

携帯型生体信号センサによる企業組織力の評価

湯田恵美[†] 三井 実[‡] 尾崎夏穂[‡] 涌井美帆子[‡] 河野克典[‡] 早野順一郎[†]

概要：企業の組織力評価における就労中の生体信号解析の有用性を検討するために、85名の従業員を対象に、携帯型心電計によって勤務時間中の心電図を計測し、そこから得られた心拍変動解析結果と、職場のストレス、コミュニケーション、精神的身体的負荷に関する質問紙に対する応答との関連を分析した。職務に関する裁量性が高いと感じている人ほど、就労中のR-R間隔の標準偏差、心拍変動の超低周波数(0.0033-0.4 Hz)および低周波数(LF, 0.04-0.15 Hz)成分の振幅が低く、職場における葛藤が多く、疲労度が高く、上司や同僚とのコミュニケーションが不良と感じている人ほど、LF成分の振幅とその標準偏差(LFsd)が高かった。質問紙に対する応答の因子分析の結果、それぞれ、ストレス、抑うつ、疲労を反映すると考えられる3因子が抽出され、それらの中で、疲労に関する因子のスコアと、LF成分の振幅およびLFsdとの間に正の相関が見られた。

キーワード：組織環境、経営環境、職場ストレス、疲労、生体信号、心拍変動

Utilization of Workplace Biometric Information for Evaluation of Corporate Organizational Environment

EMI YUDA[†] MINORU MITUSI[‡] NAO OZAKI[‡] MIHOKO WAKUI[‡]
KATSUNORI KAWANO[‡] JUNICHIRO HAYANO[†]

1. はじめに

携帯型生体信号センサの普及によって日常活動下の生体の状態を把握できるようになった。この技術は、従業員のストレスや健康管理のみでなく、職場環境や生産性の向上にも有用と考えられることから、多くの企業がこの技術の職場への導入の検討を進めている。携帯型生体センサから得られる心電図や体動、皮膚温などの時系列信号はそれが長期に渡って連続計測されることに意義があるが、その結果得られる超絶断データのデータ量は膨大である。これらのデータを活用するためには、それを自動的かつ高速で、かつ倫理的な手段で、利用可能な情報に加工する必要がある。生体センサの性能やデータ通信および蓄積技術の急速な進展に比べて、収集されるデータの効果的な加工方法やその技術については発展の余地が大きい。また、これまで職場環境において得られたことのなかった生体情報をどのように扱うべきかは、未知の研究領域である。

本研究の目的は、就労中の生体信号の効果的な加工とその応用方法の開発のための基礎的知見を得ることである。この目的のために、携帯型センサによって、就労中の従業員から得られた生体信号の加工によって得られた様々な指標と、職場のストレス、コミュニケーション、精神的身体的負荷に関する質問紙に対する応答との関連を分析した。

2. 方法

2.1 対象

富士ゼロックス株式会社に勤務する従業員を対象とした。対象者を職種によって、3つの営業部門、エンジニア、2つのスタッフ部門からなる7つのグループに分けた。その内訳をTable 1に示す。

2.2 プロトコール

本研究は、富士ゼロックス株式会社によるコミュニケーションの改善を目的とした介入が企業の組織力に与える効果を組織パフォーマンス分析によって評価する研究の一部として行われた。組織パフォーマンス分析は介入期間の前後に3か月のインターバルをおいて2回行われた。

分析のためのプロトコールは以下の通りである。対象者は09:00に職場に集合し、組織パフォーマンス分析に関する説明に続いて、生体信号センサ(myBeat, ユニオンツール株式会社、東京)を上胸部に装着した。対象者は、09:30

Table 1. Characteristics of subjects

職種	男性		女性	
	N	年齢(歳)	N	年齢(歳)
営業 1	19 (90%)	43 ± 9	2 (10%)	33 ± 13
営業 2	10 (100%)	45 ± 4	0 (0%)	
営業 3	11 (85%)	48 ± 6	2 (15%)	45 ± 2
エンジニア	25 (96%)	45 ± 8	1 (4%)	19
スタッフ G	6 (55%)	51 ± 7	5 (45%)	39 ± 8
スタッフ S	1 (25%)	56	3 (75%)	40 ± 5
計	72	46 ± 7	13	38 ± 9

[†]名古屋大学大学院医学研究科

Nagoya City University Graduate School of Medical Sciences

[‡]富士ゼロックス(株)・研究技術開発本部・コミュニケーション技術研究所
Research & Technology Group, Communication Technology Laboratory, Fuji Xerox Co., Ltd.

