

筋電位のリアルタイム可視化による 初学者の筋肉トレーニング支援システム

張 浩東^{†1,a)} 御手洗 彰^{†2,b)} 棟方 渚^{†1,c)}

概要: 近年、筋肉トレーニングを行う人が増え、スポーツジムの数も増加している [1]。しかし、初学者が自己流で行う場合、怪我のリスクが高まるだけでなく効果も半減してしまう。本研究は、初学者が正しいフォームを維持し、安全で効率的なトレーニングができるように支援することを目的としている。筋肉の活動をリアルタイムで可視化することで、正しいトレーニングフォームや筋肉に対する理解を早期的に身に付け、怪我を予防しながら効果的に筋力を向上させるための支援システムを構築した。

1. 背景

近年、人の健康志向の高まりと共に筋肉トレーニングを行う人が増加しており、スポーツジムの数も増えている [1]。筋肉トレーニングは健康維持以外に、ボディメイクや筋力向上、さらにメンタルヘルスの改善にも効果がある [2][3]。このような影響で、ジムに通うだけでなく、自宅でトレーニングを行う人も多くなっている。

筋肉トレーニングは、正しいフォームで行うだけでなく、目標とする筋肉を適切な強度とタイミングで負荷をかけることが重要である [4]。効果的なトレーニングを行うには、呼吸法、関節の角度、筋肉の収縮のタイミングとその強度が大事といわれている。

しかし、これらのことは初学者にとって容易に実現できることではない。正しいフォームや適切な強度を考慮せず、自己流でトレーニングを行ってしまうと怪我のリスクが高まる [5] だけでなく、効果も半減してしまう。例えば、スクワットを誤った方法で行い続けた場合、腰や膝に不要な負担をかけ、その際に怪我する可能性や、繰り返し行うことで慢性的なダメージを与えてしまう恐れがある。

そのため、初学者が正しいフォームを維持し、安全で効率的なトレーニングを行うためには、トレーナーなどから適宜指導を受け、フィードバックをもらうことが不可欠である。一方で、従来トレーナーによる指導が一般的であったが、現在はウェアラブルデバイスやスマートフォンアプリを用いたリアルタイムのフォームチェックや、バイオ

フィードバック (BF) システムなど、IT テクノロジーを活用した新しいアプローチが注目されている [6]。

そこで本研究では、初学者が正しい力の使い方を習得し、効果的なトレーニングを行うための新しい方法として、目標とする筋肉の活動を可視化し、視覚的フィードバックを行うトレーニング支援システムを提案した。可視化によるフィードバックを通じて、初学者が自身の身体の動きと筋肉の使い方をより直感的に理解しやすくすることを目指す。

2. 関連研究

これまでの研究では、無監視のリハビリテーションの過程で筋肉の可視化によってリハビリテーション効果の向上がみられたことが示されている [7]。また、ウェアラブル超音波イメージングによる筋肉の可視化は、筋収縮トレーニングの成果を高めることができると証明された [8]。これらの研究は可視化によって、目標とする筋肉のコントロール力が向上されることを意味している。

さらに、バイオフィードバック訓練中に意図的に虚偽の提示を行うことで、訓練試行者がどの程度自己制御の能力を獲得したのかを推定できるといった研究 [9] では、バイオフィードバックによる訓練効果の持続が示されている。また、リアルタイムバイオフィードバックによる、トレーニング中の筋肉活動の可視化が、正しいフォームの維持や動作の修正に寄与することを示している。しかし、初学者においては、以下の課題が残されている。1. 初学者は筋肉の動きやフォームの正しさを理解するのが難しく、可視化されたデータに対する解釈に時間がかかる。2. 初学者はトレーニングの成果がすぐにみられない場合、トレーニングのモチベーションを維持することが難しい。このような

