

貯痰時に副雑音に含まれる特徴量の解析

吉満孝二¹⁾, 千種芳幸²⁾, 平嶋佑太郎³⁾, 丸田道雄⁴⁾

要旨：本研究は喀痰を吸引する最適なタイミングの識別目安として、貯痰の過程で肺の副雑音に含まれる音響学的特徴量を抽出するため2つの実験を行った。まず実験1では吸引直前、吸引直後、平常時の咽頭隆起遠位部の音声データから、吸引直前にのみ出現する1.2kHzの特徴量を抽出することができた。実験2では特徴量の教師データを作成し、同一個人内の吸引直前の音声データとの相関を調べたところ、0.95以上の高い相関を示した。以上の結果より、特定個人内で吸引の目安となり得る特徴量を抽出することで排痰直前と直後を区別できる可能性が示された。今後、高い相関を持つデータの出現をモニタすることで、最適な吸引タイミングを推定できるかもしれない。なお、今回示した特徴量は対象の体格、疾患により変化する可能性があるため、今後は様々な対象の副雑音の解析を行う必要がある。

キーワード：副雑音、喀痰吸引、予測、音響解析

【緒言】

慢性閉塞性肺疾患（COPD：chronic obstructive pulmonary disease）は慢性気管支炎や肺気腫等の肺疾患の総称であり、労作時の呼吸困難、慢性咳嗽、慢性喀痰を呈する¹⁾。平成29年度の男性の死亡原因の第8位であり、死亡率は年々増加している²⁾。日本人の40歳以上の約530万人（8.6%）、70歳以上では約210万人がCOPDに罹患していると考えられ、また厚生労働省の調査によると、未受診または診断されていないCOPD患者は500万人以上存在すると考えられている^{3,4)}。安定期のCOPD患者に対しては薬物療法や呼吸リハビリテーションに加え、排痰ケアとして気道吸引が実施されるが、介護者の吸引経験年数の多寡により吸引の必要性の判断に差が出るとの指摘⁵⁾や吸引記録の情報共有や吸引タイミングの遅れなどヒヤリハット事例の報告⁶⁾がみられる。喀痰に関連する副雑音の音響的解析を行った研究には咳嗽音を音声と雑音に識別する研究⁷⁾や咳嗽の特徴抽出を試みた研究⁸⁾があり、音響解析という手法を用いて自動的に咳嗽数がカウントできる可能性が示されている。本研究も

同様に肺音の音響解析を行ったが、介護者の身体的負担と被介護者の介護負担の軽減のため、日常は介護者が聴診や目視で判断している最適な吸引のタイミングを自動で検知できる機器開発を目的とし、咳嗽音そのものの識別ではなく、貯痰時に出現する音響的特徴量が抽出できないかを検討した基礎的研究である。

【方法】

対象は70歳代後半男性で、慢性気管支炎、脊髄小脳変性症、多系統萎縮症、パーキンソン症候群、アルツハイマー型認知症の現病歴があり、1日に10数回の喀痰吸引を必要とする患者で、気管切開はしていなかった。

本研究では対象に対して以下の2つの実験を行った。

（実験1）

対象の喉頭隆起から一横指遠位に咽喉マイク SH-12jKL（南豆無線電機社製、本機は接触式、エレクトリックコンデンサ型で、特性は-40dB～-45dB、200Hz～3kHz、以下マイクと略）を設置し、リニアPCMレコー

¹⁾ 鹿児島大学 医学部保健学科 作業療法学専攻 基礎作業療法学講座

²⁾ 株式会社 YouCare

³⁾ 医療法人玉昌会 高田病院

⁴⁾ 医療法人三州会 大勝病院

連絡先：吉満孝二

鹿児島市桜ヶ丘8-35-1

Tel/Fax 099-275-6805

e-mail: yoshimitsu@health.nop.kagoshima-u.ac.jp

ダー LS-P4 (OLYMPUS 社製) を用いて咽喉部の副雑音を録音した (図 1 参照)。また音声編集には Audacity 2.3.0 (Audacity 社製), 音響解析には WavePad (NCH 社製) を用いた。実験 1 では対象の副雑音の分類に有用なひな形を作成するために, 音声データから貯痰時の連続性ラ音を取得し, その他の副雑音から貯痰の過程で出現する特徴量をふり分けを目的とした。なお, 音響解析には対象の咽頭隆起遠位部に設置したマイクから取得した吸引直前, 吸引中, 吸引直後, 平常時 (2 回の吸引の中間時) の音声データを使用した。

