonia Detection

研究代表者

江 鐘偉（Jiang, Zhongwei）

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：60225357

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：高齢者の場合は、体が肺炎にかかっているにもかかわらず自覚症状がなく発熱も起こらないため、風邪くらいと思って病院に行かず放置していつの間にか重症化してしまうことがある。本研究では、肺炎の重症化を予防するために、医師のいない家庭や施設で肺音を聴診し、肺炎の兆候をいち早く発見することに着目して、以下の研究を行った。

肺炎の特徴である捻髪音と水泡音を判別する解析アルゴリズムを開発した。間質性肺炎の臨床データを収集し線維化の状態を分析するためのクラックル可視化方法を開発した。一人でも操作して背中の中を聴取できる無線聴音デバイスを設計・試作、クラウド上で利用可能な肺炎聴診支援システムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の場合は肺炎の早期発見が難しい。体が肺炎にかかっているにもかかわらず自覚症状がわかりづらく、発熱も起こらないからである。また、病院に行かず発見が遅れたり、風邪だと誤認識または誤診されたりすると、いつの間にか重症化してしまうことがある。それに加えて、特養や老人ホームなどに入所されている高齢者は、肺炎の集団感染になりやすい。もし、外来診察時で行っている問診と聴診が自宅や施設で行い、肺炎の兆候であるクラックルを可視化することができれば、肺炎の重症化または感染拡大の予防に寄与する。また、間質性肺炎には炎症性変化と線維化所見によって治療方法が異なるため、肺音の聴診である程度判断できれば治療効果が高まる。

研究成果の概要（英文）：For the elderly, even if they have pneumonia, since there are no subjective symptoms and no fever, they may think it is just a cold and leave it alone without going to the hospital. In this study, the following researches were conducted with a focus on detecting signs of pneumonia as early as possible by auscultating lung sounds at home or in a facility event without a doctor in order to prevent the aggravation of pneumonia.

An analysis algorithm is developed for detect the coarse crackles and fine crackles that are basic characteristic of pneumonia. The clinical data of interstitial pneumonia were collected at university hospital and a method of visualization of crackles for analyzing the state of fibrosis.

A wireless sound recording device was designed and prototyped which becomes possible even for one person to operate and listen to his/her back lung sounds. Further, a pneumonia auscultation support WEB API was built for collecting and analyzing lung sounds in the cloud.

研究分野：機械力学およびメカトロニクス関連

キーワード：肺音の解析 クラックルの検出 間質性肺炎 クラックル特徴の可視化

1. 研究開始当初の背景

厚労省資料によると昭和50年代ころより肺炎による死亡率は、人口の高齢化により一貫して上昇し平成29年には死因別では第3位を占めている。年齢別の死亡率で見ると、60歳代が5位、70歳代が4位、80歳代が3位、90歳代が2位と、年齢を重ねるほどに肺炎による死亡率が増えている。肺炎による死亡率を低減させるには、肺炎の早期発見と予防が重要である。

肺炎の種類を感染した組織で大別すると、肺胞性肺炎と間質性肺炎がある。肺胞性肺炎の場合、早期から治療をすれば、特に目立った後遺症もなく、完治が期待できることがある。肺胞性肺炎は、風邪やインフルエンザをこじらせたりしたとき、または、体の抵抗力(体力や免疫力)が低下した時に、細菌やウイルスの感染によって起こるケースが多い。特に高齢になるほど抵抗力が低下しているにもかかわらず、風邪くらいと思ってお断して放置していると、急速に悪化して呼吸困難を引き起こし、死にいたることもある。間質性肺炎は、肺胞を支えている(包み込んでいる)間質に強い炎症を起こすことに起こる病気で、その原因は関節リウマチなど膠原病による場合が多いが、喫煙との関連性も高いと言われている。症状が治まっても、間質自体が線維化したり肥厚したりしてしまうことがあり、結果的に呼吸困難の状態が続く。さらに間質性肺炎は、治療薬の副作用、例えば、一般用風邪薬の副作用をきっかけとして、急激に病状が悪化することもある。肺炎の種類によって処方される治療薬が異なるので、肺炎の状態を正しく診断することが重要である。

肺炎の診断プロセスを簡単に述べる。まず問診を受ける。特にここ数日間の自覚症状について聞かれる。次に、医師による聴診を行う。医師は、呼吸に伴う肺の音を聞き分け、肺に雑音がないかを確認する。肺炎を発症していると、肺炎の特徴的なパチパチ、パリパリという捻髪音、肺の中に水が溜まっていれば、ブクブク、グーグーという水泡音が聞こえる。この時点で、肺炎かもしれないという推測がされた場合は、さらに画像診断、血液検査、呼吸機能検査を行う。

