

# 代償筋肉の使用抑制と目標筋肉に対する意識向上を目指した筋肉トレーニングシステムの提案

張 浩東<sup>1,a)</sup> 御手洗 彰<sup>2,b)</sup> サイ カンウ<sup>1,c)</sup> 浅野 友嗣<sup>1,d)</sup> 棟方 渚<sup>1,e)</sup>

**概要：**本研究では、筋肉トレーニング初学者が適切な筋肉を使用できるよう支援する、筋電位のリアルタイム可視化フィードバックシステムを提案する。従来の筋力トレーニング指導では、トレーナーが口頭で「筋肉の使用・不使用」を指示するが、トレーニング初学者は具体的な感覚を理解することが難しい。この課題に対し、本研究では筋肉の活動情報を可視化することで、目標筋肉への意識向上と代償筋肉の過度な使用の抑制を目指した。システムの評価実験では、三角筋中部を鍛えるラテラルレイズを対象とし、5名の実験協力者による自己流、トレーナーによる指導、システムによる可視化フィードバックの3条件で比較を行った。実験結果から、システムによる可視化フィードバックは、特に筋肉への初期意識が高い実験協力者において1~18%の改善効果が見られた。一方、完全な初学者に対してはトレーナーの指導が効果的であり、個人の経験や筋肉感覚レベルに応じた指導方法の選択が重要であることが示唆された。また、本システムはトレーニングの学習支援だけでなく、トレーナーの指導を補完するツールとしても活用できる可能性が示唆された。

## 1. 背景

近年、人の健康志向の高まりが顕著になっている。適切な運動は、高血圧、高脂血症、脳卒中、糖尿病など生活習慣病の予防効果があるとされている [1][2]。スポーツ庁が実施した“スポーツの実施状況等に関する世論調査 [3]”では、成人の週1回以上のスポーツ実施率がこの数年上昇傾向にある。また、軽い汗をかく運動を1年以上継続して（週2回以上）実施する理由として、“健康のため”が最も高く、「体力増進・維持のため」が続いて、3番目は「筋力増進・維持のため」と報告されている。さらに、厚生労働省が公表した“健康づくりのための身体活動・運動ガイド [4]”は成人及び高齢者に筋トレを週2~3回実施することを推奨している。筋肉トレーニングは健康維持、ボディメイクや筋力向上以外に、メンタルヘルスの改善 [5][6] にも効果がある。このような背景に加え、コロナ禍を機に無人営業のジムが増加 [7] するなど、手軽で習慣的な筋肉トレーニングへの関心が高まっている現状がある。

一方で、トレーニングを始める初期段階は、後に行う

様々なトレーニングフォームの基礎となる重要な時期であり、筋肉に対する感覚、適切にコントロールする能力を身につけることが求められる。この目的のために、姿勢を正しく保つための補助となる機材が存在しており、これらを利用することや、実際にはトレーナーによる指導を受けることが望ましい。

ジムで利用できるようなトレーニングの補助機材は、一定の姿勢矯正力をもつが、実際に、筋肉に力を入れる部位やタイミング、強さなど、適切な扱い方を十分に理解できないままトレーニングを行ってしまうケースは少なくない。このように、適切な負荷や強度を考慮せず、自己流でトレーニングを行なうと、怪我のリスクが高まるだけでなく、トレーニングの効果も低減してしまう可能性がある。

このような課題を解決する方法の一つとして、バイオフィードバックが注目されている。バイオフィードバックは、ユーザがタスクを行う間の自身の生体信号をグラフや図表と言った直感的な情報に変換して提示することで、自身に対する感覚や認知を高める手法である。自身がそのタスク期間におけるパフォーマンス向上に効果的であることが知られている。特に、筋肉トレーニングでは、筋肉量の不足や正しいフォームに対する慣れの問題で、目標筋肉を意識しにくいことがある。その結果、本来鍛えたい目標筋肉ではなく、その目標筋肉を補助する代償筋肉に過剰に負荷をかけてしまう可能性がある。また、そのような代償動

<sup>1</sup> 京都産業大学

<sup>2</sup> 京都大学

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

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

c) g2253569@cc.kyoto-su.ac.jp

d) g2353036@cc.kyoto-su.ac.jp

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

作が生じてしまっている場合、本来の正しい姿勢が崩れてしまっていることを意味し、関節等にダメージを与えるリスクが高まる可能性がある。そのため、代償筋肉を使いすぎずに目標筋肉に正しく負荷をかけることを意識することが重要である。

