

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330332

研究課題名(和文) エモーショナル・フィットネス実践のための個人適応型最適運動強度及び運動方法の提案

研究課題名(英文) Estimation of Personal Optimum Exercise Strength and Proposal of Exercise Method for Emotional Fitness Practice

研究代表者

亀井 且有 (Kamei, Katsuari)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：20161234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：走者個人の無酸素性作業閾値(AT[b/m])をニューラルネットワークにより安静時、4、8[km/h]走行実験のみで相関係数0.92の精度で推定することができた。AT80,100,120%での走行実験によりストレス指標であるコルチゾール濃度がATの97.0%で最小となることがわかった。また、同様の実験で快適さの指標である二次元気分尺度がATの89.8%で最大となることがわかった。

リズム音によるリアルタイム心拍数制御システムの設計およびプロトタイプ製作を行い、走者2名に対して目標心拍数0.97AT[b/m]で野外走行実験を実施し、誤差0.6%、3.6%でそれぞれの心拍数を制御することができた。

研究成果の概要(英文)：A personal AT (Anaerobic Threshold) could be estimated in correlation coefficient 0.92 using only 0, 4 and 8 [km/h] runnings by neural networks. It was found that the cortisol density that was a stress index was minimized in 97.0% of AT by running experiments in 80%, 100%, 120% of AT. And it was also found that Two Dimension Mood Scale that was a psychological arousal index was maximized in 89.8% of AT by the same running experiments.

A real time heart beat rate control system by running to rhythm was designed and its prototype was made. The target heart beat rate for Emotional Fitness was set in 97% of AT and then outdoor running experiments were conducted wearing the prototype controller for two runners. It was confirmed that the errors between the target and average heart beat rates for 10 minutes were 0.6% and 3.6% for two runners, respectively.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：ストレス低減 ジョギング 最適運動強度 心拍数制御 リズム走行

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 人は日常生活において、環境や人間関係などのトラブルに遭遇することを避けることができない。ストレスはこのようなトラブルによって発生し、自律神経のバランスを崩し、心拍数の増加などの生理的な反応を起こす。このようなストレスによる心身の反応を抑制するための方法として、薬物療法や音楽療法、運動療法、カウンセリングなどによる心理療法などがある。この中でも、運動はストレス解消やリラックス効果といった心を健康にする効果だけでなく、成長の過程で心やからだ最適に機能するために重要である。近年、職場環境や人間関係などの影響で慢性的ストレスに晒され、精神的な問題を抱えている人が多いと言われており、手軽な自己療法でストレスを緩和する運動療法が望まれている。

(2) メタボリックシンドロームを代表とする生活習慣病の予防のために日常的な運動が望まれる。しかしながら、運動が辛い・単調・面白くないなどの理由にその継続が容易でないと指摘される中、気持ちよく楽しい運動方法が望まれている。

(3) 野外運動(例えば、ジョギング)の場合、心拍数制御は走行速度の強弱により意識的に行われるが、これはストレスの原因ともなる。楽しく自然で無理のない心拍数制御システムが望まれている。

### 2. 研究の目的

体力増強や減量など身体健康維持のための運動であるフィジカル・フィットネスあるいはエクササイズは一般的に運動の気持ちよさ・喜びといった人の感性を無視し、運動強度あるいは消費カロリーに焦点を当てて行われるため、運動が継続されないという問題が指摘されている。

本研究では、

(1) エモーショナル・フィットネス(EF:心の健康運動、ストレス低減運動)のために走者個々に最適な運動強度の推定法を提案する。

(2) 最適運動強度で走行するために音楽聴取による楽しく無理のない心拍数制御法を提案し、制御装置のプロトタイプを製作する。

(3) EF実践結果の検証を行なう。

### 3. 研究の方法

(1) 走者個々の無酸素性作業閾値(AT: Anaerobic Threshold)をニューラルネットワーク(NN)により簡易な走行実験に基づき推定する。

まず、漸増付加走行実験で走者はトレッドミル上を4[km/h]から30秒ごとに0.1[km/h]ずつ走行速度を上げ、8[km/h]まで20分間走行する。ATの算出は漸増付加走行実験より得られた二乗心拍数 $HR^2[b^2/m]$ を用いる。図1に示すように走行速度 $v[km/h]$ と $HR^2$ の関係はシグモイド関数で近似できる。心拍数が徐々に上昇する回帰直線 $L_2$ とシグモイド関数の最大傾斜を有する直線 $L_1$ との交点の心拍数をAT

