

Mindless Load Changer: 筋電センサ情報フィードバックを用いた体感負荷操作手法

双見 京介^{1,a)} 関 朋哉¹ 村尾 和哉^{1,2,b)}

概要: 筋電のセンサ情報をフィードバックするシステムは、身体的な負荷を把握・調節するために様々な支援に活用されている。一方、筋電センサ情報がユーザの体感負荷に影響する心理現象の検証はシステム的设计者や利用者に重要だが、それに着目した研究は行われてこなかった。そこで本研究では、筋電センサ情報によってユーザの体感負荷が無意識に変化する心理現象の存在とその操作方法の検証を目的とする。そして、筋電位センサ情報を提示して体感負荷を操作する手法、Mindless Load Changer, を提案する。提案手法が提示する筋電センサ情報は、実際のセンサ値とは異なり、体感負荷が大きい状態(あるいは小さい状態)を再現したものである。提案手法のプロトタイプシステムを実装した。評価実験では、体感重量と体感疲労への提案手法の効果を評価した。その結果、過半数の被験者の体感負荷の増減が、提示された筋電値に一致するように起こった。この結果から、筋電センサ情報によってユーザの体感負荷が無意識に変化する心理現象の存在と、その現象を操作する提案手法の実現可能性を確認した。本研究の結果は、筋電センサのようなユーザの体感負荷に関連するセンサ情報を用いたシステムの設計や利用に役立つと考えられる。

1. はじめに

心身状態(e.g., 心拍, 呼吸, 筋電, 体温, 動作)のセンサ情報をユーザにフィードバックするシステムは、心身状態の把握・調節を支援するために、多くの分野で利用されている。その一つとして、筋電位のセンサ情報をフィードバックするシステムがある。筋電位は、力の入れ具合や筋活動量に応じて変化するため、身体的な負荷を把握・調節するために様々な支援に活用されている。例えば、医療や理学療法やスポーツ科学などの場面で、身体各部のリハビリテーションやトレーニングの支援に活用されている [1][2][3][4][5][6][7]。身体的な負荷を把握できれば便利な場面は日常生活に多くあるため、今後、筋電位センサ情報の利用場面は増加すると考えられる。

一方、人の認知や心理に影響する可能性のある情報提示技術の設計においては、情報提示が人に起こす無自覚的な現象(例: 心理効果, 錯覚, 認知バイアス)の存在と操作手法を明らかにすることが、必要・重要と多くの研究が示してきた [8][9][10][11][12]。その例の1つに、心拍センサ情報の提示システムに関する先行研究 [13] がある。これらの先行研究は、提示される心拍数が実際の心拍数と誤差がある

(i.e., 異なる)にも関わらず、提示されるセンサ情報の心拍数と一致するようにユーザの心身の状態(例: 不安程度, 認知機能パフォーマンス)が無自覚的に変化する現象を確認した。また、これらの先行研究は、この現象を情報機器を用いて意図的に操作することで、ユーザの心身の向上を支援する手法を提案した。このような研究成果は、次の2点に役立つことが示されている。1) 情報提示システムの利用が心理現象を介して起こす問題の事前理解と対策検討。2) ユーザ支援のために情報提示システムが起こす心理現象を活用する技術。

本研究のリサーチクエストは次の点である。「RQ. 筋電位センサ情報のフィードバックによって、ユーザの体感負荷が無自覚的に変化する心理現象が存在する。また、その現象を意図的に操作できる手法がある。」この検証は、体感負荷を決定する要素として、自己基準と筋電位センサ情報のどちらが支配的かを知ることにも繋がる。自己に関するフィードバック情報の知覚によって心身状態が無自覚的に変化する先行研究(心拍 [13], 表情 [14], 声 [9])を踏まえると、フィードバックされる筋電位のセンサ情報に応じて、自己状態への認識が変わり、センサ情報と一致するように体感負荷が無自覚に変化する現象が起こると考えられる。例えば、筋活動量が大きい状態(or 小さい状態)を示すセンサ情報を見ることで、実際に体感負荷が大きい(or 小さい)と錯覚する現象が起こると想定する。この RQ の

¹ 立命館大学情報理工学部

² 科学技術振興機構さきがけ

a) futami@fc.ritsumei.ac.jp

b) murao@fc.ritsumei.ac.jp

検証は、筋電位センサ情報の提示システムの利用者と設計者に必要・重要な示唆を提供すると考えられるが、この検証に焦点を当てた研究はほとんどない。

そこで本研究では、前述の RQ の検証を目的とした。そして、筋電位センサ情報を提示して体感負荷を操作する手法を設計し、筋電位センサ情報を用いてユーザの体感負荷を無自覚的に操作できるか試みた。提案手法は体感負荷が大きい状態(あるいは小さい状態)を再現した筋電位センサ情報をフィードバックする。これによって、フィードバックされた筋電位情報と一致した体感負荷が誘発されると仮定する。提案手法のプロトタイプシステムを実装した。評価実験では、体感重量と体感疲労への提案手法の効果を評価した。

本研究の HCI 研究会への主な貢献は次の 3 点である。

- 筋電位センサ情報を利用して体感負荷を操作する手法、Mindless Load Changer, の紹介。
- 実験結果から、筋電位センサ情報によってユーザの体感負荷が変化する心理現象の存在と操作方法の確認。
- 情報提示の設計・利用への本研究の影響の考察。

