

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01655

研究課題名(和文)心電図計測可能なスマートスイムウェアとそれを応用した水中運動指導システムの開発

研究課題名(英文)Development of the smart swimwear for heart rate measurement and application for underwater-training feedback system

研究代表者

塩澤 成弘 (Shiozawa, Naruhiro)

立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：30411250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：水泳/水中運動中の心電図計測とそれらから得られる情報は、トレーニングのために非常に有用である。ただし、水中で心電図やそこから得られる心拍数を手軽に計測できるデバイスは少ない。そこで、本研究では、着用するだけで心電図が計測できる水着タイプのスマートスイムウェアを開発した。スマートスイムウェアの電極配置は数種の電極配置を比較し決定した。水中における計測実験の結果、男性用スマートスイムウェアは明瞭な心電図を計測することができなかったものの、女性用に関しては、4泳法ともに明瞭な心電図が計測できた。さらに、計測した情報を本人や周囲の人に知らせることができるシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

効果的、かつ安全なトレーニングを行うとき、最適な運動強度の設定が必要である。特に有酸素運動を行うとき、一般的に心拍数がトレーニングの強度の指標として用いられる。水中での運動は関節の負荷が小さく安全なトレーニングとして知られているものの心拍数を測定できる機器は少ない。本研究ではこの点に着目し、誰でも簡単に心拍数が計測できる水着タイプの心拍計を開発とその情報をフィードバックできるシステムを開発した。

研究成果の概要(英文)：If we could measure the ECG during swimming/water exercise, the information obtained from the measured electrocardiogram is very useful for training. However, since it is difficult to measure an electrocardiogram in water, there are few devices that can easily measure the heart rate in water. In this study, we developed swimwear type smart swimwear that can measure the electrocardiogram just by wearing it. We determined the electrode layout of smart swimwear by comparing several electrode layouts. As a result of the measurement experiment in water, the smart swimwear for men could not measure a clear electrocardiogram. However, with the women's smart swimwear, a clear electrocardiogram could be measured during the various types of swimming. In addition, we have developed a system that allows the person and coach to check the measured heart rate.

研究分野：生体工学

キーワード：水泳 心拍数 ウェアラブルデバイス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

健康の維持・増進のための運動やスポーツとして、様々な場面で水泳や水中での運動が行われている。水中運動に限らず運動を行う際、目的に適った効果的なトレーニングを行いたい場合、運動強度の管理が重要である。運動強度の評価は、心拍数を用いて行うことができる。このことから、心拍数をリアルタイムで記録/解析し、それを自身や指導者、管理者が把握できる状態にできれば、水泳や水中運動の際、効率的なトレーニングを実現できると考えられる。

運動中の心拍数を知りたい場合、心電図や光電式脈波から算出する方法が考えられる。心電図と比較して光電式脈波は体動による外乱が発生するため、心電図による計測が最も精度の良い方法として知られている。水泳中の心電図計測については、防水型の電極と心電計があれば計測可能である。ただし、実際の活用場面を考えると、電極の装着は煩雑であり、専門知識も必要となる。また、長時間の電極の貼付はかぶれの原因にもなることから日常的な使用には適さない。

研究代表者はこれまで伸縮性がある高導電性エラストマーシートを衣類に貼付し、着るだけで心電図などの種々の生体信号が計測可能な“スマートウエア”を開発してきた。本ウエアは走行時にも安定して心電図が計測可能であり、無線にて外部にその情報を送信できる。スマートウエア技術を発展させ、“着るだけ”で心電図が計測できるスマートスイムウエアを実現し、運動強度をリアルタイムに自身や周囲に知らせることができるシステムが開発できれば、効率的な水泳トレーニング、水中運動が可能となると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の最終目標は、水泳やそのほかの水中運動のトレーニング強度をリアルタイムに自身、周囲に伝え、適切な運動強度を指示するシステムの実現である。この最終目標の実現のため、本研究課題では、(1) 男性用スマートスイムウエアの開発、(2) 女性用スマートスイムウエアの開発、(3) 心拍数フィードバックシステムの実現を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 男性用スマートスイムウエアの開発