そこで、本研究では筋肉トレーニング初学者を対象に、代償筋肉の負荷を抑制するための可視化フィードバックシステムを提案する。提案システムでは目標筋肉と代償筋肉の各部位の筋電位を測定し、その比率をシグナル（目標筋肉）・ノイズ（代償筋肉）比（以降、SN比）として算出し、可視化してフィードバックする。本稿では提案システムとトレーナーによる指導の効果を比較して、代償筋肉の負荷抑制や目標筋肉への意識向上に及ぼす影響について議論する。

## 2. 関連研究

### 2.1 筋肉トレーニングにおけるフィードバックの効果

トレーニングやリハビリテーションにおいて、目標とする筋肉以外を使いタスクを完了させるような身体動作を代償動作という。代償動作はその性質上、身体に過度な負荷をかける場合が多く、そのような運動を継続すると身体に痛みが生じる危険性がある。このような問題に対して、理学療法の分野では代償動作を制御することで、患者の特定動作における痛みが軽減されたことがわかっている [8]。筋肉トレーニングも同様に目標ではない筋肉に継続的な負荷をかけることで怪我が生じる危険性がある。

そのため、筋肉トレーニング時にフィードバックを行い、怪我のリスクを低減し、トレーニング効率の向上を目指す手法が研究されている。筋肉トレーニングにおけるフィードバックには、タスク期間に行う「リアルタイムフィードバック」とタスク終了後あるいは休止時に行う「遅延フィードバック」の二種類がある [9]。リアルタイムフィードバックは局所における分析、内省に有効であり、遅延フィードバックはタスク全体あるいは特定区間の結果を提示することで大局的な振り返りを可能とする。

特に、リアルタイムフィードバックにおける研究では、独力で実施するリハビリテーションにおいて、筋肉の可視化フィードバックがリハビリテーション効果の向上に寄与することが示されている [10]。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が、筋収縮トレーニングの効果を向上させることが実証されている [11]。これらの研究よりリアルタイムな可視化フィードバックにより目標筋のコントロール力が向上することが示唆されている。また、カメラ付きデバイスで撮影したトレーニング動作を深層学習により解析し、姿勢と筋電位の関係から活動筋の部位を推定する手法が提案されている。本手法により、ダンベルカールにおいて反動動作を抑制し、トレーニング効率を向上させることが可能であることが示されている [12]。

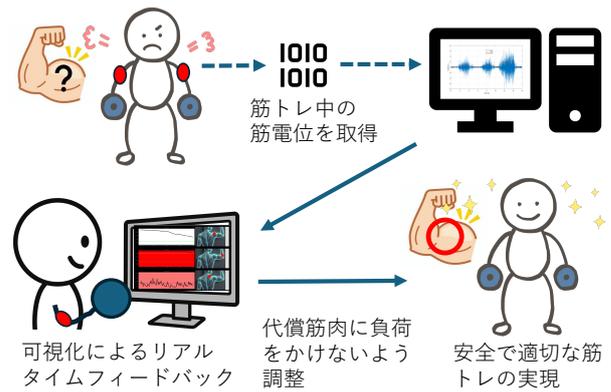


図1 システムのフロー

### 2.2 本研究の位置付け

これまでの研究は筋力トレーニングにおけるフィードバックの有用性を示している。特に、代償動作の抑制が適切なフォームの維持と効果的な筋活動に重要であることが明らかにされている。しかしながら、筋力トレーニング初学者に対しては以下の課題が存在する。

第一に、目標筋への意識付けに関する研究が十分になされていない。初学者の多くは筋力不足や適切なフォームへの不慣れにより、目標筋を意識することが困難である。その結果、代償筋に過度な負荷をかける傾向がある。また、トレーナーが初学者に対して具体的な筋への意識付けを指導しても、その感覚を適切にイメージできない場合が多い。

第二に、可視化フィードバックと従来のトレーナー指導との比較検討が不十分である。可視化フィードバックとトレーナー指導それぞれの効果の差異や、異なる習熟度の初学者に対する各指導法の影響については、十分な検討がなされていない。

そこで本研究では、可視化フィードバックシステムを提案し、トレーナーの指導との差異について検証を行う。

## 3. 筋肉トレーニングシステム

本研究で解決を目指す課題は、筋肉トレーニング初心者が筋肉の使用・不使用を理解することの難しさにある。口頭での説明だけでは、具体的な感覚を理解できない場合が多い。提案システムでは、本来目で見えない筋肉の活動情報をリアルタイムで可視化する。これにより、筋肉トレーニング初心者の代償筋肉への負荷を抑制し、目標筋肉への意識を向上させることで課題の解決を目指す。図1に提案システムのフローを示す。下記にフローに沿ってシステム機能を述べる。

