
カメラによる自律神経計測技術と健康経営への活用

Application of Camera-Based Measurement Technology of Autonomic Nerve System to Health and Productivity Management

船橋 一樹* 坂井 直樹*
Kazuki FUNAHASHI Naoki SAKAI

要 旨

リコーは「“はたらく”に歓びを」を2036年ビジョンとして掲げ、人ならではの創造力の発揮を支えるサービスをお客様に提供することを目指している。はたらく人が創造力を最大限に発揮するためには、従業員のコンディションを把握し、健康増進やエンゲージメント向上に繋がる健康経営施策を推進することが重要である。しかし、従来の主観アンケートによる評価では、従業員のコンディションを正確に把握することが難しいため、有効な健康経営施策を打ち出せないという課題があった。

そこで、従業員の客観的なコンディションを計測できる技術として「カメラによる自律神経計測技術」を開発した。本技術を活用したパルスサーベイを実施した結果、高ストレス群と非高ストレス群の自律神経スコアに有意な差が出ることが確認された。今後、健康経営に活用できるサービスとしての商品化を目指す。

ABSTRACT

RICOH has established Fulfillment through Work as our central vision for 2036 and aims to provide services that stimulate employees' creativity. Toward this end, it is important to understand their wellbeing and promote strategies that improve their health and engagement. However, formulating effective strategies has proven difficult because conventional subjective surveys cannot accurately assess employees' wellbeing.

Against this background, RICOH has developed an autonomic nerve system (ANS) which uses a camera to objectively measure the health condition of employees. Through a pulse survey utilizing this system, we determined that there is a significant difference between the ANS score of the high-stress group and low-stress group. We aim to commercialize this technology as a service to support health and productivity management.

* リコーデジタルサービスBU デジタルサービス開発本部 IoTソリューション開発センター
IoT Solutions Development Center, Digital Services Development Division, RICOH Digital Services BU

1. 背景と目的

リコーは「“はたらく”に歓びを」を2036年ビジョンとして掲げている。リコーが考えるはたらく歓びとは、仕事を通じて得られる充足感や達成感、自己実現である。お客様にはたらく歓びを実感して頂くために、仕事の生産性や効率化にとどまらず、人ならではの創造力の発揮を支えるサービスを今後創り出していくことを目指している。

はたらく人が創造力を最大限に発揮するためには、従業員ひとり一人が健康でイキイキと働ける環境作りが重要である。そのために注目されているのが、企業が従業員の健康に対して投資する健康経営である。優良な健康経営を実践している法人に与えられる健康経営優良法人の認定数は年々増加しており、2023年では大規模法人部門で2,676法人、中小企業法人部門で14,012法人が健康経営優良法人として認定された¹⁾。健康経営により従業員の心身の健康が増進すると、「従業員の生産性の向上」「創造性の向上」「企業イメージの向上」「医療費の低減」「離職リスクの低減」などのメリットがある。少子高齢化が進む中で、健康経営を推進することの重要性は今後ますます高まっていくと予想される。

一方で、健康経営を推進するにあたっての問題も出てきている。テレワークの導入など、働き方が多様化する中で、以前と比べて従業員のコンディションを把握しづらくなり、休職や離職を未然に防ぐことが難しくなっているという問題である。対策として、週に1回から月に1回の頻度で簡易的な主観アンケートを実施するパルスサーベイを導入する企業が増えている。しかし、主観による簡易的なアンケートのため、従業員のコンディションを正確に把握することが難しく、コンディション低下に気づいたときには手遅れという課題が多く発生していることが分かった。

このような課題を解決するために、「カメラによる自律神経計測技術²⁾」を開発した。本技術は、普段業務に使っているPC等のカメラを用いて、従業員の自律神経機能や疲労・ストレスを客観的に計測

できる技術である。本技術を活用して従業員のコンディションを客観的かつ日常的に把握することで、従業員のコンディション変化に素早く気づくことができ、休職や離職の未然防止に貢献できると考えている。

