

エキセントリックトレーニングにおける動作速度の 安定性向上のための効果音フィードバック

大石琉翔¹ 中村聡史¹

概要: 筋肉が収縮した状態から伸ばして行うエキセントリックトレーニングの効果を最大化するには適切な速度で動作を行う必要があるが、回数を重ねるごとに筋肉への負荷が高くなるため、トレーニング終盤で無意識に動作速度が速くなってしまいう問題がある。そこで本研究では、ゆるやかな動作をしたくなるような、トレーニング動作に連動した効果音を提示する聴覚フィードバック手法を提案した。具体的には、腕のトレーニングであるダンベルカール用のプロトタイプシステムを実装し、ゆるやかな動作を促すチャージ音を提示する提案手法と動作中の秒数を読み上げる秒数を提示する手法、音提示をしない条件での比較実験を行った。その結果、チャージ音を提示する手法では、動作速度が速くなるのを抑制し、安定した動作速度を継続してトレーニングできることが明らかになった。また主観評価では、チャージ音を提示する手法がトレーニングのモチベーションの維持や向上に繋がることが示唆された。

キーワード: エキセントリックトレーニング, エキセントリック収縮, 筋トレ, 聴覚フィードバック

1. はじめに

シヨップジャパンの調査[1]によると、20代から30代において、筋力トレーニング（以後、筋トレ）への関心が高まっている。筋トレのメリットは多岐にわたり、ダイエット効果をもたらす基礎代謝の向上や、美容への好影響が知られている[2]。

筋トレをする状況として、ジムや自宅などで個人が自由に実施することや、専任のトレーナーによるサポートを受けながら行うことなどがある。しかし、時間や費用の問題から、専任のトレーナーなしでトレーニングを行っていることも珍しくない。ひとりでトレーニングを実施すると、正しいフォームでのトレーニングができず、狙った部位以外の筋肉を使ってしまいう問題や、適切な動作速度を保つことができないなどの問題につながりやすい。これらの誤ったトレーニング方法は、筋トレの効果を低下させるだけでなく怪我のリスクも増大させてしまう。トレーニングの効果を最大限に引き出し、怪我のリスクを避けるためには、適切なフォームでのトレーニングが重要である。

ここで筋トレの種類のひとつに、筋肉が収縮した状態から筋肉を伸長させて力を発揮するエキセントリック収縮を主として行うトレーニングがあり、エキセントリックトレーニングと呼ばれている。例えばダンベルを持ち上げたり、下ろしたりして行うダンベルカールというトレーニングは、ダンベルを下ろす際のエキセントリック収縮に焦点を当てたトレーニングである。エキセントリック収縮では、筋肉を短縮させる状態で力を発揮させるコンセントリック収縮に比べて、1.2~1.5倍の力が発揮でき、効率的に筋力を向上させることや、筋肥大を促進することが知られている[3]。

エキセントリックトレーニングの効果を最大化するにはエキセントリック収縮局面で3~5秒かけて、ゆるやかな動作で行う必要がある[4]。しかし、筋肉への負荷が高い動作

であることから、回数を重ねるごとにエキセントリック収縮局面での動作速度が速くなってしまい、トレーニング効果が減少してしまうという問題が生じる。このような問題を解決するためには、自身で秒数を数えて動作速度を調整する必要があるが、負荷がかかっている状態で時間をカウントしながら適切な動作速度を維持することは難しい。

ここで奥川ら[5]は、ペダリングトレーニングにおいて動作をセンサで計測し、そのデータを音に変換して聴覚フィードバックとして提示することがペダリングスキルの向上に有効であることを明らかにしている。また、吉岡ら[6]はランニングにおいて聴覚フィードバックを行うことで、走行中の音楽のテンポ変化が走行スピードに影響を及ぼすことを明らかにしている。さらに、Matsudaら[7]は、運転のハンドル操舵において、その操舵量に応じたドレミ音の提示を行うことで、カーブ時の修正舵回数が減少することを明らかにしている。このような聴覚フィードバックは、単に音を聞くだけで済むため、筋肉の部位を意識して行う筋トレにおいて集中力が阻害されにくいフィードバックになると期待される。

そこで本研究では、エキセントリックトレーニングにおける一連の動作に連動して連続的な効果音を鳴らし、動作に対するフィードバックをすることにより、音に合わせるような感覚で動作速度をゆるやかにさせる手法を提案する。このようなフィードバック方法は、意識的な努力により動作速度を改善するのではなく、音に合わせる形で動作することで自然と動作の速度を安定させ、適切な動作速度でトレーニングができることが期待される。本研究では、効果音の提示される条件、秒数の読み上げが提示される条件、そしてフィードバックがない条件の3つの条件でエキセントリックトレーニングを行い、比較実験を行うことで提案手法の有効性を明らかにする。

¹ 明治大学
Meiji University

2. 関連研究

2.1 筋トレ支援の研究

筋トレの支援に関して様々な研究が行われており、トレーニングの動作やフォーム、内容を適切にする支援を行う研究や筋トレへのモチベーションを向上させる研究などが行われている。

