

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2014

課題番号：26560345

研究課題名(和文)射撃系競技選手の能力開発を目指したバイタルコントロール支援システム

研究課題名(英文)Vital control support system aimed at the enhancement of shooting ability.

研究代表者

小泉 淳一 (KOIZUMI, Junichi)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00150334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：自律神経機能指標解析システムの能力を次のように強化した。[1] 競技者にとって一番心理的に違和感のない心室収縮イベントを起点として、逆向きに必要な長さだけ自律神経機能指標計算のための時系列データを再構成するアルゴリズムを採用した。[2] 極小試験測定デバイスを導入することで、競技練習への干渉が少ない鼻梁に、測定デバイスの装着部位を変更した。これらと最大エントロピー法での周波数解析プログラムを組み合わせ、射撃系競技選手の能力開発を目指したバイタルコントロール支援システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：The performance of autonomic nerve indicator was improved in the following manners. [1] an algorithm for reconstructing the data timeline in which data were rearranged in reverse from each ventricular contraction event to respectively required elapsed time, because almost athletes have a psychologically preference for the indication synchronizing with their own ventricular contraction. [2] the introduction of a small prototype device made it possible that the attachment site of measuring device changed to the nasal bridge where less interference to competition practice for athletes. These devices was combined with the frequency analysis with the use of the maximum entropy method, resulting in a vital control support system aimed at aimed at the enhancement of shooting ability.

研究分野：生物システム工学

キーワード：バイオフィードバック バイタルコントロール 自律神経機能 心拍変動解析 最大エントロピー法

1. 研究開始当初の背景

2008年に日経メディカル開発から上梓した「本当は疲れていませんか？」(倉恒弘彦, 田島世貴, 小泉淳一)に続き, 2009年より厚生労働省科学研究費補助金(こころの健康科学研究事業)「自律神経機能異常を伴い慢性的な疲労を訴える患者に対する客観的な疲労診断法の確立と慢性疲労診断指針の作成」(略称: 疲労研究班, 研究代表者: 倉恒弘彦)に生物システム工学・生物統計学関連分野の研究分担者として参加し, 大阪市立大学医学部附属病院臨床研究倫理審査委員会, 横浜国立大学疫学研究倫理審査委員会等の承認を得ての6,000名以上の心拍変動を測定し, 解析した。これらの結果の一部は, 平成23年度に作成され, 平成25年3月にさらに改定された「慢性疲労症候群(CFS)の診断基準」の表2. CFS診断における補助的検査(客観的疲労評価)の3.心拍変動解析による自律神経機能評価(HFパワー値)のカットオフ値として掲載されている。

こうした精密な解析実績から, 北京五輪直前に男子アーチェリー代表選手と大学のアーチェリー部学生の心拍変動と自律神経機能変化の測定が求められ, さらに2012年春, ロンドン五輪代表選手の心拍変動と自律神経機能測定が要請された。前者の北京五輪代表選手は, ロンドン五輪でも日本代表となり, ロンドン大会の個人の部で決勝に進出し, 銀メダルを獲得するという卓越した成績を残した。驚くべきことに, 彼ら二人は, 非常に類似し, また特徴的な心拍変動と自律神経機能変化を試射中に示していた。これら卓越した成績を示した選手の心拍変動並びに自律神経機能の特徴を再現できるセルフコントロール支援のバイオフィードバックツールが開発できるならば, 彼らと同等のバイタルコントロールが達成でき, より優れた成績をあげられる次世代の射撃系競技選手育成が可能となると判断した。

2. 研究の目的

男子アーチェリー競技において, ロンドン五輪で銀メダルを獲得した五輪代表選手という卓越した成績を示した選手らの心拍変動並びに自律神経機能の測定結果を生かし, 彼らと同等のバイタルコントロールを達成し, より優れた成績をあげられる射撃系競技選手の能力開発のためのセルフコントロール支援バイオフィードバックツールを開発する。

3. 研究の方法(開発手段)

3.1 心拍測定デバイス

心拍変動の測定には, 一般には胸部に貼付した心電電極もしくは指尖または耳朶で主に反射光を測定する光電素子が用いられる。前者で測定した場合には, 心室収縮時に発生するR波の, また後者で測定する場合には, 光電素子出力(容積脈波)を2次微分した波

形(加速度脈波とも呼ばれる)から得るA波の時系列データを用いることとなる。ただ, 電極を装着した胸部に対する違和感は拭えず, また特に女子選手の場合, 装着に要する手間が嫌われることが予想される。指尖を測定部位とすることは, 競技特性から除外せざるを得ず, また耳朶での測定は, 意外なほどある耳朶形状・厚さの相違と, そうした相違も影響するが, 光電素子の密着度の制御が難しい。予備的に, 身体各部での反射光による血流観察の容易さを調べたところ, 皮膚と皮下脂肪が個人差無く薄い鼻梁が測定部位として至適であった。鼻梁にサージカルテープ等で固定できる極小の光電素子が, 本研究で開発するシステムのデータ採取デバイスとしては最適と結論できた。

半導体表面加工技術は進んでおり, 株式会社村田製作所では, 発光と受光部を約3mm平方の半導体に実装した素子を開発していた(下左図の右上部: 下右図は, 素子に対するファームウェア基板との接続)。



図1 採用半導体素子

現時点では, これらは製品としての出荷はされていないが, これの試験提供を受け, また, この素子への電源供給や, 素子からの出力を変換するファームウェアについては, 基板上に製作した。