2. 関連研究

体感負荷の操作手法、筋電位センサ情報提示システム

体感負荷の変化は、様々な要因によって起こることが知られている。例えば、物体の見え目の大きさが物体の重さの体感に影響する大きさ重さ錯覚 (size-weight illusion)、物体の材質が重量知覚に影響するという material weight illusion、持ち運ぶ物体の色によって体感疲労が影響する現象がある。こういった現象を利用して、身体負荷を変化させる手法が提案されている。例えば、荷物を持ち上げる場面での身体負荷を操作するために、VR 技術を利用して荷物の見え目の色を変化させる手法 (Ban ら [19]) や、VR 空間における物体の位置を変化させる手法 (Taima ら [23])。これらの研究は、体感負荷を変化させるために VR 技術が起こす心理効果を利用するアプローチを示し、また、体感負荷の操作技術が社会で役立つ可能性を示した。本研究は、これらから着想を得て、筋電位センサ情報を利用するアプローチを検証している。筋電位センサ情報の利用場面は先行研究の VR 技術とは異なるため、本研究成果は、先行研究とは異なる場面での活用が期待できる。

本研究では、筋電位センサ情報の提示システムを対象としている。本研究における筋電位センサは EMG (Electromyogram) センサと同じ意味である。EMG (Electromyogram) センサを用いたバイオフィードバックシステムは、医療やスポーツなどの場面で、身体各部のリハビリテーションやトレーニングを支援する目的で活用されている。例えば、筋骨格系の治療や心血管障害後の訓練 [1] 歩行の訓練 [2]、骨盤底筋の訓練 [3]、腕のインナーマッスル (棘下筋) の訓練 [4]、腰痛支援の訓練 [5]、上

半身 (僧帽筋下部、前鋸筋) の訓練 [6]、肩甲骨の訓練 [7]、などがある。筋電位センサを利用した先行研究では、センサ情報が起こす心理現象に着目した研究はほとんどない。そのため、本研究の知見は、筋電位センサ情報の提示システムの設計・利用に重要な知見を提供すると考えられる。

心理現象に着目した情報提示システムの研究

本研究と同様に、情報提示システムが起こす心理現象などの無自覚的な現象 (例: 錯覚、認知バイアス) に着目した研究が多くある。先行研究は、情報提示システムの起こす心理現象の発動条件を明らかにし、それを利用して、心身の無自覚的な変容のための手法を提案している。

ユーザの心身の状態の変容を目的とする手法がある。Costa et al. は、メンタル機能や認知機能を向上させるために、前述したように、心拍数情報が起こす錯覚の操作手法を提案した [13]。また、ユーザの感情を向上させるために、Yoshida et al. [14] は自身の表情を実際よりもポジティブに改変してフィードバックする手法を提案している。また、緊張場面でのメンタル機能を向上させるために、Futami et al. [15] は、成功と条件づけた聴覚刺激を生成・提示する手法を提案した。また、仕事や作業における集中力や生産性を向上させるための手法もある (生産性のログ提示 [10]、時間経過速度の変化 [16])。また、対話コミュニケーションの質を向上させる手法も提案されている (声変化 [9]、表情変化 [17])。体感や感覚を変容させる手法も提案されている。体感経過時間を操作するために、聴覚刺激 [11] や HMD からの視覚刺激 [18] を操作する手法がある。Ban et al. [19] は、持ち上げられる物体の外観色を変えることで、物体を持ち上げる際の主観的な疲労を軽減する手法を提案した。視覚情報を利用して満腹感を操作する手法も提案されている (Narumi et al. [20])。行動や選択を変容させる手法もある。観光客の流れをコントロールするために、Shen et al. は、観光ルートのカスタマイズ画面や店の rankings の見せ方を工夫する手法を提案している [21][22]。電車に乗り遅れない行動を誘発するために、Futami et al. [12] は電車の時刻表の見せ方を工夫する手法を提案している。

これら先行研究が明らかにした現象の存在と操作手法は、情報機器や情報インターフェースの設計に重要な示唆を提供してきた。例えば、次の 2 点に役立つことが示されてきた。1) 情報提示システムが心理現象を介して起こす問題の事前理解と防止技術設計。2) 心理現象を活用することで、人が自力では変容しがたい自身の要素 (例: 心身の状態や機能、行動、体感) の変容を、無自覚に低労力に変える支援技術設計。本研究成果も、上記 2 点に役立つと考えている。

3. 提案手法

本節では、本研究の仮説と、筋電位センサを用いた体感負荷の操作手法について述べる。

仮説

本研究のリサーチクエスションは1章で述べたものである。本研究の想定する現象の流れを図1に示す。筋電位の値は、力を入れ具合や筋活動量に応じて変化する。そのため、筋肉への負荷が高い場合(例: 重いものを持った場合)には筋電位は大きくなり、逆に、筋肉への負荷が低い場合(例: 軽いものを持った場合)には筋電位は小さくなる。ユーザがこの知識・経験をもつ場合、フィードバックされる筋電位のセンサ情報につられて・応じて、自己状態への認識が変わり、センサ情報と一致するように体感負荷が無自覚に変化する現象が起こる。例えば、同一の重量の荷物を持った場合であっても、筋電位が大きいことを示すセンサ情報を見ることで体感負荷が大きくなる錯覚が起こり、逆に、筋電位が小さいことを示すセンサ情報を見ることで体感負荷が小さくなる錯覚が起こる。

