

色情報による筋活動のトレーニングシステム

A Muscle Activity Training System Using Color Information

神原裕行, 大澤涼輝, 辛徳*
Hiroyuki Kambara, Atsuki Oosawa, Shin Duk*,

東京工芸大学, 243-0297 神奈川県厚木市飯山南5-45-1

概要

筋肉の活動を色情報として可視化することにより、目標や現在の自分の筋活動を知覚しやすくなるかを検証するため、手首運動に関する筋活動トレーニング実験を行った。その結果、複数の筋の協調的な活動を色情報として表示することで、各筋肉の活動をグラフとして表示するよりも高い精度で目標とする筋活動を実現できることが示唆された。

はじめに

現代日本の社会問題として超高齢化社会の到来が挙げられるが、運動機能の維持やリハビリテーションを目的とした運動トレーニングを自宅で気軽に行えることが望まれる。運動を評価する専門家が不在の自宅では、自らが運動の質を評価し改善する努力を行う必要があるが、その際には身体運動の基となっている筋肉の活動を認識することでトレーニングを効率的に行える可能性が考えられる。

我々はこれまでに、運動中の筋肉の活動を色情報として可視化するシステムの開発を行ってきた[1]。このシステムでは、手首の筋肉群の活動を、筋シナジーと呼ばれる複数の筋の協調活動の成分に分解するとともに、筋シナジーの活動情報を色情報へと変換することで、筋活動の知覚を促進することを目指している。本研究では、このシステムを用いて、目標とする筋活動を色情報として表示することによる筋活動トレーニングの有効性を検証することを目的とする。

2. 提案システム

2.1 筋シナジーとは

脳が身体運動を生成する際には、筋肉一本一本を独立に調節するのではなく、筋シナジーと呼ばれる複数の筋肉群に内在する協調構造を利用している可能性が示唆されている。過去の研究により、様々な運動中の筋活動パターンが、下記の式(1)のように、数個の筋シナジーの基底ベクトルの線形和として再現できることが確かめられている[2]。

$$\mathbf{m}(t) = \sum_{i=1}^N c_i(t) \mathbf{w}_i \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{m}(t) \in \mathbb{R}^M$ は時刻 t における M 個の筋肉の活動度、 $c_i(t) \in \mathbb{R}$ は時刻 t における i 番目のシナジーの活動レベル、 $\mathbf{w}_i \in \mathbb{R}^M$ は M 個の筋肉に対する i 番目のシナジ

ーの基底ベクトル、 N はシナジーの個数を表す。なお、シナジーの個数 N は筋肉の個数 M よりも小さい数となる。

2.2 色情報を用いた筋活動の可視化システム

本研究で提案するシステムでは、手首の筋肉群に関する三つの筋シナジーの活動レベルを、光の三原色のR、G、Bのそれぞれの値に割り当てることで色情報へと変換し可視化する (Fig.1)。以下、その概要を説明する。手首の筋活動は、Myo (Thalamic Labs社製) と呼ばれる八個の電極を持つアームバンド型の表面筋電計を用いて計測する。また、キャリブレーションとして、Myoで計測された手首運動中の筋電位 ($\mathbf{m}(t)$) に非負値行列因子分解を適用し、三つの筋シナジーの基底ベクトル (\mathbf{w}_i) を求める。その後、基底ベクトルを列要素とする行列の擬似逆行列をMyoで計測された筋電位に作用させることで、筋シナジーの活動レベル ($c_i(t)$) が算出される。最後に、三つの筋シナジーの活動レベルをそれぞれR、G、Bの値に割り当てることで、手首の筋活動を色情報へと変換する。

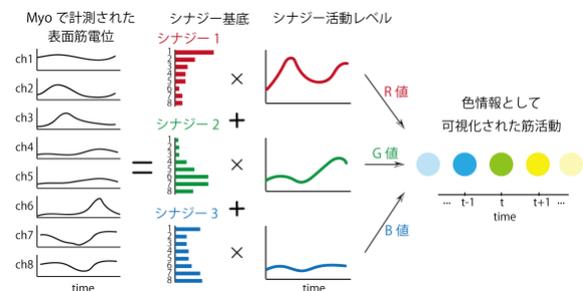


Fig.1 Muscle activity visualization system.

