

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。作業者への支援は、単に機械的に支援を行うだけでなく、作業者の精神的・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。我々はこれまでに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を提案し、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。本研究では、作業下でのリアルタイム RSA 抽出に適した計測・解析手法について、抽出精度を比較し評価した。

1. 作業下でのリアルタイム RSA 抽出手法

我々がこれまでに、提案してきたリアルタイム RSA 抽出手法では、呼吸センサには呼吸ピックアップベルトを用いてきたが、実際の机上作業下において体動による呼吸抽出の誤差が RRI の補間法を介して結果に誤差を生む。そこで実際の作業下での RSA 抽出にあたり、呼吸センサとして呼吸ピックアップベルトとサーミスタを、またリアルタイムに瞬時の心拍間隔 RRI (R-R Interval) を得る解析手法として、IHR 法と前後 250ms の window を用いた Berger 法を比較する。

2. 実験プロトコル

成人男子 7 名を被験者として、作業下において心拍を 1kHz、呼吸を 100Hz で計測する。呼吸センサにはサーミスタ・呼吸ピックアップベルト・流量計を用いる。尚、流量計は原理上精度が最も高いと予想されるが、拘束の強さから作業現場への応用には向かないため、精度比較の基準とする。計測した内容を以下に示す。

(a) 安静座位 180 秒間

(b) 座位でのキーボードタイピング 180 秒間

(c) 座位で 2 桁の整数の和を机上に広さ 300×300mm に配置された数字に触れることで回答する暗算課題 180 秒間

3. 解析手法

本研究では以下の 3 つの解析を行う。解析 1 では呼吸センサの精度評価、解析 2 では各手法の RSA 抽出誤差の絶対値の評価、解析 3 では各手法により抽出した RSA の、1 呼吸毎の基準値に対する追従性の評価を目的とする。

1. 各実験について、サーミスタ・呼吸ピックアップベルトの、吸い始め・吸い終りそれぞれの時間誤差（流量計基準）の絶対値の平均を算出し、サーミスタ・呼吸ピックアップベルト間で paired t-test を行う。
2. 各実験のサーミスタ・呼吸ピックアップベルトそれぞれのデータを用いて IHR 法と Berger 法によって抽出した RSA の基準値に対する誤差の絶対値の平均を算出し、2 元配置分散分析を行う。基準値には、流量計による呼吸データに Berger 法を用いて抽出した RSA を用いる。
3. 実験(a)において、各センサ・各 RRI 抽出手法を用いた場合の RSA について、基準値との相関係数を求める。基準値には流量計による呼吸データに DCSI 法を用いて抽出した RSA を用いる。DCSI 法は 3 次スプライン補間により瞬時 RRI を求める解析手法で、リアルタイム解析には用いることはできないが最も高い精度が期待できる。統計解析については呼吸ピックアップベルトとサーミスタを用いたデータについて 2 元配置分散分析を行い、さらに 3 種類の瞬時 RRI 抽出手法をテューキーの多重比較によって比較する。

4. 実験結果

解析 1 の結果を図 1 に示す、実験(a)と、実験(b)

の吸い始めではサーミスタよりも呼吸ピックアップベルトの方が時間誤差が小さかった。実験(c)の吸い始めではサーミスタの方が時間誤差が小さかった。このうち実験(a)の吸い始め・吸い終りに統計的有意差が見られた(それぞれ $P<0.01$, $P<0.05$)。

解析 2 の結果を図 2 に示す。実験(a), (b)でサーミスタよりも呼吸ピックアップベルトを用いた方が RSA 平均誤差が小さくなった。尚、統計的有意差は実験(a), (b)でサーミスタと呼吸ピックアップベルトの間に見られた(それぞれ $P<0.01$, $P<0.05$)が IHR 法と Berger 法の間には見られなかった。

解析 3 の結果を表 1 に示す。サーミスタよりも呼吸ピックアップベルトの方が基準値に対する相関が高かった($P<0.05$)。また、IHR 法は DCSI 法よりも有意に基準値との相関が低く ($P<0.01$)、IHR 法よりも Berger 法の方が、基準値との相関が高かった。