想定されるケース: 次のケースが想定される。ケース1) この現象が存在しない。この場合、筋電位センサ情報の閲覧によって、人の体感負荷が無自覚的に変化しないとわかる。この場合には、この現象によって何らかの悪い事態が起こる懸念がないことを報告できる。ケース2) この現象が存在しているが、その現象が予測できない傾向で起こる。この場合、この現象を意図的に操作できないとわかる。例えば、特定のパターンの筋電位センサ情報を提示した際に、体感負荷の増加と減少がランダムで起こる場合、この現象の操作はできない。また、この場合、この現象が問題を起こす可能性もあるとわかる。例えば、筋電位フィードバックシステムの提供によって、体感負荷が予期せず上昇し、何らかの問題(例: 危険な事態、体調不調)に繋がる可能性がある。したがって、これらを考慮したうえで、この現象が人に害を起ささないための何か(例: 施策、仕組み、ユーザ理解)の議論が必要とわかる。ケース3) この現象が存在していて、その現象が予測できる傾向で起こる。この場合、この現象を意図的に活用・抑制することができる。例えば、特定のパターンの筋電位センサ情報を提示した際に、体感負荷が予測通りに増減する場合、この現象を意図的に操作できる。この場合には、1章で述べた次の2点に役立つ知見が得られる。1) 筋電位センサ情報が心理現象を介して起こす問題の事前理解と防止技術設計。2) 筋電位センサ情報が起こす心理現象を活用するユーザ支援技術の設計。

仮説検証のための設定: これらの仮説を検証するために、本研究では荷物を持つ場面を設定する。この場面はユーザの負荷を検証する先行研究[19]でも採用されている。そして、体感負荷としては、体感重量と体感疲労の2種を対象とする。1つ目の体感重量は体感する重さを意味する。これは、先行研究では重量知覚とも呼ばれる。本研究の場面では、荷物を持った場合に体感する荷物の重量を意味する。2つ目の体感疲労は体感するしんどさを意味する。本研究

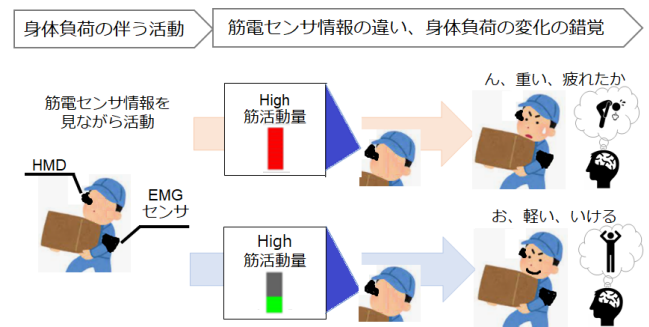


図1 仮説. 筋活動量の閲覧による体感負荷の変化の現象。

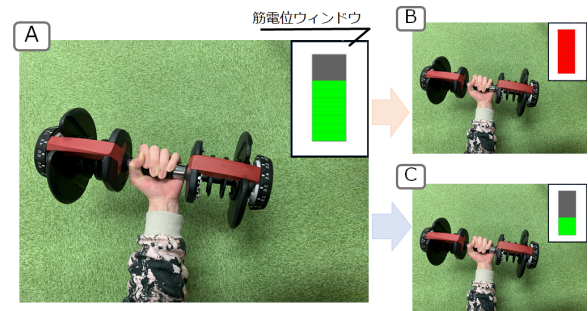


図2 画面デザイン

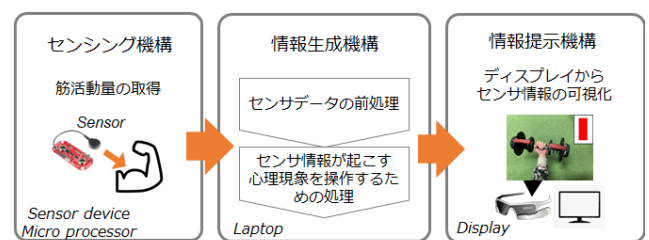


図3 システムフロー

の場面では、荷物の移動作業をした場合に体感する疲労を意味する。先行研究では、体感重量の変化によって体感疲労の変化が起こる例が示されている[19]。そのため、本研究でも同様の現象が起こると想定している。

3.1 体感負荷操作手法, Mindless Load Changer

概要: 本節では、筋電位センサ情報を用いて体感負荷を操作する手法について述べる。

本手法は、特定の体感負荷の状態を再現した筋電位センサ情報をフィードバックする。具体的には次の2種で、仮説を検証する。1) 高負荷再現情報の提示手法: この手法は、筋電位のセンサ値を実際よりも大きくすることで、体感負荷が大きい状態を再現した筋電位センサ情報をフィードバックする。この手法によって、負荷が大きい(例: 重い、疲れた)という錯覚が起こる。2) 低負荷再現情報の提示手法: この手法は、筋電位のセンサ値を実際よりも小さくすることで、体感負荷が小さい状態の筋電位を再現したセンサ情報をフィードバックする。この手法によって、負荷が小さい(例: 軽い、疲れていない)という錯覚が起こる。

これらは先行研究を踏まえて設計した。先行研究では、特定の心身状態を再現したセンサ情報の提示によって、そのセンサ情報と一致する心身状態が誘発される現象が示されている(心拍 [13], 表情 [14], 声 [9])。

画面設計: センサ情報提示画面を図2に示す。図2(A)のように、ウィジェットとして筋電位をゲージ形式で可視化する。ウィジェットは画面上の任意の位置における。仮説検証のための評価実験では、負荷が異なることがわかりやすいセンサ情報の提示が必要なため、ゲージ形式を採用した。筋電位が大きい場合には図2(B)のようにゲージ上部まで点灯し、筋電位が小さい場合には図2(C)のようにゲージ下部までしか点灯しない。

