



反重力トレッドミルによる 体重負荷の違いの検討

—乳酸値・心拍数・酸素摂取量の分析—

位高駿夫 (大学院体育学研究科) 高木一正 (体育学部競技スポーツ学科)
西川 康 (体育学部競技スポーツ学科) 柴田ちひろ (体育学部競技スポーツ学科)
宮崎誠司 (体育学部競技スポーツ学科)

Differences in Weight Load by Anti-gravity Treadmill
-Analysis of Blood Lactate Concentration, Heart Rate and Oxygen Uptake-

Toshio ITAKA, Kazumasa TAKAKI, Ko NISHIKAWA, Chihiro SHIBATA and Seiji MIYAZAKI



Abstract

The purpose of this study was to investigate differences in weight load by anti-gravity treadmill. The subjects in this study were six health male student from 18 to 22 years (height: 170.4 ± 7.0 cm, weight: 63.4 ± 4.9 kg, BMI: 21.3 ± 2.3). Subject carried out anaerobic exercise at the rate of 8km/h for 30minutes by anti-gravity treadmill (AGT). The gravity load of AGT were 60%, 80%, 100% and 120%. We analyzed blood lactate concentration, heart rate and oxygen uptake. As a result, the blood lactate concentration before and after exercise was significantly decreased providing the gravity load of 60% and 80%. The gravity load of 60% was not significantly that of 80% in point of mean of heart rate and oxygen uptakes. Therefore, the result indicates that the gravity load of 80% by anti-gravity treadmill is significantly differ from the general gravitational environmental.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 26, 127-131, 2014)

I. 背景

ウォーキングやジョギング、ランニングは最も多くの人に行われているスポーツである¹⁾。健康増進を目的とするだけでなく、アスリートも基本的な運動として練習の一部で必ず取り入れる。単に外を走るだけでなく、水中ウォーキングやウッドチップのコースでのランニング、吊り上げ式の

体重免荷トレッドミルなど様々なバリエーションが現在までに考案されている。そして2010年に空気圧力を用いて実施者の体重による荷重を減らすことができる反重力トレッドミルが日本に導入された。

反重力トレッドミル AlterG (日本シグマックス株式会社製) は NASA によって開発され、空気圧差技術を応用して体重免荷を行うトレッドミルである²⁾。利用者は専用のシューズを身につ

け、空気注入されるバッグの中に下半身がある状態で固定される。通常の圧力を受ける上半身に対し、圧力を上げた下半身は持ち上げ作用によって体重の荷重が減少する仕組みである。水中や吊り上げ式トレッドミルでも体重免荷は可能であるが、前者は動かす速度の二乗の抵抗がかかる欠点があり、後者には免荷量の制限や免荷を定量することの難しさが欠点とされている。しかし、反重力トレッドミルにおいてはその2点が克服されており、軽い負荷で早い動きが可能となり、さらに体重の最大20%の負荷で走行することが可能である。

反重力トレッドミルはヨーロッパのサッカークラブでは怪我からの早期復帰を目指したりハビリテーションで用いられている^{3,4)}。日本においても半月板損傷⁵⁾や肉離れ⁶⁾などの傷害後には行われているようであるが、一般的な方法とはなっていない。その理由として、2014年1月現在で45台しかない点に加え、科学的な効果の解明には至っていない。特に、負荷の減少に伴う心拍数および酸素摂取量などへの影響は持久的能力を高める上では必須の条件となるため重要であるが、負荷減少時の呼吸・循環器への影響は明らかにされていない。

我々は、最大運動負荷時における分析で、50%、70%、100%の荷重と心拍数との間に直線的な変化を示すことが示唆されるのに対し、酸素摂取量は直線的な変化を示さない可能性を示唆するデータを得た⁷⁾。つまり、心拍数と酸素摂取量は免荷と相関関係を示さない可能性が考えられたが、被験者数や運動特性の問題点が欠点となり解明には至らなかった。

そこで本研究はジョギング実施時の運動強度の評価となる酸素摂取量や心拍数が体重免荷率の違いによってどのような変化を示すかを明らかにすることを目的とした。荷重の増加に伴い、運動中の心拍数および酸素摂取量は増加するという仮説を明らかにする。