5. 考察

呼吸計測に関しては安静時やタイピング時にはサーミスタよりも呼吸ピックアップベルトの方が誤差が小さかったのに対して、手の動きを伴う暗算課題では吸い始めでサーミスタの方が誤差が小さくなった。また RSA 抽出についても、安静時、タイピング時に呼吸ピックアップベルトを用いた方が高精度であった。これは実験(c)の暗算課題回答における手の動作がタイピングよりも大きかったことが原因と考えられる。実際のデスクワークにおいてはこの程度の動作は十分に想定されるため、呼吸ピックアップベルトとサーミスタを併用することで、呼吸計測における誤差の低減を図ることができると考えられる。

解析 3 において呼吸ピックアップベルトによる呼吸データに Berger 法を用いて解析した場合に基準値との相関係数が 0.96 という高い値が得られた。これは、この手法が基準値である流量計による呼吸データに DCSI 法を用いて解析した結果への追従性が高いことを示している。よって、今回の実験における計測時間 180 秒間に満たないような短い計測時間では IHR 法よりも Berger 法の方が優れており、実作業下でのリアルタイム計測にも、安静時には呼吸ピックアップによる呼吸計測、Berger 法による瞬時 RRI 抽出を行うことで高精度な RSA 抽出が期待できる。

6. まとめ

本研究では、実際の机上作業下で RSA 抽出実験を行った。そして作業下でのリアルタイム RSA 抽出に適した呼吸計測・信号処理手法について、

- ・ 安静時にはサーミスタよりも呼吸ピックアップベルトの方が高精度に呼吸を計測できる
- ・ 動作が大きい時にはサーミスタを補助的に用いることが有効である
- ・ 瞬時 RRI 抽出法としては IHR 法よりも Berger 法を用いた方が RSA 抽出精度が高いという結論を得た。

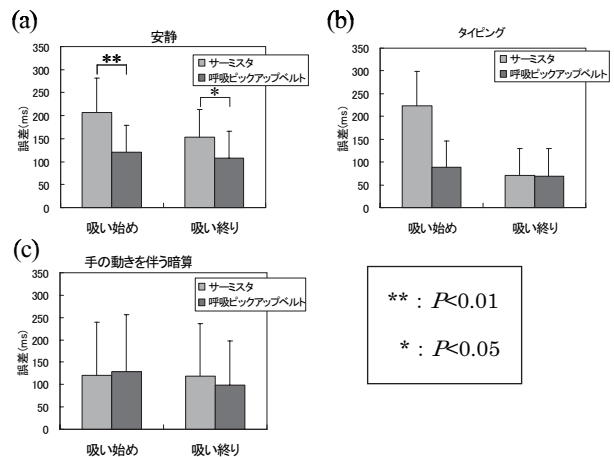


図 1. 呼吸抽出平均誤差, (a)~(c)はそれぞれ実験(a)~(c)に対応

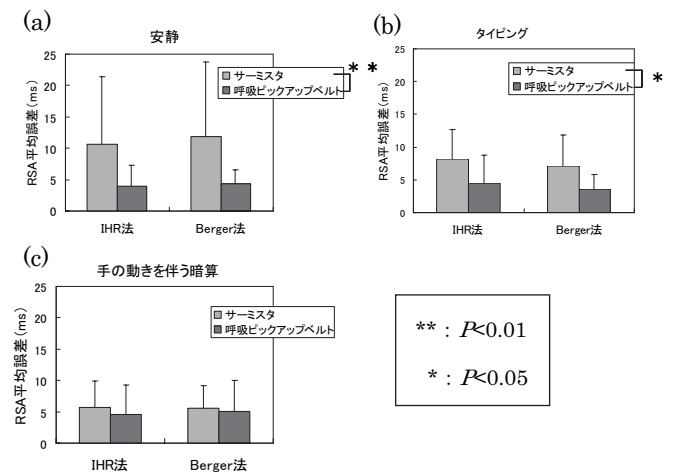


図 2. RSA 抽出平均誤差, (a)~(c)はそれぞれ実験(a)~(c)に対応

表 1. 実験(a)安静座位において各手法により抽出した RSA の流量計・DCSI 法により抽出した RSA との相関係数の平均値

	DCSI法	Berger法	IHR法
流量計	-	0.964±0.016	0.925±0.040
サーミスタ	0.952±0.019	0.906±0.048	0.807±0.170
呼吸ピックアップベルト	0.970±0.030	0.955±0.013	0.921±0.033

** : $P<0.01$, * : $P<0.05$