一方、高齢者の場合は肺炎の早期発見が難しい。体が肺炎にかかっても自覚症状がわかりづらく、発熱も起らないからである。また、病院に行かず発見が遅れたり、風邪だと誤認識または誤診されたりすると、いつの間にか重症化してしまうことがある。それに加えて、特養や老人ホームなどに入所されている高齢者は、肺炎の集団感染になりやすいというケースもある。もし、外来診察時で行っている問診と聴診が自宅または高齢者施設で簡単にスクリーニングができれば、肺炎の発症兆候をいち早く発見し、肺炎の重症化または感染の拡大を予防することに寄与する。

2. 研究の目的

前述のように呼吸に伴う肺の音を解析し、肺炎の特徴的な音を抽出・分析する技術を確立し、肺炎の状態を常時にモニタリングできる聴診支援システムを開発できれば、高齢者を抱える高齢者施設や一般家庭において肺炎の発症兆候をいち早く発見し、手遅れになることを防ぐことができ、健康長寿社会の実現の一翼を担うことができると考えられる。

本研究では、肺炎の重症化を予防するために、医師のいない家庭や施設で肺音を聴診し、肺炎の兆候をいち早く発見することに着眼して、肺炎の特徴クラックルを検出するため肺音解析技術ならびにクラックル可視化方法を確立すること、医師のいない一般家庭や施設でも使用可能な呼吸音を聴取する聴診支援システムを開発することを目指している。

3. 研究の方法

Flietstraら[1]の研究では、肺音のクラックル波形のパラメータとして、ピークの振幅、持続時間(クラックルのピッチ)と1呼吸当たりのクラックルの数は、統計的に病状との相関性があるものの、算出されたパラメータの値にばらつきがかなり大きく、そのまま診断を下しにくい。これは、聴音センサの当て方や聴音箇所、患者の姿勢とその時の状態によっても、クラックルの波形が異なってくることにある。我々の研究では、同一細菌性肺炎患者に対して3M社の電子聴診器の聴診モードを換え、拡張モードとダイアフラムモードで測定した肺音波形を分析したところ、聴診モードの違いだけでも波形に微妙な違いが現れ、算出されたクラックル波形のピーク振幅やピッチがかなり異なってくるのが分かった。

本研究では、スペクトル推定局所化アルゴリズムを導入したスペクトログラム結果を分析したところ、聴診モードの違いによる影響が少なく、クラックル波形の立ち上がりと持続時間を比較的容易に確認できることを発見し、スペクトル推定局所化アルゴリズムに基づくクラックルの抽出アルゴリズム、肺炎の特徴的な音を見える化技術を開発した。

また、本研究の実施期間は新型コロナウイルス感染症の拡大期間と重なっているため、自宅療養または宿泊施設療養中の感染者が増え、容体が急変し、死亡するケースも多くあった。本研究では、自宅療養中の状態を把握するためのWEBアプリを設計・開発した。本アプリは、体温や血中酸素飽和濃度の記録と表示機能、呼吸音データをアップロードする機能、呼吸音を再生する機能と呼吸音解析機能を備えているデモ版を作成した。また、専門医のいない自宅または施設で背中呼吸音を聴取するワイヤ電子聴音デバイスを試作設計した。

さらに、フレイル高齢者は、フレイル無しの高齢者と比較して約1.9倍肺炎にかかりやすく、1.8倍重症化しやすいという新潟大学の研究成果から、高齢者の弱まり状態（フレイル）を把握することで診断精度の向上につながることに着目して、IoT技術を活用して、「6分間歩行テスト」を自動計測するデバイスと、身体的な弱まり状態を判別する方法の開発も合わせて試みた。

4. 研究成果

聴診で捉える肺炎の徴候であるクラックルは、コースクラックルとファインクラックルに大別され、コースクラックルは低聴音(250~500Hz)で持続時間が10~25msecと短く、吸気の初期に発生するためearly inspiratory cracklesともいわれ、肺胞性肺炎、気管支拡張症、COPD、DPB、進行した肺水腫などで聴取される。ファインクラックルは高調音(500~1000Hz)で持続時間が5msec以下で、ほとんどが吸気終末に聴取されるため、late inspiratory cracklesといわれ、間質性肺炎(IIPs、IPF、石綿肺、過敏性肺炎)、肺水腫初期などで聴取される[2]。