トレーニングの動作やフォーム、内容を適切にする支援を行う研究として、高久ら[8]は、Kinectを用いてユーザの骨格を検出し、それを視覚的に与えることで適切なフォームへの改善の支援を行い、腹筋運動でのフォームの改善ができることを明らかにした。嶋崎ら[9]は、カメラ付きデバイスでトレーニングを撮影し、深層学習により姿勢と筋電位の関係から効いている筋肉の部位を推定し、反動を使ったトレーニングを防止する研究を行った。その結果、ダンベルカールのトレーニングにおいて反動を防止し、効率の良いトレーニングができることを明らかにした。

また、トレーニングを支援するためにウェアラブルデバイスを使用している研究も行われている。Takataら[10]は、初心者がウェアラブルデバイスを使用して自重トレーニングを効果的に行うためのサポートシステムを実装し、そのシステムがトレーニングの種類をより正確に認識できるようにするために、センサの位置が重要であることを明らかにした。

トレーニング内容を適切にする支援として Zhouら[11]は、ユーザの筋肉活動を監視することが可能なウェアラブルな布製センサを開発し、トレーニングの質を評価する実験を行った。その結果、開発したセンサにより高い精度でトレーニング活動を認識することができ、トレーニングの改善に寄与する可能性が示唆された。また Noteboomら[12]は、筋肉の負荷のバランスや強度、痛みを管理するフィードバックアプリケーションを開発し、筋肉のバランスや筋負荷、筋肉痛の改善に寄与するかを調査した。その結果、フィードバックにより筋負荷のバランスが良くなり、トレーニングの効果が向上することを明らかにした。これらの研究は、動作やフォーム、トレーニング内容を適切にするための支援であるが、本研究は動作速度に着目し、動作速度を適切にすることを支援するものである。

ゲーミフィケーションを用いて筋トレのモチベーションを向上させる研究も行われている。深堀ら[13]は、初心者を対象として、自宅での筋トレにゲーミフィケーションを導入し、モチベーションの維持や向上を図ることを目的とした筋トレ支援システムを提案している。また、Yangら[14]は、ゲーミフィケーションを組み込んだ体幹トレーニングにおいて、トレーニング前後の参加者の筋力や持久力が大幅に向上したことを明らかにした。Ozdamliら[15]は、フィットネス業界においてのゲーミフィケーションの影響について系統的レビューやメタ分析を行った。その結果、ゲー

ミフィケーションには困難を克服するためのサポート要素があり、フィットネス計画への意欲を向上させることを明らかにした。これらの研究は、ゲーミフィケーションを取り入れることで筋トレのモチベーションや効果を高めている。一方で本研究は、ゲーミフィケーションを直接利用するのではなく、効果音によってフィードバックを提供する点に大きな特徴があり、この効果音フィードバックが筋トレ実施時のモチベーション維持や向上につながるかを明らかにするものである。

2.2 聴覚フィードバックによる支援の研究

Vorbeckら[16]は、自重トレーニングスキル、特に逆立ちの学習や改善において、正しい動作が行われた際に音を鳴らすという聴覚フィードバックが効果的かつ効率的であることを明らかにした。また、Lorenzoniら[17]はウエイトリフティングの技術を向上させるための音楽によるバイオフィードバックシステムを提案し、デッドリフトの動作改善に有効であることを明らかにした。

スポーツにおいても聴覚フィードバックが使われており、正しい動作が行われた際におけるクリック音による聴覚フィードバックにより、ダンス動作のパフォーマンスが向上することや[18]、正しいゴルフスイングが行われた際にクリック音を鳴らし、即座的にポジティブな反応を与えることでスイングの技術向上を促進し、スイング動作を効果的に改善できることが明らかになっている[19][20]。

このように、聴覚フィードバックによってスポーツやトレーニングのパフォーマンスや動作を向上させることや、効果的に問題を改善できることが明らかになっている。しかし、これらの研究は、動作全体の良し悪しを離散的な音でフィードバックするものであり、自身の動作を即時的に把握できるものではない。また、本研究では単音や単音の変化ではなく、連続的な効果音を使用してゆるやかな動作へ促進するところに違いがある。

3. 提案手法

エキセントリックトレーニングは筋肥大や筋力向上において効率的だが、その動作を筋肉への負荷が高まった状況において、適切な速度で安定させることは難しい。そこで本研究では、運動学習において有効な支援方法である聴覚フィードバックに着目し、エキセントリックトレーニングの動作速度の安定化を目指す。

3.1 ゆるやかな動作を促す効果音の選定

本手法では、エキセントリックトレーニングにおいて、その動作をウェアラブルデバイスで測定し、動作速度に連動してゆるやかな動作を促すような音を鳴らす。本手法の聴覚的なフィードバックにより、適切な速度で安定してトレーニングできるのではないかと期待される。

ここで一般的には、筋トレにおける腕の上げる動作（コ

ンセントリック収縮)がエネルギーを蓄積するように感じられることが多いが、実際の筋トレでは、腕を下ろす動作(エキセントリック収縮)をゆるやかにを行い、腕を上げる動作を速く行うことが効果的なものである。そのため、腕を上げる動作はエネルギーを蓄えるというよりはエネルギーを解放するイメージに近い。この観点から、腕を下ろす動作を、エネルギーを貯める動きとみなし、それに適したゆるやかな動作を促す音としてチャージ音を選定した。