^{†1} 現在、京都産業大学

^{†2} 現在、京都大学

a) i2486138@cc.kyoto-su.ac.jp

b) shomitara@kuhp.kyoto-u.ac.jp

c) munekata@cc.kyoto-su.ac.jp

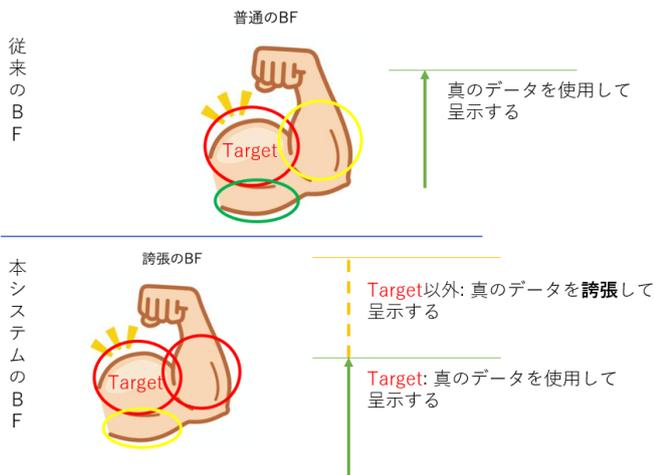


図 1 誇張フィードバックの仕方

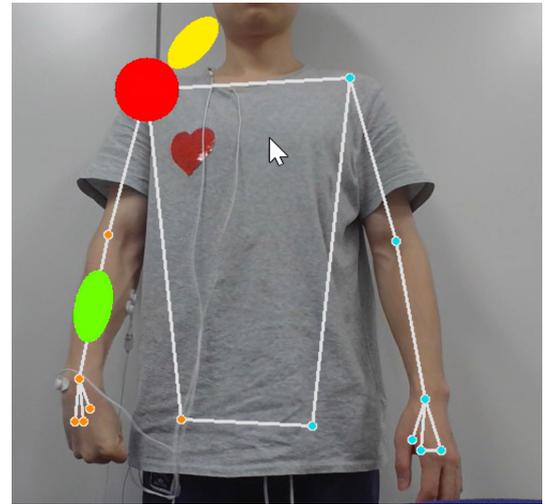


図 3 システムの動作例

計算した座標を基に設定される。



図 2 biosignalsplux のハブ

背景をふまえ、本研究の目的を示す。

3. 目的

本研究は初学者を対象として目標とする筋肉の活動をわかりやすく可視化フィードバックを目的とする。具体的には、目標とする筋肉の活動を誇張表現して可視化し、筋肉の動きをより明確に示すことで、初学者が自分の身体の動きと筋肉の使い方を直感的に理解できるシステムを開発することを目的としている。

4. 方法

4.1 実験目的

本実験はシステムの有効性を確かめることが目的である。三角筋中部を鍛えるラテラルレイズと呼ばれるフォームを実験に参加したトレーナーが被験者に指導し、被験者の目標筋肉（三角筋中部）と非目標筋肉に対する感覚をコントロールする。

4.2 使用機器と計測方法

本実験は、図 2 の biosignalsplux のハブと表面筋電位センサーを用いて筋電位の計測を行う。カメラに通じて体にプロットする位置は MediaPipe のランドマークを用いて

4.3 システム概要

本実験で使用するシステムは、目標筋肉に対するコントロール力を向上させるために、誇張して可視化した筋肉の状態をリアルタイムに呈示する。呈示する情報は、トレーニング時に筋肉にかかる力の強度に応じて、色を白、緑、黄、赤と変化させ視覚的に強度の変化を示す。色の変化は、赤（筋電位の最大値の 80%）を基準とし、最大値を 5 回超えるとその基準が更新される。また、基準を上回る度に 2 秒間のクールタイムが設けられ、システム全体の基準値を更新する。

システムに用いるデータは計測した筋電位の区間平均の値とする。筋肉の部位によって筋電位の大きさが異なるため、被験者に呈示する視覚情報（色の変化）の閾値も変化する。

トレーナー資格を持つトレーニーのデータの SN 比（目標筋肉の筋電位と非目標筋肉の筋電位）を正解データとし、被験者に対するフィードバック情報に前述した SN 比を利用する。

図 1 は、被験者へのフィードバック情報の概要を示す図である。上は真のデータを用いたフィードバックであり、下は真のデータを元に誇張表現を加えたフィードバックである。また、図 3 はシステムの可視化によるフィードバック動作例を示した。