II. 方法

1. 被験者

被験者は18歳から22歳の健康な男子大学生6名(身長 170.4 ± 7.0 cm、体重 63.4 ± 4.9 kg、BMI 21.3 ± 2.3)であった。被験者は体育会などの運動部に所属しておらず、運動頻度は週1回程度であった。測定は東海大学15号館8階リハビリテーション&リコンディショニング室で実施した。なお、被験者には予め、実験の背景と目的、倫理的配慮について口頭と書面にて十分に説明し、書面にて同意を得た。なお、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得たうえで実施されたものである。

2. 実験プロトコール

被験者は前日から過度な運動を控え、当日は反重力トレッドミル走行前に体重測定を行った。その後、マニュアル通りに反重力トレッドミルと身体を固定した。キャリブレーションを行い安静5分間に続き、各荷重条件にて時速8km・傾斜1°にて30分間走行した。荷重条件は60%、80%、100%、120%の4条件とし、60・80・100%は反重力トレッドミルで自動的に調整され、120%は実験前の体重測定後に20%分の負荷を計算して500g単位でウエイトベストによって行われた。走行終了後、5分間の安静を測定して終了とした。被験者は100%の負荷実施後、60%、80%、120%の3条件はクロスオーバー法にて行った。

3. 測定項目

走行の直前と直後に測定し、2回の採血を行い簡易血中乳酸測定器ラクテートプロ(アークレイ株式会社製)を用いて測定した。酸素摂取量はElectric Variable Sampling法を利用したVO2000(Medical Graphics Corporation製)にて10秒間隔で測定し、m-Graph(S&ME社製)によってデータを解析した。また、心拍数はRS800CX(ポラール・エレクトロ・ジャパン社製)を使用し、5



図1 反重力トレッドミルによる測定風景
Fig 1 Measurement condition by anti-gravity treadmill

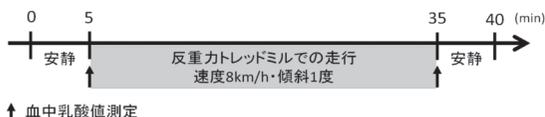


図2 実験プロトコル
Fig 2 Protocol of experiment

秒間隔で測定した。

4. 統計処理

各データは平均値±標準偏差で示した。統計学的有意差検定には、エクセル統計2010 (SSRI社製) を用いた。乳酸値は2回のデータを平均して用い、荷重別に対応のあるt検定を実施した。心拍数と酸素摂取量は30秒間での平均値を算出して用いた。それらを用いて、運動30分間の間の平均値を算出し、一元配置分散分析及び多重比較検定 (Bonferroni法) を用いた。有意水準はそれぞれ5%未満とした。

Ⅲ. 結果

実験期間中の体重変化は初回の測定時から平均0.7kgであり、最大2.0kgであった。また、実験の都合上、一部の測定データが得られず、一部の測定項目における被験者は5名で検討した。

60%荷重条件における血中乳酸値は運動前後で

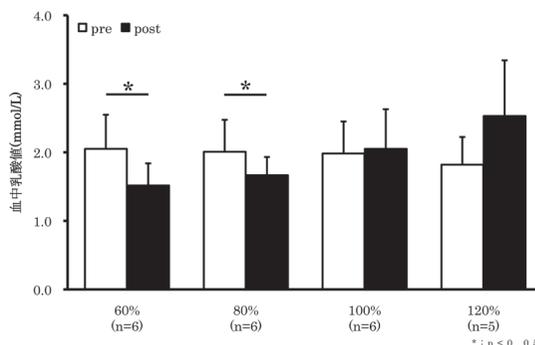


図3 運動前後の血中乳酸値
Fig 3 Blood lactate concentration before and after exercise

2.0 ± 0.5mmol/L から1.5 ± 0.3mmol/Lへと変化し、対応のあるt検定によって有意な差が認められた。また、80%荷重条件においても2.0 ± 0.5mmol/L から1.7 ± 0.3mmol/Lへと変化し有意な差が認められた。しかし、100%では2.0 ± 0.5mmol/L から2.1 ± 0.6mmol/Lへ、120%では1.8 ± 0.4mmol/L から2.5 ± 0.8mmol/Lへと変化したが、両条件において有意な差は認められなかった (図3)。