から 09:40 の間、別の自律神経機能検査のために起立位をとった。続いて、職場のメンバーからなる 5 名程度の小グループに別れ、09:40 から 10:00 の間、職場コミュニケーションの改善に関するグループ討論を行った。その後、10:00 から 17:00 まで、センサ装着した状態で、それぞれの通常業務に従事した。業務終了後、質問紙によるアンケートに回答した。

本研究では、介入の前に行われた組織パフォーマンス分析で、通常勤務中に記録されたデータを使用した。

2.3 測定

就労中の生体信号はユニオンツール社(東京)の myBeat によって連続測定され、心電図は 1000 Hz、3 軸の身体加速度精度は 31.25 Hz、皮膚温は 1 Hz で記録された。データは同社の専用のソフトウェアによって、1 拍毎の R-R 間隔と、それに同期してサンプリングされた移動平均加速度および皮膚温に変換され、データファイルとして出力された。

質問紙は、職場ストレス、背心的・身体的状態、職場および家庭等におけるコミュニケーションの状況に関する 61 項目の 4 選択肢の質問と、自由回答の質問からなっていた。本研究では 61 問の 4 選択肢に対する反応のみを使用した。

2.4 データ分析

R-R 間隔の分析には complex demodulation(CDM) [1, 2]を使用した。CDM は、時間領域の時系列解析法で、指定した周波数帯に含まれる変動成分の振幅と周波数を時間の関数として連続分析する。本研究では、心拍変動成分として定義されている[3, 4]、超低周波数(VLF, 0.0033-0.4 Hz)、低周波数(LF, 0.04-0.15 Hz)、高周波数(HF, 0.15-0.45 Hz)帯域の変動成分の振幅と周波数を、それぞれ連続抽出した。

CDM 分析に必要な処理として、R-R 間隔時系列のヒストグラムから異常値と考えられるデータ、および R-R 間隔の差分のヒストグラムから期外収縮やノイズによると考えられるペアのデータを除去した。残った R-R 間隔をステップ関数で補間し、2 Hz で再サンプリングしたデータを CDM 解析の対象とした。CDM によって得られた各変動成分の振幅および周波数のデータから、異常値等の除外によって生じたデータ欠損部に対応する時間のデータを除去し、残ったデータを 1 分ごとに平均した。

同じ 1 分ごとの時間フレームで、R-R 間隔の平均値および標準偏差(SDRR)、LF 成分と HF 成分のパワー比(LF/HF)を振幅の比の自乗値として求めた。同様に、同じ時間のフレームで、体動および皮膚温を平均した。なお、体動の指標としては、x, y, z 軸の移動平均加速度から加速度ベクトルの大きさを求め、その大きさの差分を求め、個々の時点の体動の大きさを、その直前の 0 でない差分値とした。

