

C-STRETCH®を用いた歩行中の非侵襲的な呼吸数計測法の開発

Development of Respiration Rate Measurements during walking using a sheet stretch sensor

別所 侑亮

Yusuke BESSHO

Abstract

It's difficult to visually measure respiratory rate during walking, and wearing the mask is burdensome for elderly people and seriously ill patients. In this paper, we developed a respiratory rate measurement system using a stretchable strain sensor C-STRETCH® and investigated its validity.

The examination was made under two conditions: 1) standing position - sitting position - normal gait - sitting position, condition 2) walking stance - standing position. Measurement time was 6 minutes for each walk, 3 minutes at rest. Walking speed was changed at 2-6 km / h. The respiration rate was obtained using the algorithm for determining the respiratory phase from the output waveform and compared with the result obtained from the air velocity. In conclusion, the new measurement system can accurately detect respiration rate during walking.

Keywords: Stretchable Strain Sensor; Respiration Rate; Chest Motion; Abdominal

1. 緒 言

近年はウェアラブルデバイスによるバイタルセンシングや活動情報など人に関するセンシングデバイスの開発が盛んに行われている。当社が開発しているC-STRETCH®は、薄くて軽く、また柔軟で大きく伸び縮みできることから人体などの曲面へ装着した際にも動きの追従性に優れ、装着感の少ない身体への親和性が高い特徴と、繰り返し精度よく運動等を検出できる特徴を併せ持っている。そのため、衣服や靴のような大きな伸縮をとまなう、ストレッチャブルな装着型センシングデバイスにも活用でき、場所を選ばず計測できることが期待される。

センシングの目的・手段は様々であるが、我々は呼吸リハビリテーションにおける呼吸計測に着目している。呼吸リハビリテーションにおいて、胸郭運動は重要な観察項目であり、その挙動は呼吸の状態や呼吸機能にかかわる情報を提供することが知られている。呼吸リハビリテーションにおいて身体活動量の改善を目的とする場合、非薬物療法として運動療法が中心であり、特に、運動中の低酸素の評価が重要である¹⁾。その評価手法である6分間歩行試験では、運動耐容能としての歩行距離に加え、労作中の経皮的酸素飽和度(SpO₂)についても確認し長期酸素療法(LOT)の導入等の指標に利用されている。

一般的にSpO₂は低酸素の指標となるが慢性的な呼吸器疾患をもつ患者では自覚的な呼吸苦と測定値が一

致しない事例が散見される。また、運動による酸素需要の増大に対しては換気量および呼吸数の増大で対応するため、歩行時の呼吸数を評価することで、より質の高い耐運動容能の評価ができること期待される。

歩行中の呼吸数は目視計測が難しく、マスクを使った気流計測装置の装着は高齢者や重症患者には負担が大きく、LOTによりカニューレ等をつけている場合には装着が難しいといった問題がある。また、リハビリテーションの実施場面が医療施設内から在宅場面まで広がるなか、多くの機器が整備された限定な空間での評価ではなく簡便かつ正確に胸郭運動を計測できる手法が求められており、常時モニタリングできる装着型の呼吸計測機器が適している。

したがって、我々は、C-STRETCH®を用いた歩行中の呼吸数計測に着目し、非侵襲的な運動時呼吸数計測システムを開発し妥当性を検討した。

2. 実 験

C-STRETCH®で構成されたバンド型デバイス2つを服の上から身体に装着し、胸部と腹部の周径変化から呼吸数を測定するシステムとした(図1)。2本の帯を第四と第十肋骨の高さに巻き、フェイスマスクを着け気流速度を計測した。呼吸数の正解データとしてフェイスマスクへ接続したスパイロメータによるFLOWのアナログ波形より呼吸数を算出し、C-STRETCH®の



図1. C-STRETCH®バンドの装着図とトレッドミル上の歩行試験実施状況

出力波形から呼吸位相を判定するアルゴリズムを使った呼吸数と比較した。

書面で同意を得た健康成人9名（年齢 22.3 ± 1.41 、BMI 22.0 ± 4.4 ）がトレッドミル上で歩行試験を行った。試験は条件1）立位—座位—通常歩行—座位、条件2）杖歩行—立位の2条件とした。計測時間は歩行を各6分、安静時各3分とし、歩行速度は2、4、6 km/hと順に変化させた。

