

〔学術奨励賞〕
〔原 著〕

プライオメトリックトレーニングによる 長距離走パフォーマンスと鉛直スティフネスの変化

加藤 彰浩 (青山学院大学教育人間科学部), 荻久保吉隆 (愛知県立小牧南高等学校)
筒井清次郎 (愛知教育大学教育学部), 木越 清信 (筑波大学体育系)

Effect of plyometric training on performance and vertical stiffness in long-distance running

Akihiro KATO ¹⁾, Yoshitaka OGIKUBO ²⁾
Seijiro TSUTSUI ³⁾ and Kiyonobu KIGOSHI ⁴⁾

【Abstract】

This study was conducted to investigate the effect of plyometric training on long-distance runners by comparing changes in long-distance running performance and vertical stiffness. The subjects were seven males long-distance student runners who formed part of the training group and six males who formed part of the control group. The training group performed plyometric training twice a week for eight weeks. The training consisted of one set of ten repetitions of rebound jumps (RJ), 40m of bounding exercise, and 60m of relaxed running. The entire process was repeated five times a day. To even up the amount of exercise between the training and control groups, control group did 100m of relaxed running at the same schedules. Besides this difference in plyometric training, the training and control groups performed the same training.

The main results were as follows:

- 1) With regard to vertical stiffness in RJ and standing quintuple jumps, the performance of the training group improved significantly.
- 2) The performance of the training group improved significantly with regard to vertical stiffness in long-distance running.
- 3) Although 5000m race time for the training and control groups reduced significantly, there was no difference between groups.

1) College of Education, Psychology and Human Studies, Aoyama Gakuin University

2) Komakiminami high school

3) Faculty of Education, Aichi University of Education

4) Faculty of Health and Sport Science, University of Tsukuba

These results suggested that it was possible to improve vertical stiffness in various jumps (RJ and standing quintuple jumps) and vertical stiffness in long-distance running through plyometric training. However, the plyometric training did not further improve the long-distance running performance.

Keywords : Rebound jump, Bounding exercise, Ground reaction force

キーワード : リバウンドジャンプ, バウンディング, 地面反力

I. 緒言

長距離走者の優れた競技パフォーマンスは、高い走速度を長い時間にわたって維持することによって得られる。これは、多くの生理的エネルギーを生み出すことと、それを有効に走速度に変換することと捉えることができる(榎本, 2006)。そのために、これまで長距離走の競技パフォーマンスに関する研究は、呼吸循環器系を中心とした多くの生理的エネルギーを生み出すことに焦点を当てた生理学的研究が多く行われ、最大酸素摂取量や乳酸性作業閾値などの生理学的指標が長距離走パフォーマンスを評価するために用いられてきた(豊岡, 1977; 大後ほか, 1999; 榎本, 2006)。また、トレーニング現場においても、呼吸循環器系能力の向上を目的としたトレーニングが頻繁に行われている。

一方、長距離走では一步のキックによる効率の良否が、長時間にわたる数限りない歩数となって積算されるため(武田ほか, 2010)、生理学的エネルギーを有効に走速度に変換することに着目した研究も行われている。Bassett and Howly (2000)は、長距離走において最大酸素摂取量とともに、走の経済性がパフォーマンスを決定する重要な要因であることを示唆している。つまり、同じ走速度であれば少ない酸素摂取量で走れることが走の経済性に優れていると考えられ、これまで多くの先行研究において、走の経済性と長距離走パフォーマンスとの間に有意な相関を報告している(Costill et al., 1973; 勝田ほか, 1986; Dumke et al., 2010)。

さらに、その走の経済性に影響する要因として、下肢の伸張-短縮サイクル運動(Stretch-shortening-cycle exercise, 以下 SSC 運動)の遂行能力が重

要であることが示唆されている(Komi and Bosco, 1978; Paavolainen et al., 1999; Dumke et al., 2010)。この SSC 運動については、下肢筋群において素早い伸張性収縮直後に短縮性収縮が行われることによって爆発的なパワーが発揮されること(長谷川, 1999; 図子, 2000)、機械的効率が高いこと(Thys et al., 1975)などが知られており、長距離走における一步ごとの接地中において、SSC 運動遂行能力が高まることによって、走の経済性が高まることが示唆されている(Komi and Bosco, 1978)。長距離走パフォーマンスと SSC 運動遂行能力との関係について、図子・平田(1999)は、複数回の 5000m 走レースの記録とレース当日のリバウンドジャンプのパワーとの関係を個別に検討した結果、パワーが高い日には 5000m の記録が良く、低い日の記録は低迷することを報告しており、その日の SSC 運動遂行能力が長距離走パフォーマンスに関係していると考えられる。

この SSC 運動における運動のメカニズムを明らかにするために、身体重心の上下動をバネに例える試みがなされてきた。McMahon and Cheng (1990)は、身体質量を質点、脚全体を線形のバネと仮定したバネ-質量モデル(Spring-mass model)としてみなし、脚の接地時における地面反力を身体重心変位で除した値であるスティフネス(硬さ)によって下肢の動きのバネの能力を評価することを提案した。そして、Heise and Martin (1998)は、中長距離走者を用いて、バネ-質量モデルによりランニング中のスティフネスを算出し、走の経済性との関係を検討した結果、スティフネスの高い(硬い)走者ほど走の経済性が高かったと報告している。また、長距離走パフォーマンスとバネの能力との関係について、榎

本 (2008) は、長距離走者を対象に、スティフネスと長距離走パフォーマンスとの関係を検討した結果、スティフネスが高い (硬い) 走者ほど長距離走パフォーマンスが高かったと報告している。これらのことは、高い長距離走パフォーマンスを発揮するためには、下肢全体をより“硬いバネ”のような動き (図子・高松, 1996) にすることが重要であることを示唆している。

したがって、長距離走パフォーマンスを高めるには、下肢の SSC 運動遂行能力、すなわち、バネの能力を改善するバウンディングやリバウンドジャンプなどを用いたプライオメトリックトレーニングが有効であると考えられている (Martin and Coe, 2001)。しかし、これまで長距離走者を対象としてプライオメトリックトレーニングを中心としたトレーニング介入を行った実践的な報告は極めて少ない (Paavolainen et al., 1999; Robert et al., 2003; 仲村ほか, 2005; 図子, 2006)。さらに、これらの研究では長距離走能力および跳躍能力であるパフォーマンスの変化について言及しているにすぎず、プライオメトリックトレーニングによりパフォーマンスとともにバイオメカニクスの変量の変化を併せて検討したものはない。

長距離走パフォーマンスとバイオメカニクスの変量の関係について、榎本 (2008) は 5000m 走における疾走速度と鉛直スティフネスとの間に正の相関関係があること、さらに鉛直スティフネスは疲労により減少し、同速度で鉛直スティフネスが高いことはレース後半に走速度を維持するうえで 1 つの重要な要素になりうると報告している。また Heise and Martin (1998) は鉛直スティフネスと走の経済性には正の相関関係があるとしており、プライオメトリックトレーニングによって鉛直スティフネスを高めることは、走の経済性を改善し、走速度を高めると考えられる。

そこで、本研究では長距離走者にプライオメトリックトレーニングを行わせ、長距離走パフォーマンスと鉛直スティフネスを主としたバイオメカニクスの変数の変化を検討し、長距離走者へのプライオメトリックトレーニングの有効性を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 参加者

参加者は大学陸上競技部に所属し、長距離走を専門としている男子選手 13 名を用い、これらの参加者をトレーニング群 7 名 (年齢: 21.9 ± 2.2 歳, 身長: 1.68 ± 0.05 m, 体重: 55.5 ± 4.7 kg, 5000m 走ベスト記録: 15 分 39 秒 $\pm$ 42 秒) および統制群 6 名 (年齢: 22.0 ± 1.1 歳, 身長: 1.72 ± 0.08 m, 体重: 56.9 ± 6.2 kg, 5000m 走ベスト記録: 15 分 40 秒 $\pm$ 48 秒) に分けた。なお、すべての参加者には実験に先立って、本研究の目的、内容および手順について説明を行い、研究の主旨を十分に理解した上で、実験に参加することへの同意を得た。

2. プライオメトリックトレーニング

トレーニング群にはプライオメトリックトレーニングを週 2 回 8 週間実施した。トレーニング内容は、鉛直方向の跳躍運動として腕振りありの連続跳躍であるリバウンドジャンプ (以下 RJ) 10 回と、水平方向の跳躍運動として普通の走動作からストライドを伸ばすように誇張した跳躍運動である腕振りありの 40m バウンディング + 60m 快調走をそれぞれ 1 セットとし、各 5 セット実施した。それらの運動の各セット間の休息時間は任意とした。統制群には運動量の差をなくするため、100m 快調走 5 セットを同頻度、同期間で実施した。なお、両群とも上記トレーニング以外の主練習は全員同一のトレーニングを実施した。

3. トレーニング効果の検証

トレーニング群に実施したプライオメトリックトレーニングの効果を検証するため、次の項目をトレーニング期間の前後に測定した。

(1) 5 回リバウンドジャンプ (5RJ)

参加者には、腕振りにおける跳躍距離への影響を除くため手を腰に当てさせ、フォースプラットフォーム (Kistler 社製, 9281Btype) 上で、できる限り接地時間を短くし、高く跳躍することが口頭で指示され、立位姿勢からその場で連続 5 回跳躍をさせた。それらを較正マーク 4 点とともに参加者の右側方 25m よりハイスピードカメ

ラ (CASIO 社製, EX-F1) を用いて毎秒 300 コマ, 露出時間 1/1000s で固定撮影した。同時に, フォースプラットフォームを用いて, 同期ランブとともにサンプリングレート 1000Hz で地面反力を測定した。

(2)立五段跳

手を腰に当てさせ, 静止した状態から五段跳びを実施し, 3 歩目でフォースプラットフォームを自然なフォームで踏ませ, その距離を測定した。それらを, 5RJ と同様に撮影した。

(3)長距離走

トレーニング前は 5005m 実験走を行った。参加者には, 図 1 に示すように 400m トラックの 8 レーンおよびホームストレートではフォースプラットフォームが設置してある 9 レーンを 11 周 (1 周 455m) 最大努力で走行させた。また, ペースを一定に保たせるために各周に要した時間をストップウォッチで計測し, 1 周ごとに参加者に伝えた。トレーニング後は, 疾走速度の違いによる測定値への影響を除くため, トレーニング前の 5005m 実験走と同様のペースで走行させ, 疲労によりそのペースが半周 (225m) ごとにトレ

ニング前における半周ごとのラップタイム + 2 秒 (平均ラップタイム約 2SD 相当) が維持できなくなるまで走行させ, その走行距離を測定した。トレーニング前及びトレーニング後の実験とも, 毎周回においてホームストレートに設置してあるフォースプラットフォームを右足で自然なフォームで踏ませ, それらを 5RJ 及び立五段跳びと同様に撮影した。参加者によってはフォースプラットフォームを踏むことができない周回もあった。なお, 本研究では, 疲労により疾走速度が低下すると思われる 10 周目の測定値を採用した。

さらに, トレーニング前及びトレーニング後の測定時期周辺に行われた競技会における 5000m 走記録を長距離走能力として採用した。

4. データ処理

撮影された映像を PC に取り込み, ビデオ動作解析装置 (DKH 社製, Frame-Dias IV) を用いて, 身体 23 点と校正マーク 4 点を毎秒 100 コマでデジタイズした。分析は, 5RJ および立五段跳はフォースプラットフォーム接地 5 コマ前から離地 5 コマ後まで行い, 実験走においては分析脚で

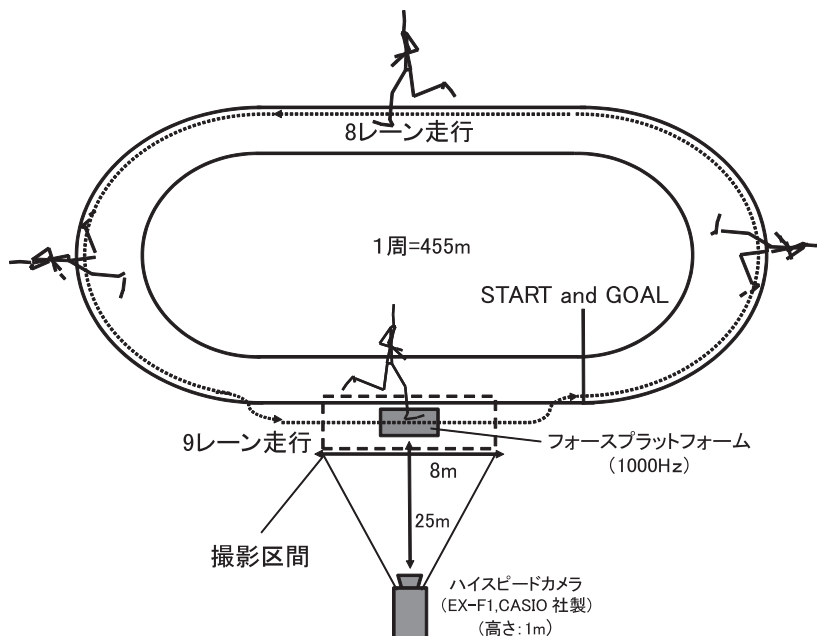


図1 実験配置図

はない他方の脚（以下、左脚）の接地5コマ前からフォースプラットフォームをはさみ左脚の離地5コマ後までの1サイクル（2歩）にわたって行った。さらに、得られた地面反力は画像の同期ランプを用いて100Hzに同期した。デジタルにより得られた身体23点の二次元座標は、校正マークをもとに実長換算し、Wells and Winter (1985)の方法にもとづいて最適遮断周波数を決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化した。得られた2次元座標をもとに身体を14部分からなるリンクセグメントにモデル化し、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて部分および全身の重心位置を算出した。なお、分析点ごとの遮断周波数は水平方向が4-12Hz、鉛直方向が3-12Hzであった。

5. 算出項目及び算出方法

(1) 5回リバウンドジャンプ (5RJ)

5RJにおいては、得られた座標データ及び地面反力をもとに、接地時間及び滞空時間を求め、跳躍高の推定式を用いて跳躍高を算出した。さらに、接地時間及び跳躍高を用いて、RJ-index（図子ほか、1993）を算出した。さらに、運動中の下肢における身体を質量および線形のパネからなるSpring-massモデルと仮定し（McMahon and Cheng, 1990）、身体をパネとして評価するため、右足接地時から支持期中間点までの平均地面反力（ $\bar{F}$ ）とその間の身体重心の鉛直変位（ Δh ）及び身体質量（BW）を算出し、それらを用いて式①により鉛直スティフネスを算出した。

$$\text{鉛直スティフネス (N/m/kg)} = \bar{F} / \Delta h / BW \quad \cdots \text{①}$$

なお、5回の跳躍のうち最もRJ-indexが高い跳躍を分析対象とした。

(2) 立五段跳

立五段跳における跳躍距離を測定した。さらに、5RJと同様の方法で、立五段跳の3歩目における接地時間、平均地面反力、身体重心鉛直変位及び鉛直スティフネスを算出した。

(3) 長距離走

実験走における10周目の1サイクル中の疾走

速度、ピッチ、ストライド、接地時間、身体重心上下動を算出した。また、5RJと同様の方法で、平均地面反力、身体重心鉛直変位及び鉛直スティフネスを算出した。

6. 統計処理

5RJ、立五段跳および長距離走における各測定値の分散の等質性の検定は、Siegel & Turkey法を用いた（岩原、1986）。また、平均値の有意差検定には、二元配置〔群（トレーニング、統制）×テスト時期（トレーニング前、トレーニング後）〕の分散分析を行い、F値が有意であった項目についてはBonferroni法による多重比較を行った。さらに、効果サイズを検討するためにpartial η^2 を算出した（水本・竹内、2008）。統計的な有意性は危険率5%未満で判定した。

Ⅲ. 結果

表1は、5RJにおける各種パラメータについて、トレーニング前後の平均値および標準偏差、Siegel & Turkey法によるU値（分散の有意差検定）、分散分析法によるF値（平均値の有意差検定）を示したものである。U値については、いずれの測定値においてもトレーニング群と統制群の間に有意な差は見られなかった。そこで、すべての測定値に対して、二元配置の分散分析を行った。なお、F値については有意なもののみを記載した。接地時間、跳躍高、RJ-index、及び、平均地面反力については、いずれも交互作用および主効果は有意でなかった。身体重心鉛直変位については、交互作用および群の主効果はみられなかったが、テスト時期の主効果がみられ（ $F(1,11)=8.21$, $p<0.05$, partial $\eta^2=.89$ ）、トレーニング前からトレーニング後にかけて有意に減少していた。鉛直スティフネスについては、交互作用が有意であった（ $F(1,11)=7.09$, $p<0.01$, partial $\eta^2=.88$ ）が、いずれの主効果も有意でなかった。そこで、単純主効果検定を行った結果、トレーニング群においてはトレーニング前からトレーニング後にかけて有意に増加していたが、統制群においてはテスト時期による差はみられなかった。

表2は、立五段跳における各種パラメータにつ

いて、トレーニング前後の平均値および標準偏差を示したものである。跳躍記録については、交互作用が有意であった ($F(1,11)=5.10$, $p<0.05$, $\text{partial } \eta^2=.84$) が、いずれの主効果も有意でなかった。そこで、単純主効果検定を行った結果、統制群においてはテスト時期による差はみられなかったが、トレーニング群においてはトレーニング前からトレーニング後にかけて有意に増加していた。接地時間、平均地面反力、及び、身体重心鉛直変位については、いずれも交互作用および主効果は有意でなかった。鉛直スティフネスについては、交互作用が有意であった ($F(1,11)=4.94$, $p<0.05$, $\text{partial } \eta^2=.83$) が、いずれの主効果も有

意でなかった。そこで、単純主効果検定を行った結果、統制群においてはテスト時期による差はみられなかったが、トレーニング群においてはトレーニング前からトレーニング後にかけて有意に増加していた。

表3は、長距離走における各種パラメータについて、トレーニング前後の平均値および標準偏差を示したものである。5000m 記録については、交互作用および群の主効果はみられなかったが、テスト時期の主効果がみられ ($F(1,11)=12.94$, $p<0.01$, $\text{partial } \eta^2=.91$)、トレーニング前からトレーニング後にかけて有意に短縮していた。疾走速度、ピッチ、ストライド、接地時間、身体重心

表1 5RJにおける各種パラメーター

		群	PRE	POST	U 値	F 値	多重比較
接地時間	(s)	CO	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.01	16.5		
		TR	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01			
跳躍高	(m)	CO	0.53 ± 0.03	0.52 ± 0.03	18		
		TR	0.53 ± 0.02	0.55 ± 0.03			
RJ-index	(m/s)	CO	3.08 ± 0.15	2.87 ± 0.16	28		
		TR	3.05 ± 0.14	3.21 ± 0.15			
平均地面反力	(N)	CO	1908.83 ± 222.27	1920.35 ± 128.42	17		
		TR	1919.40 ± 266.76	1937.65 ± 251.09			
身体重心鉛直変位	(m)	CO	0.14 ± 0.03	0.14 ± 0.02	26	8.21	CO,TR
		TR	0.15 ± 0.01	0.13 ± 0.02			PRE>POST *
鉛直スティフネス	(N/m/kg)	CO	250.42 ± 18.50	263.24 ± 24.90	24	7.09	TR
		TR	226.31 ± 17.12	272.62 ± 23.05			PRE<POST *
平均値±標準偏差		CO 群：統制群, TR：トレーニング群					*：p<0.05

表2 立五段跳における各種パラメーター

		群	PRE	POST	U 値	F 値	多重比較
跳躍距離	(m)	CO	9.33 ± 0.71	9.32 ± 0.58	21	5.10	TR
		TR	8.87 ± 0.64	9.36 ± 0.66			PRE<POST *
接地時間	(s)	CO	0.23 ± 0.04	0.23 ± 0.02	29.1		
		TR	0.24 ± 0.03	0.25 ± 0.02			
平均地面反力	(N)	CO	1421.60 ± 343.42	1517.16 ± 339.31	19		
		TR	1296.42 ± 290.18	1387.20 ± 309.20			
身体重心鉛直変位	(m)	CO	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.09	15		
		TR	0.07 ± 0.02	0.06 ± 0.02			
鉛直スティフネス	(N/m/kg)	CO	431.80 ± 84.39	444.09 ± 106.42	10	4.94	TR
		TR	376.53 ± 118.82	425.41 ± 129.86			PRE<POST *
平均値±標準偏差		CO 群：統制群, TR：トレーニング群					*：p<0.05

上下動、及び、平均地面反力については、いずれも交互作用および主効果は有意でなかった。身体重心鉛直変位については、交互作用および群の主効果はみられなかったが、テスト時期の主効果がみられ ($F(1,11)=8.71$, $p<0.05$, $\text{partial } \eta^2=.90$)、トレーニング前からトレーニング後にかけて有意に減少していた。鉛直スティフネスについては、交互作用が有意であった ($F(1,11)=5.06$, $p<0.05$, $\text{partial } \eta^2=.89$) が、いずれの主効果も有意でなかった。そこで、単純主効果検定を行った結果、統制群においてはテスト時期による差はみられなかったが、トレーニング群においてはトレーニング前からトレーニング後にかけて有意に増加していた。

IV. 考察

本研究の目的は、長距離走者にプライオメトリックトレーニングを行わせ、長距離走パフォーマンスと鉛直スティフネスを主としたバイオメカニクスの変数の変化を検討し、長距離走者へのプライオメトリックトレーニングの有効性を検討す

ることであった。

まず、プライオメトリックトレーニングが5RJ及び立五段跳における鉛直スティフネスに及ぼす影響をみると、いずれもトレーニング群においてトレーニング前からトレーニング後にかけて有意に増加していたが、統制群にはテスト時期による差はみられなかった。これらのことから、プライオメトリックトレーニングによって5RJ及び立五段跳における鉛直スティフネスは増加し、プライオメトリックトレーニングがバイオメカニクスの変数を向上させることが確認された。

次に、プライオメトリックトレーニングが長距離走における変数に及ぼす影響をみると、競技会における5000mの記録は、両群ともに短縮していた。これは、両群ともに通常の長距離走トレーニングを行っており、その通常のトレーニング効果を示すものである。このことは、プライオメトリックトレーニングによる付加的効果はみられなかったことを意味する。

但し、通常の快調走の代わりにプライオメトリックトレーニングを用いても長距離走の記録に

表3 長距離走における各種パラメーター

	群	PRE	POST	U 値	F 値	多重比較
5000m 記録 (min, sec)	CO	15min58sec66 ± 54sec40	15min52sec41 ± 55sec86	24	12.94	CO,TR PRE>POST **
	TR	16min32sec03 ± 42sec91	16min11sec55 ± 47sec12			
疾走速度 (m/s)	CO	5.16 ± 0.46	5.19 ± 0.49	28		
	TR	5.08 ± 0.20	5.05 ± 0.34			
ピッチ (Hz)	CO	2.52 ± 0.24	2.51 ± 0.19	27		
	TR	2.50 ± 0.09	2.49 ± 0.17			
ストライド (m)	CO	1.67 ± 0.12	1.69 ± 0.15	8		
	TR	1.64 ± 0.11	1.66 ± 0.10			
接地時間 (s)	CO	0.19 ± 0.03	0.19 ± 0.01	27.5		
	TR	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01			
身体重心上下動 (m)	CO	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	29.1		
	TR	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01			
平均地面反力 (N)	CO	1120.68 ± 142.99	1151.35 ± 175.47	21		
	TR	1227.50 ± 134.23	1253.80 ± 159.86			
身体重心鉛直変位 (m)	CO	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01	29	8.71	CO,TR PRE>POST *
	TR	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.01			
鉛直スティフネス (N/m/kg)	CO	503.53 ± 199.39	524.21 ± 153.03	30	5.06	TR PRE<POST *
	TR	610.53 ± 73.66	706.59 ± 97.80			

平均値 ± 標準偏差 CO 群：統制群。TR：トレーニング群

* : $p<0.05$, ** : $p<0.01$

はマイナスにはならないことや、プライオメトリックトレーニングが走運動の経済性に関連していると考えられている鉛直スティフネスを向上させたことは、長距離走におけるプライオメトリックトレーニングを否定するものではなく、さらなる追研究の必要性を示すものである。

また、方法で示した通り、鉛直スティフネスの算出にあたり疾走速度の変化が鉛直スティフネスに影響を及ぼす可能性が考えられるため、本研究ではトレーニング前とトレーニング後での疾走速度を同程度の速度に規定して測定を行った。結果として、疾走速度はトレーニング前とトレーニング後とで有意な差が認められなかったことは本研究での速度の規定が妥当であったことを示している。図子（2006）は、プライオメトリックトレーニングを導入した5人の長距離走選手のパフォーマンスの変化を分析した結果、同一のペースで走行させたのにもかかわらず、トレーニング後ピッチは減少し、ストライドは増加したことを報告している。これについて、図子は、長距離走者におけるパフォーマンス向上のためのプライオメトリックトレーニングの導入により、下肢のSSC運動遂行能力が高まり、キックにおける推進力を高めてストライドが増長した走りを遂行できるようになったものと推察している。このようなキックにおける推進力の向上は、鉛直スティフネスを構成する要因のうち、平均地面反力が大きくなっていることを推察させる。しかし、本研究では、トレーニング前後で、ピッチもストライドも変化していない。これは、平均地面反力がトレーニングの前後で変化しなかったことがその原因と考えられる。

本研究において導入したプライオメトリックトレーニングは、長距離走、5RJ、及び、立五段跳のすべてにおいて、平均地面反力を高めるには至らず、これらにおける鉛直スティフネスの向上は、身体重心変位が小さくなったことに起因していると考えられる。一方で、キックにおける推進力の源である平均地面反力が向上しなくても、身体重心変位が小さくなったことによって鉛直スティフネスが向上したことは特筆すべき点である。榎本ほか（1999）は、接地後の身体重心の低

下が大きいと水平速度の減速を大きくする可能性があり、接地後の重心の低下を小さくすることは長距離走技術において重要な課題であるとしている。また、榎本・阿江（2004）は、レース序盤から終盤まで身体重心の上下動を小さく保つことは走速度の維持と関係する報告している。これらのことは、長距離走者へのプライオメトリックトレーニング導入の効果として、図子（2006）の報告したようなキックにおける推進力の向上に加えて、身体重心変位を小さくすることにより鉛直スティフネスを高めることを裏付けるものである。

V. まとめ

本研究の目的は、長距離走者にプライオメトリックトレーニングを行わせ、長距離走パフォーマンスと鉛直スティフネスを主としたバイオメカニクスの変数の変化を検討し、長距離走者へのプライオメトリックトレーニングの効果を明らかにすることであった。参加者は大学陸上競技長距離選手トレーニング群7名、統制群6名であった。トレーニング群にはプライオメトリックトレーニングを週2回8週間実施した。1回のトレーニング内容は、10回リバウンドジャンプと、40mバウンディング+60m快調走をそれぞれ1セットとし、各5セット実施した。これに対し、統制群にはトレーニング群との運動量の差をなくすため、100m快調走5セットを同頻度、同期間で実施した。なお、両群とも上記トレーニング以外の主練習は全員同一のトレーニングを実施した。主な結果は以下のものである。

- 1) トレーニング群においてのみ、5RJ及び立五段跳における鉛直スティフネスが有意に向上した。
- 2) トレーニング群においてのみ、長距離疾走中における鉛直スティフネスが有意に増加した。
- 3) 5000m記録は両群ともに有意に短縮したが、群間差はみられなかった。

引用・参考文献

阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Science*, 15 : 155-162.

- Bassett, Jr. D. R. and Howly, E. T. (2000) Limiting factors for maximal oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1) : 70–84.
- Costill, D. L., Thomason, H. and Roberts, E. (1973) Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5(4) : 248–252.
- 大後栄治, 植田三夫, 石井哲次, 上条晴美, 弘卓三 (1999) LT を基にしたトレーニング計画の研究－神奈川大学箱根駅伝参加選手の特性－. *ランニング学研究*, 10 : 35–42.
- Dumke, C. L., Pfaffenroth, C. M., McBride, J. M. and McCauley, G. O. (2010) Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. *International Journal of Sports Physiology Performance*, 5(2) : 249–261.
- 榎本靖士, 阿江通良, 岡田英孝, 藤井範久 (1999) 力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾走技術. *バイオメカニクス研究*, 3(1) : 12–19.
- 榎本靖士, 阿江通良 (2004) バイオメカニクスからみた長距離走における疲労. *バイオメカニクス研究*, 8 : 112–119.
- 榎本靖士 (2006) エネルギー論から見た長距離走動作の評価. *バイオメカニクス研究*, 10(4) : 281–287.
- 榎本靖士 (2008) 長距離走者の走技術に関するバイオメカニクスの研究. *陸上競技研究*, 72 : 2–13.
- 長谷川裕 (1999) プライオメトリクスに関係するストレッチ・ショートニング・サイクルの神経生理学背景. *コーチングクリニック*, 8 : 6–9.
- Heise, G.D. and Martin, P.E. (1998) Leg spring characteristics and the aerobic demand of running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5) : 750–754.
- 岩原信九郎 (1986) 教育と心理のための推計学新訂版. 日本文化科学社.
- 勝田茂, 宮田浩文, 麻場一徳, 原田健, 永井純 (1986) 中長距離選手におけるランニング効率とパフォーマンスとの関係について. *大学体育研究*, 8 : 45–52.
- Komi, P. V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscle by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10(4) : 261–265.
- Martin, D. and Coe, P. (2001) 中長距離ランナーの科学的トレーニング (征矢英昭・尾縣貢監訳), 大修館書店：東京, p.192–215.
- McMahon, T. A. and, Cheng, G.C. (1990) The mechanics of running : How does stiffness couple with speed. *Journal of Biomechanics*, 23(1) : 65–78.
- 水本篤, 竹内理 (2008) 研究論文における効果量の報告のために－基礎的概念と注意点－. *英語教育研究*, 31 : 57–66.
- 仲村明, 越川一紀, 吉儀宏 (2005) 長距離走のパフォーマンスに及ぼすバウンディングの有効性. *陸上競技研究*, 60 : 18–23.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A. and Rusko, H. (1999) Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5) : 1527–1533.
- Robert, W.S., Aron, J.M. and Mark, L.W. (2003) The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1) : 1–7.
- 武田誠司, 石井泰光, 山本正嘉, 図子浩二 (2010) 長距離ランナーにおけるランニングと連続跳躍による経済性の関係. *体力科学*, 59(1) : 107–118.
- Thys, H., Davagna, G. A. and Margaria, R. (1975) The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. *PflügersArch*, 354 : 281–286.
- 豊岡示朗 (1977) 長距離ランナー「トレーニング可能性」と有酸素的パワー. *体育の科学*, 27(6) : 436–441.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (1985) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion I* : 92–93.
- 図子浩二, 高松薫, 古藤高良 (1993) 各種スポー

- ツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38(4):265-278.
- 図子浩二, 高松薫(1996) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因: 下肢の各関節の仕事と着地に関する予測に着目して. 体育学研究, 40(1):29-39.
- 図子浩二, 平田文夫(1999) 下腿の神経・筋・腱系の状態が長距離走者の競技成績に及ぼす影響, 第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集. バイオメカニクス研究概論, p.172-176.
- 図子浩二(2000) SSC理論を応用したトレーニングの可能性. トレーニング科学, 12(2):69-84.
- 図子浩二(2006) 跳躍動作とその指導・トレーニング- プライオメトリックに着目して-. トレーニング科学, 18(4):295-303.