(実験 2)

実験 1 の結果より, ある特定の周波数を特徴量として採用することで, 連続性ラ音を抽出できるのではないかという仮説を立てた。実験 2 では, 音響特性の類似性の検討を行う際にごく一般的に用いられる手順^{9,10)}, すなわち副雑音に含まれる複雑な波形を単純な波形に分解し (高速フーリエ変換), それらの特徴量を定量的に示す手法 (スペクトル解析) を用いた。まず, 取得した音声データを再生しつつ, 貯痰時に出現する連続性ラ音が入っている一呼吸分 (1 秒程度) をサンプルとし, 連続性ラ音一つ分 (約 25ms) を含む約 50ms の範囲 (2048 データ) を高速フーリエ変換し, 吸引直前と吸引直後もしくは平常時で定量的な差がでるかどうかを比較した。そのためにまず楽曲の類似性の判定や歌手の同定などの音響解析に利用されているメル周波数スペクトログラムという特徴量を使用し, さらに音声データの間引きや一部を補完処理すること (フィルタバンク) で高速フーリエ変換の結果を圧縮し, 特徴量とする。次に吸引直前の特徴量を教師データ (いわゆる参考値) とし, 教師データと他の音声データの相関係数を算出した。そして相関係数が高いもの ($r \geq 0.9$) を, 貯痰を示す特徴量として抽出した。これにより, 吸引直前と吸引直後の差異を特徴量として抽出可能だと考えた。

本研究は対象者と代諾者に口頭と文書で研究の説明をし, 代諾者より文書で同意を得た。実施場所となった医療法人の倫理審査委員会の承認を得て実施した (承認番号 H30-7)。



図 1 機材と録音の様子

【結果】

(実験 1) 吸引前の音声データの特徴の抽出

マイクを用いて取得した音声を, 看護師による吸引タイミングを境に吸引直前, 吸引直後に分割し, 呼吸 1 回あたり 1 データとし, 吸引直前を計 7 データ, 吸引直後を計 10 データ, 平常時 (2 度の吸引の中間時) を計 26 データに整理した (表 1)。

表 1 A 氏の頸部における音声データ

ファイル名	取得時間 (s)	属性 (Hz/ch/bit)	データ数
(a) 吸引直前1_181206_0233.wav	194.568	44100/2/16	3
(b) 吸引直前2_181206_0234.wav	218.745	44100/2/16	4
(c) 吸引中181206_0235.wav	333.928	44100/2/16	-
(d) 吸引直後1_181206_0236.wav	424.72	44100/2/16	6
(e) 吸引直後2_181206_0237.wav	243.184	44100/2/16	4
(f) 平常時2_181206_0238.wav	1720.345	44100/2/16	21
(g) 平常時2_181206_0239.wav	426.924	44100/2/16	5

図 2 に吸引直前の音声データ (a) の一区間を指定して高速フーリエ変換を実施した結果を示した。サンプルで指定した 2 つのグラフで 500Hz, 1.2kHz, 2kHz, 2.7kHz 付近にピークがみられた。図 3 は吸引直後 (e) と平常時 (f) の音声データの一部をサンプル指定し, 解析した結果である。2kHz, 2.7kHz でピークが観察され, また 500Hz にもゆるやかなピークが出ているが, 1.2kHz 部分にはピークは見られなかった。この傾向は図 4 吸引直前 (b), 吸引直後 (d) をサンプル解析した場合でも同様であった。なお, 図 3 吸引直後 (e) と平常時 (f) では 2.7kHz のピークが残存しているが, 図 4 吸引直後 (d) では 2.7kHz のピークが消失していた。2.7kHz の変化には再現性がないと考え, 今回は吸引直前の副雑音の特徴量として 1.2kHz に着目した。