まず、筋電位はpluxハブと表面筋電位センサ（biosignals社製）を用いて取得される。取得した筋電位の処理には、指数移動平均（EMA: Exponential Moving Average）を用いる。EMAは応答性に優れており、筋肉トレーニング中のリアルタイムフィードバックに適している。取得された

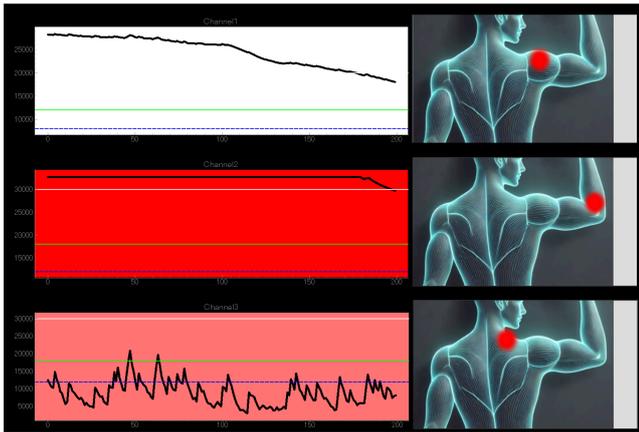


図 2 システムの動作例

筋電位から EMA は以下の計算式によって算出された。

$$EMA_t = \alpha \cdot x_t + (1 - \alpha) \cdot EMA_{t-1} \quad (1)$$

ここで、 $x_t$  は時刻  $t$  の筋電位信号、 $\alpha$  は平滑化の重みである。

次に、筋電位による EMA を用いた可視化手法について説明する。ユーザーは自身のトレーニング中の目標筋肉や代償筋肉の活動状態を即時に把握する必要があると考え、筋電位センサーで取得したデータをリアルタイムでデジタル信号に変換し、それを折れ線グラフとして可視化する。また、代償筋肉の過度な負荷をより視覚的に提示するため、筋電位が基準値を超えた場合には、背景の色が白から赤に変わって警告するデザインとした。

筋電位の基準値を設定する際には、ユーザーごとの筋肉量や身体状態の個人差を考慮する必要がある。そのため、背景の色変化の基準は全てのユーザーに一律のものを使用せず、最大随意収縮 (MVC: Maximum Voluntary Contraction) により設定する。

可視化システムでは、目標筋肉 1 箇所と代償筋肉 2 箇所の計 3 箇所の筋電位を折れ線グラフで表示する (図 2)。代償筋肉 2 箇所については、トレーニング時の筋肉への負荷に応じて背景色が変わる。色変化の基準となる閾値は、トレーナー資格保持者のトレーニングデータから得られた SN 比 (目標筋肉の筋電位と非目標筋肉の筋電位の比率) を参考に設定され、具体的には MVC の 60% を閾値とし、この値を超えると背景が白色から赤色に変化する仕様とした。

## 4. 実験

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。実験では、三角筋中部を鍛えるラテラルレイズ (図 3) というフォームを対象とする。実験は 3 つの条件で実施する。1 つは自己流でトレーニングする条件であり、独力でトレーニングを実施する。次に可視化フィードバックシステムを用いる条件、最後にトレーナーによる指導を受けながらトレーニングする条件である。実験協力者は、トレー

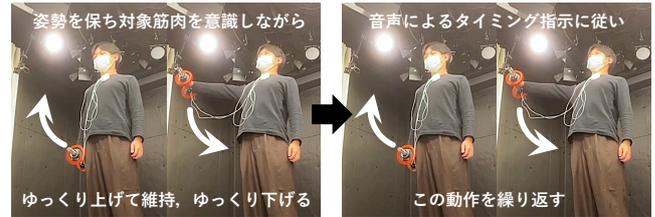


図 3 ラテラルレイズの動作

ナーから基本的なフォームの指導を受けた後、それぞれの条件下で運動を行う。これにより、各条件における目標筋肉と代償筋肉の負荷度合いを比較して評価する。

なお、本研究は京都産業大学倫理委員会の承認を得て実施された (承認番号: 京産大倫第 0258 号)。

### 4.1 実験協力者

本実験の実験協力者は、20 代の健康な大学生 5 名 (男性 5 名) である。全ての実験協力者は、筋力トレーニングの経験が 1 年未満の初学者である。また、肩や腕に関する怪我や疾患の既往歴がないことを事前に確認した。実験の指導者として、トレーナー資格を持つパーソナルトレーナー 1 名が参加した。実験開始前に、全ての実験協力者に対して実験の目的、方法、予想されるリスクについて十分な説明を行った。