筋肉の状態のリアルタイム呈示は、カメラを用いて以下の 3 つの方法で行う。

- (1) 鏡として：筋電位データによるフィードバックなし。被験者は鏡のように自分の動きを確認する。
- (2) 素のデータを用いたフィードバック：収集された筋電位データをそのまま被験者にフィードバックする。
- (3) 誇張されたデータを用いたフィードバック：誇張された筋電位データを被験者にフィードバックする。

この 3 つの方法を被験者に説明するが、具体的にどんな順

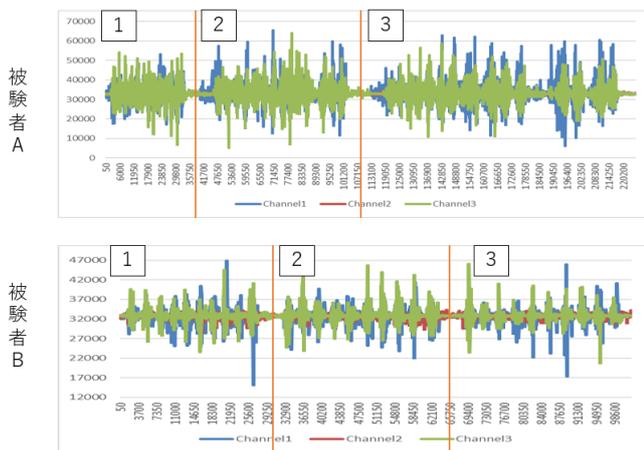


図 4 被験者 2 名のデータ

番で行うかについては知らせない。

4.4 実験手順

被験者 A, B の二名で実験を行う。被験者 A は実験方法の 1, 2, 3 の順番, 被験者 B は実験方法の 2, 3, 1 の順番で行った。

- 事前準備: トレーナーが被験者に対し, 正しいポーズと鍛える目標筋肉について指導を行う。
- 実験の実施: 被験者に 3 つのフィードバック方法をランダムな順番で体験させる。各方法について, 被験者は 10 から 15 回のパフォーマンスをしてもらい, そのリアルタイムの筋電位データを収集して, リアルタイムで被験者に呈示する。
- データ分析: 収集されたデータを基に, 各フィードバック方法の有効性を比較分析する。

5. 結果

本研究では, 筋肉トレーニング初学者に対して筋肉の活動を誇張してフィードバックするシステムを提案し, その有効性を検証した。図 4 の上下はそれぞれ被験者 2 名のデータのグラフを示す。左から右は [(1) 鏡として], [(2) 素のデータを用いたフィードバック], [(3) 誇張されたデータを用いたフィードバック] の順で示している。

グラフ内の色は, 青はこのポーズが鍛える目標とする筋肉 (三角筋中部) の筋電位, 赤と緑は鍛えたくない非目標筋肉 (赤は浅指屈筋, 緑は僧帽筋) の筋電位である。

6. 考察

結果から見て, 練習回数が増えると共に, 目標筋肉に対するコントロール力も向上していた。特に, 誇張したフィードバックを用いた練習では, 被験者 2 名ともに最良のパフォーマンスを示した。これは順番に関わらず一貫して観察された。しかし, 本実験では被験者の 1RM (1 回に持ち上げられる最大の重量) の要素を考えていなかったため, 筋電位の幅に大きな差が生じた。特に被験者 B はその影響

を受けて, 比較的不明確な結果になった。

結果の有効性から, 視覚的な強調によって被験者が筋肉の動きと使い方をより直感的に理解しやすくなることが考えられる。被験者は自分のフォームや筋肉の使い方をより迅速に把握し, 正しい動作を維持することができる見込みがある。この結果は, 先行研究 [7][8] にも示された筋肉の可視化がトレーニング効果を高める効果と一致している。

しかし, 本研究に存在する限界はいくつかある。まず, 被験者の数が少ないゆえ, 結果の一般化は困難である。また, 誇張されたフィードバックがトレーニングに対する長期的な効果を検証する必要がある。さらに, 誇張の程度がどれほど有効であるか, 色変化の閾値が適切であるか, 適切な負荷の大きさのような具体的な設定を考慮すべきことである。