本稿では、開発した「カメラによる自律神経計測技術」について第2節で紹介する。また、本技術が休職や離職の未然防止に活用できる可能性を検証するために実施した社内実証の事例について第3節で紹介する。最後に、第4節で今後の展開について述べる。

2. カメラによる自律神経計測技術

本節では、従業員のコンディションを客観的に計測する技術として開発した「カメラによる自律神経計測技術」について説明する。

2-1 自律神経とは

はじめに、本技術で計測される自律神経について説明する。自律神経とは、心拍数や血圧、体温、消化吸収などの生体機能をコントロールしている神経である。自律神経には交感神経と副交感神経の2種類がある。交感神経はアクセルの役割を果たす神経で、活動時や緊張時に活発に働く。一方、副交感神経はブレーキの役割を果たす神経で、休息時やリラックス時に活発に働く。両神経の働きは、脳にある自律神経の中枢と呼ばれる部位で調節されている。自律神経の中枢が24時間休むことなく働き、交感神経と副交感神経の働きを調節することで、私たちが意識しなくとも生体機能が適正な状態に保たれる仕組みになっている。

このように自律神経は生命を維持する上で、非常に重要な役割を担っている。ゆえに、自律神経の機能が低下すると、心身に様々な不調が生じる。例えば、疲れやすい、不眠、頭痛、冷え、肩こり、食欲不振などの不調に繋がることが知られている。

自律神経機能の低下は、肉体的や精神的な負荷に起因するストレスによって自律神経の中核の処理が増加し、脳が疲労した状態になると表れることが分かっている³⁾。そのため、心身の不調を防ぐためには、従業員の自律神経の状態を日常的に把握し、疲労やストレスを改善するようにマネジメントすることが重要である。

2-2 カメラによる自律神経計測技術

「カメラによる自律神経計測技術」は、自律神経の状態を簡単かつ非接触で計測できる技術である。自律神経の計測には、従来接触式の心電センサーまたは脈波センサーが用いられていた。しかし、計測のために専用のセンサーが必要になるため、自律神経の状態を気軽に日常的に把握しようとした場合には使いづらいという課題があった。

そこで、専用のセンサーがなくとも自律神経を計測できる技術を開発した。本技術は、PCやスマートフォンなどのカメラを使って、簡単かつ非接触で自律神経を計測できることが特徴である。本技術では、下記の手順で自律神経を計測する。

- (1) 顔動画像の測定
- (2) 脈拍間隔の検出
- (3) 自律神経状態の分析
- (4) 疲労・ストレスの評価

各手順の詳細について、以下に記載する。

(1) 顔動画像の測定

汎用のRGBカメラを使って、顔の動画像を測定する (Fig. 1)。測定は椅子に座り、安静にした状態で行う。RGBカメラのスペックは、画素数600×480pixel以上、フレームレート30fps以上であることが望ましい。また計測時間は、脈拍間隔の揺らぎを評価するために、30秒以上であることが望ましい。

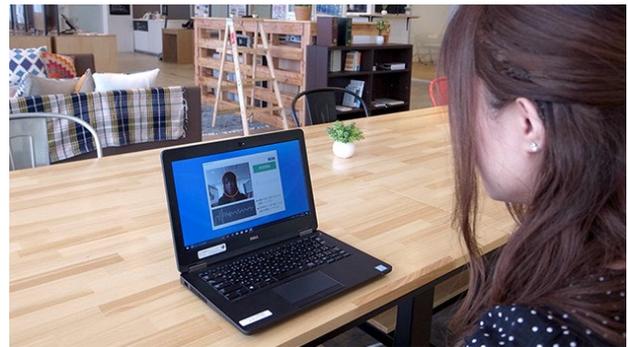


Fig. 1 Measurement of facial video images using an RGB camera.