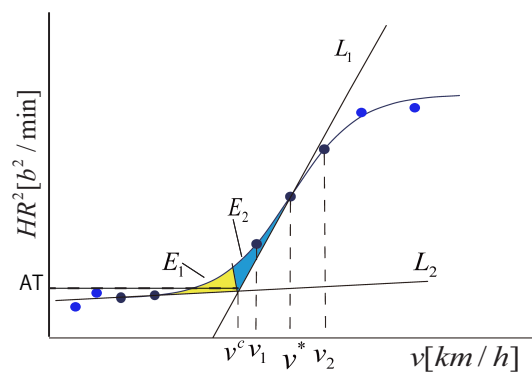


図1 AT<sup>2</sup>の算出方法

として算出する。次に、走行実験で得られた安静時、4[km/h]、8[km/h]走行時のそれぞれの心拍数とその時のATをトレーニングデータとしてNNで学習し、AT推定NNモデルを構築する。ただし、NNは3層の階層型とし、BPで学習を行なう。

(2) 運動後30分時のストレスを生理指標であるコルチゾール濃度にもとづいて測定し、ストレスが最小となるための運動強度(最適運動強度)を推定する手法を提案する。コルチゾールは副腎皮質から放出されるステロイドホルモンであり、ストレスとの関連で最もよく研究されている物質である。

トレッドミルを用いて男子8名、女子4名の各走者の前述したNNにより推定されたATを100%としたときの80%、100%、120%に対応する目標心拍数を維持しながら走行する実験を計3回行う。閉眼座位安静を5分間行い、コルチゾール濃度計測のための唾液採取および快適度計測のための二次元気分尺度測定を行なった後、4.0[km/h]から1分ごとに1.0[km/h]ずつ加速し、目標心拍数の誤差5%の範囲を維持しながら30分間走行する。走行終了後60分間、10分毎に唾液採取および二次元気分尺度測定を行なう。

(3) リズム音によるリアルタイム心拍数制御システムを構築し、プロトタイプを製作する。当初は音楽聴取による制御を試みたが、システムより音楽データを取得することができず、リズム音による心拍数制御に変更した。

心拍数制御システムのプロトタイプを設計し、マイクロコンピューターであるArduino Uno R3に実装する。システム構成は、走者の心拍数を測定するための耳に装着するパルスセンサー、走者に走行リズムを聞かせるためのスピーカー、心拍数データを記憶するためのSDカード、システムを駆動するための携帯型バッテリーからなる。リズム音による走者の心拍数制御法は、次の通りである。

①走者が聞くリズム音は4種類、Upテンポ(100.0b/m)、Mediumテンポ(85.7b/m)、Slowテンポ(75.0b/m)、Noneテンポ(63.2b/m)を用いる。

②制御則は、目標心拍数との誤差Eとその微分値 $\Delta E$ に基づいてテンポの増減(例: Slow

→ Mediumは+1、Up → Slowは-2)を経験的に決定した表1に示すルックアップテーブルで表し、システムに格納する。

③システムは10秒ごとに心拍数を計測し、EとΔEを算出し、ルックアップテーブルよりテンポを決定し、決定したテンポのリズム音をスピーカーから出力し、走者はそのテンポに合わせて走行する。

表1 制御ルックアップテーブル

E\ΔE		~7	-7~-5	-5~-3	-3~-1	-1~1	1~3	3~5	5~7	7~
		VN	N	ZO	P	VP				
~	V	+2	+2	+2	+2	+2	+1	+1	0	0
-14	N	+2	+2	+2	+2	+1	+1	+1	0	0
-10	N	+2	+2	+2	+1	+1	0	0	-1	-1
-6	ZO	+2	+2	+1	+1	+1	0	0	-1	-1
-2	P	+2	+1	+1	+1	0	-1	-1	-1	-2
2	VP	+1	+1	0	0	-1	-1	-1	-2	-2
6	V	+1	+1	0	0	-1	-1	-2	-2	-2
10	N	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2
14	P	0	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2

(4) 最適運動強度を目標値とした野外走行実験を通してEF実践結果の検証を行う。

プロトタイプを用いた野外走行実験を次のように実施する。

- ①走者のATをNNモデルを用いて決定する。
- ②EFのための最適運動強度(心拍数)を0.97AT[b/m]とし、心拍数制御システムに入力する。
- ③走者は心拍数制御システムを装着し、リズム音に従って10分間の走行を行う。また、翌日には心拍数制御システムを装着せずに同様の走行を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) NNによるAT推定

トレーニングデータ50組を用いてNNを学習させたのち、テストデータ45組を用いてモデルを検証した。図2に漸増付加走行実験により算出されたAT(実験値)とNNにより推定されたAT(推定値)との関係を示す。