(実験 2)

実際の副雑音を聞きながら特徴量の傾向を視認し, 実験 1 で使用した 1.2kHz 付近の音声データをスペクトル解析し, 教師データを生成した。さらに吸引直前と吸引直後の特徴量についてメル周波数スペクトログラムを算出し, 教師データとの統計的な検定を行った。

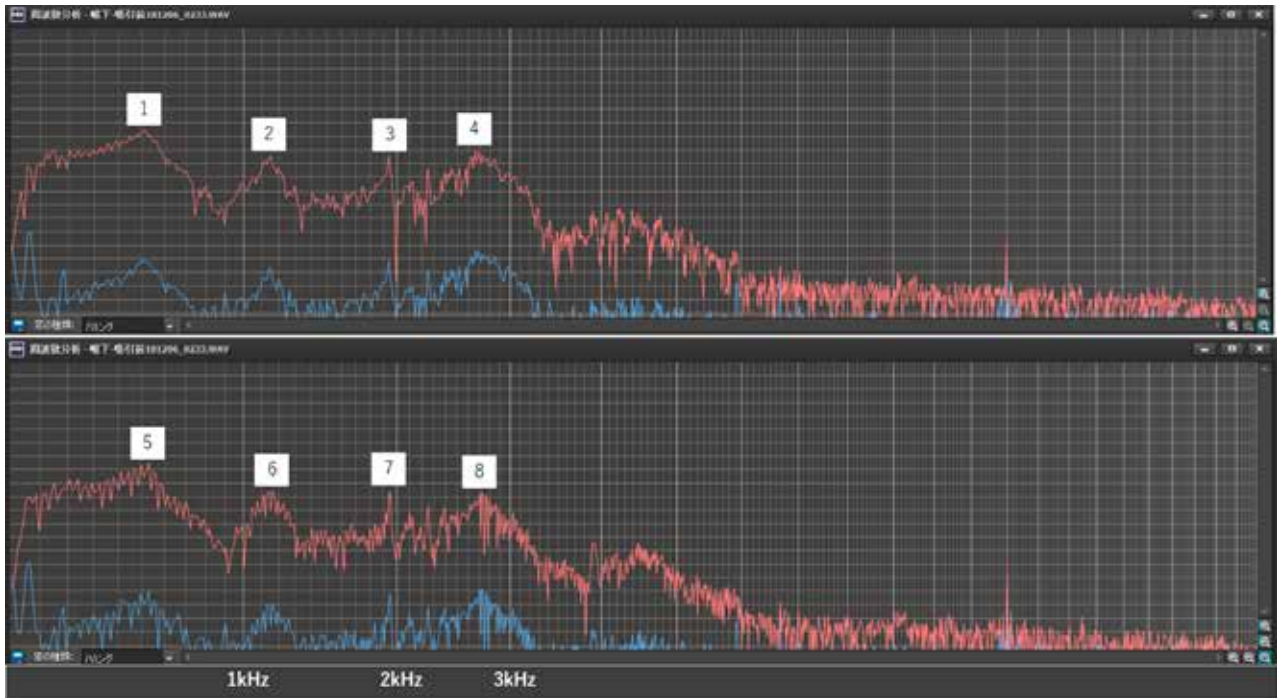


図2 吸引直前の音声データ (a)

グラフの縦軸は音圧 (dB)、横軸は周波数 (Hz) を示す。

主なピークのデータ：1) 509Hz, -45dB, 2) 1,149Hz, -57dB, 3) 1,936Hz, -56dB, 4) 2,673Hz, -54dB
 5) 527Hz, -45dB, 6) 1,158Hz, -56dB, 7) 1,942Hz, -57dB, 8) 2,724Hz, -58dB