具体的な聴覚フィードバックは、動作速度が適切であったらチャージ音が鳴り、適切でなかったらエネルギーが抜ける音をフィードバックするというものである。本手法により、筋肉への負荷が高い状態になってもチャージ音を聞くことによって、自然とゆるやかな動作に促され、適切な速度で安定してエキセントリックトレーニングを行えることが期待される。また、エネルギーが蓄積されていくような音を聞くことで、運動に対する積極性や楽しさを感じやすくなり、継続的なトレーニングを促進することやトレーニング中の集中力が向上し、トレーニングの質が高まると期待される。

3.2 システムの設計

本研究では、腕のトレーニングであるダンベルカール用のプロトタイプシステムの実現を目指す。ダンベルカールを採用した理由は、シンプルな動作で計測が容易であり、エキセントリックトレーニングとしてよく用いられるためである。ここで実現を目指すシステムは、ウェアラブルデバイスから動作速度を推定し、それに応じて聴覚フィードバックを行うものである。ウェアラブルデバイスで取得可能な角速度のうち、デバイスに対して上下方向に回転する際の速度であるY軸の角速度を用いて動作速度を推定することとした。

エキセントリックトレーニングにおける適切な速度について、エビデンスはなく個々のレベルやトレーニングの目的によっても異なる。そこで今回は、Dr.training[4]というパーソナルトレーニングジムがエキセントリックトレーニング時の効果的な動作速度として推奨する3~5秒を参考に、3~5秒で腕を下ろすことを目標にした。本研究ではダンベルカールにおける可動域を120~135°と設定し、3秒未満で下ろした場合のY軸の角速度、つまり45°/s以上の速度を不適切なものとした。なお推定方法は、サンプリングレートを60Hzで取得したY軸の角速度を度数変換して利用することとした。

本手法の聴覚フィードバックでは、動作速度が適切であればチャージ音を鳴らし、適切でなければエネルギーが抜ける音を鳴らす。ここで、角速度のサンプリングレートが60Hzであり、1フレームごとに鳴らす音を決める処理を行うと音の挙動が不安定になり、不快感を与えてしまう可能性がある。そのため、鳴らす音を決める処理は10フレームごとに行うようにした。また、トレーニング速度が遅すぎ

ることも良くない[21]ため、動作開始から5秒以降は音が消えるようにした。

3.3 システムの実装

聴覚フィードバックを行う一連の機能をApple Watchのアプリケーションとして実装した。また、動作データを取得するため、Apple Watchアプリケーションと連携するiPhone上のアプリケーションの実装も行った。

Apple Watch側のアプリケーションのシステム画面を図1に示す。画面には「PowerCharge」、「START」、「トレーニングを始める」と書かれた3つのボタンがある。「PowerCharge」と書かれたボタンは、提示する音を選択するボタンである。初期状態で「PowerCharge」と表示されており、提案手法であるチャージ音が提示される。ボタンを押すと表示が「CountUP」に切り替わり、比較手法の秒数を読み上げる音が提示される。

「START」と書かれたボタンは、動作データの計測や聴覚フィードバックを開始するボタンである。ボタンを押すと加速度や角速度などのデバイスの動作情報が取得され、角速度の値によって聴覚フィードバックが行われるようになる。初期状態では「START」と表示されており、ボタンを押すと「STOP」に切り替わる。ユーザが「STOP」を押すとデバイスの動作情報の取得や聴覚フィードバックが終了し、取得した動作データはiPhoneに送信され、ファイルとして格納するようにした。

「トレーニングを始める」と書かれたボタンは、トレーニング全体を開始するボタンである。ボタンを押すと、拡張ランタイムセッションが開始され、バックグラウンドで加速度や角速度などのデバイスのモーション情報を取得し、画面がスクリーンオフ状態でも音を鳴らすことが可能になる。初期状態で「トレーニングを始める」と表示されており、ボタンを押すと「トレーニングを終わる」に切り替わる。「トレーニングを終わる」を押すことで、拡張ランタイムセッションが終了する。

本システムはAppleの統合開発環境であるXcodeで、Swiftを用いて実装した。また、チャージ音として効果音ファクトリー[22]のエネルギーチャージ(気功波3)とし、エネルギーが抜ける音を無料効果音で遊ぼう![23]の空気が



図1 Apple Watchアプリのシステム画面

抜ける1を採用した。

3.4 システムの使い方

ユーザは、最初に Apple Watch 上の「トレーニングを始める」ボタンを押して拡張ランタイムセッションを開始する。次に、「PowerCharge」と書かれたボタンで提示される音を選択する。ここで選択した音が聴覚フィードバックの効果音に使用される。その後、ユーザが「START」を押すことで、トレーニングを始めることができ、また1つのトレーニングが終わったら「STOP」を押すものとした。ユーザは全体のトレーニングが終わるまでこの流れを繰り返し、すべてのトレーニング終了後に「トレーニングを終わる」を押すことで、システムの利用が終了となる。