60%、80%、100%、120%荷重条件における運動30分間の平均心拍数はそれぞれ120.6 ± 15.3拍/分、128.4 ± 14.3拍/分、155.8 ± 9.7拍/分、163.7 ± 8.4拍/分であった。また、運動30分間の平均酸素摂取量はそれぞれ同一順で23.4 ± 8.6ml/min/kg、21.0 ± 1.5ml/min/kg、31.1 ± 2.8ml/min/kg、31.5 ± 3.5ml/min/kgであった。平均心拍数と平均酸素摂取量はどちらも一元配置分散分析によって有意差が認められた (それぞれ p<0.001と p<0.01)。そのため、多重比較検定 (Bonferroni法) を実施したところ、平均心拍数は60%荷重条件と100% (p<0.01)、120% (p<0.01) および80%荷重条件と100% (p<0.05)、120% (p<0.01) に有意な差が認められた (図4)。つまり、60%荷重条件と80%及び100%荷重条件と120%に有意な差は認められなかった。平均酸素摂取量は多重比較検定によって80%荷重条件と100% (p<0.05)、120% (p<0.05) に有意な差が認められた (図5)。

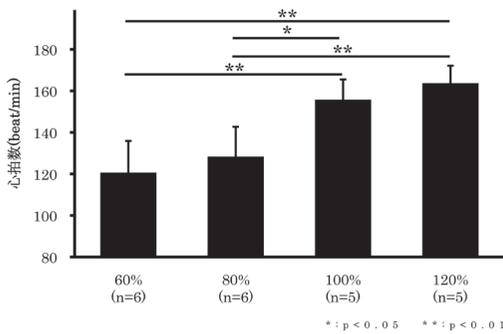


図4 運動中の平均心拍数
Fig 4 Mean of heart rate during exercise

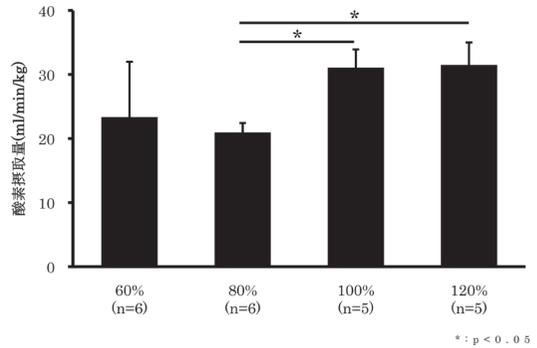


図5 運動中の平均酸素摂取量
Fig 5 Mean of oxygen uptake during exercise

IV. 考察

本研究は空気圧による重力免荷型トレッドミルの荷重条件の違いが血中乳酸値、心拍数及び酸素摂取量に及ぼす影響を明らかにすることで、リハビリテーションなどでの適切な負荷設定や低負荷高速度による新たなトレーニング法開発のための基礎資料を得ることを目的とした。体重の荷重減少によって、大殿筋の筋活動や測定圧、接触面積が減少することが報告されており^{8,9)}、心肺への負荷も軽減する可能性は容易に想像できるが、免荷率との関係性は必ずしも一定でない可能性がある⁷⁾。

本研究の結果、血中乳酸値は100%と120%では有意な差は認められなかったが、免荷することによって血中乳酸値は有意な減少が見られた。免荷により運動は低強度となり、エネルギー源として乳酸や脂肪をより多く利用したことが考えられる。高強度運動後のような血中乳酸値が高値を示す条件下では通常のジョギングより免荷条件での走行の方がより減少を示す可能性がある。下肢の高圧状態は筋ポンプ作用を上げている可能性が考えられる。スポーツ現場におけるクーリングダウン時のジョギングの目的の一つとして乳酸の除去が挙げられ、新たなコンディショニングツールとなる可能性が考えられる。しかし、本研究においては60%と80%の免荷条件による違いは大きくないように見えるため、より好ましい負荷は別途検