3.2 装着者に対するセルフコントロール支援バイオフィードバックツールの自律神経機能解析エンジンとユーザーインターフェース設計

前述のアーチェリー競技2選手のそれぞれが個人的に会得した射撃スタイルは, 実は共通の心拍変動パターンとそれを支える無意識下での自律神経機能コントロールに支えられている。心拍変動パターンと自律神経機能を適当な頻度で可視化し, それを練習を通して五輪代表選手水準となるよう模倣することで, 彼らと同じ無意識下での自律神経機能コントロールを実現できる。ただし, そのためには心拍変動から自律神経機能の程度を調べる一般的方法として広く採用されている, 米国とヨーロッパの生理学関連の学会のTask Force of European Society of Cardiology and North American Society of Pacing ElectrophysiologyからのHeart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological Interpretation and Clinical Use. (Circulation 1996)に記されて

いる 200 から 1,000 Hz のサンプリングレートデータを数秒から数百秒の一定時間間隔で、または一定時間幅で周波数解析している。この手法から求められる結果は、仮に可能な限りリアルタイム表示したとしても、使用者の時間感覚とずれが発生し、このことは、多くの被測定者から指摘され、セルフコントロール支援ツール開発を目指すにあたり、解消すべき課題であった。使用者にとって一番心理的に違和感のない計算結果表示タイミングは、心拍との同期という示唆をもとに、心室収縮のイベント信号を検出し、このタイミングで時間を遡った時系列を再構成し、生成する形式に、すなわち、模倣の障害となる可能性の高かった心拍収縮イベントと非同期であった自律神経機能解析方法を、心室収縮イベントを起点として、逆向きに必要な長さだけ自律神経機能指標計算のための時系列データを再構成する時系列生成アルゴリズムへと変更した。

以上の変更を踏まえ、具体的な可視化と模倣を支援するインターフェースを、次のように 4 つの機能構成と設定し、仕様を作成した。

(1) コントロールパネル部

アプリケーションソフトウェアの本体となる表示・操作盤(パネル): パネル配下の各機能をコントロールして、リアルタイム自律神経解析を行い、これを表示し、かつ記録できるもの。

(2) 動画撮影部

Web カメラのコントロールを担う機能: 起動直後は、カメラの位置あわせのため、常時プレビュー表示を行う。コントロールパネルから動作撮影要求があった場合には、撮影終了要求があるまでを一本の動画として記録するものとする。

(3) センサ信号受信部

ECG (または PPG) センサデバイスとの通信、および上位機能への通知を担う機能: 起動直後よりセンサデバイスとの通信を開始する。センサデバイスがオープンできない場合はリトライし、オープンできた時点で通信を開始する。受信したデータを ECG 波形データ(または PPG)と、心拍間隔データ(または脈拍間隔)に分解し、上記機能に通知する。コントロールパネルから生信号記録要求があった場合には、記録終了要求があるまでにセンサデバイスからの受信内容を、後に再現できる形式で記録するものとする。

(4) 周波数解析部

心拍間隔データの周波数解析と、解析結果の上位機能への通知を担う機能: センサ信号受信部からの心拍間隔データの通知に連動して、直近 30 秒ないし 60 秒の時系列データを構成する。時系列データが構成でき次第、最大エントロピー法による周波数解析を行い、結果を上位機能に通知する。



図 2 設計システムの機能構成

4 . 研究成果 (開発成果)

開発システムの全体イメージを図 3 に、マイクロソフト Windows 7.0/8.1 上で試作したユーザーインターフェース画面構成を図 4 に示す。

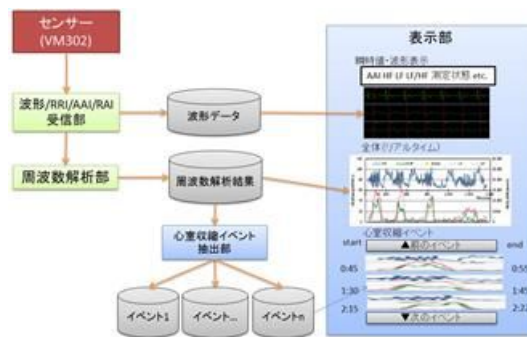


図 3 セルフコントロール支援バイオフィードバックシステムの構成



図 4 試作セルフコントロール支援バイオフィードバックシステムのユーザーインターフェース画面

測定部については、在庫の筐体に信号受信のための基板を装着し、そこからフレキシブルケーブルで試作提供品である半導体素子を接続した。全体の外観は図 5 (左) に、現況の試作品の身体への装着の例を図 5 (右) に示す。

この試作品の使用にあたっては、別途、並行して胸部に電極を貼付しての心電測定が、比較・検証のため必要であり、図 6 にその並

行測定の実際を示す(ただし、この写真例では、採用した半導体素子は、鼻梁を個人特定を避けるために目とともに隠す必要があったため、耳朶に貼付けている)。



図5 試作セルフコントロール支援バイタル信号測定機器部(左)と装備形態(右)



図6 試作バイタル信号測定デバイスと一般心電測定装置の並行装着(図では、鼻梁を隠さざるを得ないため、耳朶に半導体素子を貼付している。)

本研究の目的は「射撃系競技選手の能力開発のためのセルフコントロール支援バイオフィードバックツールを開発」である。射撃系競技選手向けには、自律神経機能測定アルゴリズムで、心拍イベントに同期した計算アルゴリズムの採用(図2)、運動の障害とならない程度の微小デバイスの採用(図1)で図られた。また、バイオフィードバックし、セルフコントロールに対しては、適切なユーザーインターフェースが構築できた(図3,4)。

5. 主な発表論文等

本研究は平成26年度一年で、上述の機器とシステムの開発にあたる計画であった。ここで開発した機器とシステムでの測定結果、そしてそれを基にした成果発表および産業財産権申請は、平成27年度以降の事業内容となるため、平成26年度にはない。

6. 研究組織

(1)研究代表者

小泉淳一 (KOIZUMI, Junichi)
横浜国立大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 00150334

(2)研究分担者

なし