3. 筋活動のカラー化によるトレーニング効果検証

3.1 筋活動トレーニング実験

手首の筋活動の目標値や実現値を三つの異なる表示条件で提示し、目標値からの誤差を比較する。三つの条件は以下の通りである (Fig.2)。

- [条件1] Myoの八個の電極で計測された筋電位に関する目標値を点線、実現値を実線で表示
- [条件2] 三つの筋シナジーの活動レベルに関する目標値を点線、実現値を実線で表示
- [条件3] 筋シナジーの活動レベルから変換された色に関する目標値と実現値を並べて表示

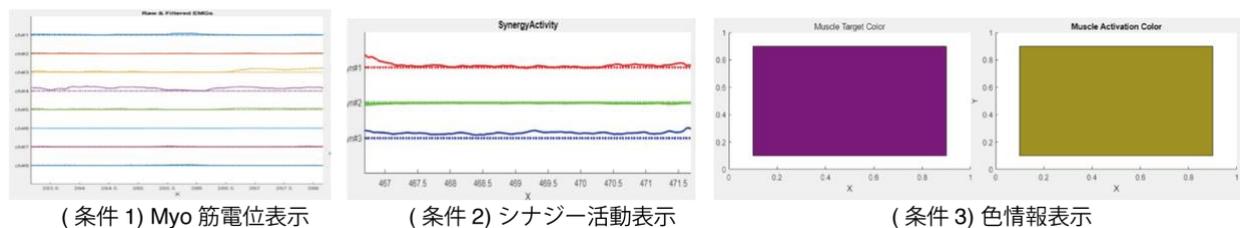


Fig.2 Three conditions for muscle activity visualization.



Fig.3 Mean squared error in the three muscle activity training conditions.

実験には健康な成人12名が参加した。まず初めに、各参加者ごとに手首の屈曲-進展と橈屈-尺屈の二自由度を含む八個の方向に等尺性収縮運動を実施してもらい、その際の八パターン筋活動を各自の目標筋活動とした。その後、条件1~3に従い筋活動を表示し、目標値とする筋活動に実現値をできるだけ近づけるトレーニングを行ってもらった。条件1~3を行う順番は各参加者ごとにランダムとして、実験への慣れによる効果を取り除くこととした。また、一回の試行は5秒間として、各条件ごとに40回の試行を実施し、各試行における目標筋活動は八個の筋活動パターンが各条件中に5回ずつ出現するようにした。各条件間には3分程度の休憩を取るとともに、参加者からの申し出により、試行と試行の間にも休憩を取れるようにした。

3.2 解析方法

目標とする筋活動をどれだけ実現できていたかを評価するため、各試行中の目標値と実現値の二乗誤差を評価する。なお、条件1に関しては、Myoの八個の電極で計測される筋電位に関する目標値と実現値の二乗誤差を算出した。一方、条件2と3に関しては、シナジー活動レベルの目標値を式(1)を用いてMyoの八個の電極に関する筋電位の値に変換し、試行中にMyoで計測された筋電位との二乗誤差を算出した。なお、参加者12名中2名のデータに不備があったため、解析対象からは除外した。

3.3 実験結果

Fig.3に各被験者ごとの、三つの条件に関する筋活動

の二乗誤差を示す。なお、各条件ごとに、各試行中の全サンプル点と全電極に渡り平均値を求め、さらにその平均値を全試行に渡り平均した値を図に示した。この図から、多くの参加者において、筋活動を色情報として提示した条件3において、目標筋活動からの誤差が最も小さくなっていることが分かる。実際に、10名中7名の参加者において条件3の目標とする筋活動に最も近くなることが確認できた。

4. まとめ

本研究では、運動中の筋活動を色情報として可視化するシステムの有効性を検証するために、手首運動に関する筋活動をトレーニングする実験を行った。Myoで計測された表面筋電位を表示する条件、表面筋電位から計算された筋シナジーの活動を表示する条件、筋シナジーの活動を色情報として表示する条件の三つの条件において目標筋活動からの誤差の大きさを比較した。その結果、10名中7名の参加者において、筋活動を色情報として表示する条件において、最も誤差が小さくなることが確認された。この結果から、筋活動を色情報として可視化することで、目標とする筋活動や現在の自分の筋活動を知覚しやすくなる可能性が示唆され、本研究で提案するシステムの有効性が確認された。

参考文献

- [1] 神原裕行, 辛徳, 姜有宣, 筋シナジー情報による筋活動のカラー化, Proceedings of 4th International Symposium for Color Science and Art 2023 (2023).
- [2] M.C. Tresch, A. Jarc: Curr. Opin. Neurobiol. 19(6), 601-7(2009).