(2) 脈拍間隔の検出

測定した顔動画像を解析して、脈拍間隔を検出する。脈拍間隔は、肌領域のRGB信号の時間的な変化を解析することで検出できる。これは、血中のヘモグロビンが可視波長域の光（特に緑色の波長の光）を吸収する特性を持つためである。脈拍に伴い血流量が変化すると、ヘモグロビンによる光吸収量が変化するため、肌領域からの反射光量も変化する。その結果、肌領域のRGB信号が周期的に変化する (Fig. 2)。この周期的に変化する信号のピークとピークの間隔を検出することで、脈拍間隔を算出することができる。

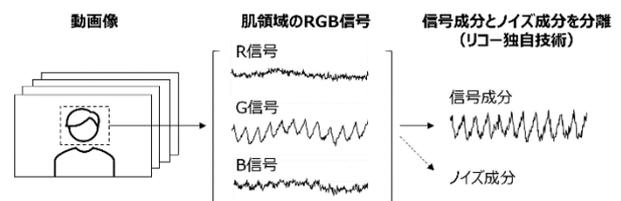


Fig. 2 Detection of pulse from facial video images.

肌領域のRGB信号の時間的な変化には、Fig. 2に示すように脈拍に起因する信号成分以外に、計測中に体が動いてしまうこと等に起因するノイズ成分が含まれる。脈拍間隔を高精度に検出するためには、RGB信号に含まれるノイズ成分を除去し、高いS/N比を持った信号成分を抽出することが重要であり、様々な手法が提案されている^{4,5)}。筆者らは、リコーが印刷画像の設計で培った色再現性や信号処理

に関するノウハウを応用して、信号成分とノイズ成分を高精度に分離できる独自技術を開発した。具体的には、信号成分とノイズ成分の周波数特性の違いを利用して脈拍間隔の揺らぎ成分に起因する信号成分を高精度に抽出する技術⁶⁾や、ノイズの影響度合いを評価して最適なノイズ除去方法を選択する技術⁷⁾等を開発した。それによって、汎用カメラで撮影した顔動画像からでも、自律神経状態の分析に必要な脈拍間隔を高精度に検出することを可能とした。

(3) 自律神経状態の分析

脈拍間隔の時系列データを周波数解析することで、自律神経機能の状態を表す自律神経指標を算出する (Fig. 3)。自律神経指標としては、*LF* (主に交感神経の働きを表す指標)、*HF* (副交感神経の働きを表す指標)、*LF/HF* (交感神経と副交感神経のバランスを表す指標)、*TP* (自律神経機能全体の働きを表す指標) などが利用されている。*LF*は低周波域 (一般的に0.04~0.15Hz) のパワースペクトルの積分値、*HF*は高周波域 (一般的に0.15~0.40Hz) のパワースペクトルの積分値から求めることができる。また、*LF/HF*は*LF*と*HF*の比率、*TP*は*LF*と*HF*の和で求めることができる。

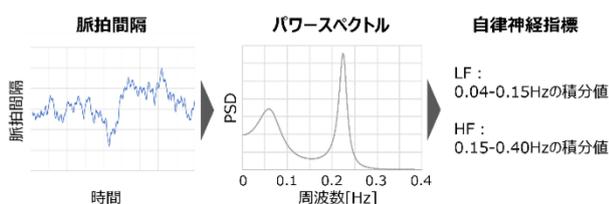


Fig. 3 Calculation procedure of indices of the autonomic nervous system.

(4) 疲労・ストレスの評価

自律神経指標は、疲労やストレスの客観指標としても用いられている。例えば*LF/HF*はストレスや急性疲労に関係する指標であり、一般的に数値が2.0を超えると注意とされている。また*TP*は慢性疲労に関係する指標であり、同年齢の平均値を下回ると注意とされている。そのため、本技術により自律神

経機能を日常的に計測することで、疲労やストレスの変化を客観的に把握することが可能である。

2-3 計測精度の検証結果

開発した計測技術の精度を検証するために、本技術で計測した自律神経指標と接触式の心電センサー (疲労ストレス測定システムVM302, 疲労科学研究所) で計測した自律神経指標との相関、およびVAS (Visual Analogue Scale) で評価した疲労主観値 (疲労感VAS) との相関を評価した⁸⁾。VASとは視覚的な評価スケールであり、0から100のスケールの中で現在の疲労感がどこに位置するかを被験者に回答して頂くことで疲労主観値を評価した。各指標の測定は、健常者に対してオフィス環境下で2-back task (作業記憶を評価するための認知課題) による疲労負荷を計2時間与え、負荷前と負荷後で行った。なお、本検証は事前に倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