3.2 実装

提案手法のプロトタイプシステムを実装した。本システムは筋電センサ (Advancer Technologies 社製, ElectroMyography), マイクロプロセッサ (Arduino), PC (Lenovo 社, ThinkPad X1 Carbon (CPU: Intel Core i7-5600, 2.60 GHz, RAM: 8.00 GB)), ソフトウェアから成る。アプリケーション実装は processing で行った。

図3にシステムの流れと構成を示す。全体は、センシング機構、情報生成機構、情報提示機構の3つから成る。1つ目は、センシング機構である。ここでは、EMG センサで筋電位をセンシングする。今回は上腕二頭筋に EMG センサを付けるバンドを作成・利用した。サンプリングレートは 200[Hz] とした。2つ目は情報生成機構である。まず、センサ値に前処理を適用する。単純移動平均 (SMA) を用いて、一定のウィンドウサイズでセンサデータの平滑化を行う。ウィンドウサイズは 100[ms] とした。二乗平均平方根 (Root Mean Square) 処理を行う。次に、錯覚を生起するためのセンサ情報の生成をする。概要としては、高負荷再現情報はセンサ値を 50% 増加させた値とし、低負荷再現情報はセンサ値を 50% 低下させた値とする。この詳細は実験ごとに述べる。次に、センサ情報をゲージ表示形式にする。今回は、実験で扱う物体を持った際のユーザの筋電位の値が、ゲージの中央 50% になるように設定することで、ゲージ上部が高負荷再現情報でゲージ下部が低負荷再現情報となるようにした。ゲージは 10 ブロックとした。3つ目は情報提示機構である。ディスプレイでセンサ情報を表示する。ディスプレイには PC を経由して適切な機器を利用できる。例えば、外付けディスプレイ、顔装着型ディスプレイを利用できる。

4. 評価 1

評価 1 では、提案手法によって、体感重量が変化するかを評価した。被験者は 13 名 (右利き, 男性, 大学生, 20~25 歳) であった。

タスクと手順

実験概要: 実験概要は次のようになる。実験タスクは、センサ情報を見ながらの荷物の持ち上げと、荷物の重さの推定と回答である。荷物は 2 つで、同一の重さである。また、荷物ごとにセンサ情報の条件が変わる。センサ情報の条件は 2 種で、高負荷再現条件、低負荷再現条件である。以上から、センサ情報の条件の違いによる体感重量の変化を評価する。

実験詳細: 実験詳細は次のようになる。実験は、準備段階、影響計測段階の 2 段階からなる。

1) 準備段階は次のように行う。実験内容の説明を行う。説明では、筋電位センサ情報を見ながら持ち上げた荷物の重量を推定する実験と伝える。次に、被験者の利き腕の上腕二頭筋に EMG センサを装着する。次に、筋電位のセンサ値が持ち上げる荷物の重さによって変化することを理解するタスクを行う。このタスクでは、重量の違うダンベルを持ちあげた。重量は 1.5[kg], 2.5[kg], 3.5[kg], 4.5[kg], 5.5[kg] だった。また、この際に閲覧するセンサ値はゲージ形式ではなく、時系列的な波形のデータとした。

2) 影響計測段階は次のように行う。実験環境は図 4(A) になる。テーブルの上に、ディスプレイ、2 つの荷物が設置されている。2 つの荷物の重さは同一で 1500[g], サイズは横 190[mm], 縦 260[mm], 高さ 40[mm] であった。実験タスクは、荷物を持ち上げ、荷物を下ろす、荷物の重量の推定と回答から成る。このタスクを 2 つの荷物に対して行った。荷物を持つ姿勢は、大体同じ状態が再現されるように次のように指示した。荷物持ち上げ時には、図 4(B) のように荷物を目線まで持っていき、また、被験者正面のディスプレイ上の目線の先のセンサ情報も見る。荷物の持ち上げの時間は 5 秒以上で任意のタイミングで荷物を下ろした。荷物ごとにセンサ情報の条件が変わる。センサ情報の条件は 2 種で、図 4(C) のように、高負荷再現条件、低負荷再現条件であった。荷物の持ち上げ順はランダムであった。センサ情報については高負荷再現条件はゲージ 8 ブロック程度、低負荷再現条件でゲージ 3 ブロック程度になるようにした。この際には、事前に 1.5[kg] のダンベルを持った際のユーザの筋電位の値が、ゲージの中央 50% になるように設定し、高負荷再現条件はセンサ値を 50% 増加させた値とし、低負荷再現条件はセンサ値を 50% 低下させた値とした。実験でのセンサ情報の提示に頭部装着型ディスプレイの使用をしなかった理由は、装着に慣れていない機器や、装着に負荷がある機器を利用することで実験に影響が出る可能性を排除したからである。また、現実において据え置きコンピュータ画面で筋電を見るシステムも存在するため、この実験状況は実用的・現実的と考えたからである。

結果と考察

体感重量の結果を図 5 に示す。エラーバーは標準誤差を

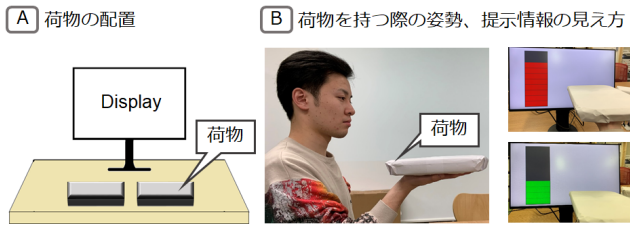


図 4 実験 1 の環境, 実験タスクの様子

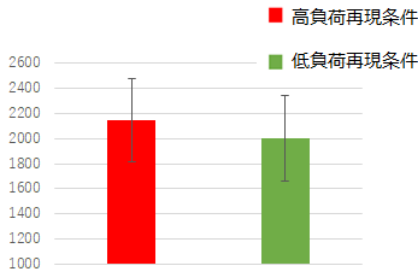


図 5 実験 1 の結果. センサ情報の条件ごとの体感重量の平均値.