図2 実験の様子

4. 実験

4.1 実験概要

本研究では、「提案システムであるチャージ音による効果音提示が、秒数のカウントアップを読み上げる秒数読み上げ提示より、適切な速度を維持してエキセントリックトレーニングをすることができる」という仮説を立て、実験および分析を行う。ここでは、比較対象とした秒数のカウントアップを読み上げる秒数読み上げ提示システムを実装し、効果音による提示との比較を行う。秒数読み上げ提示を比較手法として選んだのは、従来のトレーニングサポートではトレーナーが秒数を数えることが一般的であったためである。また、実験後にアンケートを実施し、筋トレ実施時のモチベーションの維持や向上の可能性についても検証する。

実験では、実験参加者にダンベルカールでのエキセントリックトレーニングを行ってもらい（図2）。ダンベルカールの基本的な動作は、腕の筋肉を使ってダンベルを上げる、持ち上げたダンベルをゆるやかに下ろすといった一連の動作を繰り返すものである。本研究ではダンベルをゆるやかに下ろすエキセントリック収縮局面に着目しており、ダンベルを上げるコンセントリック収縮局面での負荷をなるべく避けたいため、コンセントリック収縮局面は筆頭著者がサポートし、実験参加者に負荷がかかるのはエキセントリック収縮局面のみとした。

なお実験では、ユーザにチャージ音を提示する提案システムを利用したトレーニング、秒数を読み上げるシステムを用いたトレーニング、音提示がないトレーニングの3回に分け、実験者内比較することでシステムの有効性を検証する。

4.2 使用重量

ダンベルの重量については、個人によって筋力差があるため事前にダンベルカールでの1RM(1回の最大挙上重量)を測定した。またトレーニングを10回行う場合は1RMの約60~80%と一般的に推奨されていることや、本実験にお

けるトレーニングはエキセントリック収縮局面のみであることを考慮して1RMの80%の重量に設定した。しかし、可変式ダンベルでは細かい重量調整ができないため、1RMの80~90%の範囲内で重量設定をした。これによって実験参加者間の強度をある程度揃えた。1RMの測定方法については、スポーツ科学に関する包括的な情報を提供するウェブサイトである Science for Sport[24]に準じて行った。

4.3 実験手順

実験前に、エキセントリックトレーニングの適切なフォームやチャージ音提示と秒数読み上げ提示のシステムに慣れるための練習を実施した。各条件で実験参加者にできるだけ3~5秒の間でダンベルをゆるやかに下ろすように指示したうえで実験を行った。実験参加者の大半が筋トレ未経験者であったため、ダンベルカールでの注意事項を詳細に説明し、適切な動作ができるように確認したうえで実験を行った。

各実験参加者に対し、それぞれ3つの条件で取り組んでもらうが、筋肉の疲労の影響を避けるため1回の実験で1条件とし、実験の間隔は筋肉の回復を考慮して最低48時間はあけるようにした。

各条件での実験は、以下に示すように10回1セットとしたエキセントリックトレーニングを3セット行ってもらった。なおウォームアップでは、怪我のリスクを減少させることやパフォーマンスを向上させるために体温を上げることが目的のため、エキセントリックトレーニングではなく、一般的なダンベルカールを行ってもらった。

1. 実験の説明を行う
2. エキセントリックトレーニングの適切なフォームやシステムに慣れるための練習を行う
3. 軽い重量でウォームアップを行う（使用する重量の約50%を10回）
4. 1分の休憩
5. 中程度の重量でウォームアップを行う（使用する重量の約75%を6回）
6. 2分の休憩

7. 1セット目のトレーニングを行う
8. 3分の休憩
9. 2セット目のトレーニングを行う
10. 3分の休憩
11. 3セット目のトレーニングを行う
12. アンケートに回答する

実験参加者には、各条件での実験が終わった後に、主観評価を行うためのアンケートに回答してもらった。アンケート内容は、集中度やトレーニングの負荷、トレーニングの意識のしやすさなどのシステムの使用感についての質問などである。

合計3回の実験に分けて行うが、実験で行う条件の順番はランダムとした。なお実験では、Apple Watch SE（第2世代）とiPhone14 Proを使用した。また、ダンベルはMRG可変式ダンベル24kgを使用した。

5. 実験結果

実験参加者は20~24歳の大学生・大学院生の男性12名で、使用した重量は平均9.0kgであった。

実験参加者12名のうち2名が筋肉痛や筋肉の疲労により十分な回復がなされず、条件間に大きな差があったため、外れ値とみなし分析から除外した。その結果10名のデータで分析を行うこととした。なお、10名の実験参加者の合計90データの内、1データがトレーニング回数の測定ミスにより完全なデータが取得できていなかったため、合計89データを対象に分析を行う。

5.1 分析方法

エキセントリック収縮局面に絞って分析するため、角速度の-1より小さい数値が一定以上続いていた区間をエキセントリック収縮局面とした。また、1つのデータに10回のエキセントリック収縮局面があるように個々のデータに合わせて調整した。本研究では、動作時間、速度の標準偏差の2つについて分析をする。

動作を3~5秒という適切な速度で行うことができたか調べるために、エキセントリック収縮局面の動作時間について比較を行う。動作時間の分析方法は、1回のエキセントリック収縮局面の始まりから終わりまでのフレームでの経過時間を動作時間とした。

