

音楽が筋力トレーニング時の筋疲労や筋回復に与える影響の初期検討*
☆ 角田清香, 瀋迅, 矢田部浩平 (農工大)

1 はじめに

近年、健康志向の高まりにより筋力トレーニング（筋トレ）が広く普及している。しかし、個人の状態に合わせた負荷量や休憩時間の設定を客観的に把握する手段が少ないため、不適切な設定により、怪我のリスクやトレーニング効率の低下が懸念される。そこで、筋疲労や回復の度合いを客観的に示す定量的な指標が求められている。その指標の一つとして、最大随意等尺性収縮（Maximum Voluntary Isometric Contraction：MVIC）がある。MVIC は、筋肉が発揮できる最大の筋力を指し、その値の低下や回復の過程を追うことで、筋肉の疲労状態を動的に評価する。先行研究では、この MVIC の挙動を動的システムとして定式化した MVIC モデルが提案されている [1]。

また、音楽による外部刺激が運動のパフォーマンスに影響を与えることも知られており、特に運動中の主観的運動強度を低下させ、疲労感を軽減する効果が報告されている [2]。しかし、これらの知見の多くは主観的・定性的な評価に留まっており、筋疲労の進行や回復といった筋力発揮のダイナミクスに対して、音楽鑑賞が与える影響を客観的に評価した例は存在しない。そこで本研究では、筋トレ時の疲労・回復に音楽鑑賞が与える影響の客観的な評価を目的とし、音楽の有無における筋疲労・回復の挙動の違いを、MVIC モデルを用いて実験データに基づき検証する。

2 MVIC の動的モデル

MVIC の挙動を動的システムとして捉えることで、筋トレ中の筋疲労・回復プロセスを記述することができる。本モデルの出力である MVIC を $M(t)$ ($0 \leq M(t) \leq 1$) と定義すると、疲労・回復が遅い筋肉成分 $m_s(t)$ と速い筋肉成分 $m_f(t)$ の 2 変数で構成され、以下の連立常微分方程式で表せる。

$$\begin{cases} M(t) &= m_s(t) m_f(t) & (1) \\ \frac{d}{dt} m_s(t) &= p_1(1 - m_s(t)) - p_2 u(t) & (2) \\ \frac{d}{dt} m_f(t) &= p_3(1 - u(t)) p_4(1 - m_f(t)) - p_5 u(t) & (3) \end{cases}$$

ここで、状態変数 $m_s(t)$ および $m_f(t)$ は 0（完全疲労）から 1（未疲労）の値をとる。入力変数 $u(t)$ は観測データから推定されるトレーニング負荷を表し、運動

表-1 MVIC 動態モデルにおけるパラメータの定義

パラメータ	役割・意味
p_1 : 遅効性回復速度	長時間休息による基礎筋力の回復速度を表す。
p_2 : 遅延疲労感受性	負荷に伴う遅効性筋力成分の低下しやすさを表す。
p_3 : 速効性回復速度	短期休憩によって回復する表層筋力の回復速度を表す。
p_4 : 回復抑制係数	筋トレ中に速効性回復が抑制される程度を表す。
p_5 : 速効性疲労感受性	高強度負荷による速効性成分の急速な低下を表す。

中は $u(t) > 0$ 、休息中は負荷が消失するため $u(t) = 0$ となる。また、 $p_1, \dots, p_5$ の定義を表-1 に示す。式 (2) では、長期的な成分として、負荷 $u(t)$ による長期的な筋力の減衰 (p_2) と、長期的な回復 (p_1) を記述している。式 (3) では、短期的な成分として、速効性成分の急激な低下 (p_5) と、急速な回復 (p_3) を記述している。特に下段第一項に含まれる $(1 - u(t))$ は、負荷 $u(t)$ が大きいほど回復量が減少するという生理的な制約を表現しており、パラメータ p_4 を適切に推定することで、個人の回復特性を MVIC モデルに反映させることができる。

3 モデルパラメータの推定

MVIC モデルを実データに適用し、音楽鑑賞の有無による影響を客観的に比較するためには、各条件に応じたパラメータの同定が不可欠である。本研究では、既知の入力 $u(t)$ に対し、パラメータ $p_1, \dots, p_5$ を推定する。目的関数には、平均二乗誤差 (MSE) を用い、最大筋力の推定値 $M_{\text{obs}}(t)$ との誤差を最小化する。

$$\text{MSE} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\hat{M}(t) - M_{\text{obs}}(t) \right)^2 \quad (4)$$

ただし、 $\hat{M}(t)$ は MVIC モデルから得られる推定値である。 $M_{\text{obs}}(t)$ は運動開始時の値を 1 とし、各セットの開始時（休憩終了時）・終了時（休憩開始時）における値を持ち上げ回数と余力回数をもとに算出した。また、筋力の疲労・回復過程が指数関数に従うという先行研究の知見 [1] に基づき、指数関数を用いて補間した。推定にはベイズ最適化を用い、さらに得られた値の周辺に乱数を振ることで局所解を回避する再推定プロセスをアルゴリズムに導入した。

*Preliminary study on the effects of music on muscle fatigue and recovery during strength training. By Kiyoka TSUNODA, Xun SHEN and Kohei YATABE (Tokyo University of Agriculture and Technology).