本研究で開発する男性用スマートスイムウエアについては一般的なパンツ型のものとした。市販のパンツ型の水着に対して薄い導電性エラストマーシートで身体と電氣的に直接接触する電極部と絶縁シートで被膜した導線部パターンを作製し、それを水着に貼付することでスマートスイムウエアを開発する。このウエアに対して生体アンプとトランスミッターを内蔵したスマートウエアデバイスを取り付けることにより、心電図から心拍数情報を算出し、外部に無線通信を用いて情報を送信する。男性用スマートスイムウエアの実現のために以下の実験、および検証を実施した。

#### 最適電極位置の探索

心電図から心拍数を算出する場合、心電図の R 波ピークを検出し、そのピーク数をカウントすることで心拍数を算出する方法が多い。R 波ピークがノイズに対して大きいほど、ピーク検出にとって有利である。R 波の大きさは電極配置によって異なるため、図 1 に示す電極配置パターンの心電図を一般的なディスプレイ電極で計測し、R 波振幅を比較することで男性用スマートスイムウエアの電極位置を決定する。実験は男性被験者 1 名(年齢: 21 歳、身長: 171 cm、体重: 58 kg)に対して行った。計測には自作の生体アンプ回路(フィルター通過帯域 5 ~ 48Hz、ゲイン 68 dB)を使用し、200 Hz のサンプリング周波数で計測した。

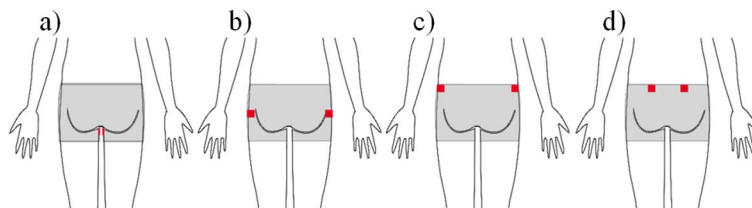


図 1 . 男性用電極配置 ( が電極を示す)

#### スマートスイムウエアの作製と検証実験

で決定した電極配置にてスマートスイムウエアを作製する。さらに、検証のため、プールで 4 泳法(バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、クロール)を行ったときの心電図を計測した。被験者は健康成人男性 6 名とした。

#### (2) 女性用スマートスイムウエアの開発

一般的な女性用水着を想定し、以下に示すように電極位置の決定、および検証のために水中における心電図計測を行った。以下、記載がない条件などは男性用スマートスイムウエアと同様である。

#### 最適電極位置の探索

(1) と同様に健康成人女性 1 名(年齢: 24 歳、身長: 158cm、体重: 49kg)に対して図 2 に示す配置にて、心電図の計測実験を行い、計測結果の比較からスマートスイムウエアの電極配置を決定する。

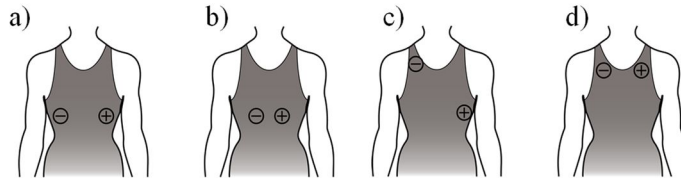


図2. 女性用電極配置 (⊕、⊖が電極を示す)

#### スマートスイムウェアの作製と検証実験

で決定した電極配置にてスマートスイムウェアを開発した。さらに、検証のため、プールで4泳法(バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、クロール)を行ったときの心電図を計測した。被験者は健康成人女性5名とした。

#### (3) 心拍数フィードバックシステムの開発

心電図用アンプ回路とMPU、無線送信機が一体化されたスマートスイムウェアデバイスとそのデータを受信し、ユーザーに情報をフィードバックするスマートフォンアプリケーション、およびデータを収集するサーバーアプリケーションを開発する。

### 4. 研究成果

#### (1) 男性用スマートスイムウェアの開発

##### 最適電極位置の探索

計測した心電波形から、すべての電極配置においてR波は確認できた。しかし、R波振幅には大きな違いがみられ図1 c)の電極配置がR波も大きく、電極間距離が離れており、水中での心電図の減衰の影響を受けにくいことから男性用スマートスイムウェアの電極配置として採用した。