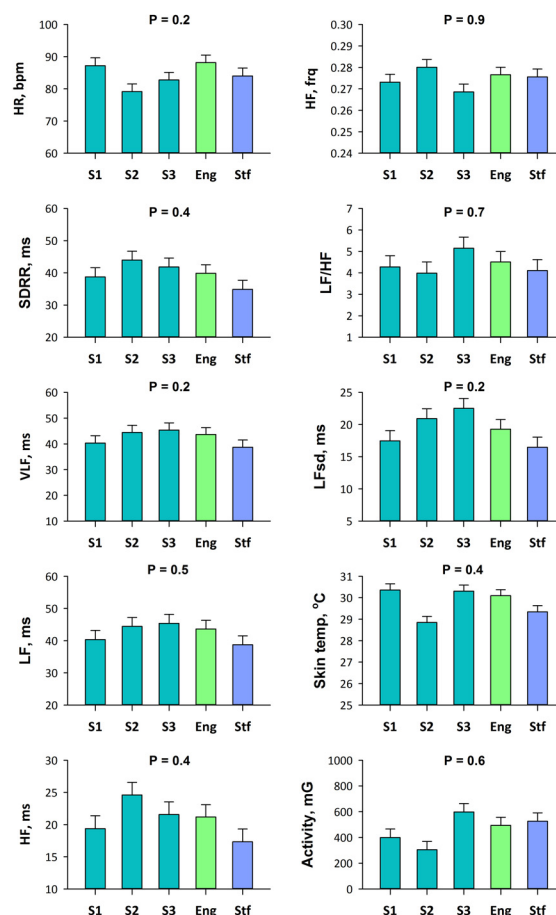


Fig 1. Biometric information during work hours by job category

Data are least-square means and standard error adjusted for the effect of age and sex. S1-3 = sales sections 1-3; Eng = engineers; and Stf = staffs.

2.5 統計処理

統計処理には、Statistical Analysis System (SAS Institute, Cary, NC< USA)の統計プログラム・パッケージを使用した。生体信号指標と質問紙への応答の間の関連の評価には、Pearson の相関係数を使用した。質問紙によって測定される特性を評価するために因子分析を行った。質問項目間の内部相関が因子の抽出に与える影響を避けるために、反応間の相関係数の絶対値が 0.4 異常の項目の全てのペアについて、反応の分散が小さい方の質問項目を分析から除外する操作を、互いに相関する項目のペアがなくなるまで繰り返した。因子分析には、主因子法を用い、0.9 以上の eigenvalue の数を抽出因子数とした。重相関係数を共通性の推定に用い、共通性の小数点以下 3 桁まで数値が変化しなくなるまで、主因子分析を繰り返した。得られた直交因子の回転はバリマックス法を用いた。

Table 2. 生体信号指標と関連を示した質問紙の項目

質問項目	HR	SDRR	VLF	LF	HF	HFfrq	LFHF	LFsd	STmp	BM
A7 からだを大変よく使う仕事だ	0.42	-0.06	-0.07	-0.01	-0.08	-0.05	0.04	-0.03	-0.19	-0.04
A8 自分のペースで仕事ができる	0.07	-0.34	-0.39	-0.28	-0.25	-0.07	0.11	-0.17	0.13	-0.11
A9 自分で仕事の順番・やり方を決められる	0.11	-0.28	-0.31	-0.25	-0.24	0.01	0.08	-0.21	0.29	-0.19
B1 活気がわいてくる	0.11	-0.23	-0.18	-0.23	-0.18	0.04	0.05	-0.26	0.22	-0.18
B3 生き生きする	-0.05	-0.16	-0.07	-0.18	-0.2	0.04	0.08	-0.23	0.25	0.02
B4 怒りを感じる	-0.04	0.27	0.22	0.32	0.21	-0.14	0.08	0.31	-0.14	0.18
B5 心腹立たい	-0.01	0.21	0.19	0.26	0.07	-0.16	0.2	0.22	-0.13	0.14
B6 イライラしている	-0.15	0.32	0.28	0.36	0.23	-0.09	0.11	0.29	0.1	0.14
B7 ひどく疲れた	0.12	0.31	0.24	0.38	0.2	-0.07	0.15	0.34	-0.14	0.03
B8 へとへとだ	0.16	0.24	0.19	0.28	0.19	-0.1	0.02	0.22	-0.2	0.16
B9 だるい	0.06	0.28	0.24	0.31	0.17	-0.09	0.13	0.24	-0.12	0.15
B10 気がはりつめている	-0.1	0.38	0.37	0.37	0.28	-0.02	0.1	0.25	-0.19	0.04
B12 落ち着かない	0.23	0.01	-0.03	0.03	0.02	-0.05	-0.05	-0.01	-0.18	0.27
B14 何をするのも面倒だ	-0.01	0.25	0.21	0.23	0.28	0.08	-0.1	0.23	-0.08	0.24
B24 目が疲れる	-0.23	0.27	0.31	0.21	0.21	0.22	-0.14	0.19	-0.11	0.16
C2 職場の同僚と気軽に話ができる	0.04	-0.24	-0.23	-0.31	-0.1	0	-0.2	-0.24	0.15	-0.24
C4 上司は困ったとき頼りになる	0.11	-0.16	-0.21	-0.15	0.03	-0.03	-0.32	-0.12	0.02	0.02
C5 職場の同僚は困ったとき頼りになる。	-0.05	-0.24	-0.19	-0.26	-0.13	0.04	-0.24	-0.15	0.07	-0.27
C8 職場の同僚は個人的な相談をきいてくれる	-0.04	-0.3	-0.28	-0.32	-0.18	0.1	-0.16	-0.26	0.16	-0.28
E3 今日一日の創造性はどうか？	-0.15	0.24	0.26	0.21	0.2	0.1	-0.03	0.11	-0.05	0.06