トレーニング中の動作速度を安定させることができたかを調べるために、エキセントリック収縮局面での1回の動作の速度の標準偏差を用いて比較する。

5.2 分析結果

図4に条件ごとのエキセントリック収縮局面の動作時間を示したグラフを示す。図4より、音提示なしよりチャージ音提示や秒数読み上げ提示の方が動作時間は長いことがわかる。ここで、分散分析を行ったところ3条件の動作時

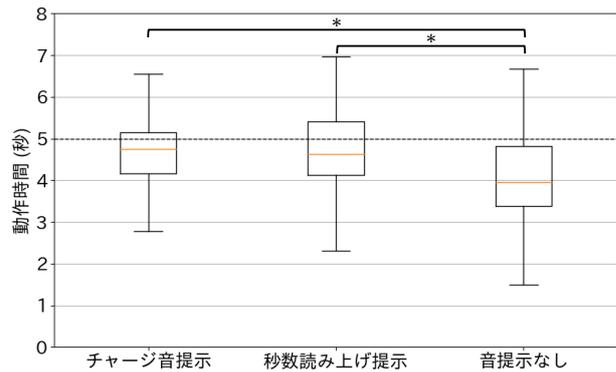


図4 条件ごとの平均動作時間

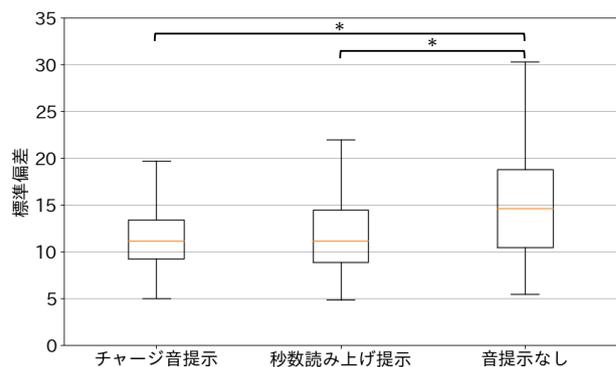


図5 条件ごとの1回の動作における速度の標準偏差

間の差に有意差が認められた ($p<0.05$)。続いて、多重比較を行った結果、チャージ音提示と音提示なし、秒数読み上げ提示と音提示なしで動作時間の差に有意差が認められた ($p<0.05$)。しかし、チャージ音提示と秒数読み上げ提示との間には有意な差がみられなかった。

図5に、条件ごとのエキセントリック収縮局面の速度の標準偏差を表したグラフを示す。図5より、音提示なしよりチャージ音提示や秒数読み上げ提示の方が標準偏差は小さいことがわかる。ここで、分散分析を行ったところ3条件の動作時間の差に有意差が認められた ($p<0.05$)。続いて、多重比較を行った結果、チャージ音提示と音提示なし、秒数読み上げ提示と音提示なしで動作時間の差に有意差が認められた ($p<0.05$)。しかし、チャージ音提示と秒数読み上げ提示との間には有意な差がみられなかった。

5.3 アンケート結果

提案手法により、筋トレの集中力やモチベーションの維持や向上の可能性があるかを調べるため、結果を条件ごとに平均したものを表1に示す。この表から、「トレーニングで音が気になって集中できないことはありましたか?」という項目以外においてチャージ音提示が秒数読み上げ提示や音提示なしに比べて、高く評価されていることがわかる。特に「同じリズムでゆっくりとおろすことは意識しやすか

表1 アンケート結果

質問事項	チャージ音提示	秒数読み上げ提示	音提示なし
同じリズムでゆっくりとおろすことは意識しやすかったですか？	4.58	3.92	1.83
筋肉の伸張を意識しながらできましたか？	3.67	3.42	3.00
トレーニングは筋肉に効いている感じはしましたか？	4.58	4.25	4.33
トレーニングをまたやりたいと思いますか？	4.25	3.75	2.67
トレーニングは楽しかったですか？	4.25	3.17	2.58
トレーニングの（腕の）疲労度をお答えください	4.67	4.55	4.25
音が気になって集中できないことはありましたか？	3.58	3.75	

ったですか？」という項目において、音提示なしは1.83ととても低く、チャージ音提示は4.58と高い結果となっていた。

記述式の回答では、チャージ音提示に対して「途中でブシューと鳴ったあとにもう一度チャージ音が鳴りはじめる際に、腕の位置は途中なのに音がそこから鳴り始めるのが違和感あった」「チャージした後に何も起こらないことに違和感がある」などの音の違和感についての意見が得られた。一方、「チャージ音によって楽しく筋トレできたし、またやりたいと思った」「下げている途中（中盤）でもゆっくりと下げることを意識しやすくなった。また速くなった時もフィードバックされるので、速くなったことを知覚しやすく、遅くしようとするのができた。秒数カウントより、筋トレを続けられそうだなと思った！」などモチベーション向上についてポジティブな意見も得られた。