本技術で計測した自律神経指標と接触式センサーで計測した自律神経指標との相関を評価した結果をFig. 4に示す。横軸は接触式の心電センサーVM302で計測した自律神経指標、縦軸はカメラによる自律神経計測技術で計測した自律神経指標である。疲労負荷前と負荷後に計測した被験者13名の自律神経指標を本評価のために用いた。各自律神経指標における相関係数は*LF*:0.994、*HF*:0.955、*LF/HF*:0.969となり、いずれの指標においても0.95以上の相関係数が得られた。この結果より、本技術はオフィス環境下において高い精度で自律神経指標を算出可能であることが確認できた。

また本技術で計測した疲労負荷前後での $\ln(LF/HF)$ の変化量と疲労感VASの変化量との相関を評価した結果をFig. 5に示す。個人差による影響を補正するために、両変数は変化量を用いている。また両変数の線形性を高めるために、自律神経指標*LF/HF*は自然対数をとった値を用いている。両者の間に有意な正の相関 ($R=0.658$, $p<0.01$) が認められ、 $\ln(LF/HF)$ の変化量が大きい被験者ほど疲労感VASの変化量が大きくなる関係を確認できた。また

接触式センサーで同様の評価をした際に得られた相関係数 ($R=0.700$, $p<0.01$) と比較しても、近い相関係数が得られることが分かった。この結果より、本技術の自律神経指標の算出精度は、健常者の疲労変化を評価できるレベルであることが確認された。

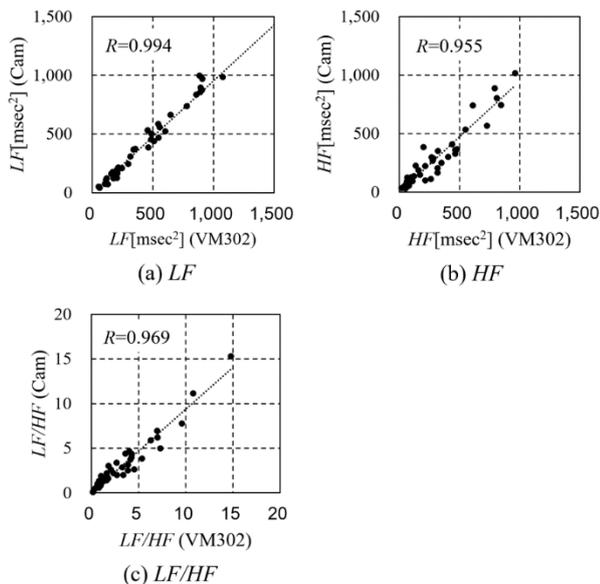


Fig. 4 Results of correlation evaluation of the three types of indices of autonomic nervous with contact-type sensors.

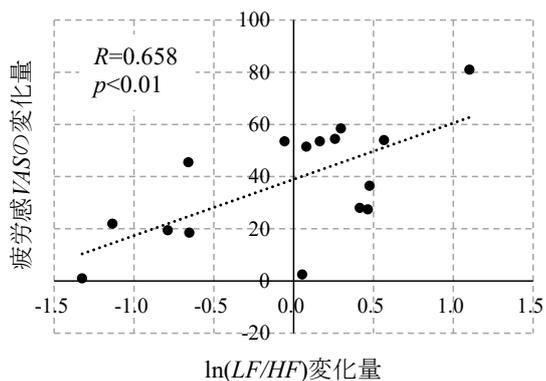


Fig. 5 Result of correlation evaluation with fatigue VAS.

