

ウエイトおよびプライオメトリクストレーニングの介入が 高校生長距離走選手のランニングパフォーマンスに及ぼす影響

浅野 勝成 内丸 仁

キーワード：長距離走，高校生，ウエイトトレーニング，プライオメトリクス

Effects of weight and plyometric training on running performance
in high school aged long-distance runners

Katsunari Asano and Jin Uchimarui

Abstract

PURPOSE: The purpose of this study was to examine the effect of weight and plyometric training on running performance in high school aged runners. **METHODS:** 14 high school aged long-distance runners (Age: 16.1 ± 0.7 years; Body Mass: 54.1 ± 4.1 kg; $\dot{V}O_{2\max}$: 65.4 ± 3.0 ml/kg/min) participated in this study. Subjects separated into weight training intervention group (WT, n=7) and control group (CON, n=7). Intervention of weight training period was 21 weeks. WT group completed 1-day weight training and 1-day plyometric drills in each week addition to running practice, while CON group carried out only running practice. All subjects were required to record running distance in every practice during the intervention period. Before and after the intervention period, all subjects were completed a submaximal and maximal incremental treadmill test for measurements of running economy, HR and blood lactate concentration at submaximal exercise, $\dot{V}O_{2\max}$, and run time as running performance. We also measured reactive strength index (RSI) that was assessed by 4 jumps and drop jump, countermovement jumps (CMJ), knee extension/flexion isometric strength. Statistical analysis was performed by Wilcoxon signed-rank test across intervention (pre vs. post). **RESULT:** Running distance in practice as training volume was significantly longer in CON than WT in every month during the intervention. Drop Jump's RSI (m/ms) improved significantly ($p < 0.05$) in WT (from 1.368 ± 0.49 to 1.692 ± 0.42). $\dot{V}O_{2\max}$ significantly improved ($p < 0.05$) in WT (from 65.9 ± 2.70 to 67.3 ± 2.98). % $\dot{V}O_{2\max}$ at 1st and 3rd stage were significantly improved ($p < 0.05$) in WT (from $61.5 \pm 4.84\%$ to $60.0 \pm 4.83\%$ and from $89.5 \pm 3.84\%$ to $86.5 \pm 4.76\%$, respectively). Both groups increment run time at 4th (from 346.9 ± 50.75 sec to 425.0 ± 5.19 sec in WT and from 342.3 ± 38.91 sec to 409.7 ± 43.70 sec in CON, $p < 0.05$) compared with the respective pre-test baseline. **CONCLUSION:** Intervention of weight and plyometric training improve RSI, running economy, and run time in high school runners.

Key words: Long-distance running, High school athlete, Weight training, Plyometrics

I. はじめに

ウエイトおよびプライオメトリクストレーニングが長距離走選手のランパフォーマンス、特にランニングエコノミーの改善に貢献することが多くの先行研究で報告されている (Johnston, 1997; Saunders, 2006; Staron, 1994; Aagaard, 2010).

ウエイトトレーニングによって収縮速度が速く高い持続性も備える TypeIIA 線維の酸化能力と動員の増加による力の立ち上がり率 (RFD) の向上すること (Staron, 1994; Aagaard, 2010). また, プライオメトリクストレーニングでは短時間で最大力発揮を伴うトレーニング様式であるストレッチショートニングサイクル (SSC) を活用しており (Chu, 2013), SSC が伴った筋活動の増大は短い地面接地時間で大きな地面反力の獲得に貢献し, RFD, 筋パワー, そして筋腱スティフネスを高めることから (Hickson, 1988; Johnston, 1997; Midgley, 2007; Paavolainen, 1999; Hoff, 2002; Campillo, 2013), ランニングエコノミーの改善や走タイムの減少に貢献することが示唆されている.

しかしながら, ウエイトおよびプライオメトリクストレーニングの介入効果を検証した研究は成人ランナーを対象としたものが多く, 高校生ランナーを扱った研究は少ない. そこで本研究では, ウエイトおよびプライオメトリクストレーニングの実施による高校生長距離走選手のランニングパフォーマンスへの効果を検証することを目的とした.