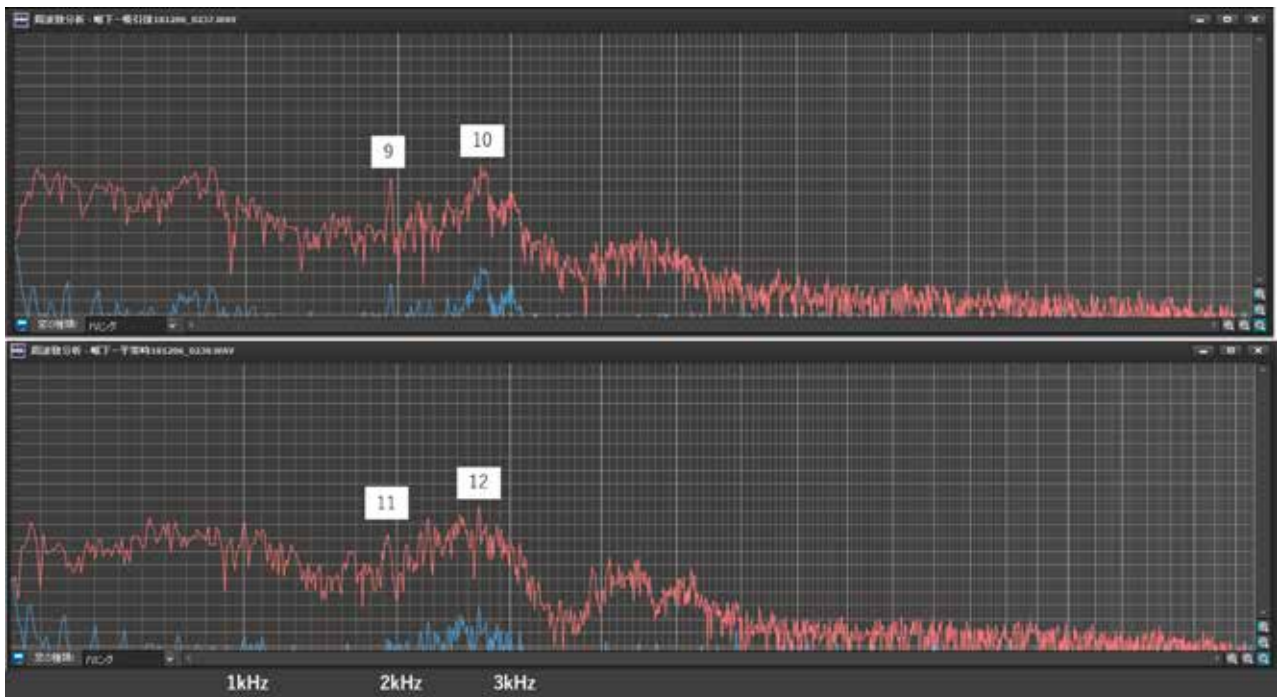


図3 吸引直後 (e) と平常時 (f) の音声データ

グラフの縦軸は音圧 (dB)、横軸は周波数 (Hz) を示す。

主なピークの音響データ：9) 1,942Hz, -65dB, 10) 2,717Hz, -59dB, 11) 1,930Hz, -75dB, 12) 2,695Hz, -63dB