以上の検証結果より、開発した「カメラによる自律神経計測技術」を用いて、自律神経の状態を客観的に計測できることが示された。本技術は、専用のセンサーがなくとも汎用のカメラで簡単かつ非接触

に計測できるという特徴があるため、自律神経の状態を日常的に把握し、疲労やストレスをマネジメントすることに活用できると考える。

3. 健康経営への活用

本節では、「カメラによる自律神経計測技術」の健康経営への活用可能性について、リコーで実施した社内実証の事例を用いて説明する。

3-1 社内実証の目的

第1節で述べたように、近年健康経営に対する意識が高まる一方で、テレワークの導入などにより従業員のコンディションを把握しづらくなっていること、それにより休職や離職の未然防止が難しくなっていることが大きな課題となっている。

そこで、「カメラによる自律神経計測技術」が本課題の解決に活用できるか検証するために、本技術を実装した自律神経計測アプリを用いた社内実証を実施した。今回の社内実証では、メンタルヘルス不調に起因する休職や離職の予兆を本技術で検出できる可能性があるか検証することを目的とし、メンタルヘルス不調の未然防止のために実施されているストレスチェックの結果と本技術により計測される自律神経指標との相関を評価した。また既存の主観的なパルスサーベイでは把握できない要注意者を検出できる可能性を確認するために、既存の主観的なパルスサーベイを併せて実施し、ストレスチェックで判定される高ストレス者との関係性を評価した。なお、本社内実証は事前に倫理審査委員会の承認を得た上で実施した。

3-2 社内実証のデータ取得方法

本社内実証では、自律神経計測アプリによるコンディションデータと、ストレスチェックに関するデータを取得した。自律神経計測アプリおよび各データの取得方法について、以下に記載する。

(1) 自律神経計測アプリ

「カメラによる自律神経計測技術」の健康経営への活用可能性を検証するために、本技術を実装した自律神経計測アプリを開発した。本アプリは普段業務に使っているPCで利用し、自律神経計測技術による客観的なサーベイを実施することができる。

Fig. 6は客観的なサーベイを実施する際の自律神経計測中の画面である。図中に表示されている数値は計測の残り時間を、波形は肌領域のRGB信号から抽出した脈拍に起因する信号を表す。本アプリを用いて定期的にサーベイを実施することで、従業員のコンディション変化を客観的に把握することが可能である。

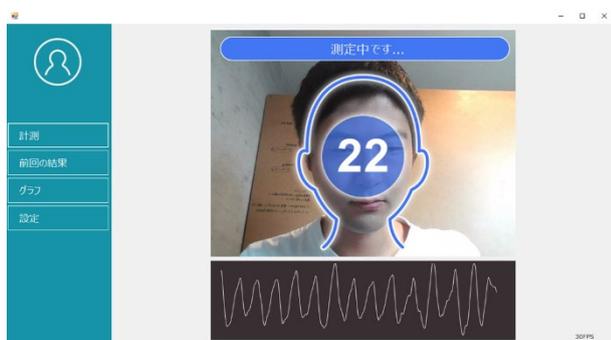


Fig. 6 Autonomic nerve measuring app.

(2) コンディションに関するデータの取得方法

取得したデータの一覧をTable 1に示す。従業員の客観的なコンディションを表す客観データとして、自律神経計測アプリを用いたパルスサーベイを週に1回、始業時のタイミングで実施し、Table 1に示す自律神経指標を取得した。また比較のために従業員の主観的なコンディションを表す主観データを客観データと同じタイミングでのアンケート調査により取得した。主観データは、既存のパルスサーベイで一般的に評価される「体調」に関する主観値を評価した。具体的には、「体調やメンタル面、睡眠状態などの健康状態は良好だと感じますか?」という質問に対して、「かなり当てはまる」「やや当てはまる」「どちらとも言えない」「やや当てはまらない」「まったく当てはまらない」の5段階で回答して頂

き、前記回答を1（かなり当てはまる）～5（まったく当てはまらない）の数値に置き換えて評価した。

Table 1 Data obtained from the demonstration experiment.