討する必要がある。

運動中の平均心拍数は60%荷重条件と80%及び100%荷重条件と120%では有意な差は認められなかった。つまり、免荷の有無による違いは検出されるが、荷重20%の差の統計学的な検出は難しいのかもしれない。この違いは下肢への圧力の上昇が考えられるが、運動中に陽圧にした実験において心拍数や酸素消費量に違いを及ぼさないことが示されており¹⁰⁾、現在までのデータではなぜこのようになるのかはわからない。また、個人別にみると負荷の上昇に伴い平均心拍数も上昇しており、被験者数を増加させることによって荷重条件による心拍数の推定式を作ることができるかもしれない。

運動中の平均酸素摂取量は80%荷重条件及び100%と120%に有意な差が認められ、60%では認められなかった。荷重条件の変化に伴い、走フォームや呼吸法が変化したと考えられる。高圧下での運動は身体を上昇させ、ストライドやピッチが変化し、呼吸数も1吸1吐から2吸1吐のように変化させているかもしれない。この呼吸法を取り入れた運動法を考案していく必要があるのかもしれない。反重力トレッドミルを使用しても一般人では有酸素運動の効果があるとはされている⁸⁾。

以上のことから、随意的に調節できる呼吸は運動強度の低下に伴って個別に対応し個人差を生む原因になっている可能性がある。不随意である心拍数によって適切に運動強度を表すことができるかもしれない。

V. 結論

重力免荷によるジョギング程度のスピードでの走行は血中乳酸値を減少させる。また、不随意である心拍数を指標に免荷との関係を明らかにできる可能性が示唆された。また、随意である呼吸は免荷との関係性は明らかにすることができなかった。

本研究は東海大学スポーツ医科学研究所個別プロジェクト研究として助成を受けたものである。

謝辞

本稿を終えるにあたり、測定に協力して頂いた被験者の皆様、測定機材及び施設を快く貸して頂いた内山秀一教授、花岡美智子講師に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 体力・スポーツに関する世論調査, 内閣府, 2009.
- 2) AlterG, Inc. AlterG Differential Air Pressure (DAP) Technology for Assisted Exercise, p1-5.
- 3) Eastlack RK, Hargens AR, Groppo ER, Steinbach GC, White KK, Pedowitz RA. Lower body positive-pressure exercise after knee surgery. *Clin Orthop Relat Res*, 431, pp.213-219, 2005.
- 4) Saxena A, Granot A. Use of Anti-gravity Treadmill in the Rehabilitation of the Operated Achilles Tendon : A Pilot study, *The Journal of Foot & Ankle Surgery* 50 (5), pp.558-561, 2011.
- 5) 江本玄, 湯朝友基, 張敬範, 池田真琴, 渡辺裕介, 中畑昌博. 半月損傷術後患者に対する反重力トレッドミルの有用性. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 32, 4, pp.279, 2012.
- 6) 松木仁志, 広瀬統一. 免荷トレッドミル走行中の筋活動とハムストリング肉離れ既往者の筋活動形態の特徴. 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科スポーツ科学専攻スポーツ医科学研究領域修士論文, 2010.
- 7) 位高駿夫, 廣川彰信, 宮崎誠司. 反重力トレッドミルの負荷の違いが最大運動時の運動強度に及ぼす影響, 東海大学紀要, 印刷中, 2013.
- 8) 田原敬士, 光野武志, 中村雅隆. 整形外科・メディカルフィットネス施設での免荷歩行訓練の効果. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 32, 4, pp.278, 2012.
- 9) 井上夏香, 武捨友里恵, 福林徹. 荷重免荷歩行・走行時の科学的基礎研究. *日本整形外科スポーツ医学会雑誌*, 32, 4, pp.277, 2012.
- 10) Grabowski AM, Kram R. Effects of velocity and weight support on ground reaction forces and metabolic power during running. *J Appl Biomech*, 24, 3, pp.288-297, 2008.