秒数読み上げ提示では、「秒数だったので直感的にわかりやすく調整しやすかった」「秒数提示が一番個人的にはよかった」などのポジティブな意見が得られた一方で、「下ろしている速度が速すぎた場合は何かしら指摘が欲しい」という意見もあった。

6. 考察

6.1 エキセントリック収縮局面の動作時間の比較

図4より、音提示なしよりチャージ音提示や秒数読み上げ提示の方が動作時間は長いことがわかった。このことから、音提示なしでのトレーニングでは秒数を数えることが難しく、動作が速くなってしまうことが考えられる。チャージ音提示や秒数読み上げ提示は、チャージ音は動作と音が連動しており、また秒数読み上げ提示は明確に自分の動作時間を把握することができるので、ゆるやかに動作をすることができていると考えられる。

チャージ音提示と秒数読み上げ提示で差がないことから、セット数に分けて分析を行った。図6にセット数における条件ごとの動作時間のグラフを示す。各条件について左から順に1~3セット目を表している。この図より、1セット

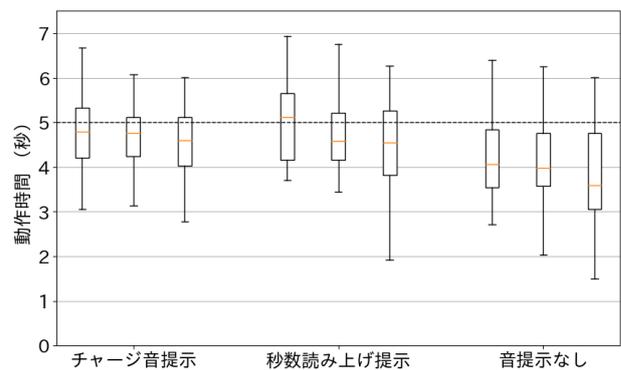


図6 セット数における条件ごとの動作時間

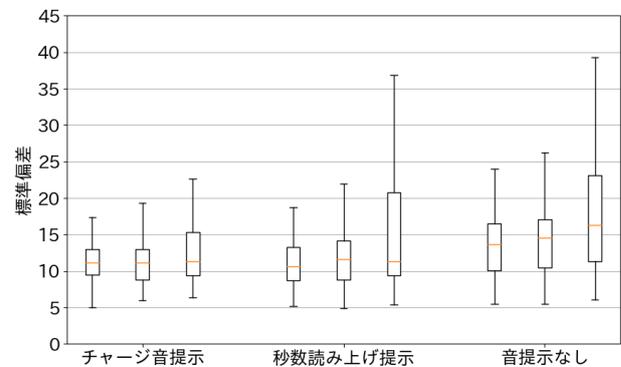


図7 セット数における条件ごとの1回の動作における速度の標準偏差

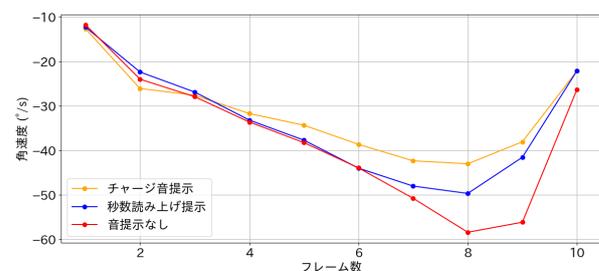


図8 3セット目の平均の角速度の可視化

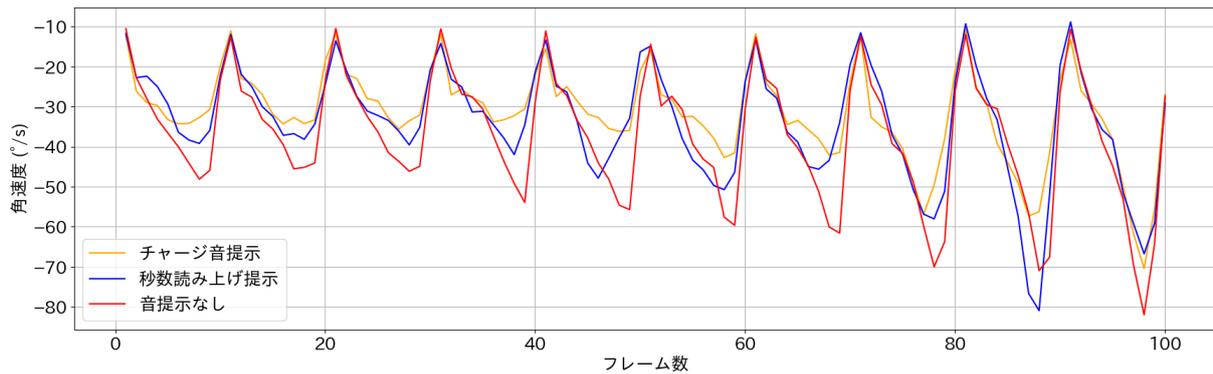


図9 3セット目 10回分の角速度の可視化

目では、秒数読み上げ提示は動作時間がやや長い、大きな差はない。また2~3セット目においては動作時間に差がないことがわかる。1セット目で秒数読み上げ提示の動作時間が長い要因としては、秒数読み上げによって実験参加者が秒数を明確に認識できるため、筋肉への疲労がない1セット目で、特に3~5秒でトレーニングをする意識が強まった可能性が考えられる。