分類	データ項目
客観データ (自律神経指標)	LF (主に交感神経の活動を表す指標)
	HF (副交感神経の活動を表す指標)
	LF/HF (自律神経のバランスを表し、ストレスや急性疲労と関係する指標)
	TP (自律神経機能全体の働きを表し、慢性疲労と関係する指標)
主観データ	体調に関する設問 (5段階)

(3) ストレスチェックに関するデータの取得方法

ストレスチェックに関するデータは、職業性ストレス簡易調査票 (57項目版)⁹⁾を用いたアンケート調査を月に1回の頻度で実施して取得した。ストレスチェックでは、既存のパルスサーベイで実施される簡易的なアンケート調査と比較して設問数が多いため、評価に時間がかかるというデメリットがある一方、ストレスに関する状態をより正確に把握することができるというメリットがある。

3-3 社内実証の解析方法

メンタルヘルス不調に起因する休職や離職の予兆を「カメラによる自律神経計測技術」で検出できる可能性を検証するために、次の2つの解析を実施した。

- ・自律神経とストレスチェックの比較
- ・自律神経と体調主観値の比較

各解析の方法について以下に記載する。

(1) 自律神経とストレスチェックの比較

本技術で取得した自律神経データからメンタルヘルス不調に起因する休職や離職の予兆を検出できる可能性があるか検証するために、自律神経データとストレスチェックの関係について解析した。

自律神経データは、自律神経指標の時系列データから式(1)、式(2)で算出した特徴量 $\Delta\text{Score}(LF/HF)$ と $\Delta\text{Score}(TP)$ を用いて評価した。

$$\begin{aligned} \Delta\text{Score}(LF/HF) \\ = \overline{\text{Score}(LF/HF)} - \text{Score}(LF/HF_n) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta\text{Score}(TP) \\ = \overline{\text{Score}(TP)} - \text{Score}(TP_n) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\text{Score}(LF/HF)$ と $\text{Score}(TP)$ は自律神経指標 LF/HF と TP をそれぞれ主観との線形性が良くなるように自然対数をとった上で0～100点にスコア化した数値である。 $\text{Score}(LF/HF)$ は自律神経のバランスを表すスコアであり、自律神経指標 LF/HF が小さいほど、スコアが高くなる関係がある。 $\text{Score}(TP)$ は自律神経のトータルパワーを表すスコアであり、自律神経指標 TP が大きくなるほど、スコアが高くなる関係がある。なお、自律神経指標 TP は加齢に伴い数値が減少する傾向があるため、あらかじめ作成した年齢と自律神経指標 TP との関係式に基づき、スコア化の際に年齢依存を補正している。また $\overline{\text{Score}(LF/HF)}$ は $\text{Score}(LF/HF)$ の直近1か月の平均値、 $\text{Score}(LF/HF_n)$ は $\text{Score}(LF/HF)$ の直近の値、 $\overline{\text{Score}(TP)}$ は $\text{Score}(TP)$ の直近1か月の平均値、 $\text{Score}(TP_n)$ は $\text{Score}(TP)$ の直近の値である。

ストレスチェックは、職業性ストレス簡易調査票(57項目)の結果より、「労働安全衛生法に基づくストレスチェック制度実施マニュアル¹⁰⁾」に記載されている判定条件に基づき、下記の①または②のいずれかの条件に該当する被験者を高ストレス者と判定した。

- ①領域B(心身のストレス反応)の合計点数が77点以上
- ②領域A(仕事のストレス要因)と領域C(周囲のサポート)の合算の合計点数が76点以上、かつ領域Bの合計点数が63点以上

高ストレス者と判定された高ストレス群と、高ストレス者と判定されなかった非高ストレス群それぞれについて自律神経データの特徴量の平均値を算出し、両者の間に有意な差が見られるかどうかを評価した。

(2) 自律神経と体調主観値の比較

従来の主観アンケートでは検出できない隠れ要注意者を検出できる可能性があるか検証するために、自律神経データと体調主観値の関係について解析した。

自律神経データは、(1)同様に自律神経指標の時系列データから算出される特徴量 $\Delta\text{Score}(LF/HF)$ と $\Delta\text{Score}(TP)$ を用いた。また体調主観値は、「体調」に関する主観値の直近1か月の平均値を用いた。ストレスチェックで高ストレスと判定された被験者について、両者の値にどのような傾向が見られるかを評価した。