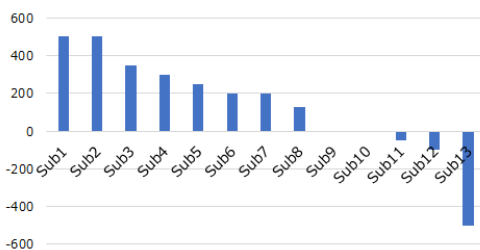


図 6 実験 1 の結果. センサ情報による体感重量の変化の個人差.

示す. 縦軸について大きいほど, 重量を重く知覚したことを意味する. 対応のある t 検定を行った結果, 条件間に有意傾向が認められた ($p < 0.1$). 仮説通り, 高負荷再現条件の方が低負荷再現条件よりも体感重量が大きかった. また, 図 6 に条件間の体感重量の変化の個人差を示す. これは, 高負荷再現条件の体感重量から低負荷再現条件の体感重量を引いた値である. そのため, この値が正方向であれば, 期待通りの反応で, センサ情報に一致した体感重量の変化が起きていることを示す. 逆に, この値が負方向であれば, 期待と逆の反応で, センサ情報に逆らった体感重量の変化が起きていることを示す. 結果から影響の個人差があることがわかる. 期待通りの反応の被験者は約 62%(8 名), 期待と逆の反応の被験者は約 23%(3 名), その他の反応(無反応)の被験者は約 15%(2 名)であった.

実験結果は, 筋電位センサ情報が体感重量に影響するという本研究の仮説を支持するものだった. センサ情報の条件の変化に応じて, 体感重量に一定の傾向の変化が起こった. 具体的には, 筋電位が大きく表示された条件の方が, 筋電位が小さく表示された条件よりも, 体感重量が大きくなった. これは, 筋電位のセンサ情報と一致するように体感重量が無自覚に変化したことを意味している. この結果

から, フィードバックされた筋電位のセンサ情報に応じて体感重量の変化が起きていることを確認し, その変化を意図的に操作できることを確認した.

また, 実験結果は, 筋電位センサ情報が体感重量に起こす影響に, 個人差があることを示した. 多数派の約 62%(8 名)の被験者が期待通りの反応であり, センサ情報に一致した体感重量の変化が起きた. 条件間で, 最大で 500g の体感重量の差を感じる者がいた. 一方, 期待と逆の反応の被験者は約 23%(3 名)であり, センサ情報に逆らう体感重量の変化が起きた. このようなセンサ情報による心理現象には個人差があることが先行研究でも報告されている. 例えば, 変調された発話音声を実タイムにフィードバックすることでユーザの声の音程を無自覚的に変える(例: 高く)するための手法の 7 名の実験結果 [8] では, 期待通りの反応の被験者は約 57%(4 名), 期待と逆の反応の被験者は約 29%(2 名), 影響なしの被験者は約 14%(1 名)であった. 本研究の被験者の反応の人数比率は先行研究と同程度にみえる. また, 心理現象のような無自覚な現象(例: 錯覚, 認知バイアス)が, 多くの人には期待通りの反応を起こし, 一部の人には期待と違う反応を起こすことを踏まえると, 本研究の結果も妥当なものと考えられる. 以上のように, 今回の筋電位センサ情報が起こす心理現象にも, 先行研究と同じく, 個人差があるとわかった.

5. 評価 2

評価 1 では, 体感重量の変化を評価した. 先行研究では, 体感重量の変化によって体感疲労の変化が起こる例が示されており [19], この現象が提案手法でも起こる可能性がある. そこで, 評価 2 では, 提案手法によって, 体感疲労が変化するかを評価した. 被験者は 8 名(右利き, 男性, 大学生, 20~25 歳)であった.

タスクと手順

実験概要: 実験概要は次のようになる. 実験タスクの 1 試行は, タスク前の疲労測定, センサ情報を見ながら荷物を移動させるタスク, タスク後の疲労測定, から成る. この 1 試行を, センサ情報の条件を変えて, 2 試行行う. センサ情報の条件は 2 種で, 高負荷再現条件, 低負荷再現条件の 2 種である. 以上から, センサ情報の条件の違いによる体感疲労の変化を評価する.

実験詳細: 実験詳細は次のようになる. 実験は, 準備段階, 影響計測段階の 2 段階からなる.

1) 準備段階は評価 1 と同様に行う. 実験内容の説明を行う. 説明では, 筋電位センサ情報を見ながら荷物の移動タスクを行い, 疲労を回答する実験と伝える. 次に, 被験者の利き腕の上腕二頭筋に EMG センサを装着する. 次に, 筋電位のセンサ値が持ち上げる物体の重さによって変化することを理解するタスクを, 評価 1 と同様に行う.