II. 方法

1. 被検者

被検者は M 県内の競技力の高い 2 つの高等学校陸上競技部長距離ブロックに所属する男子高校生長距離走選手 14 名を対象とし, A 高校の選手をウエイトトレーニ

ング群 (WT 群), Z 高校の選手をコントロール群 (CON 群) に分類した. 被検者の年齢, 身長, 体重, 体脂肪率, そして最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の平均値を Table 1 に示す.

TABLE 1. Age, height, body weight, body fat percent and $\dot{V}O_{2max}$ of the subjects

	Age (yrs)	Height (m)	Body weight (kg)	Body Fat (%)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)
Weight Training Group (WT; n=7)	16.4±0.9	1.71±4.3	53.8±2.4	10.2±3.6	65.9±2.7
Control Group (CON; n=7)	16.0±0.8	1.71±3.1	54.4±5.2	8.0±1.8	64.9±3.1

Values are mean±SD.

本研究は, 仙台大学倫理審査委員会の承認を得て行われ, 実験に先立ち, 被検者が既往歴等の健康上に問題がないことを確認し, 未成年のため, 保護者の同意も得たうえで本実験研究の対象者とした.

2. 実験デザイン

本研究では 7 月から 12 月までの約 21 週間の介入を施した (Figure 1). 介入期間の前後において, 両群の体組成, 筋・パワー系出力, 呼吸循環系能力, そしてランパフォーマンスを測定した. 両群とも競技練習と食事は通常通り継続するよう指示した.

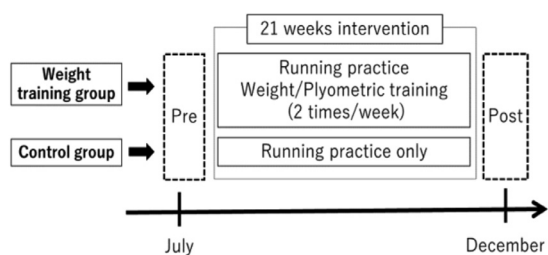


FIGURE 1. The experimental design of this study

3. WT 群のトレーニング

普段の競技練習に加え, ウエイトトレーニング (Table 2) とプライオメトリクス (Table 3) をそれぞれ週 1 回の頻度で行った. ウエイトおよびプライオメトリクスは NSCA CSCS の資格を有する S&C コーチの下で実施した.

TABLE 2. 21-week weight training program for WT group.

Week	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV
Barbell Jump Squat (Single)	1-5†	6-10†	11-13*	14-21†‡
Barbell Jump Squat (Consecutive)	3x5@20kg bar			
Back Squat	3x8@65-75%1RM	3x5@77.5-85%1RM	4x3@85-90%1RM	3x5@80-85%1RM
Romanian Deadlift	3x8	3x5	3x3	3x5
Bench Press	3x8	3x5	3x5	3x5
Dumbbell Row	3x8	3x5	3x5	3x5
Inchworm	2x12	2x12	2x12	2x12

Values are sets x reps

* : Long-distance relay championship took place at the weekend of 13th week.

† : Week 5, 10, and 15 were no lift day because of de-load week.

‡ : Week 19 and 20 were no lift day because of exam weeks.

TABLE 3. 21-week plyometric training program for WT group.

Week	Phase I	Phase II	Phase III
Week	1-6	7-14*	15-21‡
Ankle Hop	2x20	3x15	3x15
Countermovement Jump	2x5	1x10	1x10
Drop Jump			1x10
Power Skip	4x30m	4x30m	4x30m
Bounding	2x10m	4x20m	4x20m
5 Consecutive Hurdle Jump		5x	
5 Consecutive Hurdle Jump to 10m sprint			5x8

Values are sets x reps or distances

* : Week 13 was non-plyometric day because Long-distance relay championship took place at the weekends.

‡ : Week 19 and 20 were non-lift day because of exam weeks.