3-4 社内実証の解析結果および考察

自律神経とストレスチェックの比較結果、および自律神経と体調主観値の比較結果について、以下に記載する。

(1) 自律神経とストレスチェックの比較結果

ストレスチェックで高リスクと判定された高ストレス群と、高リスクと判定されなかった非高ストレス群それぞれについて、自律神経データの特徴量の平均値を算出して比較した結果をFig. 7に示す。Fig. 7(a)は自律神経指標 LF/HF の変化を表す特徴量 $\Delta\text{Score}(LF/HF)$ の平均値を比較した結果、Fig. 7(b)は自律神経指標 TP の変化を表す特徴量 $\Delta\text{Score}(TP)$ の平均値を比較した結果である。図中のエラーバーは標準偏差を表す。

Fig. 7より、高ストレス群と非高ストレス群の自律神経データの特徴量を比較すると、いずれの特徴量についても高ストレス群の値が低くなる傾向が見られることが分かった。また両群の差についてt検定を実施したところ、いずれの特徴量についても $p<0.05$ となり、有意な差であることが確認された。この結果は、ストレスチェックで高ストレスと判定された被験者は、直近の自律神経指標のスコアが低下する傾向があることを意味する。よって、自律神経計測アプリによるパルスサーベイにより自律神経を計測し、自律神経指標のスコアに低下する傾向が

見られたときにアラートを出すことで、高ストレス者を早期に把握できる可能性が示された。ストレスチェックで判定された高ストレス者は、メンタルヘルス不調に繋がるリスクのある従業員である。そのため、高ストレス者を早期に把握して対応することができれば、メンタルヘルス不調に起因する休職や離職を未然に防止できる可能性があると考えられる。

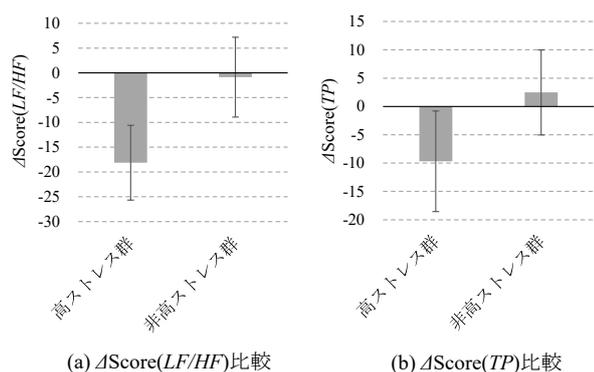


Fig. 7 Results of the comparison between the two types of scores of autonomic nerve and a stress questionnaire.

(2) 自律神経と体調主観値の比較結果

各被験者の自律神経データの特徴量と体調主観値を比較した結果をFig. 8に示す。横軸は体調主観値であり、数値が大きいほど体調が良好であることを表す。縦軸は(1)で高ストレス状態との関係が確認された自律神経データの特徴量 $\Delta\text{Score}(LF/HF)$ と $\Delta\text{Score}(TP)$ の和であり、数値が大きいほど自律神経の状態が良好であることを表す。(1)の評価において、両特徴量とも高ストレス状態との関係が確認されたことから、高ストレス状態には $\Delta\text{Score}(LF/HF)$ で評価されるストレス・急性疲労の変化量と $\Delta\text{Score}(TP)$ で評価される慢性疲労の変化量の両方が影響していると考え、両者の影響が反映された評価値として両特徴量の和を用いた。また(a)および(b)のデータは、ストレスチェックで高ストレスと判定された被験者のデータである。

今回の社内実証では、高ストレスと判定された被験者は4名だった。前記4名の体調主観値を確認する

と、2名については体調主観値が2点以下と低いため、体調主観値の結果から高ストレス者を検出できる可能性がある。しかし、残り2名については体調主観値が4点と高いため、体調主観値の結果から高ストレス者を検出することは困難である。つまり、体調主観値から高ストレス者を検出しようとした場合、2名の検出漏れが発生するおそれがある。