2) 影響計測段階は次のように行う. 実験タスクの 1 試行

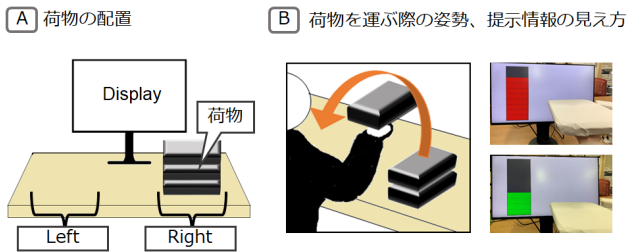


図 7 実験 2 の環境, タスクの様子

は、タスク前の疲労計測、荷物の移動タスク、タスク後の疲労計測、休憩、の 4 つから成る。荷物の移動タスクは後述する。荷物の移動タスクが起こした疲労を、そのタスクの前後に測定した疲労の差とする。疲労計測では、疲労度を 10 段階で回答させた。10 段階は「全く疲れていない」を 1 とし「ものすごく疲れている」を 10 とする。主観疲労の測定は先行研究 [19] でも利用されている。この 1 試行を、センサ情報の条件を変えて、2 試行行う。センサ情報の条件は 2 種で、高負荷再現条件、低負荷再現条件である。センサ情報の内容は、実験 1 と同様にした。休憩は、約 3 分間を基準とし、被験者ごとに必要な休憩をとることで、事前の疲労が同じになるようにした。1 試行ごとに、荷物は変えるが、荷物の重さは同一である。2 種の条件の実施順はランダムである。

荷物の移動タスク

荷物の移動タスクでは、3 つの荷物を移動させる作業を繰り返す。具体的には、次のようにする。実験環境は図 4(A) のようになる。テーブルの上に、ディスプレイ、所定位置 Right に荷物が 3 つ積み重ねてある。荷物は、見た目と重量が同一である。荷物の重さは 1500[g]、サイズは横 170[mm]、縦 240[mm]、高さ 60[mm] である。被験者は、これらの荷物を 1 つずつ持ち上げて次の所定位置 Left に置くことを繰り返すことで、3 つの荷物を次の所定位置 Left に積む。次に、所定位置 Left の荷物を 1 つずつ持ち上げて最初の所定位置 Right に置くことを繰り返すことで、3 つの荷物を最初の所定位置 Right に積む。この荷物の移動を、5 往復行う。図 4(B) に動作の様子を示す。物体持ち上げ時には、被験者正面のディスプレイ上にセンサ情報が表示され、センサ情報が目に入る状況である。評価 1 と同様に、荷物を持つ姿勢は、大体同じ状態が再現されるように指示した。具体的には、荷物持ち上げ時には、荷物を目線まで持っていき、また、被験者正面のディスプレイ上にある目線の先のセンサ情報も見るように指示した。

結果と考察

条件間の体感疲労の結果を図 8 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。縦軸の数値が大きいほど、疲労が大きいことを意味する。対応のある t 検定を行った結果、条件間に有意差は認められなかった。疲労の全被験者の変化量の平均値では、高負荷再現情報条件で 2.25、低負荷再現情報条

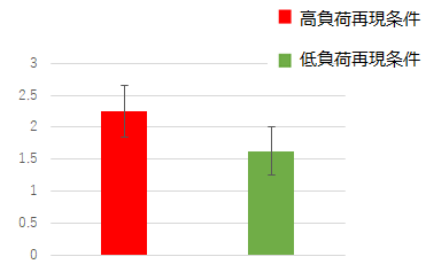


図 8 実験 2 の結果。センサ情報の条件ごとの体感疲労の平均値。

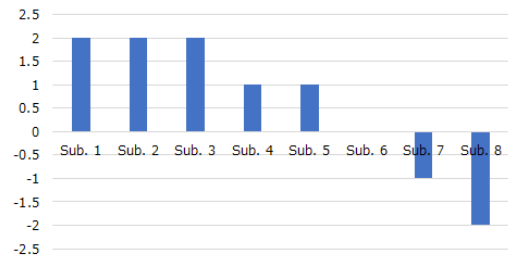


図 9 実験 2 の結果。センサ情報による体感疲労の変化の個人差。

件で 1.63 と回答された。また、図 9 に体感疲労を被験者ごとに示す。これは、高負荷再現条件の体感疲労から低負荷再現条件の体感疲労を引いた値である。そのため、この値が正方向であれば、期待通りの反応で、センサ情報に一致した体感疲労の変化が起きていることを示す。逆に、この値が負方向であれば、期待と逆の反応で、センサ情報に逆らった体感疲労の変化が起きていることを示す。結果から影響の個人差があることがわかる。期待通りの反応の被験者は約 62%(5 名)、期待と逆の反応の被験者は約 25%(2 名)、その他の反応(無反応)の被験者は約 13%(1 名)であった。

実験結果は、筋電位センサ情報が体感疲労に影響する可能性を示すものだった。センサ情報の条件の変化に応じて、有意差は無かったが、体感疲労に一定の傾向の変化が起こった。具体的には、筋電位が大きく表示された条件の方が、筋電位が小さく表示された条件よりも、体感疲労が大きくなった。これは、筋電位のセンサ情報と一致するように体感疲労が無自覚に変化したことを意味している。条件間の体感疲労の差は、作業時間の増加に応じて、今回の実験結果よりも明確な差として表れると考えられる。また、実験結果は、筋電位センサ情報が体感疲労に起こす影響に、個人差があることを示した。センサ情報に一致した体感重量の変化が起きた被験者は約 62%(5 名)であり、多数派の被験者が期待通りの反応だった。一方、期待と逆の反応の被験者は約 25%(2 名)だった。これは、評価 1 や、前述した先行研究 [8] と似た結果であった。この結果から、フィードバックされた筋電位のセンサ情報に応じて体感疲労の変化が起こる可能性を確認し、その変化を意図的に操作できる可能性を確認した。