4. CON 群のトレーニング

比較対象のため、ウエイトおよびプライオメトリクストレーニングは実施せず、持久系競技練習のみを継続させた。

5. 測定項目と方法

トレーニング介入前後での効果を比較・検証するため、介入期間中における両群の競技練習量の比較と介入前後で各種測定を行った。測定項目は、筋出力系の指標として4ジャンプとドロップジャンプ時のバネ係数 (RSI)、垂直跳びの跳躍高、膝関節の等尺性最大伸展・屈曲筋力および伸展屈曲の比率 (Q/H 比)、また、ランニングパフォーマンスの指標として最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$)、ランニングエコノミー、運動時の酸素摂取量、分時換気量、心拍数、および血中乳酸濃度とした。

1) 競技練習量の比較

両群の被検者に日々の競技練習の内容を練習日誌にて記録させた。記入内容は走行時間と走行距離とした。

2) 筋出力系能力

筋出力系測定は4ジャンプおよびドロップジャンプの RSI、垂直跳びの跳躍高、お

よび膝伸展・屈曲の最大等尺性筋力とした。それぞれ試技間の休息時間は設定せず、被検者の行いやすいタイミングで試技させた。

a) 4ジャンプ

4ジャンプは4回連続で跳躍を行い、足関節の伸展および屈曲動作に焦点を当てた種目である。計測方法は、Multi Jump Tester 2 (ディケイエイチ社製) を用いて空中滞空時間法を採用した。跳び下りてから跳躍するまでの時間帯を地面接地時間とし、4連続中の各跳躍の跳躍高と地面接地時間から RSI を算出した。RSI は1ミリ秒あたりの跳躍高を地面接地時間で除算した数値で、単位は m/ms となる。試技の前に1回の練習を行わせた後、3回の試技から中央値を測定値とし、4回連続ジャンプの中から最も数値が高いものを1試技における測定値とした。被検者には短い地面接地時間で高い跳躍を試みるよう促し、脚の筋出力評価のため、両手を腰に当てた状態で行わせた。腕振りやデータの誤差が出た場合は無効とし、再度試技を行わせた。

b) ドロップジャンプ

ドロップジャンプは高さ 40cm の台から跳び下りた後、素早く鉛直上方向へ跳躍を行う種目である。計測方法は、Multi Jump Tester 2 (ディケイエイチ社製) を用いて空中滞空時間法を採用した。跳び下りてから跳躍するまでの時間帯を地面接地時間とし、跳躍高を地面接地時間で除算して RSI を算出した。高さ 40cm は先行研究の様式に基づいて採用した (Demasceno, 2015)。1回の練習を行わせた後、3回の試技で中央値を測定値とした。被検者には、短い地面接地時間で高い跳躍を試みるよう促し、脚の筋出力評価のため、両手を腰に当てた状態で行わせた。

c) 垂直跳び

垂直跳びは、両手を腰に当てた状態で直

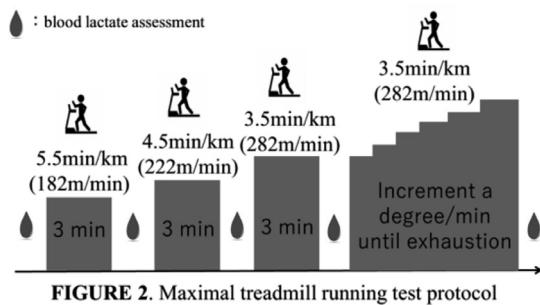
立姿勢を取り、大腿部と地面が平行になるまで素早くしゃがみ込んだ後、鉛直上方向へ跳躍を行って跳躍高を測定する種目である。計測方法は、Multi Jump Tester 2(ディケイエイチ社製)を用いて空中滞空時間法を採用した。1回の練習を行わせた後、3回の試技で中央値を測定値とした。被検者には、高い跳躍を試みるよう促した。腕振りやデータの誤差が出た場合は無効とし、再度試技を行わせた。

d) 最大等尺性筋力

膝伸展・屈曲の最大等尺性筋力は、デジタル力量計(竹井機器工業社製)を用いて、膝関節の伸展・屈曲に關与する筋群の等尺性筋力とそれら筋力値の比率(Q/H比)を測定した。測定時の姿勢は先行研究に基づき、股関節屈曲角度を90度、膝関節屈曲角度を105度と定めた座位姿勢にて行った(Mikkola, 2007)。屈曲と伸展をそれぞれ2回ずつ測定し、高値を出した試技の筋力値を測定値とした。Q/H比は、伸展筋群の測定値を屈曲筋群の測定値で除算したものを測定値とした。

