



配布先:文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2026 年 8 月 19 日

報道機関 各位

1 回の呼吸の“中身”を見える化する技術を開発 ～呼吸状態の変調を捉える新たな日常モニタリング応用へ～

【本研究のポイント】

- ・従来の呼吸数や深さでは見えない「1 回の呼吸の中身」を、新たな呼吸評価軸として提示。
- ・一つのセンサで呼吸に伴う圧力と温度の変化を捉え、応答の速さと信号の向きの違いを活用して、吸気と呼気の切り替え直後の「過渡相^{注 1)}」およびその後に生じる「準定常相^{注 2)}」の分離・可視化に成功。
- ・慢性閉塞性肺疾患^{注 3)}・喘息患者群では、吸気の準定常成分が低下する一方、呼気の過渡成分が増加する特徴的な連動傾向を見出し、日常モニタリングへの応用に期待。

【研究概要】

名古屋大学大学院情報学研究科の張 賀東(チャン フートン)教授、宋 玉璽(ソン ユシ)助教、李 旻玉(リ ミンギョク)博士後期課程学生、青山 純 博士前期課程学生らの研究グループは、名古屋大学未来材料・システム研究所の内山 知実 教授、社会医療法人宏潤会 大同病院の吉川 公章 名誉理事長、中央大学の真野 俊樹 教授との共同研究により、呼吸数や深さだけでは見えない「1 回の呼吸の中身」を捉える呼吸モニタリング技術を開発しました。一つの柔軟 PZT ^{注 4)}センサで呼吸に伴う圧力と温度の変化の両方を捉え、かつ応答の速さと信号の向きの違いを利用することで、吸気と呼気の切り替えの直後に気流速度が大きく変化する過渡相と、それに続く気流速度が比較的安定する準定常相を一つの波形上で分離・可視化することに成功しました。

健常者および慢性閉塞性肺疾患・喘息患者を対象としたパイロット測定では、呼吸周期や振幅では健常者と患者の範囲が重なった一方、過渡相と準定常相の割合では、群間の違いがより明瞭に現れました。特に患者群では、吸気の準定常成分が低下する一方、呼気の過渡成分が増加し、両者が連動して変化する傾向を見出しました。本技術は、呼吸評価の新しい軸を提示し、日常的な呼吸状態モニタリングへの応用が期待されます。

本研究は、2026 年 5 月 28 日付で科学雑誌『Advanced Healthcare Materials』オンライン版に公開されました。

【研究背景と内容】

呼吸は、自律神経活動や循環動態と密接に連動する重要な生体情報であり、生体状態の変調が心拍数や血圧より先に呼吸に現れることもあります。一方、心拍数や血圧と比べ、呼吸状態の簡便な日常評価は十分に確立されていません。特に覚醒安静時の自然呼吸では、呼吸数や深さが意識的な調節や測定行為の影響を受けやすく、その変化を生理学的に意味づけることが難しいという課題があります。このため、従来の呼吸評価は、測定結果の解釈が比較的容易な対象として、肺活量検査時の最大努力呼吸や睡眠時の無呼吸を主に扱っています。

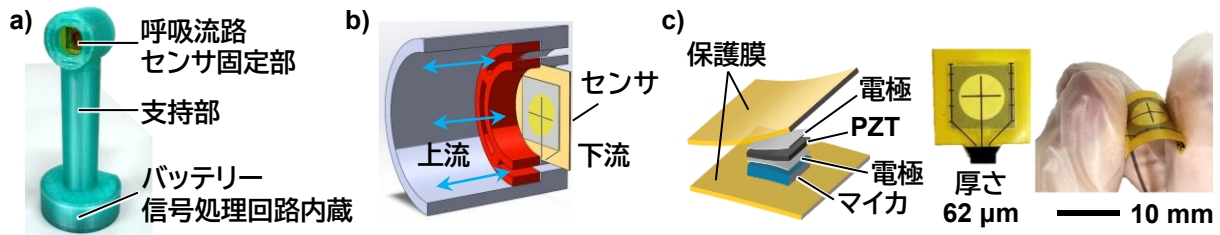


図 1 a) 新規デバイスの外観写真。b) 新規デバイスの流路内構造。上流側にマウスピースを接続する。c) フレキシブル PZT センサの多層構造の模式図(左)と外観写真(右)。

