

肺内部でのその場計測を可能にするカテーテルセンサの開発

研究代表者

式田光宏 広島市立大学 教授

共同研究者

川部勤 名古屋大学 教授、溝尻瑞枝 名古屋大学 助教



1. 研究の背景と達成目標

本研究では、現代医学で未解明の領域とされている末梢気道での呼気吸気特性を解明することを目的として、世界に先駆けて末梢気道でのその場計測評価技術の実現を目指した。以下に本目標に向けた具体的な研究開発項目を示す。

- ① カテーテル気流センサの高性能化(低損失化、高速応答化)
- ② 気流センサのシステム化(気道内における気流センサの位置決め固定方法及び呼気吸気計測技術)
- ③ 実験動物による実証(実験動物及び疾患モデルを用いた呼気吸気計測評価)

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

肺内部という局所空間における呼気吸気計測を可能とする気流センサ技術を開発するとともに、動物実験にて開発したセンサの有用性を確認した。本研究で得られた主な成果を以下に示す。

- ① カテーテル気流センサの高性能化
ステンレス製薄肉チューブ(厚さ 0.08 mm)を用いることで低損失型カテーテル気流センサを実現した。また熱絶縁構造を検討することで、気流変化に対する追従性を向上させた(応答時間: 40 ms)。
- ② 気流センサのシステム化
気道内における気流センサの位置決め固定方法として、カテーテルセンサ両端部への弾性構造体の設置、医療用バスケット鉗子への気流センサの集積化、の二つの固定化技術を確立するとともに、気道内での呼気吸気を直接的に計測した。
- ③ 実験動物による実証
喘息モデルを用いて薬物投与に伴う呼気吸気変化をリアルタイムで計測評価できることを確認した。本研究により、センサ技術、気管支での呼気吸気計測技術、そして喘息モデルによる本計測手法の実証、など末梢気道での呼気吸気計測に向けた基盤技術を確立した。将来的には、本技術が病変部におけるその場計測技術として日本発の世界標準になるとともに、本技術により現代医学で未解明とされている「サイレントゾーン(末梢気道)」での病態形成メカニズムが解明されると考えている。

3. 研究成果

本研究開発では、先ずカテーテル気流センサのチューブを薄肉化することでセンサ占有断面積を 46%まで低減させた。また流量検出部となるヒータ周辺部の熱絶縁化を図ることで応答時間を 40 ms まで高速化できることを確認した。次に、気道内における気流センサの位置決め固定を目的として、本研究では二つの気流センサ形態(カテーテルセンサ、バスケット鉗子気流センサ)を新たに開発した(図 1, 2)。前者ではカテーテルセンサ両端部へ弾性構造体を設け、これによりセンサを気管支内壁面に固定した。気道内における計測方法としては、先ず細

径ファイバースコープを用いてラビットの気道内を観察しながらガイドチューブを挿管しセンサ挿入位置を決めた。そして次にガイドチューブを介してカテーテルセンサを挿入し、かつ気管支内で位置決め固定し、その場における呼気吸気を計測した。後者では医療用バスケット鉗子へ気流センサを集積化し、バスケットの開閉機構を利用して気流センサをチューブ内壁面に固定した。また、チューブをラットの気道と連結し、本センサでラットの呼気吸気を直接的に計測した。実験動物実証においては、喘息モデルに薬物投与を行い、気道に挿入したカテーテルセンサにて気道収縮に伴う呼気吸気変化をリアルタイムで計測評価できることを確認した(図3)。



図1 アンカー付きカテーテルセンサ

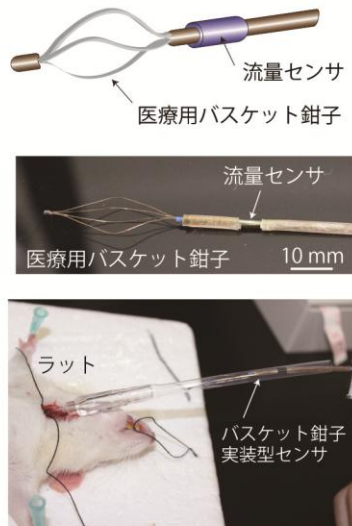


図2 バスケット鉗子実装型気流センサ

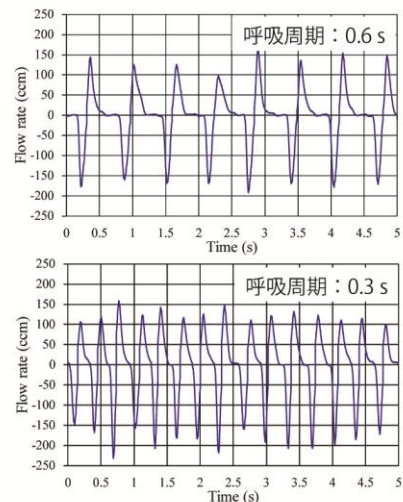


図3 薬剤吸入による喘息モデルマウスの呼気吸気変化 (上: 正常時, 下: 吸入3分後)

4. 今後の展開

本研究により臨床応用に向けた呼気吸気計測基盤技術が確立されたことを受け、本研究については今後、民間企業と共同で実用化を目指すこととなった。今後は、肺内部という局所空間における呼気吸気計測技術の実用化を目指すとともに、新たな MEMS センサ技術の導入などを図り、本技術の更なる発展系として肺機能を総合的に計測評価できる総合的肺機能診断システムの構築を目指す。

5. 発表実績

- [1] N. Harada, et al., Micro flow sensor integration onto basket forceps for pulmonary function evaluation, Proc. IEEE NEMS, Sendai, Japan, April (2016), C1L-A-3 (#1194).
- [2] M. Shikida, et al., Development of implantable catheter flow sensor into inside of bronchi for laboratory animal, Microsystem Technologies, DOI: 10.1007/s00542-015-2663-8.
- [3] H. Kawaoka, et al., Detection of kinetic heartbeat signals from airflow at mouth by catheter flow sensor with temperature compensation, Tech. Dig. IEEE MEMS Conference, Shanghai, China, Jan. (2016), pp.359-362.
- [4] N. Harada, et al, Basket forceps with flow sensor for evaluating breathing characteristics in small airway, Tech. dig. International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Anchorage, Alaska, June, (2015), pp. 1743-1746.
- [5] T. Yamada, et al., Implantable catheter flow sensor with legs in air passage for laboratory animal, Proc. IEEE Sensors, Valencia, Spain Nov. (2014), pp. 253-256.