6.2 エキセントリック収縮局面の速度の標準偏差の比較

図5より、音提示なしよりチャージ音提示や秒数読み上げ提示の方が標準偏差は小さいことがわかった。音提示なしにおいて標準偏差が大きくなったことは、エキセントリック収縮局面での一回の動作において、動作の速度が不安定であり、速度にばらつきが生じやすいことを示している。音提示がない場合、実験参加者は自分で秒数をカウントする必要があり、その結果、動作を安定させる意識に集中する余裕がなかった可能性が考えられる。また、余裕のなさからカウントが早くなった可能性も考えられる。

チャージ音提示と秒数読み上げ提示で差がなかったため、セット数に分けて分析を行った。図7にセット数における条件ごとの速度の標準偏差グラフを示す。この図も各条件について左から順に1~3セット目を表している。この図より、3セット目のみ秒数読み上げ提示はチャージ音提示に比べ、四分位範囲が大きくなっていることがわかる。秒数読み上げ提示では、特に筋肉への負荷が高い3セット目において、チャージ音提示よりも動作の速度が不安定になるという結果となった。具体的には、腕の角度によって筋肉への負荷が異なり、秒数読み上げ提示では負荷の低い区間と高い区間で速度差があった可能性があげられる。また、アンケートの回答から「きつい時に速度を少し速くし、下ろし切った後に3秒以上のカウントが終わるまで踏ん張っていた」「中盤は速くなってしまい下の方でカウントを調整するような形になってしまうように感じた」といった意見が得られ、数値のばらつきに影響を与えていた可能性がある。チャージ音提示は、筋肉への負荷が高い3セット目でも標準偏差のばらつきが小さいことから、速度を変動することなく、適切な速度を維持してトレーニングを行えてい

ることがわかった。

6.3 エキセントリック収縮局面の角速度の可視化

筋肉が疲労している時の効果を調べるため、特に疲れている3セット目に注目して考察を行う。3セット目の平均の角速度の変化を図8に示す。チャージ音を提示する群を黄色、秒数を読み上げる音を提示する群を青色、音を提示しない群を赤色で表示している。横軸はフレーム数で、1回のエキセントリック収縮局面を10分割し10フレームに納め、それを平均した軌跡を示している。縦軸は角速度であり、値が小さいほど動作が速くなっていることを示す。この結果より、チャージ音提示が最も速度を抑えて動作していることがわかる。

次に図9に、3セット目の10回分の軌跡を示す。この図の横軸はフレーム数で、1回を10フレームとした10回分の動作を示し、縦軸は角速度である。この結果より、音提示なし条件では他の条件に比べ動作が速く、また徐々に速くなる傾向が見て取れる。一方、4~7回目において、秒数読み上げ提示よりチャージ音提示は角速度が小さく動作がゆるやかであることがわかる。

以上のことから、筋肉にかかる負荷が高い3セット目のトレーニング中盤にかけて、チャージ音提示によりゆるやかな動作を維持して効果の高いトレーニングができていたことがわかった。筋トレにおいて、筋肉への負荷が高くなった時、その負荷に耐えながらトレーニングをやりきることが重要である。チャージ音提示によって、このような状況においてもトレーニングをやり遂げる意欲が引き出される可能性があることが示された。

6.4 アンケート結果の比較

表1から、「トレーニングで音が気になって集中できないことはありましたか?」という項目以外においてチャージ音提示が、秒数読み上げ提示や音提示なしに比べて、良い結果を示した。特に「トレーニングをまたやりたいと思いますか?」と「トレーニングは楽しかったですか?」という項目において、チャージ音提示が他の条件と比べ非常に高い評価を得ていた。このことについて、チャージ音提示は筋トレのモチベーションの維持や向上に繋がる可能性

を示唆している。これは、チャージ音のようなエネルギーが蓄積されていく音が運動に対する積極性や楽しさを感じさせたことが原因として考えられる。一方、チャージ音に対する違和感があるという意見もあったため、今後音の再生方法やチャージ音のアクションについて検討する必要がある。

7. まとめ

本研究では、エキセントリックトレーニングにおける動作を適切な速度を維持して行うために、ゆるやかな動作を促進するようなチャージ音を提示する聴覚フィードバック手法を提案した。またその有効性を検証するために、プロトタイプシステムを実装し、チャージ音の提示がある条件と秒数の読み上げ提示がある条件、フィードバックがない条件の3つでエキセントリックトレーニングの比較実験を行った。実験の結果、特に3セット目でチャージ音を提示する手法では、動作速度が速くなるのを抑制し、安定した動作速度を継続してトレーニングできることが明らかになった。また、主観評価でもモチベーションの維持や向上に繋がる可能性が示唆された。

ここで、チャージ音における違和感を覚えたという意見が多かった。そこで今後は不快感を覚えないように音の再生方法を改良し、フィードバックシステムへの改善を行っていく予定である。また今回はチャージ音で実験を行ったが、この音自体に問題があった可能性がある。そこで今後は他の効果音の可能性についても検討する予定である。また、今回の実験は手法を連続して実施しておらず、効果が継続するかは不明である。そこで今後の実験では、実際のトレーニングに近いサポート無しでの長期的な実験を行い、実用性を検証する予定である。