そこで、覚醒安静時の自然呼吸の日常評価を可能とするため、1回の呼吸の内部にある時間構造に着目しました。この時間構造は、吸気と呼気の切り替えの直後に気流速度が大きく変化する過渡相と、それに続く気流速度が比較的安定する準定常相から構成され、呼吸数や深さに比べ、意識的な調節の影響を受けにくいと考えられます。本研究では、この時間構造を捉えるため、呼吸の気流による圧力変化と、呼気・吸気の温度差による温度変化の両方を高感度に計測できるフレキシブル PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)センサを用いた新規デバイスを開発しました(図 1)。特に、圧力変化に由来する速い信号と、温度変化に由来する比較的緩やかな信号を識別しやすくするため、両者の正負が逆となるようにセンサを配置しました。その結果、市販の呼吸用流量計とは異なり、吸気・呼気それぞれにおいて過渡相と準定常相が逆向きの二成分として現れる、特徴的な呼吸波形を取得することに成功しました(図 2)。

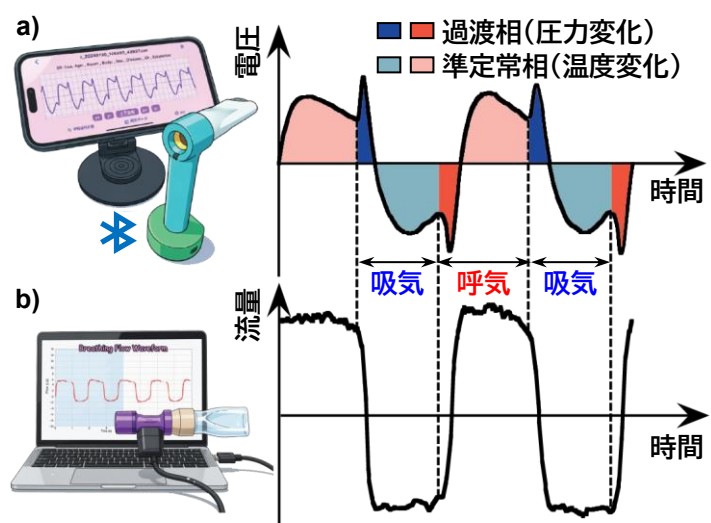


図 2 a) 新規デバイスと計測した呼吸波形。b) 市販の呼吸計測用流量計と計測した呼吸波形。新規デバイスでは、吸気・呼気の一周期内に、過渡相が鋭いスパイク状、準定常相が逆向きの幅広いピーク状として現れる点が特徴である。

本デバイスを用いて、健常者15名、COPD患者4名、喘息患者5名を対象に、自然な口呼吸を測定するとともに、波形を複数の指標で解析しました。まず、従来の呼吸評価に用いられる呼吸周期と振幅を算出しました。また、1回の呼吸を吸気過渡相、吸気準定常相、呼気過渡相、呼気準定常相の4領域に分け、各領域の積分値が1周期全体に占める割合を算出しました。さらに、波形形状の非対称性を表す歪度と、波形に含まれる速い変化の割合を表す高周波成分割合を評価しました。その結果、呼吸周期や振幅では健常者と患者の分布が大きく重なる一方、一周期内の成分割合、歪度、高周波成分割合では、健常者と患者の違いがより明瞭に現れました(図3)。特に患者群では、吸気の準定常成分が低下する一方、呼気の過渡成分が増加し、両者が連動して変化する傾向を見出しました(図4)。これらの結果は、本技術により「1回の呼吸の中身」を特徴的な波形として可視化することで、従来は見えにくかった呼吸状態の違いを定量的に評価できる可能性を示しました。