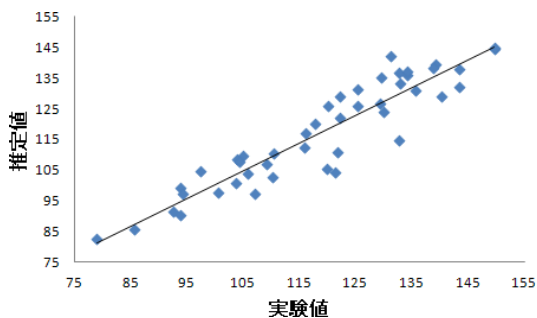


図2 算出ATと推定AT

図2における相関係数は0.92であり、安静時、4[km/h]、8[km/h]走行時の3心拍数のみでのAT推定が可能であることが明らかと

なった。

##### (2) EFのための最適運動強度の算出

AT80%、100%、120%での走者12名の平均コルチゾール濃度および近似二次曲線を図3に示す。同図より、ATの97.0%でコルチゾール濃度が最小となることが明らかとなった。

また、AT80%、100%、120%での走者12名の平均二次元気分尺度および近似二次曲線を図4に示す。同図より、AT89.8%で二次元気分尺度が最大となることが明らかとなった。

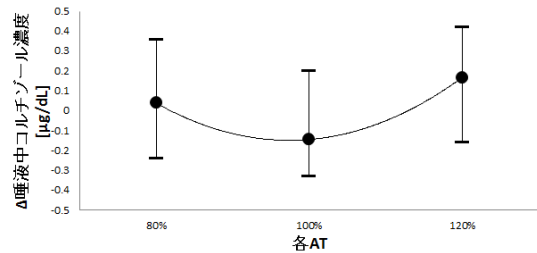


図3 唾液中コルチゾール濃度

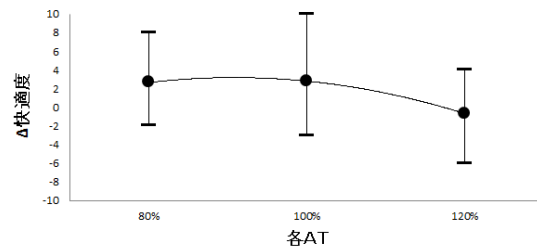


図4 二次元気分尺度による快適度

以上より、EFのためのストレス最小かつ快適度最大となる最適運動強度はAT[b/m]の90%~97%であることが明らかとなった。

##### (3) リズム音によるリアルタイム心拍数制御システムのプロトタイプ製作

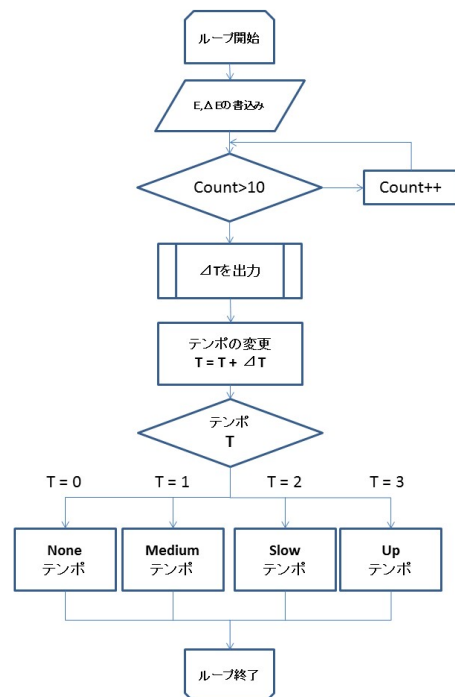


図5 制御フローチャート

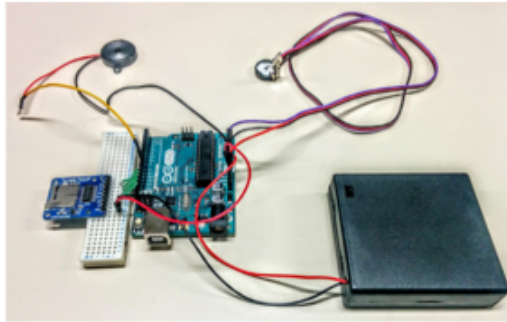


図6 プロトタイプの外観

図5にリズム音によるリアルタイム心拍数制御システムのアルゴリズム、図6に製作したプロトタイプを示す。

Pulse Sensorにおいて、提供元が推奨しているソースコードを使用するとTIMER2(タイマー割り込み)を使用しているため、リズム音を出しているTone関数との相性が悪く、リズム音を出すことができなかった。したがって、Pulse Sensorのコードを改良し、TIMER1を利用することによりリズム音を発生させることができた。また、携帯型プロトタイプとして可能な限り軽量かつ小さく製作するため、4本の単三電池を用いることにした。