3) 多段階漸増負荷テスト

トレッドミルにてランニングでの多段階漸増負荷テストを実施した(Figure 2)。



測定プロトコルは4段階を設け、傾斜1度で5分半/km(分速188m)、4分半/km(分速222m)、そして3分半/km(分速282m)の異なる走速度を設定し、最も低い速度から順に3分間ずつ走らせた。各段階間に1分の休憩を設けた。4段階目は3分半/km

(分速282m)の走速度で1分毎に傾斜を1度ずつ増加させ、疲労困憊に至るまで、もしくはトレッドミル速度について行けなくなる地点まで走らせた。4段階目の開始時から終了時まで、走持続時間の指標となるランタイムを秒単位で計測した。被検者は呼吸循環系機能測定のために採気マスクと心拍数測定用の心拍系モニター(Polar社製)を装着し、運動開始前の安静時から運動終了後まで呼気ガス代謝測定器(ミナト社製エアロモニタ AE300S)を用いてbreath-by-breath法にて連続して定量した。呼吸循環機能は15秒毎に定量された値で1分間の平均値を算出し、心拍数は1分インターバルで定量した。 $\dot{V}O_2\max$ は4段階目に出現した $\dot{V}O_2$ の最大値とし、年齢から推定される最大心拍数($HR\max=220 - \text{年齢}$)の到達程度($\pm 10\text{beats/min}$)や呼吸交換比(RER)が1.0以上の値であることと照らし合わせて判断した。 $\dot{V}O_2\max$ は各段階での2分目から3分目の間で定量された1分間の平均 $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_2\max$ で除した値とし、各段階でのランニングエコノミーの指標とした。運動時の最大換気量($\dot{V}E\max$)と最大心拍数($HR\max$)は、 $\dot{V}O_2\max$ の出現時点の値とした。運動前後および各段階間での1分間の休憩時に指先から血液(約 $3\mu\ell$)を採取し、ラクテート・プロTM2(アークレイ社製)を用いて血中乳酸濃度を測定した。

6. 統計処理

測定前後間の有意差の検定にはWilcoxonの符号付順位和検定を用い、有意水準は $p<0.05$ とした。統計解析には、SPSS Statistics version 25を用いた。

Ⅲ. 結果

1. 競技練習量の比較

7月から12月の全ての月においてCON

群の走行距離が有意に長かった ($p<0.05$) (Figure 3).

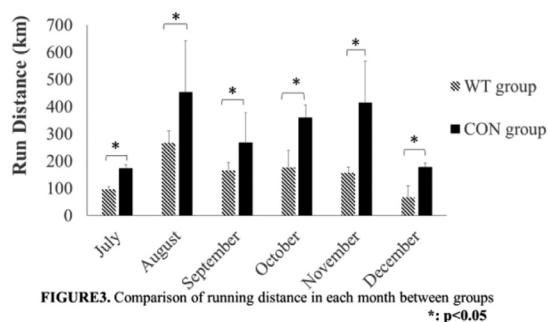


FIGURE3. Comparison of running distance in each month between groups
*: $p<0.05$

2. 筋出力系能力および多段階漸増負荷テスト時の呼吸循環応答, およびランニングパフォーマンス

ドロップジャンプ-RSI, ランニングエコノミー, およびランタイムの結果を Table 4 に示す. WT 群のドロップジャンプ-RSI が 1.368 ± 0.49 m/ms から 1.692 ± 0.42 m/ms と有意な増加が見られた ($p<0.05$). $\dot{V}O_{2\max}$ は WT 群で 65.9 ± 2.70 ml/kg/min から 67.3 ± 2.98 ml/kg/min と有意な向上が見られた ($p<0.05$). $\% \dot{V}O_{2\max}$ は 5 分半/km (分速 188m) および 3 分半/km (分速 282m) において, WT 群が 61.5 ± 4.84 % から 60.0 ± 4.83 %

および 89.5 ± 3.84 % から 86.5 ± 4.66 % と有意な減少が見られた ($p<0.05$). ランタイムは, CON 群では 342.3 ± 38.91 秒から 409.7 ± 43.70 秒, WT 群においても 346.9 ± 50.75 秒から 425.0 ± 50.19 秒と両群とも有意な向上を示した ($p<0.05$). また, 介入後測定時において, 有意な相関性は認められなかったが, ドロップジャンプ-RSI が高い方が 3 分半/km (分速 282m) での $\% \dot{V}O_{2\max}$ が低くなる傾向が見られた (Figure 4), ランタイムは長い傾向が見られた (Figure 5).