Table 3. Rotated factor pattern of extracted factors

質問項目	因子 1 ストレス度	因子 2 抑うつ度	因子 3 疲労度
A3 一生懸命働かなければならない	-0.05	0.27	0.39
A7 からだを大変よく使う仕事だ	-0.14	0.46	0.13
A8 自分のペースで仕事ができる	-0.25	-0.16	-0.24
A10 職場の仕事の方針に自分の意見を反映できる	-0.48	0.05	-0.02
A11 自分の技能や知識を仕事で使うことが少ない	0.15	0.09	0.12
A13 私の部署と他の部署とはうまく合わない	0.48	0.14	-0.08
B2 元気がいっぱいだ	-0.12	-0.54	-0.09
B8 へとへとだ	0.24	0.38	0.49
B16 気分が晴れない	0.26	0.64	0.13
B19 めまいがする	0.6	-0.01	0.04
B22 首筋や肩がこる	0.49	-0.01	0.24
B26 胃腸の具合が悪い	0.23	-0.04	0.45
B29 よく眠れない	0.41	0.11	0.34
C2 職場の同僚と気軽に話ができる	-0.56	-0.04	-0.24
C3 配偶者、家族、友人等と気軽に話ができる	-0.04	-0.18	-0.33
C7 上司は個人的な問題の相談をきいてくれる	-0.61	-0.21	0.11
D1 仕事に満足だ	-0.44	-0.37	0.24
E3 今日一日の創造性はどうか？	0.14	0.03	-0.47

因子スコアと諸種との関連の分析は、一般線型モデルにより年齢、性別の影響を調整して行い、因子スコアと生体

信号指標との関連は相関係数によって評価した。P = 0.05を第一種の過誤の許容水準の閾値とした。

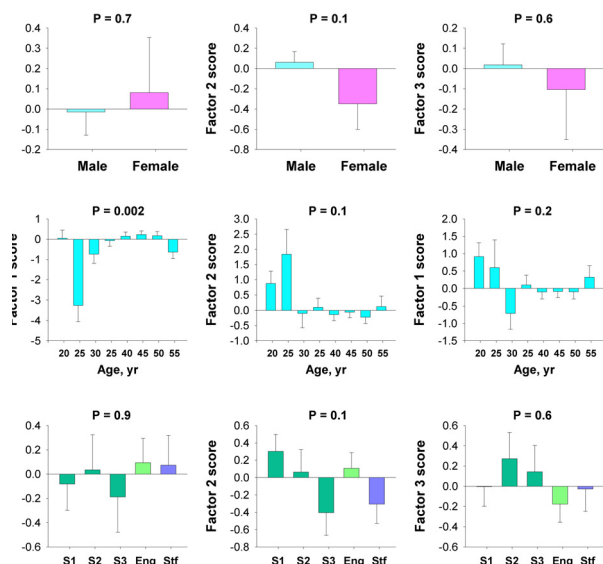


Fig 2. Factor scores by attributes of subjects

3. 結果

職種と生体信号指標との関連を Fig 1 に示す。年齢、性別の影響を調整すると、何れの生体信号指標は職種間で有意な差は示さなかった。

生体信号指標と有意な相関を示した質問紙の項目を Table 2 に示す。職務に関する裁量性が高いと答えている人ほど、就労中の R-R 間隔の標準偏差、心拍変動の超低周波数(0.0033-0.4 Hz)および低周波数(LF, 0.04-0.15 Hz)成分の振幅が低く、職場における葛藤が多く、疲労度が高く、上司や同僚とのコミュニケーションが不良であると答えている人ほど、LF 成分の振幅とその標準偏差(LFsd)が高かった。

