

バイタルサインモニタによる自律神経活動評価

小谷 潔

情報理工学系研究科特任助手 (AE グループ)

概要

セル生産方式のような人間作業者をを用いる生産システムにおいては、作業者を支援するため知能化・機械化された生産システムが求められている。作業員への支援は、単に機械的に支援を行うだけでなく、作業員の精神的・生理的状态 (緊張や疲れなど) を読み取り、それらに応じた支援を行うことも必要であると考えられる。ここでは心拍変動を用いて副交感神経活動をより正確に抽出するアルゴリズムの有効性を確認し、さらに評価をリアルタイムで行うことのできるシステムを開発した。

1 はじめに

心拍動の呼吸性の変動成分 (RSA: Respiratory Sinus Arrhythmia) は作業員における快適性や集中度の指標として用いられている。我々は呼吸位相領域で心拍変動を解析する手法を提案している。本研究では、作業員に段階的に変化させた暗算負荷を課し、抽出した RSA の精度を従来法と提案手法で比較し、さらに手法をリアルタイム解析可能に拡張して負荷の制御を行った。

2 精度評価実験

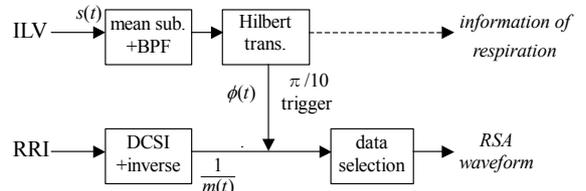
2.1. 実験プロトコル

7人の被験者に対して2桁の整数の足し算を暗算として課す実験を行った。出題間隔は5分ごとに12, 6, 4, 3秒と段階的に変化させる。生理的指標としてRSAを抽出し、負荷レベルとRSAの振幅に順位をつけて、その順位の相関を、呼吸位相領域での解析と従来の周波数解析とで比較した。尚、呼吸位相領域のRSAは心拍データ (RRI: R-R Interval) を心電計を用いて1kHzでサンプリングして算出し、また、瞬時肺容量 (ILV: Instantaneous Lung Volume) を呼吸ピックアップを用いて100Hzでサンプリングすることで得

られたRRIとILVから図1のアルゴリズムのような信号処理を施すことにより抽出した。この結果と周波数解析の結果を負荷との順位相関によって比較した。周波数解析では窓関数にBinghamのコサイン型windowを用いたFFTの結果から得られる0.15-0.5Hzのパワーを算出した。

2.2. 実験結果

実験結果を図2に示す。負荷が強いほどRSAの振幅は小さくなると考えられるため、相関係数が-1に近い程、良い指標であるといえる。呼吸位相領域の解析の相関係数は周波数解析よりも低く ($P < 0.05$)、呼吸位相領域の解析が従来法である周波数解析よりも負荷に追従し正確なMWLの測定が可能であることが示された。



ILV: 呼吸データ (100Hz)
RRI: 心拍データ (1kHz)
Mean Sub. +BPF: 平均値との差を求めた後、パスバンドが0.1Hz~10Hzのフィルタに通す
DCSI +Inverse: 瞬時RR間隔の算出
Hilbert Trans.: 瞬時呼吸位相の算出
Data Selection: 不要なデータを除去

図1. 精度評価実験の信号処理アルゴリズム

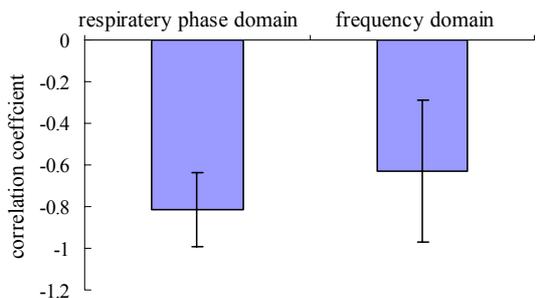


図2. 呼吸位相領域と周波数解析における負荷レベルとRSAの振幅の順位相関

3 リアルタイム負荷制御実験

3.1.実験プロトコル

リアルタイムに RSA を抽出するに当たり、一呼吸ごとの RSA ではノイズの影響が大きく評価が不可能であるため、移動平均を取ることで安定した RSA を得ることとした。平均する点数については、精度評価実験と先行研究の結果から、24点と決定した。4人の被験者に対して以下のような実験を行った。まず実験に先駆け、安静状態と3秒間隔の暗算負荷の状態を測定し、リラックスしている状態と精神的に負荷がかかっている状態の閾値を決定する。そして、図3のようなアルゴリズムを用いてリアルタイムに抽出される24呼吸平均の RSA の振幅がその閾値を上回ると出題、下回ると出題停止、という制御を行った。実験1では平均値をまたぐと出題の有無がすぐに切り替わるが、実験2では暗算出題から出題無しに移行した場合、その後の RSA の値にかかわらず1分間出題しないこととした。