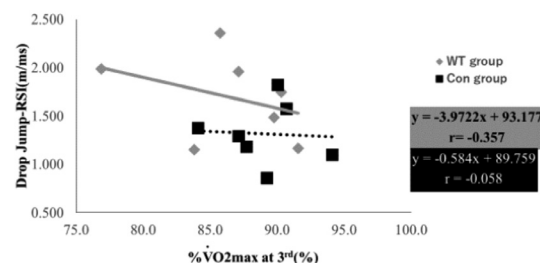


FIGURE4. Relationship between $\% \dot{V}O_{2\max}$ at 3rd and Drop Jump-RSI at the post test

TABLE 4. Comparisons of Drop Jump-RSI, $\dot{V}O_{2\max}$, $\% \dot{V}O_{2\max}$, and Run time from pre- to post-intervention

	WT Group		CON Group	
	Pre	Post	Pre	Post
Drop Jump-RSI (m/ms)	1.368 ± 0.49	$1.692 \pm 0.42^*$	1.197 ± 0.38	1.315 ± 0.29
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/kg/min)	65.9 ± 2.70	$67.3 \pm 2.98^*$	64.9 ± 3.09	68.7 ± 3.71
$\% \dot{V}O_{2\max}$ at 5.5min/km (%)	61.5 ± 4.84	$60.0 \pm 4.83^*$	61.8 ± 3.14	59.2 ± 2.77
$\% \dot{V}O_{2\max}$ at 4.5min/km (%)	71.6 ± 5.07	69.8 ± 4.85	73.3 ± 4.33	68.6 ± 5.23
$\% \dot{V}O_{2\max}$ at 3.5min/km (%)	89.5 ± 3.84	$86.5 \pm 4.66^*$	92.3 ± 3.20	89.0 ± 2.91
Run Time (sec)	346.9 ± 50.75	$425.0 \pm 50.19^*$	342.3 ± 38.91	$409.7 \pm 43.70^*$

Values are mean \pm SD.

* $p < 0.05$, significantly different from pre intervention value

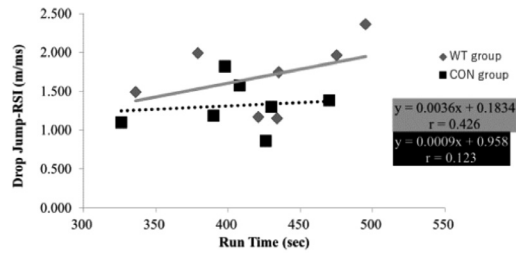


FIGURE5. Relationship between Run Time and Drop Jump - RSI at the post test

IV. 考察

1. プライオメトリクストレーニング介入の効果

本研究では、競技練習量が少ない WT 群のドロップジャンプ -RSI とランニングエコノミーが有意に改善した。ドロップジャンプ -RSI が高い方が3段階目の $\% \dot{V}O_2 \text{max}$ が低くなる傾向が見られ、先行研究を支持するものであった。ドロップジャンプ -RSI とランニングエコノミーが改善した要因として、走動作との類似性が高いことが考えられる。ランニングは走速度の増加に伴って下肢三関節の関与が大きく地面接地時間は 250 ミリ秒以下と短くなる (Kyrolainen, 2001)。一方、4 ジャンプは足関節の屈曲・伸展に着目した種目で膝関節と股関節の関与は少ない動作となること。また、垂直跳びは地面接地時間が長いことため実際の走動作との類似性が低いことが推察される。本研究で用いたプライオメトリクスには、SSC 要素を含んだ短い地面接地時間で高い跳躍力が求められるドロップジャンプや連続ハードルジャンプが含まれている。つまりは、SSC は足部の地面接地時間が 250 ミリ秒以下の Fast SSC と 250 ミリ秒以上の Slow SSC に分類される (Schmidtbleicher, 1992) が、走速度の増加に伴って地面接地時間は短く (Nummela, 2007)、Fast SSC の貢献が大きいことから、Fast SSC と下肢三関節の関与を含む種目がランニングエコノミーの改善に貢献したと考える。