(4)リズム音によるリアルタイム心拍制御システムの評価

野外走行実験は走者2名(A, B)に対して行った。図7および図8に走者Aの本システムを使用した時と使用しなかった時の心拍数変化をそれぞれ示す。なお、走者Aの最適運動強度は138.9 [b/m]である。

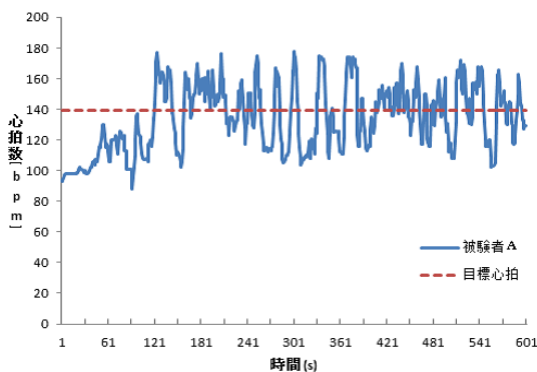


図7 リズムあり心拍数制御結果例

本システムを使用した時の10分間の平均心拍数と目標心拍数との誤差は0.9 [b/m]であり、ほぼ目標心拍数と一致した。一方、使用しない時は平均値で24.9 [b/m]高くなった。また、走者Bにおいても同様の結果を得ることができた。以上より、リズム音によるリアルタイム心拍数制御システムのプロトタイプの制御性能は十分満足できることが確認できた。

製作したプロトタイプを装着しての心肺負荷濃度にもとづくEFの検証実験について

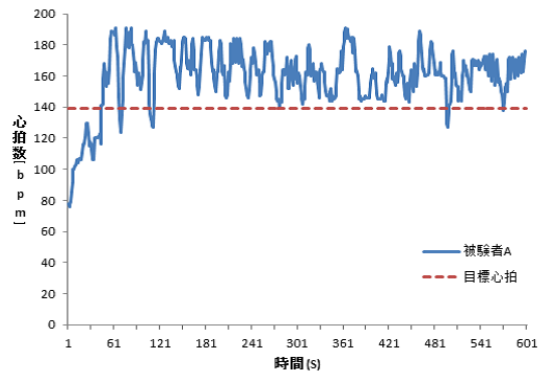


図8 リズムなし心拍数制御結果例

ては、実施することができなかった。しかしながら、最適運動強度0.97AT [b/m]による走行ができたことから、運動終了後30分における走者ストレスはかなり減少していると推定される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Hai V. Pham, Eric W. Cooper, Cao Thang, Katsuari Kamei, Hybrid Kansei-SOM Model using Risk Management and Company Assessment for Stock Trading, Information Sciences, 査読：有、巻：256、2014、ページ：8-24
- ② Hai V. Pham, Khang Dinh Tran, Katsuari Kamei, Applications Using Hybrid Intelligent Decision Support Systems for Selection of Alternatives Under Uncertainty And Risk, International Journal of Innovative Computing, Information and Control. 査読：有、巻：10-1、2014、ページ：39-56

[学会発表] (計 4 件)

- ① Fitra A. Bachtiar, Eric W. Cooper, Gunadi H. Sulisty, Katsuari Kamei, Modeling Student Affect in English Learning Achievement Using Association Rules. Proceedings of ACSET (The Asian Conference on Society, Education & Technology) 2014, 2014年10月29日、リーガロイヤルホテル(大阪府)
- ② Eric W. Cooper, Mitsuhiro Ota, Katsuari Kamei, Evaluation of an Online Non-Task-Oriented Dialogue System Based on Objective Personality Ratings, Proceedings of 50th Anniversary Conference of the American Society for Cybernetics, 2014年8月5日、Washington DC, USA
- ③ Tuan Linh Dang, Eric W. Cooper,

- Katsuari Kamei, Development of Facial Expression Recognition for Training Video Customer Service Representatives, Proceedings on 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2014年7月10日、Beijing, China
- ④ Tuan Linh Dang, Eric W. Cooper, and Katsuari Kamei, Design of a Facial Expression Warning System for Online Video Service Representatives, IEEE WCCI (World Congress on Computational Intelligence) 2014, 2014年6月6日～6月11日、Beijing, China

[図書] (計 1 件)

- ① Akira Nagai, Eric W. Cooper, Katsuari Kamei (Junzo Watada, Hisao Shiizuka, Kun-Pyo Lee, Tsuyoshi Otani, Chee-Peng Lim (Eds)), Springer, Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Analysis of Emotion when Reading e-Books with Sound Effects (Industrial Applications of Affective Engineering), 2014, pp.123-132 (総ページ数 293)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

亀井 且有 (KAMEI, KATSUARI)  
立命館大学情報理工学部・教授  
研究者番号：20161234