3.2.実験結果

図4に代表的な被験者のリアルタイムで抽出した RSA の振幅、及び、制御された出題の推移を、表1に、実験1、2での4人の被験者が回答した問題数、休憩回数、NASA-TLX（主観評価）を示す。図4、5をもとに、RSA の振幅は全体的に、負荷時に減少、休憩時に上昇していることが確認でき、その値によって負荷を制御することに成功した。表1から全ての被験者において、実験1の方が出題、出題停止の切り替えが多かった。実験2では一度出題が停止されると1分間休むことができるため、ヒアリングからも実験1よりも実験2の方が楽であるとの意見が得られた。このことは、RSA を指標とした負荷制御には、ヒステリシスを持たせた制御が好ましいと考えられる。また被験者により出題数に差が大きいため、厳密な評価ができるとは言い難く、NASA-TLX を比較することの信頼性も低い。

4 まとめ

本研究では、暗算負荷実験において、呼吸位相領域での解析と従来の周波数解析で RSA の振幅と負荷レベルの順位相関を比較し、呼吸位相領域での解析の方が優れていることを確認した。続いて、リアルタイムで RSA の振幅を抽出し、その値に応じて負荷を制御することに成功した。今後、RSA に基づいた最適な負荷制御手法について検討し、作業の効率化と快適性の向上を図る。

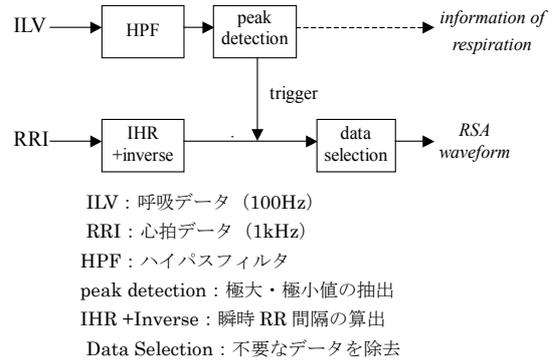


図3. リアルタイム解析の信号処理アルゴリズム

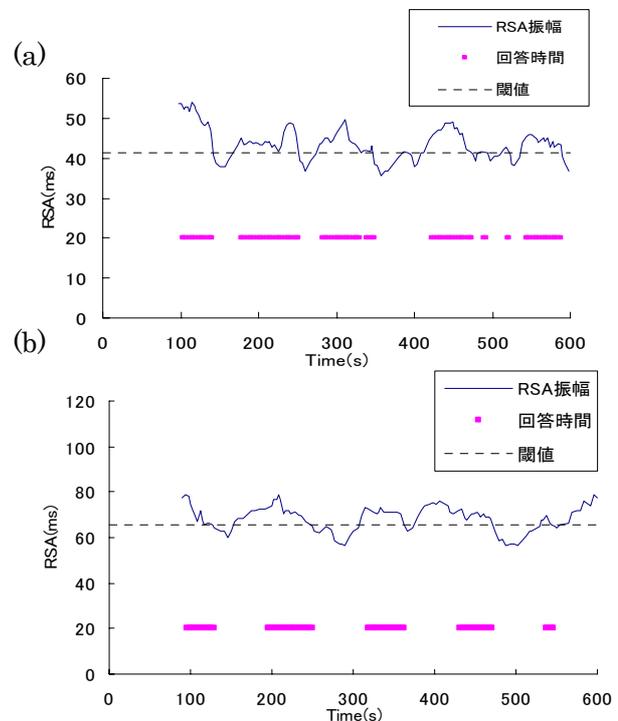


図4. Subj.4における RSA の振幅と出題間隔 (a) 実験1, (b) 実験2

表1. 4人の被験者の問題数、休憩回数、NASA-TLX

	実験1			実験2		
	問題数	休憩回数	NASA-TLX	問題数	休憩回数	NASA-TLX
Subj.1	68	6	46	82	4	55.3
Subj.2	63	4	67.7	34	2	58.3
Subj.3	105	3	52.3	113	2	48.3
Subj.4	99	7	64.7	65	4	47