3. 結果

まず、股関節前面にある大転子近傍にC-STRETCH®を装着し、胸部の呼吸信号と歩行信号の周波数解析を行った典型例を示す（図2）。安静時歩行速度を2、4、6 km/hの一定速度とした結果、呼吸の周波数帯と歩行の周波数帯が異なり、周波数分離できる。

歩行試験中には、安定した歩行による体動ノイズだけではなく不規則なノイズも含まれる。立位から座位

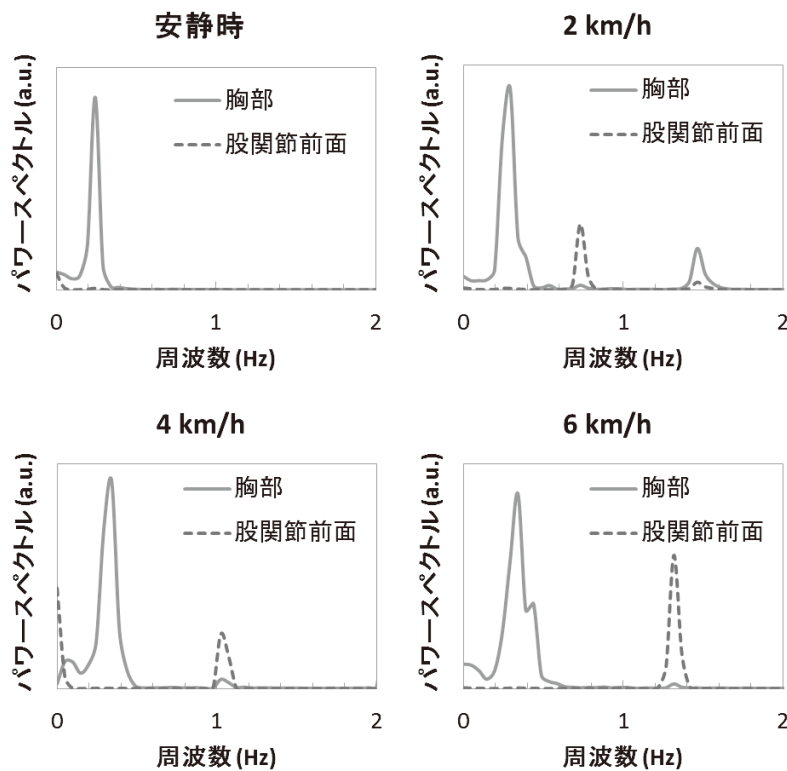


図2. 一定速度で歩行した際のセンサの周波数解析

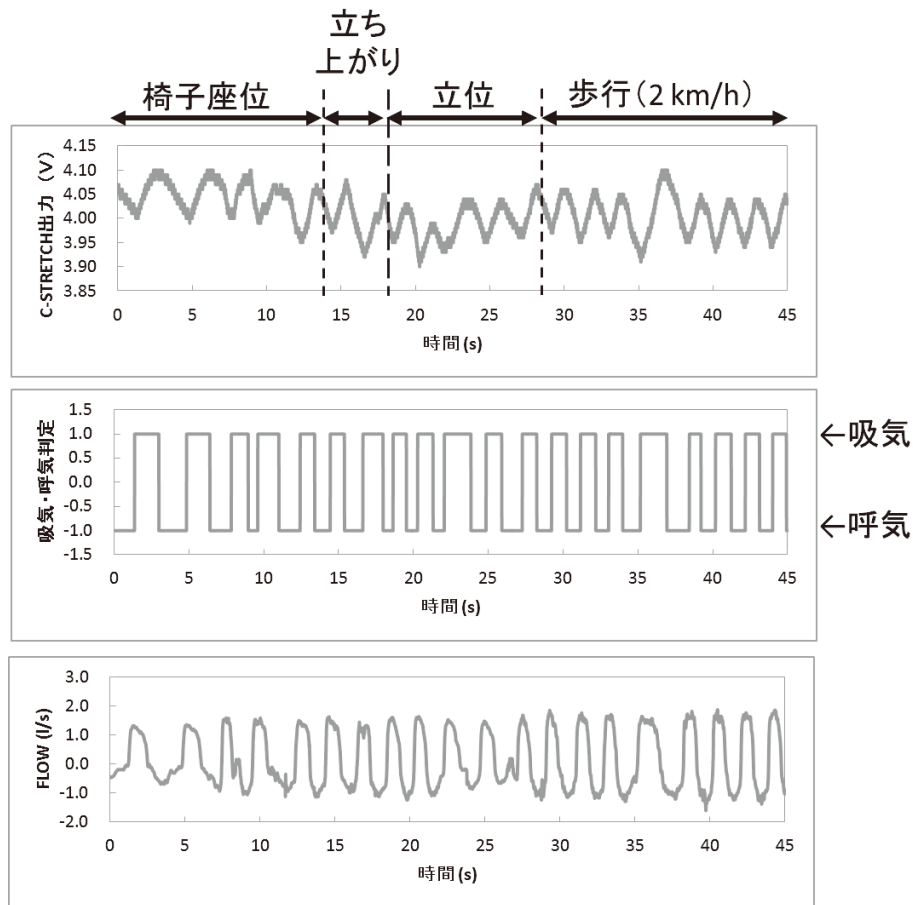


図3. 歩行時のセンサ出力と呼気・吸気判定の典型例
(上段より、C-STRETCH出力、呼気吸気判定、FLOW)

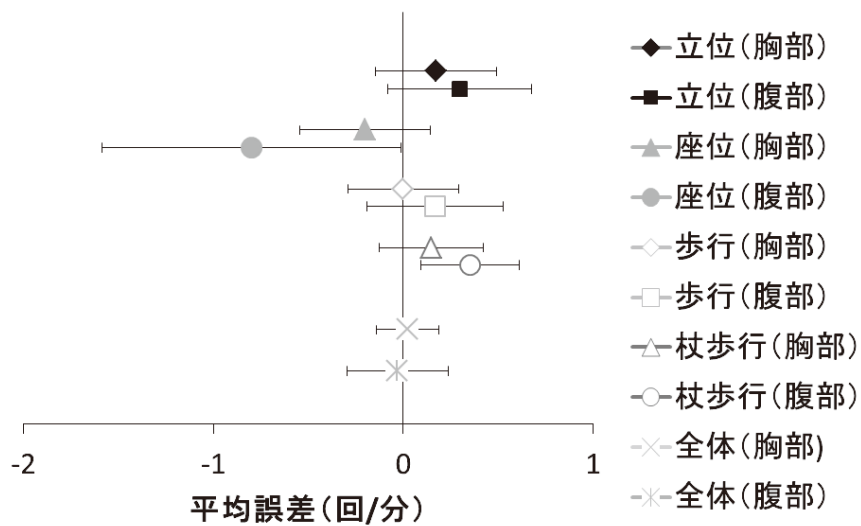


図4. 呼吸数カウント精度検証結果

への変更した際の周囲径の変化、または上肢の動きが不規則になるような杖歩行、無呼吸等が該当する。図3に座位から立ち上がり立位に変化し、更にトレッドミルを2 km/hに設定し定速運動となるまでの出力結果の典型例を示す。上段に胸部のC-STRETCH®の出力波形、およびアルゴリズムによる呼気判定、下段にフローセンサの流速を示す。アルゴリズム不規則なノイズがある状態でも、FLOWと1/4の位相差がある状態で相関が高く呼吸数を検出できている。センサデータから呼吸数を算出するアルゴリズムは、無呼吸状態などの周期的でない呼吸や外乱に対して誤検出が発生しにくい設計とした。

最後に全被験者に対して、FLOWから得られた呼吸数に対して、C-STRETCH®バンドから算出した呼吸数と比較した結果、胸部0.022回/分(95% CI [-0.14, 0.19])、腹部-0.03回/分(95% CI [-0.30 0.24])の誤差で呼吸数計測ができることが示唆された(図4)。



別所 侑亮
Yusuke BESSHO
2013年 入社
R&Dセンター

4. 結 言

C-STRETCH®を使用した歩行時の呼吸数計測システムは、歩行時の呼吸数を精度良く検出できることが示された。呼吸数に加えて呼吸の位相を定量化してバイオフィードバックに利用できれば、呼吸リハビリテーションにおける運動耐容能の評価や呼吸法の指導への利用価値がある。本報の限界として、対象者が健康な成人に限られることが挙げられる。今後は高齢者や呼吸器疾患をもつ対象などを加えて精度の検証、および、運動中の呼吸数、SpO₂、脈拍等と組み合わせることで、運動耐容能評価システムへの展開を見据えて開発を進める。

本報は、当社と国立大学法人神戸大学との包括連携に基づく共同研究の成果である。

参考文献

- 1) 石川朗、沖侑太郎、藤本由香里：日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌, 25, 3 (2015)