

音楽の BPM が筋力トレーニング中の
筋疲労・筋回復に及ぼす影響の初期検討*

☆ 角田清香, 吉野夏樹, 矢田部浩平, 潘迅 (農工大)

1 はじめに

筋力トレーニング（筋トレ）において様々な外部刺激がパフォーマンスに影響を与えることが知られている．中でも筋トレ中に鑑賞する音楽の BPM が影響し、特に BPM 140 前後の音楽が疲労感を軽減することなどが報告されている [1]．しかし、音楽刺激が筋肉の疲労・回復過程に与える影響を定量的に評価した例は少ない．筋疲労は運動に伴う最大筋力の低下、回復はその復元として捉えられるため、その定量評価手法として最大筋力（MVIC）の低下・回復過程を定式化した MVIC モデルが提案されている [2]．本稿では MVIC モデルを用いたパラメータ推定により、BPM の違いが疲労・回復過程に与える影響を比較する．

2 MVIC モデルを用いたパラメータ推定

筋肉の疲労および回復に伴って変化する筋力のモデルとして、MVIC モデルが提案されている [2]．時刻 $t > 0$ における MVIC を $M(t)$ ($0 \leq M(t) \leq 1$) とすると、 $M(t)$ は疲労・回復が遅い筋肉成分（遅筋） $m_s(t)$ と疲労・回復が速い筋肉成分（速筋） $m_f(t)$ の 2 変数で構成され、次の連立常微分方程式で表せる．

$$M(t) = m_s(t) m_f(t) \tag{1a}$$

$$\frac{d}{dt} m_s(t) = p_1(1 - m_s(t)) - p_2 u(t) \tag{1b}$$

$$\frac{d}{dt} m_f(t) = p_3(1 - u(t))^{p_4}(1 - m_f(t)) - p_5 u(t) \tag{1c}$$

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）の範囲をとる．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、運動中は $u(t) > 0$ 、休憩中は負荷が消失するため $u(t) = 0$ となる． p_1 – p_5 の役割は表-1 に示す通りである．

連立方程式 (1a)–(1c) を解くことで、任意の時刻 $t > 0$ における MVIC 値 $\widehat{M}(t)$ を推定する．本研究では、既知の各セット終了時刻 t_i における推定値 $\widehat{M}(t_i)$ と実測値 $M_{\text{obs}}(t_i)$ との平均二乗誤差 $(1/I) \sum_{i=1}^I (\widehat{M}(t_i) - M_{\text{obs}}(t_i))^2$ を最小化するようにパラメータ p_1 – p_5 を推定する．ただし、 i はセットのインデックスであり、 I は全体のセット数である．なお、局所解の回避と推定の安定性を担保するため、先

表-1 MVIC モデルにおける各パラメータの役割．

パラメータ	役割・意味
p_1	長時間休息による遅筋成分の回復度合い
p_2	負荷に伴う遅筋成分の低下の度合い
p_3	短期休息による速筋成分の回復度合い
p_4	筋トレ中に速筋成分の回復が抑制される程度
p_5	負荷に伴う速筋成分の低下度合い

表-2 休憩時間および音楽条件ごとの最大挙上可能重量 (kg) の比較．3 名分の左右の筋トレデータから算出した最大挙上可能重量の平均値を示している．太字は休憩時間が等しい中で NM の値を上回っている値を示す．

休憩時間 (s)	60	90	120
音楽鑑賞なし (NM)	16.25	22.07	29.60
BPM 90 鑑賞 (B90)	15.69	24.40	31.36
BPM140 鑑賞 (B140)	16.97	22.35	31.32

行研究 [2] に基づく探索範囲内で、バイズ最適化を用いてパラメータを推定し、得られた最良値の近傍で再度探索を行う 2 段階の最適化手順を適用した．

3 被験者実験および評価

本実験では、被験者実験を実施し、取得した筋トレデータから MVIC モデルの妥当性を確認し、その上で BPM の影響を評価する．運動経験のある男性 3 名 (18 歳 2 名, 20 歳 1 名) を対象とし、直立状態でのアームカール (7.5–12.5 kg) を被験者の主観的な持ち上げ回数の余力回数が 0 になるまで各セット実施し、 $I = 4$ とした．音楽条件を、音楽なし (NM)、同一楽曲のテンポ違いである BPM 90, 140 (B90, B140) の 3 通り、セット間休憩時間を 60, 90, 120 秒 (R60, R90, R120) の 3 通りとした．ただし、実験中は休憩時間も含め、各音楽条件での鑑賞を行う．被験者ごとに左右腕で各 12 回筋トレデータを記録した．順序効果を防ぐため音楽条件はランダムとし、持ち越し疲労回避のため左右間で 30 分以上、試行日間に 2 日以上以上の休養を設けた．各セットの実施時間、持ち上げ回数、自覚的運動強度 (RPE)、心拍数を記録した．

3.1 持ち上げ回数のみによる分析

MVIC モデルを用いた分析に先立ち、被験者 3 名の各条件下での持ち上げ回数から、オコナーの式 [3] を用いて最大挙上可能重量を算出し、比較した (表-2)．