2. ウエイトトレーニング介入の効果

我々の研究では、先行研究 (Mikkola, 2007) でも用いられている膝関節の最大等尺性伸展・屈曲筋力と Q/H 比を測定したが、有意な差は見られなかった。

筋力測定では有意な変化は認められなかった一方、スクワットやルーマニアンデッドリフトなどの股関節伸展筋群の強化に着目した種目を WT 群に導入した結果として、ランパフォーマンスの向上に貢献した可能性が考えられる。先行研究では、走速度の増加に伴って要求される地面反力が高まるため、股関節伸展筋群である大腿二頭筋と大殿筋の筋活動の増大が報告されていることから (Kyrolainen, 2001)、それら筋群の筋力増強が走速度の増加に有益であることが示唆される。従って、股関節伸展筋群を強化する種目の導入が走速度の増加に貢献し、増加に伴って 3 分半 /km (分速 282m) などの一定の走速度でのランニングエコノミーの改善やランタイムが向上したと考える。

3. 育成年代へのトレーニング法の提言

学業が優先である高校生アスリートは練習・トレーニングに費やせる時間は限られている。本研究では、競技練習量が少ない WT 群のランニングエコノミーおよびランタイムが改善したことから、ウエイトおよびプライオメトリクストレーニングは時間効率が良く、必要最低限の練習およびトレーニング量で効果的にパフォーマンスを向上できる可能性がある。継続的なウエイトおよびプライオメトリクスは、高校生ランナーにとって有用なトレーニング法として提言できると考える。

V. 結論

21 週間の継続的なウエイトおよびプライオメトリクストレーニングは、高校生長

距離走選手のランニングエコノミーを有意に改善することが認められた。また、ランタイムは両群とも有意な向上が認められたことから、少ない競技練習量でもウエイトおよびプライオメトリクストレーニングがランタイムの向上に貢献したと推察する。

VI. 参考文献

1. Aagaard, PA. (2010). *Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes*. Scandi J Med Sci in Sports 20(2): 39-47.
2. Campillo, CA. (2013). *Effects of plyometric training on endurance and explosive performance in competitive middle- and long-distance runners*. JSCR 28(1): 97-104.
3. Chu, DA and Myer, GD. (2013). Anatomy and Physiology of Plyometrics. In DA. Chu and GD. Myer, *Plyometrics* (pp. 13-25). Champaign, IL: Human Kinetics.
4. Demasceno, MLS. (2015). *Effect of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial*. Eur J Appl Physiol. 115(7): 1513-1522.
5. Hickson, RC., Dvorak, BA., Gorogtiaga, EM., Kurowski, TT., and Foster, C. (1988). *Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance*. The American Physiol Socety 65(5): 2285-2290.
6. Hoff, J., Gran, A., and Helgerud, J. (2002). *Maximal strength training improves aerobic endurance performance*. Scandi J Med Sci in Sports 12: 288-295.
7. Johnston RE. (1997). *Strength training in female distance runners: Impact on running economy*. JSCR 11(4): 224-229.
8. Kyrolainen, HB (2001). *Biomechanical factors affecting running economy*. Med Sci in Sports and Exerc. 33(8): 1330-1337.
9. Midgley, AM. (2007). *Training to enhance the physiological determinants of long distance running performance*. Sports Med 37(10): 857-880.
10. Mikkola, JR. (2007). *Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners*. Sports Med 28:602-611
11. Nummela, AK. (2007). *Factors related to top running speed and economy*. Spots Med. 28: 655-661.
12. 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*. J of Appl Physiol 85(5): 1527-1533.
13. Sanuders, PU. (2006). *Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners*. JSCR 20(4): 947-954.
14. Schmidtbleicher, D. (1992). *Training for power events*. In PV Komi, *Strength and Power in Sport* (pp.381-395). Boston, MA: Blackwell Science.
15. Staron, RK. (1994). *Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women*. J Appl Physiol 76(3): 1247-1255.