本研究では、呼吸音データに対して、スペクトル推定局所化アルゴリズムを導入し、クラックルの特徴に合わせて適切な周波数分解能と時間分解能を調整できる解析プログラムを開発した。本プログラムを利用することでクラックルを精度よく検出することに成功した。また、算出されたクラックルにおける高調音成分と低調音成分の重みから、コースクラックルかファインクラックルかを判別できることが分かった。例えば、図1に示されたようにコースクラックルの場合は低調音成分が主に占めていることと対照に、ファインクラックルの場合は、高調音成分が高くなることを視覚的にわかるようにした。

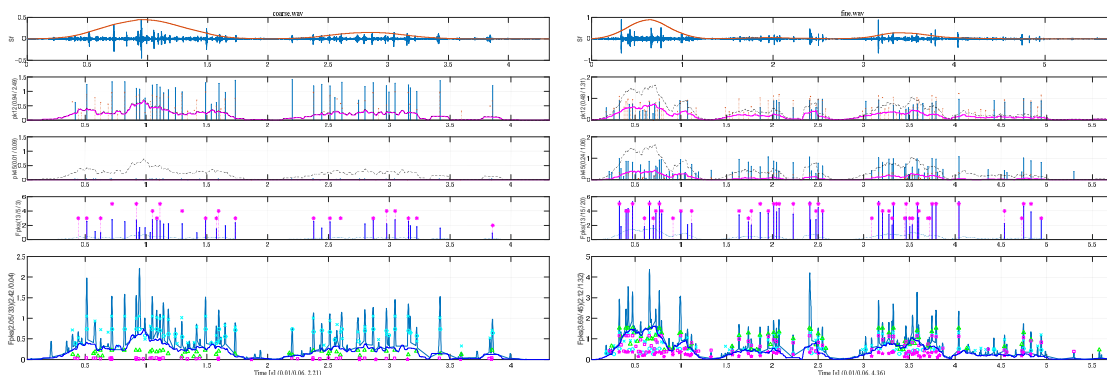


図1：コースクラックル（左）とファインクラックル（右）の例。上から順に呼吸音波形、クラックル低調成分、クラックル高調成分、クラックルの周波数帯域と強度特徴、クラックルと呼吸の特徴波形を示す。

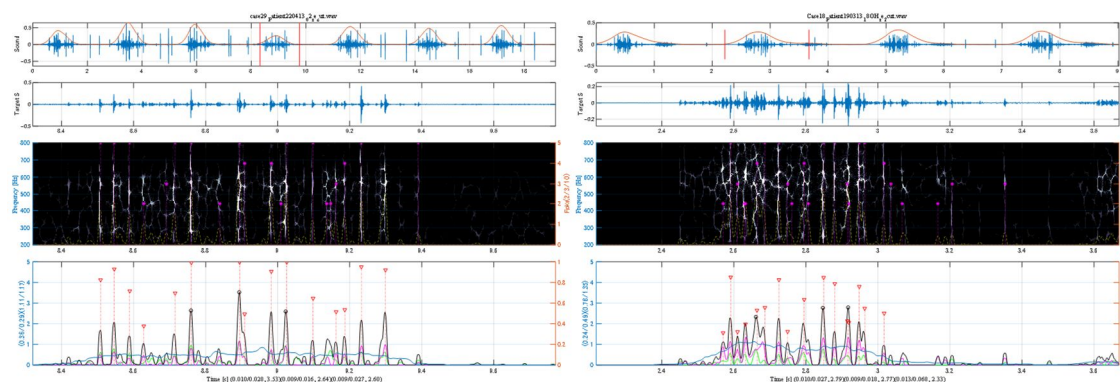


図2：炎症がメイン（左）と線維化がメイン（右）の例。上から順に呼吸音波形、切り出した1吸気の音声波形、スペクトル推定局所化アルゴリズムを適用したクラックルの可視化イメージ図、対応のクラックルと呼吸の特徴波形を示す。

さらに、山口大学附属病院にて、間質性肺炎で入院した患者の同意を得たうえ、56 例の聴診データを聴取した。症例を CT 画像ならびに医師の診断により主に 4 つのグループ、「炎症がメイン」、「炎症優位」、「線維化がメイン」、「線維化優位」に分類し、聴音データの可視化を試みた。炎症がメインまたは炎症優位の場合（図 2 左）、ファインクラックルの低調成分の割合が高めになる場合が多く、吸気初めと吸気の終末に周波数帯域の広いクラックルが現れる。線維化がメインまたは線維化優位の場合（図 2 右）、吸気の中部に高調成分の割合が高いクラックルが見られる。本研究では、さらにこれらのクラックルの特徴を特徴値パラメータとして数値化し、クラスタ分析によりこれらの特徴値パラメータの妥当性を検証した。本研究成果をさらなる多くの臨床データに適用することで、聴音データから間質性肺炎における炎症性変化または線維化所見をある程度予測・判定することが可能であり、初期治療に有用と考えられる。