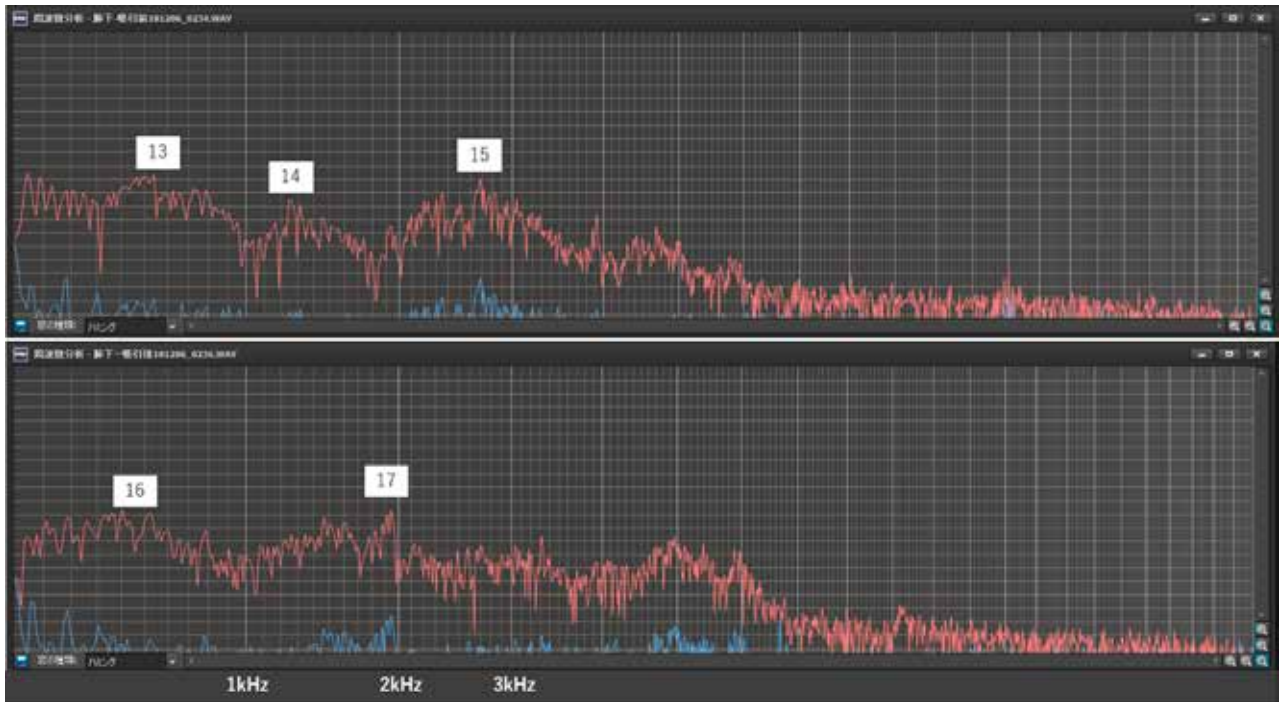


図4 吸引直前 (b) と吸引直後 (d) の音声データ
 グラフの縦軸は音圧 (dB)、横軸は周波数 (Hz) を示す。
 主なピークの音響データ : 13) 537Hz, -63dB, 14) 1,252Hz, -74dB,
 15) 2,688Hz, -66dB, 16) 520Hz, -65dB, 17) 1,942Hz, -63dB