##### スマートスイムウェアの作製と検証実験

図3に示す通り、男性用スマートスイムウェアを作製した。プールにおける検証実験では、心電図波形の減衰が大きく安定した心電図の計測は困難であった。

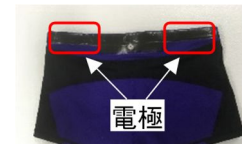


図3. 男性用スマートスイムウェア(裏面)

#### (2) 女性用スマートスイムウェアの開発

##### 最適電極位置の探索

すべての電極配置にて心電図の計測が可能であった。ただし、陸上にて、模擬的な泳動作を行ったところ、図2 a)、d)の配置は筋電の影響を大きく受けた。またR波の振幅は、b)よりもc)が大きかった。以上よりc)が最適な女性用スマートスイムウェアの電極配置であることがわかり、本配置を採用することとした。

##### スマートスイムウェアの作製と検証実験

図4に作製した図2 c)の電極配置の女性用スマートスイムウェアを示す。プールにおける水泳についても安定した心電図計測が確認できた。一例としてクロール中の心電図計測結果を図5に示す。



図4. 女性用スマートスイムウェア(裏面)

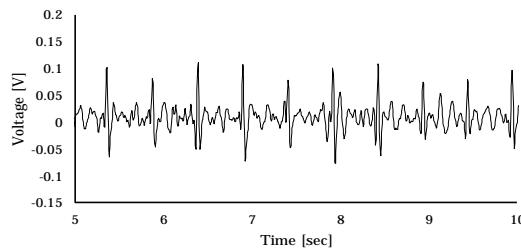


図5. 水泳中の心電図計測結果の一例(クロール)

#### (3) 心拍数フィードバックシステムの開発

図6に心拍数フィードバックシステムの中心となる開発したユーザーフィードバック用のスマートフォンアプリと心電図用アンプ回路とMPU、無線送信機が一体化されたスマートスイムウェアデバイスを示す。これと開発したスマートスイムウェアを組み合わせることで心拍数がリアルタイムに表示できることを確認することができた。また、スマートフォンで受信したデータについて、インターネットを介してサーバーにアップロードできる機能も実現した。

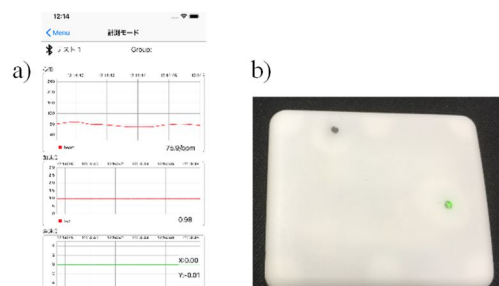


図6. システムの一部

- a) スマートフォンアプリ画面
- b) スマートスイムウェアデバイス

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1 . 発表者名 T. Toyoshi, N. Shiozawa
2 . 発表標題 Characteristic Evaluation of Flexible Film Material for a Wearable Device by Image-Based Method
3 . 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Goto, M. Nakatani, T. Toyoshi, N. Shiozawa
2 . 発表標題 Development of Underwear-Type Electrocardiogram Measurement System
3 . 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Nakatani, K. Yamamoto, D. Goto, T. Takuya , C. Taki, N. Shiozawa
2 . 発表標題 Development of Swimwear-Type Electrode for Electrocardiogram Measurement under the Water
3 . 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 C. Taki, N. Shiozawa, T. Kimura
2 . 発表標題 Trial-to-trial peak-force variability is associated with muscle activity pattern during repeated maximal plantar flexions
3 . 学会等名 Life Engineering Symposium 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Goto, C. Taki, M. Nakatani, T. Toyoshi, S. Okada, N. Shiozawa
2. 発表標題 Development of under-wear type device for electrocardiograph measurement
3. 学会等名 Life Engineering Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Goto and N. Shiozawa
2. 発表標題 Can Textile electrode for ECG apply to EMG measurement?
3. 学会等名 The World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nakatani and N. Shiozawa
2. 発表標題 The relationships between distance between the connectors of electrodes and the R-wave amplitude
3. 学会等名 The World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nakatani, N. Shiozawa
2. 発表標題 Measurement of Electrocardiogram in Water with the Shirt-Type Electrocardiogram Electrode
3. 学会等名 The IEEE Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Goto, N. Shiozawa
2. 発表標題 Development of Textile Electrodes for EMG Measurement During Walk and Run
3. 学会等名 The IEEE Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----