質問紙に対する応答の因子分析の結果、0.9 を超える eigenvalue が 3 個あった。抽出された 3 因子の回転後の因子パターンを Table 3 に示す。各因子に貢献度の高い質問項目のパターンから、3 つの因子は、それぞれ、ストレス、抑うつ、疲労を反映すると考えられた。

3 因子の因子スコアと対象者の属性との関連を Fig 2 に示す。年齢とストレスを反映する因子 1 スコアとの関連を除いて、属性による因子スコアの有意な差は見られなかった。

Table 4 に、因子スコアと生体信号指標との相関を示す。因子の中で、生体信号指標と関連を示したのは、疲労を反映する因子 3 のスコアだけで、心拍変動成分の振幅の大きさおよび LFsd との間に正の相関が見られた。

4. 考察

ウェアラブル生体情報センサから得られる生体情報の効果的な加工法および活用法の開発のための基礎的知見を得る目的で、就労中の心拍変動、体動、皮膚温の基本的な特性を、営業部門、エンジニア、スタッフの間で比較するとともに、職業ストレス、精神的身体的負荷、コミュニケ

Table 4. Correlations between factor scores and biometric information

	因子 1	因子 2	因子 3
HR	0.06	0.14	0.03
SDRR	-0.17	0.12	0.34
VLF amplitude	-0.15	0.09	0.30
LF amplitude	-0.21	0.14	0.34
HF amplitude	-0.05	0.08	0.30
HF frequency	0.04	-0.03	0.02
LF/HF	-0.19	-0.02	-0.05
LFsd	-0.16	0.16	0.22
Skin temperature	0.13	-0.23	-0.12
Body movement	-0.05	0.01	0.07

ーションに関する質問紙への反応との関係を分析した。

その結果、就労中の生体信号指標は、年齢、性別の影響を調整すると、職種間で有意差はなかった。就労中の生体信号指標と質問紙に対する回答との関連の分析では、仕事における裁量性が高い人ほど、心拍変動の大きさを反映する SDRR、VLF 振幅、LF 振幅が小さく、精神的なイライラや疲労が高く、上司や同僚とのコミュニケーションが悪い人ほど、LF 振幅や LFsd が高かった。質問紙に対する反応を因子分析した結果、ストレス度、抑うつ度、疲労度を反映する 3 つの因子が抽出された。今回抽出された因子の中では、心拍変動の大きさや LFsd が疲労度と関連していた。

5. 結論

本研究の結果から、就労中の心拍変動特に LF 成分の振幅や LFsd は、仕事における裁量性の少なさから生ずる葛藤や疲労の推定に有用である可能性が示された。

参考文献

- [1] J. Hayano, J. A. Taylor, S. Mukai, A. Okada, Y. Watanabe, K. Takata, et al., "Assessment of frequency shifts in R-R interval variability and respiration with complex demodulation," *Journal of Applied Physiology*, vol. 77, pp. 2879-2888, 1994.
- [2] J. Hayano, J. A. Taylor, A. Yamada, S. Mukai, R. Hori, T. Asakawa, et al., "Continuous assessment of hemodynamic control by complex demodulation of cardiovascular variability," *American Journal of Physiology*, vol. 264, pp. H1229-H1238, 1993.
- [3] R. D. Berger, J. P. Saul, and R. J. Cohen, "Transfer function analysis of autonomic regulation. I: canine atrial rate response," *American Journal of Physiology*, vol. 256, pp. H142-H152, 1989.
- [4] J. T. Bigger, Jr., J. L. Fleiss, R. C. Steinman, L. M. Rolnitzky, R. E. Kleiger, and J. N. Rottman, "Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction," *Circulation*, vol. 85, pp. 164-171, 1992.