### 4.2 計測方法

筋電位の計測には plus ハブと表面筋電位センサ (biosignals 社製) を用いる。計測した筋電位は折れ線グラフにより可視化し、実験協力者に筋肉の負荷状況をリアルタイムにフィードバックする。本実験では、目標筋肉として三角筋中部、代償筋肉として上腕筋 (代償筋肉 1) と僧帽筋 (代償筋肉 2) の 3 箇所を測定部位とした。

### 4.3 実験手順

実験は以下の 3 つの条件で実施した:

- (1) self 条件: 基本的な動作説明のみを受けて実施
- (2) trainer 条件: トレーナーによる指導下で実施
- (3) sys 条件: 提案システムを用いて実施

実験の基本的な流れは以下の通りである。まず口頭説明として各条件における実施方法を説明し、次に 1 回の練習動作を実施する動作練習を行う。その後、測定セッションとして 2~3 セットの動作実施と筋活動の計測を行う。

全ての実験協力者はまず self 条件を実施し、その後 trainer 条件と sys 条件を実験協力者ごとに順序を変えて実施した。なお、self 条件では測定セッションのみを実施した。trainer 条件では、トレーナーは「猫背」「肩上げすぎ」「手前後の位置」「肘曲げる」の 4 つのワードをベースに、具体的なトレーニング指導を行った。指導内容には姿勢の調整や動作の微修正が含まれる。sys 条件では、実験協力者は

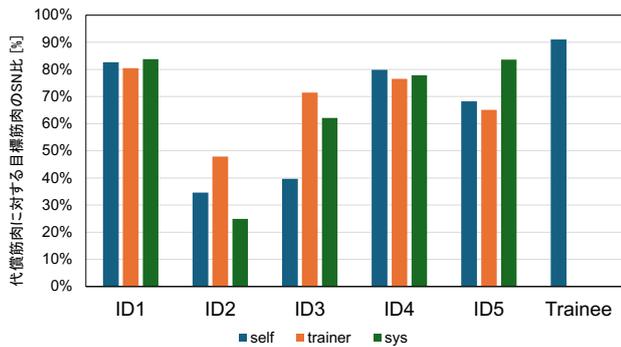


図 4 結果のグラフ

前方に設置された PC に表示された可視化情報 (図 2) を見ること、重大な間違いが発生した場合のみ trainer 条件と同じ 4 つの言葉のみを用いて提示しながら動作を実施した。

各測定セッションでは、定められた筋力トレーニング動作を 2~3 セット実施し、その間の筋活動を計測した。

#### 4.4 結果

本実験の結果、代償筋肉 1 (上腕筋) については実験協力者全員に共通して低い値を示した。これは実験で設定した重りの負荷が実験協力者の上腕筋力に対して重すぎたためであると考えられる。そのため、本実験の分析では代償筋肉 2 に着目した。

図 4 は目標筋肉 (三角筋中部) と代償筋肉 2 (僧帽筋) の SN 比を示したグラフである。横軸は実験協力者 ID1 から ID5 の 3 条件 (自己流 (self), トレーナーによる指導のみ (trainer), 可視化システムのみ (sys)) およびトレーナーの標準データを表している。

分析の結果、自己流の段階で既に筋肉への意識が高い実験協力者においても、可視化フィードバックの導入により、トレーナーによる指導と比較して 1% から 18% の SN 比の向上が見られた。代償筋肉 1 は腕の角度による影響を受けやすい特性があったものの、代償筋肉 2 と目標筋肉の活動量の比較を通じて、システムの有効性が示唆された。

### 5. 考察

#### 5.1 全体的な傾向

本研究では、可視化フィードバックシステムとトレーナーによる指導の両方において、筋肉トレーニング初学者の目標筋肉の使用と代償筋肉の抑制に関する効果がみられた。ただし、実験協力者の初期段階における筋肉への意識レベルや個人の姿勢、習慣により、それぞれの方法の効果に差が生じた。

筋肉への意識が高い実験協力者 (ID1, 4) では、システムによるフィードバックで 20% 未満の限定的な向上が見られた。これは、既に正しいフォームや動作感覚をある程度

習得していたためと考えられる。このような実験協力者に対し、トレーナーによる指導では改善に時間を要する傾向があった。一方、可視化フィードバックシステムは、リアルタイムで具体的な力の加減情報を提供することで、即時の修正が可能であった。