また、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、自宅療養または宿泊施設療養中の感染者が増えることに対して、自宅や施設で聴取された呼吸音を解析サーバにアップロードし、医師が遠隔で呼吸音を再生しながら、可視化の解析結果と合わせて診断することのできる健康チェック WEB アプリのデモ版を設計試作した。合わせて、専門医のいない自宅または施設でも背中の呼吸音を聴取するワイヤ電子聴音デバイスを試作し、外来患者に実際に使用してその動作の確認を行った。

さらに、フレイル高齢者は、フレイル無しの高齢者と比較して約 1.9 倍肺炎にかかりやすく、1.8 倍重症化しやすいという新潟大学の研究成果から、高齢者の弱まり状態（フレイル）を把握することで診断精度の向上につながる可能性があると考え、本研究では IoT 技術を活用して、「6 分間歩行テスト」中の歩行状態を自動計測するシステムを試作し、フレイル・プレフレイルを判別する解析アルゴリズムを開発した。日本語版フレイル基準（J-CHS 基準）にほぼ近い結果が得られた。今後歩行テスト時の呼吸音も同時に計測するデバイスを開発して、フレイルと呼吸機能の低下の関係性を詳細に調べていきたい。

< 引用文献 >

[1] B. Flietstra, N. Markuzon, A. Vyshedskiy, and R. Murphy, “Automated Analysis of Crackles in Patients with Interstitial Pulmonary Fibrosis”, *Pulmonary Medicine*, Volume 2011, Article ID 590506, 7 pages, doi:10.1155/2011/590506

[2] 聴診とラ音、<https://pulmonary.exblog.jp/17157429/>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Wang Lurui、Jiang Zhongwei | 4. 巻 2023 |
| 2. 論文標題 Tidal Volume Level Estimation Using Respiratory Sounds | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Healthcare Engineering | 6. 最初と最後の頁 1~12 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2023/4994668 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|----------------------------|
| 1. 著者名 Lurui Wang, Zhongwei Jiang, Yue Wang | 4. 巻 Volume 10, Issue 1 |
| 2. 論文標題 Data Sharing Method for Heterogeneous Medical and Health Databases with Blockchain Technology | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Engineering Innovation and Management | 6. 最初と最後の頁 8-13 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 張 芸金、江 鐘偉、森田 実、土居 恵子、平野 綱彦、松永 和人 |
| 2. 発表標題 6分間歩行テストによるフレイル判別方法の開発 |
| 3. 学会等名 日本機械学会 日本機械学会 2022年度年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yunjin Zhang, Zhongwei Jiang, Keiko Doi, Tsunahiko Hirano, Kazuto Matsunaga |
| 2. 発表標題 Development of a novel 6MWT measuring system and evaluation method for lower limb function |
| 3. 学会等名 International Conference on Innovative Research and Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Luirui Wang, Zhongwei Jiang |
| 2. 発表標題 Overnight Breath and Heart Sound Monitoring with Agglomerative Hierarchical Clustering Method |
| 3. 学会等名 International Conference on Innovative Application Research and Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroki Kinoshita, Zhongwei Jiang, Minoru Morita, Takumi Nunokawa |
| 2. 発表標題 Development of Force-Balance Plate Sensor System for SS-5 Test |
| 3. 学会等名 International Conference on Innovative Application Research and Education (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 布川拓海、江 鐘偉、森田 実、浅見麻紀、松永和人 |
| 2. 発表標題 肺炎聴診システムと解析方法の研究開発 |
| 3. 学会等名 日本機械学会九州支部第73期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|---|-------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 フレイル判定支援装置とフレイル判定支援プログラムとフレイル判定支援方法 | 発明者 江 鐘偉、平野 綱彦、松永 和人 | 権利者 山口大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-036561 | 出願年 2021年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 森崎 哲也 (Morisaki Tetsuya) (30425392) | 宇部工業高等専門学校・機械工学科・教授 (55501) | |
| 研究分担者 | 浅見 麻紀 (Asami Maki) (60808187) | 山口大学・医学部附属病院・講師 (15501) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |