



膝等速性膝伸展・屈曲筋力と走運動における荷重負荷変化時の心肺機能との関係について

宮崎誠司 (体育学部競技スポーツ学科) 位高駿夫 (大学院体育学研究科)

廣川彰信 (大学院体育学研究科) 小山孟志 (体育学部競技スポーツ学科)

上水研一郎 (体育学部武道学科) 井上康生 (体育学部武道学科)

内山秀一 (体育学部体育学科) 西川 康 (体育学部競技スポーツ学科・学生)

高木一正 (体育学部競技スポーツ学科・学生) 柴田ちひろ (体育学部競技スポーツ学科・学生)

The Relationship between Cardiorespiratory and Iso Kinetic Knee Extension Strength in Running under Different Weight Bearing

Seiji MIYAZAKI, Toshio ITAKA, Shoshin HIROKAWA, Takeshi KOYAMA, Kenichirou AGEMIZU, Kousei INOUE, Shuichi UCHIYAMA, Kou NISHIKAWA, Kazumasa TAKAGI and Chihiro SHIBATA



Abstract

I conducted a study report on the relationship between cardiorespiratory function and lower limb muscles strength on the anti-gravity treadmill (AlterG: Anti-Gravity Treadmill®; Alter-G, Inc.), which is the Lower body positive pressure system (LBPPS). Relationship between cardiorespiratory function and muscle strength was not observed.

Rate of change and the amount of change and it is necessary to further study.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 26, 121-126, 2014)

I. はじめに

Lower body positive pressure system (LBPPS) である反重力トレッドミル (以下 AlterG: Anti-Gravity Treadmill®; Alter-G, Inc.) は NASA の宇宙飛行士の訓練用として設計・開発された。AlterG は Differential Air Pressure (DAP) テクノロジーを使用し空気圧差技術を用いて上半身と下

半身の空気圧差によって発生した持ち上げ作用によって利用者を持ち上げ、装置のなかで自重の 100%~20% まで、1% 単位で免荷を行うことができる (図 1)^{1~3)}。

その使用法は全国的にもまだ実績がなく、手探りの状態である。さらに競技力向上つまり、走運動のトレーニング効果についてもこれまでの報告は非常に少ないが、免荷軽減時には同じ速度での運動よりも心拍数測定や、呼気ガス分析におい

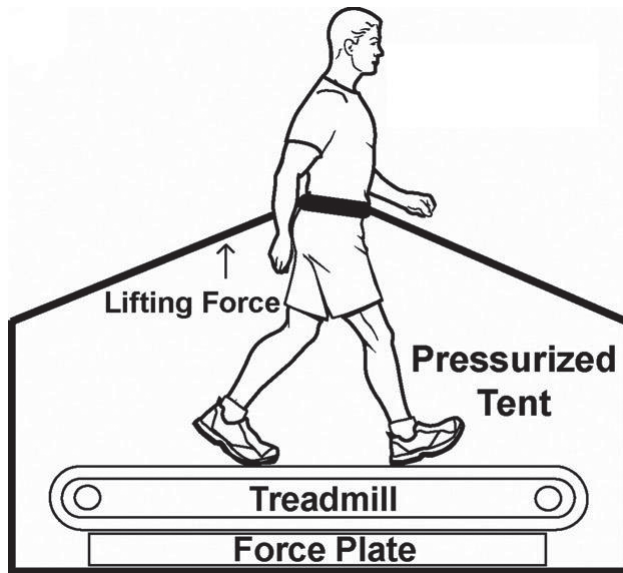


図1 AlterG : Anti-Gravity Treadmill® ; Alter-G, Inc
Alena M. Grabowski (2010) Metabolic and Biomechanical Effects of Velocity and Weight Support Using a Lower-Body Positive Pressure Device During Walking Arch Phys Med Rehabil. 91, 951-957

て心肺への負荷が少ない。さらに、その負荷の軽減には個体差があり、誰でも同様ではない。そこで本研究は個体差の中で脚筋力の指標の1つである等速度性膝伸展・屈曲筋力に着目し荷重負荷の変化との比較を行った。

II. 対象と方法

1. 対象

18歳から22歳の男子大学生で、体育会などの運動部に所属しておらず、日常の運動頻度は週1から2回程度の健常者6名を対象とした。平均身長 170.4 ± 7.0 cm (158 - 177)、平均体重 61.8 ± 7.0 kg (51.0 - 72.0)、平均BMI 21.3 ± 2.3 (17.2 - 23.2)である。対象者は下肢の外傷・障害について、既往並びに現在愁訴などが全く存在しないものである。また本研究の対象者には、本研究の参加にあたって、口頭及び書面にて十分に説明を行い、本人の署名によって同意を得た。なお、本研究は東海大学湘南キャンパスの「人を対象とする倫理委員会」の承認を得て実施した。

2. 方法

1) 等速度性膝伸展・屈曲筋力の測定

能動型伸展・屈伸回転運動装置であるイージーテックプラス（インターリハ株式会社製）を用いて両側等速度性膝関節伸展屈曲を行った。被験者は、専用のシート上で座位姿勢をとり、体幹と大腿部をベルトで固定した。さらに足関節背屈可能な長さにアームを下腿に固定し、角速度60deg/secで膝関節の屈曲と伸展を5回ずつ行った。動作になれないものは十分に練習してから測定した。その5回の最大トルク値を等速度性最大筋力とし、同時に膝伸展屈曲パワーと伸展屈曲時の仕事量を算出した。

2) 等負荷走運動による心肺機能測定

等負荷走運動を行い心拍数（10秒毎：ポラール・エレクトロ・ジャパン株式会社製）、酸素摂取量及び二酸化炭素排出量（10秒毎：呼吸代謝測定装置：VO2000、S&ME社製）、主観的運動強度（1分毎：Borg Scale）の測定をおこなった。心拍数と酸素摂取量及び二酸化炭素排出量は30秒ごとの平均値を算出した。走運動は時速8km、傾斜1度で30分間行った。走運動ならびに荷重量

の調整はALterGを用いて60%、80%、100%、120%の荷重条件で行った。120%においては、測定直前の体重測定に基づき500g単位で調整できるウエイトジャケットを用いて体重の20%の重量を着用させた。

Ⅲ. 結果

1) 等速度性膝伸展・屈曲筋力

等速度性膝伸展筋力は 169 ± 46.7 (109-217) N・m (右 169.8 ± 44.5 N・m、左 168.2 ± 48.8 N・m)、等速度性膝屈曲筋力は 80.2 ± 28.1 (37-114) N・m (右 80.2 ± 27.2 N・m、左 80.2 ± 28.8 N・m)であった。伸展屈曲比(屈曲/伸展)は 47.1 ± 11.2 (31.4-69.5)% (右 47.1 ± 12.3 %、左 47.2 ± 10.0 %)であった。等速度性膝伸展筋力の体重比は 2.72 ± 0.55 (1.82-3.50) N・m/kg (右 2.73 ± 0.49 N・m/kg、左 2.72 ± 0.61 N・m/kg)、等速度性膝屈曲筋力の体重比は 1.28 ± 0.37 (0.73-1.80) N・m/kg (右 1.29 ± 0.36 N・m/kg、左 1.28 ± 0.37 N・m/kg)であった。各個人において左右差は認めなかった。

膝伸展パワーは 195.3 ± 44.8 (110-247) W (右 196.2 ± 39.9 W、左 194.5 ± 49.8 W)、膝屈曲パワーは 88.3 ± 25.7 (52-120) W (右 88.5 ± 23.1 W、左 88.2 ± 28.3 W)、伸展屈曲比(屈曲/伸展)は 47.1

± 11.2 (31.4-69.5)% (右 47.1 ± 12.3 %、左 47.2 ± 10.0 %)であった。等速度性膝伸展筋力の体重比は 3.18 ± 0.60 (1.93-3.61) W/kg (右 3.19 ± 0.47 W/kg、左 3.17 ± 0.72 W/kg)、等速度性膝屈曲筋力の体重比は 1.42 ± 0.30 (0.91-1.84) W/kg (右 1.43 ± 0.26 W/kg、左 1.41 ± 0.34 W/kg)であった。各個人において左右差は認めなかった。

5回の平均仕事量は膝伸展 148.8 ± 42.1 (84-205) J (右 151.3 ± 42.1 J、左 144.5 ± 42.1 J) 膝屈曲 67.2 ± 42.1 (23-110) J (右 67.8 ± 31.1 J、左 66.6 ± 35.7 J)、伸展屈曲比(屈曲/伸展)は 44.2 ± 20.4 (31.4-69.5)% (右 43.6 ± 18.1 %、左 44.7 ± 22.8 %)であった。平均仕事量の体重比は膝伸展 2.40 ± 0.52 (1.48-2.96) J/kg (右 2.47 ± 0.48 J/kg、左 2.33 ± 0.55 J/kg) 膝屈曲 1.06 ± 0.47 (0.35-1.74) J/kg (右 1.08 ± 0.44 J/kg、左 1.05 ± 0.51 J/kg)であった。各個人において左右差は認めなかった。

2) 等負荷走運動による心肺機能測定

心拍数の最大値は荷重60%では 132.2 ± 20.3 (103-146) bpm、80% 143.4 ± 15.7 (113-156)、100% 169.3 ± 9.7 (155-181)、120% 178.8 ± 9.6 (169-194)と80%以下と100%以上で有意差を認めた($p < 0.05$ 、多重比較検定)(図2)。運動負荷中の心拍数の平均値は、荷重60%では 123.0 ± 15.0 (104-146) bpm、80% 131.6 ± 14.8 (106-146)、100% 157.3 ± 9.3 (145-168)、120% 169.2 ± 11.4 (152-

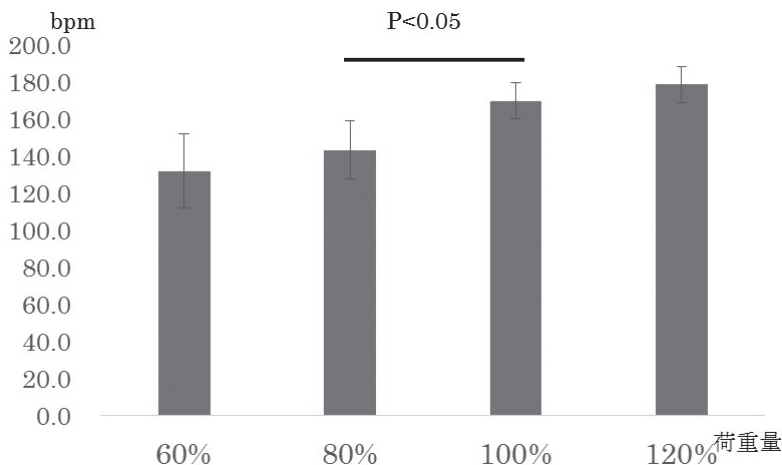


図2 等負荷走運動8km/hr・30minでの荷重量ごとの最大心拍数の変化
Fig 2 The relationship between HRmax and weight bearing in running (8km/hr・30min)

184) と最大値と同様80%以下と100%以上で有意差を認めた ($p<0.05$ 、多重比較検定)。

体重あたりの最大酸素摂取量は60%では 27.0 ± 8.7 (19.2-37.3) ml/min/kg、80% 23.8 ± 1.5 (22.2-26.6) ml/min/kg、100% 35.4 ± 2.9 (30.9-39.1) ml/min/kg、120% 37.0 ± 3.7 (30.5-41.8) ml/min/kg、運動負荷中の酸素摂取量の平均値は60%では 23.4 ± 8.6 (15.9-34.9) ml/min/kg、80% 21.0 ± 1.5 (19.8-23.5) ml/min/kg、100% 31.1 ± 2.8 (26.8-34.3) ml/min/kg、120% 31.5 ± 3.5 (26.8-34.8) ml/min/kg といずれも80%以下と100%以上で有意差を認めた ($p<0.05$ 、ANOVA) (図3)。

主観的運動強度 (1分毎: Borg Scale) は60% 11.7 ± 0.8 (11-13)、80% 12.0 ± 0.9 (11-13)、100% 14.17 ± 0.7 (13-15)、120% 15.83 ± 1.8 (13-18) で80%以下と100%以上で有意差を認めた ($p<0.05$ 、多重比較検定)。

3) 等速度性膝伸展・屈曲筋力と等負荷走運動による心肺機能測定との比較

等速度性膝伸展・屈曲筋力測定で得られた最大筋力 (伸展・屈曲)、筋パワー (伸展・屈曲)、各荷重変化時での平均仕事量 (伸展・屈曲) と心拍数 (最大、平均)、酸素摂取量 (最大、平均)、自覚的運動強度においてピアソンの積率相関係数を計算したが、相関は得られなかった ($P<0.05$)。

IV. 考察

走行制限を有する患者が早期より十分な走行練習のため、荷重免除型レッドミルは走行障害を有する患者を対象にリハビリテーション機器として用いられ、それに伴いさまざまな研究がなされてきた。その手法は浮力を利用した水中歩行運動装置や吊り上げ式装置を用いた体重免除トレッドミルトレーニング (Body Weight Support Treadmill Training、BWSTT) が多く用いられてきた。水中歩行では水の浮力を利用することで体重の免除は可能となるが、水圧による抵抗の増加や走運動の困難性、負荷の定量化が困難なことから汎用されていない。LBPPSであるAlterGは専用シューズを履きエアバッグを密閉することで下肢の運動を阻害することなく1%単位で免除した運動が可能である。また骨盤部で本体と固定されるため、転倒の危険性が少ない状態で走運動が可能であり、荷重歩行・走行が不安定な場合でも早期から運動可能である。現在、日本でも40台ほどが導入され世界的にも臨床報告や、臨床研究を中心に報告がみられる。臨床的には半月板関節鏡視下手術⁴⁾、前十字靭帯再建術後⁵⁾ やアキレス腱手術後⁶⁾ での対する報告が見られる。また荷重変化と筋活動などの研究が行われている。免除時には大

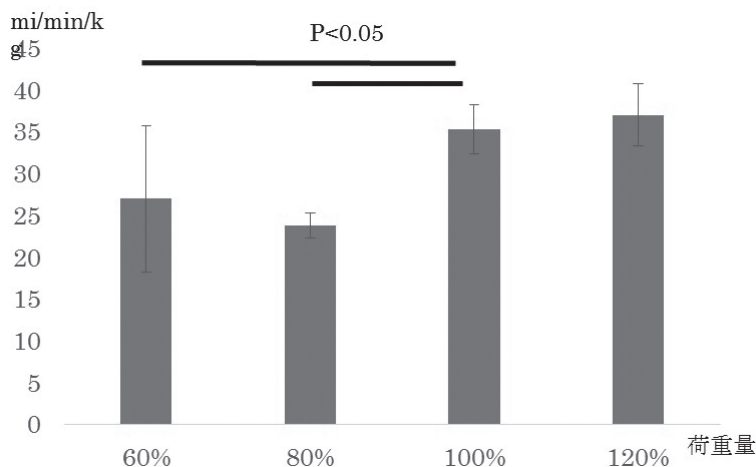


図3 等負荷走運動8km/hr・30minでの荷重量ごとの最大酸素摂取量の変化
Fig 3 The relationship between Vo2 max and weight bearing in running (8km/hr・30min)

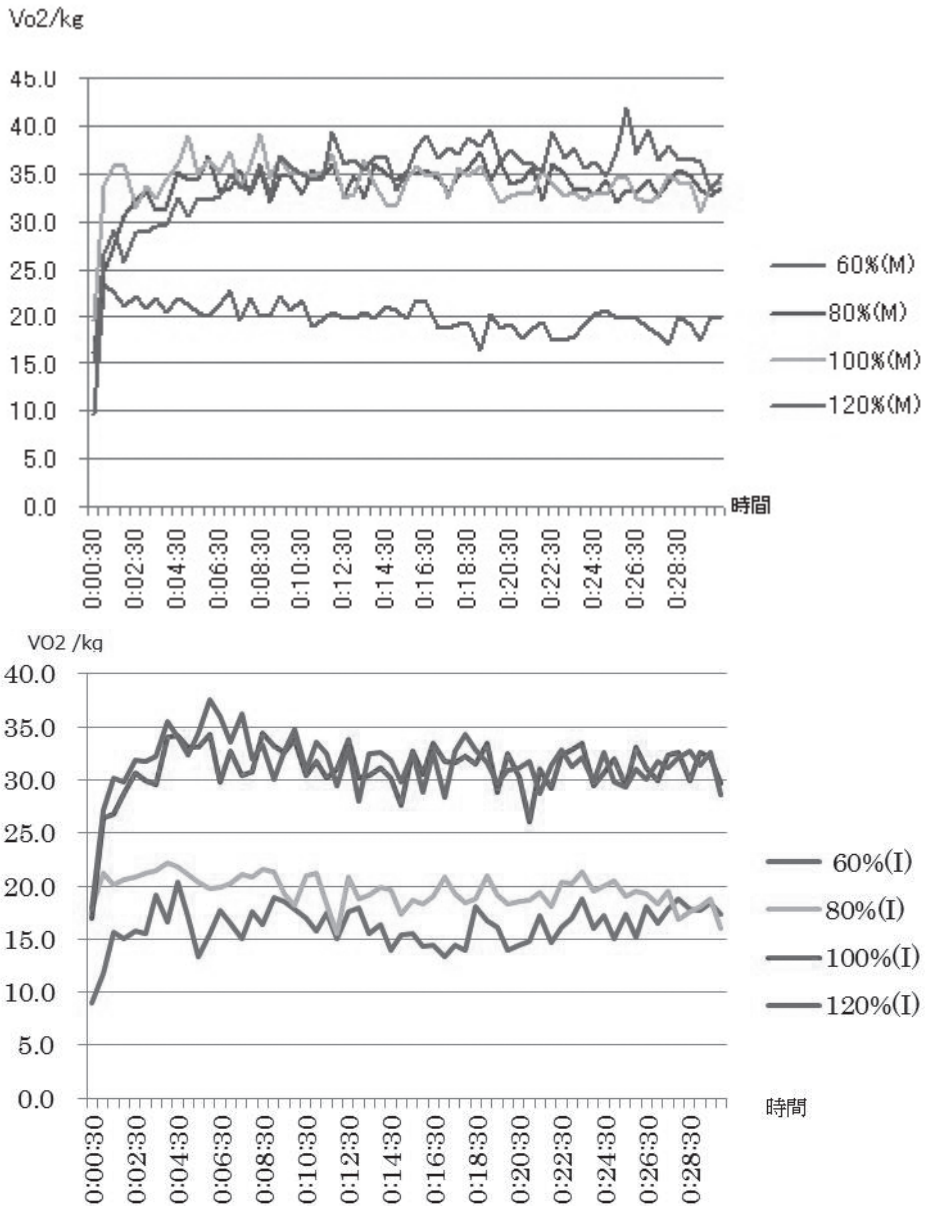


図4 等負荷走運動8km/hr・30minでの最大酸素摂取量の経時的変化（個人内での比較）
Fig 4 Individualized time course of Vo2 max running (8km/hr・30min)

腿四頭筋の負荷が減じ、ハムストリングや下腿の筋活動は変化しないという報告もある^{7,8)}。

荷重に抵抗して運動を継続するためには下肢最大の筋量を持つ大腿四頭筋の筋力が重要になるという観点から本研究においては免荷状態と心肺機能、下肢筋力との関連を研究した。80%以下の正常よりも免荷した状態では、心拍数、酸素摂取量、自覚的強度に差があり、それぞれ平均値も最

大値も優位に低下していた。しかし、すべてが同じ反応をするわけではなく、その反応には個人差がある。80%で低下するものもあれば60%まで下げたはじめて減少がみられるものもある(図4)。また過荷重負荷時も同様に20%の増加により変化するものもあれば、変化しないものもある。この変化の1因として、膝伸展・屈曲筋力との関係を調査したがまったく相関は見られなかった。膝伸

展屈筋力があるからと言って荷重変化には対応しないという結果である。今回は心肺機能の指標を最大値、30分の平均値に設定したが、30分全体の反応を経時的にみると、心拍数、酸素摂取量、自覚的運動強度には荷重によりその増加スピードが異なっている。そのため、最大値であったり、平均値であったりするようなマクロの変化ではなく、急激な変化に筋力が対応している可能性も含め今後の検討を進めていく必要がある。

まだ解明されない部分が多いAlterGであるが、様々なことが解明されスポーツ選手に寄与できるように思われる。

まとめ

膝等速性膝伸展・屈曲筋力と走運動における荷重負荷変化時の心肺機能との関係について報告した。また不明な点も多いが、解明をするため、さらなる調査、研究が必要とされる。

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。

参考文献

- 1) Alena M. Grabowski Metabolic and Biomechanical Effects of Velocity and Weight Support Using a Lower-Body Positive Pressure Device During Walking. Arch Phys Med Rehabil. 91, pp951-957. 2010
- 2) AlterG® Differential Air Pressure (DAP) Technology for Assisted Exercise
- 3) Alena M. Grabowski Effects of velocity and weight support on ground reaction forces and metabolic power during running. J Appl Biomech. 24pp288-97. (2008)
- 4) 江本玄, 湯浅友基, 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誌, 32, p567, 2012
- 5) 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, pp3-219, 2005
- 6) 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, pp558-561,. 201
- 7) 松木仁志, 福林徹, 広瀬統一免荷トレッドミル(米Alter-G社製)上でのジョギング時における筋放電パターンの検討, 日本臨床スポーツ医学会誌: 18: p4 2010
- 8) 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誌, 32, p565, 2012.