一方で、目標筋肉への意識が低かった実験協力者 (ID2) では、トレーナーの指導による姿勢の矯正は一時的な効果は見られたものの、持続的な改善は難しかった。特に、猫背の姿勢によりラテラルレイズ動作時に代償筋に過度な負荷をかける傾向がみられた。

三角筋トレーニングの経験がある実験協力者 (ID5) では、トレーナー指導と比較してシステム利用時に大きな改善が見られた。これは、経験者がリアルタイムの可視化データをより効果的に理解・活用できたためと考えられる。

#### 5.2 可視化フィードバックシステムの有効性

可視化フィードバックは、リアルタイムでの筋活動情報の提示により、筋肉の使用・不使用方法に関する意識改善を促進できたと考えられる。完全な初学者には、トレーナーによる指導が姿勢や筋肉の使い方の改善に効果的であった。一方、筋肉への意識が高い実験協力者では、トレーナーの口頭説明よりも可視化システムによる情報提示が、目標筋肉への意識向上により効果的であることが示された。

さらに、トレーナーが個人指導を行う際には、最適な指導のために対象者の能力把握に時間を要する。この点について、可視化フィードバックシステムは、トレーニングを行う側の自己理解を向上させるとともに、即時的なデータに基づくトレーナーの効率的な指導補助となる可能性がある。

### 6. 終わりに

本研究では、筋肉トレーニング初学者の代償筋肉の過度な負荷を抑制し、目標筋肉への意識を向上させることを目的として、筋電位のリアルタイム可視化フィードバックシステムを提案した。従来、トレーナーが口頭で「筋肉の使用・不使用」を伝えても、初学者が具体的な感覚を理解することは難しかったが、提案システムでは、本来目で見えない筋肉の活動情報を可視化することで、この課題の解決を試みた。評価実験では、三角筋中部を鍛えるラテラルレイズを対象とし、自己流、トレーナーによる指導、システムによる可視化フィードバックの 3 条件で比較を行った。実験の結果、システムによる可視化フィードバックは、特に筋肉への意識が高い実験協力者において効果的であることが示された。また、完全な初学者に対しては、トレーナーによる指導と組み合わせることで、より効果的な学習が期待できることが示唆された。本研究の成果は、トレーニング初学者の効果的な学習支援だけでなく、トレーナーによる指導の補助ツールとしても活用できる可能性がある。今

後の課題として、システムの信頼性向上のために複数のトレーナーのデータを基準として導入することが挙げられる。さらに、現在のシステムは筋電位データの可視化に限定されているため、実験協力者が自身の姿勢をリアルタイムで観察・修正できる機能を追加することで、トレーナーの介入をより最小化したシステムの開発を目指す。

**謝辞** 本研究は、京都産業大学学部教育活性化支援制度(情報理工部デジタル製作・研究共創チャレンジプログラム)の支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 森谷敏夫. 生活習慣病における運動療法の役割. *リハビリテーション医学*, 40(7):430-435, 2003.
- [2] Frank J Penedo and Jason R Dahn. Exercise and well-being: a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Current opinion in psychiatry*, 18(2):189-193, 2005.
- [3] Japan Sports Agency. スポーツの実施状況等に関する世論調査.
- [4] 厚生労働省. 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023.
- [5] Brett R Gordon, Cillian P McDowell, Mark Lyons, and Matthew P Herring. The effects of resistance exercise training on anxiety: a meta-analysis and meta-regression analysis of randomized controlled trials. *Sports Medicine*, 47:2521-2532, 2017.
- [6] 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.
- [7] 株式会社帝国データバンク. 「フィットネス」市場、復調 前年度比1割増へ 大手は10年で3千店超増 急増「chocozap」が存在感.
- [8] 東野祥子, 刀坂太, 楠貴光, 貝尻望, and 鈴木俊明. 上衣脱衣動作時の代償動作により右肩前面の疼痛が増悪した右肩甲上腕関節の前方不安定性を有する頸部脊柱管狭窄症の一症例. *関西理学療法*, 17:147-153, 2017.
- [9] Melissa J. Young Paul E. King and Ralph R. Behnke. Public speaking performance improvement as a function of information processing in immediate and delayed feedback interventions. *Communication Education*, 49(4):365-374, 2000.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 嶋崎浄, 山口高康, et al. 筋肉部位の活動推定による正しいフォームでの筋力トレーニングの研究. *研究報告モバイルコンピューティングとパーベシブシステム (MBL)*, 2022(18):1-7, 2022.