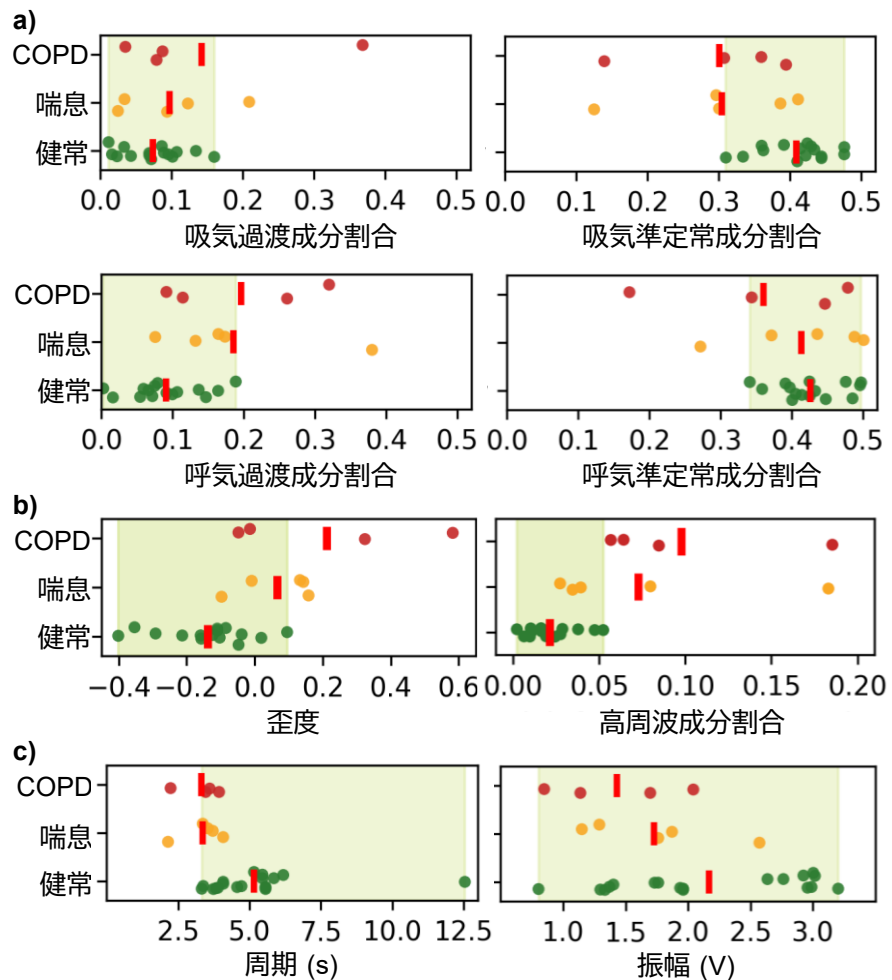


図3 COPD・喘息患者群および健常者群の呼吸波形指標の分布図。薄緑の領域は健常者群の分布範囲を、赤の縦線は各群の平均値を示す。a) 吸気過渡成分割合、吸気準定常成分割合、呼気過渡成分割合、呼気準定常成分割合。b) 歪度と高周波成分割合。c) 呼吸の周期と振幅。

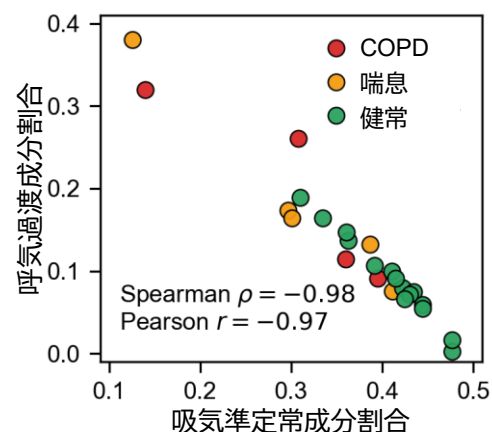


図4 健常者に比べ、COPD・喘息患者では、吸気の準定常成分が低下する一方、呼気の過渡成分が増加し、両者が連動して変化している。

【成果の意義】

本研究は、日常的な自然呼吸を呼吸数や深さだけでなく、「1回の呼吸がどのように行われているか」という内部構造から評価する、新たな呼吸モニタリングの考え方を提示したものです。「1回の呼吸の中身」を可視化・定量化することで、従来は見えにくかった呼吸状態の違いや変調を捉えられる可能性を示しました。将来的には、COPD や喘息などの慢性呼吸器疾患の日常的なセルフチェックや、心拍数・血圧と並ぶ基礎的な健康指標への展開を目指します。

本研究は、科学研究費助成事業(科研費)(JP24KJ1281、JP25K22887)および科学技術振興機構令和6(2024)年度大学発新産業創出基金事業スタートアップ・エコシステム共創プログラム GAP ファンドプログラム『ステップ1』の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注1)過渡相:

吸気と呼気の切り替え直後に、気流速度が大きく変化する時間領域。

注2)準定常相:

過渡相に続き、気流速度が比較的安定している時間領域。

注3)慢性閉塞性肺疾患(COPD):

肺の空気の通りが悪くなり、息切れなどを引き起こす進行性の慢性呼吸器疾患。日本で40歳以上の約12人に1人、約530万人が患者と推定されている。症状の悪化を防ぐため、早期発見と継続的な状態把握が重要である。

注4)PZT(チタン酸ジルコン酸鉛):

変形や温度変化に応じて電気信号を生じる材料。本研究では、呼吸気流に伴う微小な圧力変化によっても変形しやすいよう、柔軟なマイカ基板上にPZT薄膜を形成したフレキシブルセンサを用いた。

【論文情報】

雑誌名:Advanced Healthcare Materials

論文タイトル:Portable Breathing Monitoring With Phase-Resolved Airflow Dynamics Enabled by a Dual-Response Flexible PZT Sensor

著者:李旻玉(名古屋大学)、青山純(名古屋大学)、呉宇超(名古屋大学)、内山知実(名古屋大学)、吉川公章(大同病院)、真野俊樹(中央大学)、宋玉璽(名古屋大学)、張賀東(名古屋大学、責任著者)

DOI:10.1002/adhm.71282

URL:<https://doi.org/10.1002/adhm.71282>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。
東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