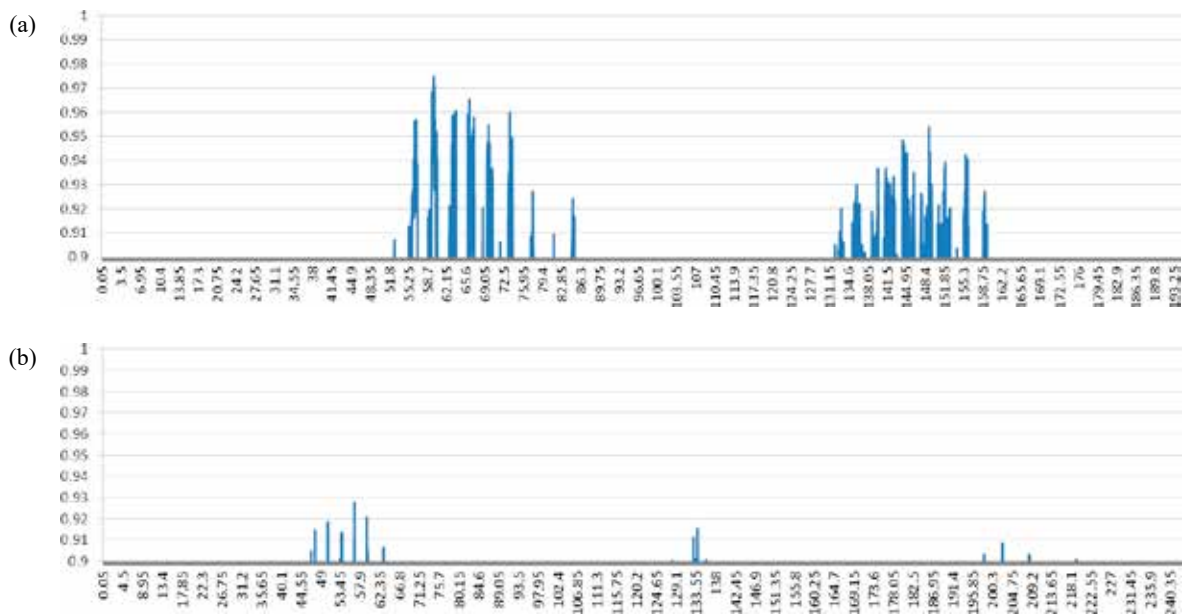


図5 個人内差の評価 吸引直前 (a) と吸引直後 (b)
 縦軸は相関係数 (r)、横軸は時間 (s) を示し、 r が0.9以上の箇所のみ表示した。
 (a) は吸引直前、(b) は吸引直後の波形との相関である。

吸引直前のデータの結果 (典型例) は図 5 (a) に示した。連続性ラ音が明確に聞こえる部分については相関係数 $r \geq 0.95$ の高い相関が得られた。次に吸引直後のデータの結果 (典型例) は図 5 (b) に示した。その結果、 $r >$

0.9 の高い相関を示すデータが吸引直前のデータより極めて少なく、特に $r \geq 0.95$ を示すデータはなかった。以上より実験 2 で生成した教師データを元にして、高い精度で連続性ラ音が検出できる可能性があることが分かつ

た。

【考察】

今回、本研究は最適な吸引タイミングの識別目安として副雑音に含まれる音響学的特徴量を抽出するために2つの実験を行った。実験1では吸引直前、吸引直後、平常時の咽頭隆起遠位部の音声データから、吸引直前のみ出現する1.2kHzの特徴量を抽出することができた。実験2では実験1で使用したデータから教師データを作成し、同一個人内の吸引直前の音声データとの相関を調べたところ、確かに $r \geq 0.95$ の高い相関を示した。肺音の音声データを用いて貯痰時の特徴量の抽出を検討した研究⁹⁾によると、「貯留している喀痰の量により発生する副雑音の大きさがかわるため、貯留物の量が少なく副雑音が小さいと喀痰の未検出が起きてしまう」との指摘があり、本検討でも教師データと相関が高い特徴量が未検出であれば吸引の緊急性は高くないと考える。さらに1.2kHzの特徴量を教師データとし、それ以外のデータとの相関($r \geq 0.9$ または0.95)を見ることにより、特定個人内で排痰直前と排痰直後を区別することができた。類似の研究として山下らの取り組み¹⁰⁾があり、貯痰時の特徴量を抽出しているが、市販の看護師向け肺音CDの音声データを教師データとして用いて特徴量を抽出した点で本研究とは異なっている。今後、吸引タイミングを最適化して介護者に通知する介護ロボットを開発する上で、特徴量の抽出を行うプログラムには微調整機能を設け、対象の体調や症状の変化に合わせての仕組みが不可欠になると考えている。本研究の結果を臨床や在宅で応用するためには、対象の体格や排痰にかかる筋力の違い、喀痰の粘度、気管切開の有無、疾患の重症度別に検討する必要がある。

【結語】

本研究は介護者による吸引タイミングの判断について、気道の副雑音に含まれる特徴量から自動的に判断する方法を検討した基礎的研究である。本研究から得られた知見で特に有用な点は自己の音声データから教師データを生成でき、理論上個々に応じた貯痰時の特徴量を抽出できたことにある。本研究の方法で得られた特徴量と高い相関を持つデータの出現頻度をモニタすることで、最適な吸引タイミングを推定する可能性がある。

【謝辞】

今回、呼吸音、副雑音の収録にご協力いただいた被験者の方、職員の皆様、同協議体のメンバーとして助言をいただいた株式会社ひばりラボの谷口勇作氏、株式会社楽研の青木孝之氏に深く感謝いたします。