一方、高ストレスと判定された4名の自律神経データの特徴量を確認すると、4名全員の数値が約-20以下と共通して低い数値になっている。そのため、自律神経データの特徴量を用いると、体調主観値では検出が困難だった2名についても検出が可能と推察される。

よって、自律神経計測アプリによるパルスサーベイにより自律神経を計測し、自律神経指標のスコアに低下する傾向が見られたときにアラートを出すことで、従来のパルスサーベイで実施される主観による簡易的なアンケート調査では検出が難しい高ストレス者も把握できる可能性が示された。

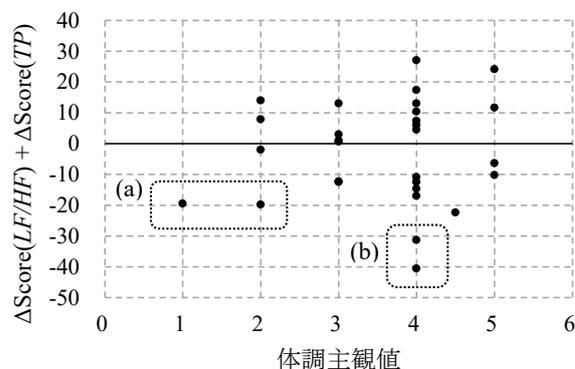


Fig. 8 Result of the comparison between the score of autonomic nerve and the subjective condition value.

(1)と(2)の結果より、カメラによる自律神経計測技術を活用することで、メンタルヘルス不調に起因する休職や離職の予兆を早期に検出できる可能性が示された。

4. まとめと今後の展開

本稿では、従業員のコンディションを客観的に計測できる技術として開発した「カメラによる自律神経計測技術」について紹介した。また、本技術の健康経営への活用可能性を検証した事例として、メンタルヘルス不調に起因する休職や離職の予兆を本技術で検出できる可能性があるか検証した結果、ストレスチェックで判定される高ストレス群と非高ストレス群の自律神経スコアに有意な差が出ることで、従来のパルスサーベイで実施される主観による簡易的なアンケート調査では検出が難しい高ストレス者も把握できる可能性があることが示された。

今後、さらに実践事例を増やしながら、健康経営への活用可能性についての検証を進めていく。また本技術を活用して従業員のエンゲージメント向上に貢献できるサービスを開発し、お客様の「はたらくの喜び」を実現することを目指していく。

参考文献

- 1) 経済産業省: 健康経営優良法人認定制度, https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/healthcare/kenkoukeiei_yuryouhouzin.html.
- 2) 株式会社リコー: カメラ画像による疲労計測技術, https://jp.ricoh.com/technology/tech/112_human_fatigue_detection.
- 3) 梶本修身: すべての疲労は脳が原因, 集英社新書 (2016).
- 4) K. Alghoul et al.: Heart rate variability extraction from videos signals: ICA vs. EVM comparison, *IEEE Access*, Vol. 5, pp. 4711-4719 (2017).
- 5) Y. QiuK et al.: EVM-CNN: Real-time contactless heart rate estimation from facial video, *IEEE Trans. Multimedia*, Vol. 21, Issue 7, pp. 1778-1787 (2019).
- 6) 株式会社リコー: 生体信号解析装置, 生体信号解析方法及びプログラム, 特許第7106821号 (2022).
- 7) 株式会社リコー: 脈波測定装置, 脈波測定プログラム, 脈波測定方法及び脈波測定システム, 特許第6724603号 (2020).
- 8) 船橋一樹ほか: カメラ画像を用いた自律神経機能評価法の開発と有効性検証, 第13回 日本疲労学会総会・学術集会 (2017).
- 9) 厚生労働省: 職業性ストレス簡易調査票 (57項目), https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzencisei12/dl/stress-check_j.pdf.
- 10) 厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課産業保健支援室: 労働安全衛生法に基づくストレスチェック制度実施マニュアル, <https://www.mhlw.go.jp/content/000533925.pdf>.