特に, 脱力に近い状態時の筋電位の変化が激しく, これに伴って呈示する色の变化も頻繁にチカチカする現象が観察された。これが被験者に対してどのような影響を与えるか, 改善が必要である。また, 実験ではシステムの有効性を証明したが, 系統的なトレーニングを通じた有効性の度合いはまだ十分に検証されていない。系統的なトレーニングに基づく長期的な評価が今後の課題になる。

一般に, 筋力トレーニングで筋力を高めるには最大筋力に対して 60 % 以上の重量を掛けて, 数週間以上にわたるトレーニングを行う必要があるとされている [10]。本研究ではそのような長期間の継続的なトレーニングは行っていないため, 短期間の結果しか得られていなかった。この点は今後の長期的な研究で補完する必要がある。

7. おわりに

本研究では, 初学者が効率的かつ安全に筋肉トレーニングを行うための新しいフィードバックシステムを提案し, その有効性を実証した。誇張された筋電位データの視覚的フィードバックにより, 初学者は自身のフォームと筋肉の使い方を直感的に理解しやすくなり, 学習時間の短縮が期待できる。また, トレーニングの進捗が視覚的に強調されるため, ユーザーが成果を感じやすくなり, モチベーションの向上が期待できる。

今後は, 被験者を増やした実験や, 長期的なトレーニング効果の検証を通じて, システムの改良と実用化を目指す。また, 異なるトレーニング種目やレベルに対応したシステムの開発を進め, 幅広いユーザーにとって有用なトレーニング支援ツールを提供することを目指す。

参考文献

- [1] RIZAP グループ株式会社. 「chocozap」ブランドスタートから 1 年 10 カ月で『全国 47 都道府県への出店を達成』.
- [2] Brett R Gordon, Cillian P McDowell, Mats

- Hallgren, Jacob D Meyer, Mark Lyons, and Matthew P Herring. Association of efficacy of resistance exercise training with depressive symptoms: meta-analysis and meta-regression analysis of randomized clinical trials. *JAMA psychiatry*, 75(6):566–576, 2018.
- [3] John S Raglin. Exercise and mental health: beneficial and detrimental effects. *Sports Medicine*, 9:323–329, 1990.
- [4] 浦脇浩二, 増田泰, 眞鍋佳嗣, and 千原國宏. 生体情報可視化を利用したスポーツフォーム練習支援システムの構築. In *システム制御情報学会 研究発表講演会講演論文集 第 48 回システム制御情報学会研究発表講演会*, pages 177–177. 一般社団法人 システム制御情報学会, 2004.
- [5] Sghair Zouita, Amira BM Zouita, Wiem Kebsi, Grégory Dupont, Abderraouf Ben Abderrahman, Fatma Z Ben Salah, and Hassane Zouhal. Strength training reduces injury rate in elite young soccer players during one season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5):1295–1307, 2016.
- [6] Ahmet Çağdaş Seçkin, Bahar Ateş, and Mine Seçkin. Review on wearable technology in sports: Concepts, challenges and opportunities. *Applied Sciences*, 13(18):10399, 2023.
- [7] Junyi Zhu, Yuxuan Lei, Aashini Shah, Gila Schein, Hamid Ghaednia, Joseph Schwab, Casper Harteveld, and Stefanie Mueller. Musclerehab: Improving unsupervised physical rehabilitation by monitoring and visualizing muscle engagement. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 1–14, 2022.
- [8] Zi-Hao Huang, Christina Z-H Ma, Li-Ke Wang, Xiao-Yun Wang, Siu-Ngor Fu, and Yong-Ping Zheng. Real-time visual biofeedback via wearable ultrasound imaging can enhance the muscle contraction training outcome of young adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(4):941–947, 2022.
- [9] 本間修 and 斎藤正男. バイオフィードバックにおける偽フィードバックと確信の程度. *バイオフィードバック研究*, 30:39–45, 2004.
- [10] Mark D Peterson, Matthew R Rhea, and Brent A Alvar. Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4):950–958, 2005.