4 実験

本研究では、音楽鑑賞が筋疲労・回復に与える影響を評価する。初期検討として、日常的にスポーツを行う左右の筋力差が少ない20代女性の被験者1名を対象とした。右手は音楽鑑賞なし（無音）、左手は音楽鑑賞ありの状態それぞれ筋トレを実施した。

運動種目として、座位でのダンベル上下運動を採用した。ダンベルの重量は全日程で5kgを使用した。30秒間の運動と1分間の休憩を1セットとし、これを計8セット連続で行った。セット間の休憩を挟むことで、MVICの重要な要素である回復挙動を観測できる。各セット内の「ダンベル持ち上げ回数」に加え、セット終了直後に「あと何回持ち上げられるか」という「余力回数」を記録した。この余力回数は、事前実験で得られた時間制限がない場合の最大持ち上げ回数に基づき、被験者の主観評価も加味して決定した。本実験では運動時間を30秒間と固定しているため、時間内でどの程度、筋力を使い切ったかを推定する必要がある。そこで、実際の持ち上げ回数にこの余力回数を加算し、各セットでの限界まで筋力発揮を行った場合の持ち上げ回数を擬似的に算出した。その最大値を1として正規化し、その時点での推定値 $\hat{u}(t)$ と定義し、MVICモデル推定に用いた。筋肉痛や前日の疲労による影響を排除するため、各実験日は2日以上の間隔を空け、3週間で計5日間にわたってデータを収集した。また、睡眠時間や体調等に関するアンケートを行い、コンディションに大きな変動がないことを確認した上で実施した。

鑑賞する音楽は、運動時のパフォーマンス向上に最適な範囲 [2] であるBPM 120–140とした。楽曲のジャンルはロックで、被験者自身が「テンションが上がる」と感じるものを選曲し、心理的な外部刺激の効果を最大化させた。

4.1 実験結果

実験結果を図-1に示す。図-1（左）は、実施日ごとの合計持ち上げ回数の推移を示している。両条件で、実施日を追うごとに増加する傾向が見られた。前日からの増加回数（成長量）（図-1（右））を比較すると、無音条件では実施日ごとに前日からの成長量のばらつきが大きく、トレーニング効果が不安定であることが確認できた。一方で、音楽鑑賞条件では成長量のばらつきが小さく、安定したトレーニング効果が確認できた。この結果は、一定のテンポを持つ音楽が運動リズムを調整し、筋力発揮のムラを抑制することで、継続的なトレーニング効率の向上に寄与した可能性を示唆している。推定されたパラメータに基づくMVICの推移を図-2に示す。無音条件（上段）

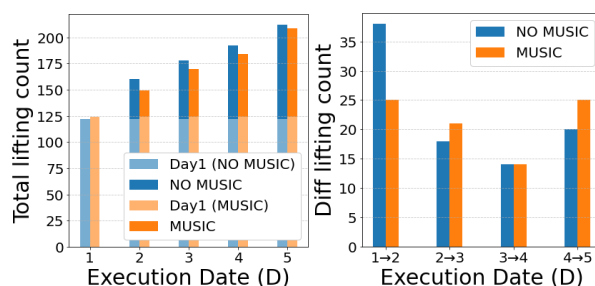


図-1 左：実施日ごとのダンベルの持ち上げ回数の合計の推移。1日目の値を薄い色で示し、1日目からの成長量を濃い色で示している。右：実施日ごとの前日からの増加回数の推移。

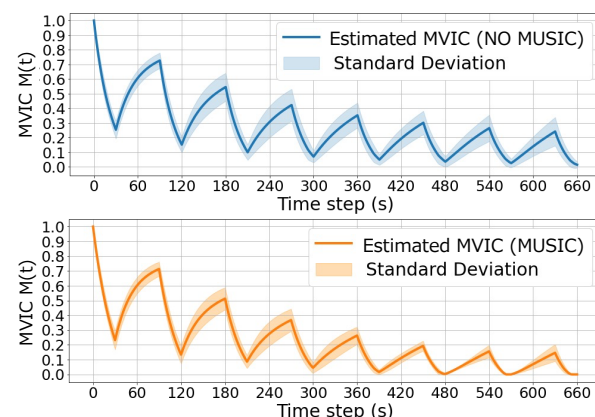


図-2 トレーニング中（8セット分）の $\hat{u}(t)$ から推定したMVICの推移。上段が無音条件、下段が音楽鑑賞条件。太線が5日間の平均を表し、塗りつぶし部分は標準偏差を示す。縦軸が $M(t)$ の値、横軸が時間を示す。運動時に $M(t)$ が減少し、休憩時に $M(t)$ が増加する。これが8セット繰り返される。徐々に疲労の蓄積と負荷への慣れなどにより、運動時・休憩時の変化量が減少する。

では、MVICの推移にばらつきがあったが、音楽鑑賞条件（下段）は無音条件よりMVICの推移のばらつきが少ないことが確認できた。この結果は、音楽鑑賞が運動中の集中力維持や動作の安定化に寄与し、トレーニング強度の偏りを低減させる効果を持つことを示唆している。

5 むすび

本研究では、音楽鑑賞が筋トレに与える影響について実験的に検証した。音楽鑑賞を行うことでよりばらつきの少ない負荷をかけることができていたことがわかった。今後は、ダンベルの重量のノーマライズや、音楽鑑賞以外の外部刺激を追加で与えた場合にもこの傾向が現れるのかを検証する。

参考文献

- [1] J. L. Herold and A. Sommer, “A mathematical model-based approach to optimize loading schemes of isometric resistance training sessions,” *Sports Eng.*, **24**, 1–24 (2021).
- [2] C. I. Karageorghis and D. L. Priest, “Music in the exercise domain: A review and synthesis (Part 1),” *Int. Rev. Sport & Exerc. Psychol.*, **5**, 44–66 (2012).