6. 総合議論

本研究の結果、筋電位のセンサ情報の知覚によって、無自覚的に体感負荷が変化する現象が起こるとわかり、そして、その現象を操作する情報提示手法の一例を確認した。

センサ情報提示のバックファイヤ・ダークサイド

実験結果から、体感負荷が変わる現象が、筋電位のセンサ情報の提示システムによって、本人に無自覚的に、起こるとわかった。これは、筋電位のセンサ情報の提示システムが、心身や体験を害する問題を起こす方向に、人の体感負荷を変化させる可能性があることを示した。この現象が起こしえる問題として、次の可能性が考えられる。A) 身体トレーニングの支援時や、身体負荷の伴う作業の支援時において、身体負荷が意図せず上がることで危険な問題が起こる。例えば、ウォーキング時・リハビリ時に利用される *Wellness* 社のシステムにおいて、利用者の40%が何らかの観点で不調になり、5%が重大な健康被害を得る。また、仕事時に利用される *Evil* 社のシステムにおいて、利用者の体感疲労の変化を介して生産性が週に2日間は30%低下する。*Other*) その他として次の例も考えられる。体験を害する例としては、ゲームや体験型エンターテインメントの用途のシステムにおいて、体感負荷が高い方が望ましい体験が得られる場面で、身体負荷が下がることで本来得させたい体験が得られない問題が起こる。また、選択・行動の変容の例としては、街の特定の位置で体感負荷が高くなる錯覚を起こして、その周辺の飲食施設や休憩施設への入場・購買行動が誘発されることで、特定の組織が利益を得る問題が起こる。

こういった問題が、偶然に予期せず起こる場合と、誰かの悪意によって特定の国・組織・個人に都合が良くなるように意図的に起こる場合(例: 悪い現象を起こす仕組みがインストールされる場合)がある。したがって、こういった問題を考慮してシステムの設計や利用を行う必要があると考えられる。次の例がある。1) 利用者は、システム利用時に自身に起こる変化を把握・管理する。この把握のための簡易テストを開発・提供し、システム利用前や一定期間ごと(数か月単位)にテストを行う。2) システム利用場面ごとに、問題が起きる方向に心理現象を起こさない仕組みをシステムに設置する。例えば、負荷が不必要に高くなることを絶対に起こしてはいけない場面のシステムにおいては、常に体感負荷が低くなる心理現象が起こる仕組みをシステムに付ける。

筋電位センサ情報の心理現象を活用したユーザ支援

本論文は、体感負荷の無自覚的な変容を支援するために、筋電位センサ情報が起こす現象が活用できることを示した。本来であれば、体感負荷を変えることは、自力では困難である。しかし、この変化をセンサ情報を用いることで簡便に行えた。また、提案手法が起こした現象は、瞬間

的に起こり、ユーザーの追加の努力や追加の機器の用意の必要がなかった点も注目すべき点と考えられる。この現象を操作できる技術は、身体的な活動が伴う場面で、体感負荷の適切な維持や変化を支援するために、活用できると考えられる。例えば、身体活動の伴う作業や活動の支援、身体トレーニング支援、ゲームやエンターテインメントで適切な身体負荷を体感させるための支援、などがある。これは、バックファイヤの節で述べた内容を、良い目的の方向に起こす技術である。以上のように、本研究成果は、良い目的のためにユーザーの体感負荷の変容を起こす技術開発のために、役立つと考えられる。

個人差

評価結果から、筋電位センサ情報の起こす心理現象には個人差があるとわかった。情報提示システムが起こす心理現象に個人差があることは、先行研究と同じであった。情報提示が起こす心理現象を扱う研究では影響の個人差まで報告されていないものも多いが、全員に同一の効果を起こす手法は存在しないため、情報提示システムが起こす心理現象に個人差があることは必然と考えられる。

個人差が起きた原因としては次の点が考えられる。1) 筋電位と体感負荷の関係の学習が実験期間だけでは不足していた。例えば、長期的に筋電位を見る生活をする事で筋電位と体感負荷の関係を十分に学習すれば、本研究で想定した現象が起こるユーザが増えると想定できる。2) 個人の性格特性の影響を受けた。例えば、反抗精神を有する被験者は、センサ情報を疑う思考をしたせいで、センサ情報に反発する反応を起こしたと想定できる。こういった個人差が起きた原因の探求も、情報提示システムが起こす心理現象を扱う研究においては、行う必要があると考えられる。この点は今後の課題である。

このような個人差の公開は、情報提示システムの設計や利用にあたって必要・重要な示唆を提供すると考えられる。多数派の期待通りの反応の結果だけを報告するのでは、こういった個人差への対処の議論が全く行われない。全員が多数派の期待通りの反応を得るという間違いの知識が、システムの利用者や開発者に普及した場合、新たな問題が起こる可能性もある。例えば、全員に同じ情報を与えるシステムが普及することで、多くの人が良い効果を得ることに加えて、一部の人が悪い効果を感じずに得る問題が起こると想定される。個人差への対応は今後の課題である。

7. まとめ

本研究では、筋電位センサ情報によってユーザの体感負荷が無意識に変化する心理現象の存在とその操作方法の検証を目的とした。結果、多数派の被験者の体感負荷の増減が、提示された筋電値に一致するように起こった。この結果から、筋電位センサ情報によってユーザの体感負荷が無意識に変化する心理現象の存在と、その現象を操作する提案手法