利益相反

本研究は全て厚生労働省の平成30年度介護ロボットのニーズ・シーズ連携協調協議会設置事業の助成を得て行った。記載すべきCOIはない。

【引用文献】

- 1) 福地義之助, 永井厚志, 三嶋理晃, 他. 慢性閉塞性肺疾患のためのグローバルイニシアティブ日本語版. 慢性閉塞性肺疾患の診断, 治療, 予防に関するグローバルストラテジー. 2011年改訂版, メディカルレビュー社, 東京, 2012, pp2-6.
- 2) 厚生労働省. 平成29年(2017)人口動態統計(確定数)の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei17/index.html>. Published 2017. Accessed January 6, 2019.
- 3) 厚生労働省. 平成26年(2014)患者調査の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/14/index.html>. Published 2015. Accessed January 6, 2019.
- 4) 山本羊子, 大村忠行, 澤村千佳子, 他. 慢性閉塞性肺疾患(COPD)患者の日常生活の実態調査—LINQを用いて—. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌2016; 26(2): 233-237.
- 5) 安森由美, 中岡亜希子, 前田勇子. 看護師の人工気道吸引の実態. 甲南女子大学研究紀要 2009; 3: 121-128.
- 6) 三菱総合研究所. 介護職員等喀痰吸引等制度の安全管理体制等の確立に関する調査研究事業報告書. <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12300000-Roukenkyoku/0000140385.pdf>. Published 2015. Accessed January 6, 2019.
- 7) 村田朗, 工藤翔二, 渋谷敦夫, 棚橋ひとみ, 太田奈緒. 咳嗽音の波形の特徴と識別法の研究. 薬理と臨床2001; 11(4): 81-87.
- 8) 道幸成久, 辻村肇, 松村雅史. 咽喉マイクロフォンによる高齢者の咳嗽の無拘束モニタリング: MSP430搭載カードサイズデータ収集システム. 信学技報2012; 112(101): 27-30.
- 9) 正田備也, 喜安千弥, 宮原末治. 肺音分類のためのスペクトル分離とロバストな類似度判定による特徴量抽出. 日本データベース学会2008; 6(4): 33-36.
- 10) 山下達也, 田村哲嗣, 速水悟, 他. 実環境における喀痰検出と肺音解析. 薬理と臨床 2012; 22(2): 69-74.

Analysis of Characteristic Sounds Included in the Adventitious Sounds During a Phlegm Accumulates

YOSHIMITSU Koji¹⁾, CHIGUSA Yoshiyuki²⁾, HIRASHIMA Yutaro³⁾, MARUTA Michio⁴⁾

- 1) Department of Basic Occupational Therapy, School of Health Sciences,
Faculty of Organization: Medicine, Kagoshima University
- 2) YouCare Co. Ltd
- 3) Takata Hospital
- 4) Okatsu Hospital

Address Correspondence to: YOSHIMITSU Koji
8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima City, 890-8544, Japan
Tel/Fax: 099-275-6805 e-mail: yoshimitsu@health.nop.kagoshima-u.ac.jp

ABSTRACT: This study conducted two investigations to extract the quantity of acoustic features of the adventitious sounds of lung as an identification guide for suitable timing of suction. In the preliminary investigation of the sound data immediately before suction, immediately after suction, and at the distal part of the pharyngeal prominence during normal periods, we could extract a 1.2kHz characteristic sound that appeared only immediately before suction. Next, we created teacher data from the data used in the preliminary investigation. When we investigated with sound data immediately before suction within the same individual, there was a definite high correlation of 0.95 or more. Based on the above results, it may be possible to differentiate the timing between immediately before phlegm expulsion and immediately after phlegm expulsion by extracting the characteristic adventitious sounds within a specific individual. Monitoring the frequency of data with high correlation levels may also enable estimation of the optimal timing for phlegm expulsion. Characteristic sounds may observe in this study differed depending on the physique and disease of the target. Further investigation is needed to verify if the same results can be observed in other types of adventitious sounds.

Key Words: adventitious sounds, suction of phlegm, prediction, analysis of sounds