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

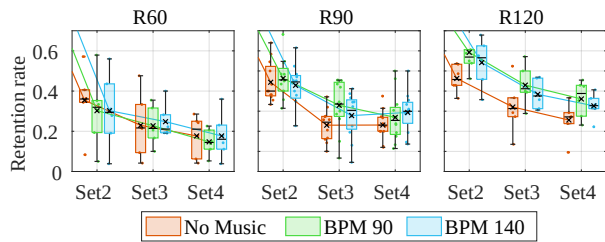


図-1 休憩時間ごとの持ち上げ回数の維持率 (Retention rate) の推移。ばつ印は各箱ひげ図の値の平均値を示し、平均値の推移を線で示している。

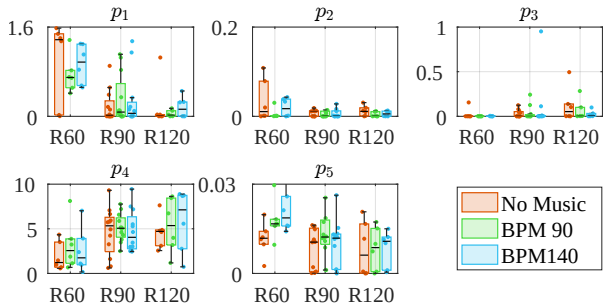


図-2 休憩時間ごとのパラメータ p_1 – p_5 の推定値の分布図。(単位：被験者×左右腕。標本数は R60, 120 が $N = 6$, R90 が $N = 12$)

B90 かつ R60 の場合を除いて、音楽を鑑賞した全ての条件で NM を上回った。また、1 セット目の持ち上げ回数を 1 とし、各セットでの持ち上げ回数を正規化した値を維持率として算出し、比較した (図-1)。R90, R120 では音楽鑑賞条件が NM 条件を一貫して上回り、後半セットでの維持率低下を抑制した。一方で、R60 では音楽による介入効果が見られなかった。この結果より、短時間の休憩では生理的疲労の影響が支配的であり、音楽による心理的・音響的介入効果が表出しにくかったことが示唆された。

3.2 MVIC モデルの妥当性に関する考察

推定した MVIC モデルのパラメータ分布を図-2 に示す。筋肉の疲労しやすさを表す p_2 および p_5 は、休憩時間が長くなるにつれて推定値が小さくなる傾向を示した。これは、休憩を十分に確保することで筋肉の疲労蓄積が抑制される生理的現象、および図-1 で見られた長休憩時におけるセット後半の維持率低下の抑制と整合する。また、速筋の回復率を表す p_3 は、休憩時間が長くなるほど推定値が大きくなっており、十分な休憩が速筋成分の急速な回復を促進することを捉えていると考えられる。なお、遅筋の回復特性を示す p_1 は休憩時間が長くなるほど小さくなる傾向が見られたが、これは長休憩により全セットを通して高い運動出力を維持できた結果、回復の遅い遅筋成分への蓄積負荷が増大したことを反映していると考えられる。 p_4 は休憩時間ごとに実験データと結びつく傾向はみられなかった。このように、MVIC モデルのパラメータのうち p_4 を除いた推定値は、実験データ

表-3 手法ごとの評価内容比較 (✓: 評価可能, -: 評価不能)。実験データ分析は、持ち上げ回数に基づいて行う。

評価・説明項目	実験データ分析	MVIC モデル分析
パフォーマンス向上	✓	✓
セットごとの維持率	✓	✓
疲労特性 (p_2, p_5)	-	✓
回復速度 (p_1, p_3)	-	✓

の挙動と整合しており、休憩時間ごとの比較を通じて本モデルが高い解釈性を有することが確認された。

3.3 BPM と疲労・回復に関する考察

音楽条件ごとにパラメータの比較・分析を行った。 p_2, p_5 (疲労特性) は音楽鑑賞時、NM 条件と比較して推定値が低下する傾向が見られ、音楽鑑賞が遅筋・速筋双方の疲労蓄積を軽減することが示唆された。特に、遅筋成分では B90 で、速筋成分では B140 で、より小さな値となった。これにより、持続的な出力を担う遅筋成分の疲労軽減には BPM が低い音楽が、瞬発的・高出力な速筋成分の疲労軽減には BPM が高い音楽刺激がより効果的に作用する可能性が示唆された。

遅筋の回復特性を示す p_1 は R120 の B140 条件下で大きくなる傾向が見られ、長休憩下での高テンポ音楽が遅筋の回復向上に寄与する可能性を示した。一方、速筋の回復特性を示す p_3 は B140 において R90 および R120 で小さくなる傾向が見られた。これは、B140 の鑑賞によって被験者が各セットで高負荷を発揮したこと (図-1 中央・右) に伴う、実質的な運動入力強度の増大に起因するものと考えられる。

以上の結果から、表-3 に示すように、実験データのみでは捉えきれない疲労・回復過程を、MVIC モデルを適用することで客観的かつ定量的に評価可能であることが示唆された。特に B140 の音楽鑑賞は、速筋の疲労を抑えつつ高負荷なトレーニングを維持・遂行する上で有効であると考えられる。

4 むすび

本研究では、筋トレ中の音楽の BPM が筋疲労・回復に及ぼす影響を MVIC モデルにより評価し、適切な休憩下での音楽鑑賞が運動パフォーマンス向上に寄与する可能性を確認した。今後はモデルの汎用性検証および最適な音響提示手法の検証を進める。

参考文献

- [1] C. I. Karageorghis and D.-L. Priest, "Music in the exercise domain: A review and synthesis (part I)," *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.*, **5**(1), 44–66 (2012).
- [2] J. L. Herold and A. Sommer, "A mathematical model-based approach to optimize loading schemes of isometric resistance training sessions," *Sports Eng.*, **24**(1), (2021).
- [3] D. A. LeSuer, J. H. McCormick, J. L. Mayhew, R. L. Wasserstein and M. D. Arnold, "The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift," *J. Strength Cond. Res.*, **11**(4), 211–213 (1997).