の実現可能性を確認した。今後は多様な被験者への検証を行う。その他にも、身体トレーニング時やリハビリテーションなどを対象に同様の現象が起こるかを検証することや、センサ情報が起こす心理現象の個人差の対応も行う。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費若手研究 JP19K20330、公益財団法人立石科学技術振興財団 2018 年度研究助成 A の助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Giggins, O. M., Persson, U. M., Caulfield, B. (2013). Biofeedback in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10(1), 1-11.
- [2] Aiello, E., Gates, D. H., Patriitti, B. L., Cairns, K. D., Meister, M., Clancy, E. A., Bonato, P. (2006, January). Visual EMG biofeedback to improve ankle function in hemiparetic gait. In *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference* (pp. 7703-7706). IEEE.
- [3] Dannecker, C., Wolf, V., Raab, R., Hepp, H., Anthuber, C. (2005). EMG-biofeedback assisted pelvic floor muscle training is an effective therapy of stress urinary or mixed incontinence: a 7-year experience with 390 patients. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 273(2), 93-97.
- [4] Lim, O. B., Kim, J. A., Song, S. J., Cynn, H. S., Yi, C. H. (2014). Effect of selective muscle training using visual EMG biofeedback on infraspinatus and posterior deltoid. *Journal of human kinetics*, 44, 83.
- [5] Stuckey, S. J., Jacobs, A., Goldfarb, J. (1986). EMG biofeedback training, relaxation training, and placebo for the relief of chronic back pain. *Perceptual and motor skills*, 63(3), 1023-1036.
- [6] Son, J. I., Lim, O. B., Han, H. R., Cynn, H. S., Yi, C. H. (2015). Selective Muscle Activation With Visual Electromyographic Biofeedback During Scapular Posterior Tilt Exercise in Subjects With Round-Shoulder Posture. *Physical Therapy Korea*, 22(4), 17-26.
- [7] Holtermann, A., Mork, P. J., Andersen, L. L., Olsen, H. B., Søgaard, K. (2010). The use of EMG biofeedback for learning of selective activation of intra-muscular parts within the serratus anterior muscle: a novel approach for rehabilitation of scapular muscle imbalance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(2), 359-365.
- [8] Adams, A. T., Costa, J., Jung, M. F., Choudhury, T. (2015, September). Mindless computing: designing technologies to subtly influence behavior. In *Proceedings of the 2015 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing* (pp. 719-730).
- [9] Costa, J., Jung, M. F., Czerwinski, M., Guimbretière, F., Le, T., Choudhury, T. (2018, April). Regulating feelings during interpersonal conflicts by changing voice self-perception. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-13).
- [10] Kim, Y. H., Jeon, J. H., Choe, E. K., Lee, B., Kim, K., Seo, J. (2016, May). TimeAware: Leveraging framing effects to enhance personal productivity. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 272-283).
- [11] Komatsu, T., Yamada, S. (2020, April). Exploring Auditory Information to Change Users' Perception of Time Passing as Shorter. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-12).
- [12] FUTAMI, K., TERADA, T., TSUKAMOTO, M. (2020). A Method for Controlling Arrival Time to Prevent Late Arrival by Manipulating Vehicle Timetable Information. *Journal of Data Intelligence*, 1(1), 001-017.
- [13] Costa, J., Guimbretière, F., Jung, M. F., Choudhury, T. (2019). Boostmeup: Improving cognitive performance in the moment by unobtrusively regulating emotions with a smartwatch. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 3(2), 1-23.
- [14] Yoshida, S., Tanikawa, T., Sakurai, S., Hirose, M., Narumi, T. (2013, March). Manipulation of an emotional experience by real-time deformed facial feedback. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference* (pp. 35-42).
- [15] Futami, K., Terada, T., Tsukamoto, M. (2016, February). Success imprinter: A method for controlling mental preparedness using psychological conditioned information. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016* (pp. 1-8).
- [16] Ban, Y., Sakurai, S., Narumi, T., Tanikawa, T., Hirose, M. (2015, March). Improving work productivity by controlling the time rate displayed by the virtual clock. In *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference* (pp. 25-32).
- [17] Suzuki, K., Yokoyama, M., Yoshida, S., Mochizuki, T., Yamada, T., Narumi, T., ... Hirose, M. (2017, May). Faceshare: Mirroring with pseudo-smile enriches video chat communications. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 5313-5317).
- [18] Shimizu, T., Futami, K., Terada, T., Tsukamoto, M. (2017, November). In-clock manipulator: information-presentation method for manipulating subjective time using wearable devices. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (pp. 223-230).
- [19] Ban, Y., Narumi, T., Fujii, T., Sakurai, S., Imura, J., Tanikawa, T., Hirose, M. (2013, April). Augmented endurance: controlling fatigue while handling objects by affecting weight perception using augmented reality. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 69-78).
- [20] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T., Hirose, M. (2012, May). Augmented perception of satiety: controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 109-118).
- [21] Shen, R., Terada, T., Tsukamoto, M. (2016). A method for controlling crowd flow by changing recommender information on navigation application. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*.
- [22] Shen, R., Terada, T., Tsukamoto, M. (2016, September). A Navigation System for Controlling Sightseeing Route by Changing Presenting Information. In *2016 19th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)* (pp. 317-322). IEEE.
- [23] Taima, Y., Ban, Y., Narumi, T., Tanikawa, T., Hirose, M. (2014, February). Controlling fatigue while lifting objects using pseudo-haptics in a mixed reality space. In *2014 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)* (pp. 175-180). IEEE.