参考文献

- [1] “ショップジャパン 習慣的な運動・筋トレに関する調査”. <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000373.000001915.html>, (参照 2023-12-13)
- [2] S. Nishikori, J. Yasuda, K. Murata, J. Takegaki, Y. Harada, Y. Shirai, and S. Fujita. Resistance training rejuvenates aging skin by reducing circulating inflammatory factors and enhancing dermal extracellular matrices. *Scientific reports*, 2023, vol. 13, no. 1 p. 10214.
- [3] 野坂和則, 筋トレ革命エキセントリックトレーニング, 新星出版社, 2020.
- [4] Dr.training, <https://drtraining.jp/media/10414/>, (参照 2024-1-26)
- [5] 奥川遼, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦. 聴覚フィードバックを利用したペダリングトレーニングシステム. *コンピュータソフトウェア*, 2016, vol. 33, no. 1, p. 41-51.
- [6] 吉岡杏奈, 藤波努. 聴覚フィードバックを用いたランニング練習支援システム. *人工知能学会第二種研究会資料*, 2018, vol. SKL-26, p. 1-4.
- [7] S. Matsuda, Y. Funazaki, T. Komatsu, N. Matsuyama, Y. Nakagawa, S. Nakamura, H. Takao, R. Sumikawa, T. Torii. DoReMi Steering Wheel: Proposal for a Driving Assist System with Sound Display Depending on the Rotation Angle of Steering Wheel, *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 26th International Conference*, 2022, p. 4504-4513.
- [8] 高久大輔, 中島克人. Kinectを用いた筋力トレーニング支援システム. 第77回全国大会公演論文集, 2015, vol. 2015, no. 1, p. 437-438
- [9] 嶋崎浄, 山口高康. 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イシブシステム*, 2022, vol. 2022-MBL-105, no. 18, p. 1-7.
- [10] M. Takata, M. Fujimoto, K. Yasumoto, Y. Nakamura, and Y. Arakawa. Investigating the Capitalize Effect of Sensor Position for Training Type Recognition in a Body Weight Training Support System. *Proceedings of the 2018 ACM International Joint Conference and 2018 International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers*, 2018, p. 1404-1408.
- [11] B. Zhou, M. Sundholm, J. Cheng, H. Cruz, and P. Lukowicz. Never skip leg day: A novel wearable approach to monitoring gym leg exercises. *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, 2016, p. 1-9.
- [12] L. Noteboom, A. Nijs, P. J. Beek, F. C. T. van der Helm, and M. J. M. Hoozemans. A Muscle Load Feedback Application for Strength Training: A Proof-of-Concept Study. *Sports (Basel)*, 2023, vol.11, no. 9, p. 170.
- [13] 深堀悠人, 米村俊一. ゲームフィクションにより行動を高める筋力トレーニング支援システムの提案. *情報処理学会研究報告*, 2022. vol. 2022-HCI-196, no.15, p. 1-8.
- [14] D. Yang, J. Lu, X. Liu, and H. Tang. Research on Gamified Design of Introductory Core Muscle Training. *Communications in Computer and Information Science*, 2023, vol. 1833, p. 218-223.
- [15] F. Ozdamli, and F. Milrich. Positive and Negative Impacts of Gamification on the Fitness Industry. *European journal of investigation in health, psychology and education*, 2023, vol. 13, no. 8, p. 1411-1422.
- [16] B. Vorbeck, and C. Bördlein. Using auditory feedback in body weight training. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 2020, vol. 53, no. 4, p. 2349-2359.
- [17] V. Lorenzoni, J. Staley, T. Marchant, K. E. Onderdijk, P. J. Maes, and M. Leman. The sonic instructor: A music-based biofeedback system for improving weightlifting technique. *PLoS one*, 2019, vol. 14, no. 8.
- [18] M. Quinn, R. Miltenberger, T. James, and A. Abreu. An evaluation of auditory feedback for students of dance: Effects of giving and receiving feedback. *Behavioral Interventions*, vol. 32, no. 4, p. 370-378.
- [19] K. Yoo, X. Wu, W. Zhuang, Z. Xia, and Y. Liu. The effects of audible feedback as a coaching strategy on golf skill learning for novice players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2020, vol. 20, no. 4, p. 596-609.
- [20] Y. Tanaka, T. Nakamura, and H. Koike. Posture-based Golf Swing Instruction using Multi-modal Feedback. *Journal of Information Processing*, 2022, vol. 30, p. 107-117.
- [21] B. J. Schoenfeld, D. I. Ogborn, and J. W. Krieger. Effect of Repetition Duration During Resistance Training on Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 2015, vol. 45, no. 4, p. 577-585.
- [22] 効果音ファクトリー, <https://se-factory.net/>, (参照 2023-12-14).
- [23] 無料効果音で遊ぼう!, <https://taira-komori.jp.org/>, (参照 2023-12-14).
- [24] Science for Sport, <https://www.scienceforsport.com/lrm-testing/>, (参照 2023-12-14).