

伸張－短縮サイクル理論を応用した プライオメトリックスが疾走能力に与える効果

-疾走能力と各種のジャンプ力および脚筋力との構造関係に着目して-

岩 竹 淳

目 次

I. 序 論

- 1. 疾走能力と伸張－短縮サイクル運動の遂行能力との関係 - 2 -
- 2. 疾走能力に対するプライオメトリックトレーニングの効果..... - 3 -
- 3. 研究目的 - 4 -

II. 研究課題1

- 1. 方 法..... - 5 -
- 2. 結 果..... - 6 -

III. 研究課題2

- 1. 方 法..... - 9 -
- 2. 結 果..... - 10 -

IV. 研究課題3

- 1. 方 法..... - 12 -
- 2. 結 果..... - 13 -

V. 総 括

- 1. 疾走能力を規定する体力因子としての SSC 運動能力 - 18 -
- 2. プライオメトリックスによる SSC 運動能力の適応と疾走能力の改善 - 18 -

参考資料

伸張－短縮サイクル理論を応用したプライオメトリックスが疾走能力に与える効果 －疾走能力と各種のジャンプ力および脚筋力との構造関係に着目して－

岩竹 淳¹⁾, 川原繁樹¹⁾, 北田耕司¹⁾, 図子浩二²⁾

【要 約】

本研究は、疾走能力と伸張－短縮サイクル運動の遂行能力(以下、SSC 運動能力)や脚筋力との関係から、疾走能力を改善するためのプライオメトリックス手段や導入手順について検討するとともに、プライオメトリックスが疾走能力に及ぼす効果について明らかにすることを目的とし、以下に示す3つの研究を実施した。

1. 疾走能力と両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力との関係

本研究では、50 m 疾走速度および 10 m 区間毎の疾走速度と、垂直跳の跳躍高、立幅跳の跳躍距離、リバウンドジャンプの跳躍高、接地時間および RJ_{index} (両脚同時の SSC 運動能力)、立三段跳および立五段跳の跳躍距離(片脚交互の SSC 運動能力)およびスクワット姿勢による最大脚伸展筋力(脚筋力)との相互関係について検討した。その結果、① 50 m 疾走速度の平均値で分類した疾走能力上位者の SSC 運動能力や脚筋力は、疾走能力下位者に比較して有意に高い値を示した。② 50 m 疾走速度と各測定項目との相関係数は、片脚交互の SSC 運動能力、両脚同時の SSC 運動能力および脚筋力の順に高い値を示した。③ 10 m 区間毎の疾走速度と両脚同時の SSC 運動能力および脚筋力との相関係数は、0 - 10 m 区間から 20 - 30 m 区間まで増加した後に減少する傾向を示した。④ 疾走速度と片脚交互の SSC 運動能力との相関係数は、0 - 10 m 区間から 40 - 50 m 区間まで増加し続ける傾向を示した。

2. 両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の優劣が疾走能力に及ぼす影響

本研究では、 RJ_{index} を両脚同時の SSC 運動能力、立五段跳の跳躍距離を片脚交互の SSC 運動能力と定義し、SSC 運動能力が両脚同時および片脚交互ともに優れるグループ(G I)、両脚同時に劣り片脚交互に優れるグループ(G II)、両脚同時に優れ片脚交互に劣るグループ(G III)および両脚同時および片脚交互ともに劣るグループ(G IV)に分類した。その結果、① 50 m 疾走速度は、G I、G III、G II および G IV の順に高い値を示した。② 0 - 10 m 区間における疾走速度は、G III、G I、G II および G IV の順に高い値を示した。③ 10 - 20 m から 40 - 50 m 区間の疾走速度は、G I、G II、G III および G IV の順に高い値を示した。④ 最大加速度は、G III、G II、G I および G IV の順に高い値を示した。⑤ 最大疾走速度は、G I、G II、G III および G IV の順に高い値を示した。

3. プライオメトリックスが疾走能力に与える効果

本研究では、被験者をプライオメトリックス群、筋力トレーニング群および複合トレーニング群に分類し、週 1 回の頻度で 8 週間トレーニングした結果をコントロール群と比較した。その結果、① プライオメトリックス群において 50 m 疾走速度、最大疾走速度、30 - 40 m および 40 - 50 m 区間における疾走速度が有意に増加した。② 複合トレーニング群において 50 m 疾走速度が有意に増加した。③ プライオメトリックス群における、リバウンドジャンプの接地時間が有意に短縮して RJ_{index} が有意に増加し、立五段跳および立三段跳の跳躍距離が有意に増加した。④ 複合トレーニングにおける RJ_{index} 、垂直跳の跳躍高および立三段跳の跳躍距離が有意に増加した。⑤ 脚筋力に関する項目では、いずれの群も有意な変化を示さなかった。

上述した本研究の結果から、疾走能力に対して SSC 運動能力が重要な体力因子であることが示唆された。また、疾走能力と各種の SSC 運動能力や脚筋力との間には、階層構造関係が存在することや、疾走局面の違いにより重要となる SSC 運動能力のタイプは異なることが示唆された。さらに、高い疾走能力を獲得するためには、両脚同時の SSC 運動能力を片脚交互の SSC 運動能力に転移できる能力が必要であると考えられた。そして、プライオメトリックスを実践することで、最大疾走局面における疾走能力に顕著な効果が認められた。本研究の結果は、疾走能力を改善するためのトレーニングをプランニングする上で有益な情報になるものと思われる。

¹⁾ 石川工業高等専門学校 一般教育科 保健体育

²⁾ 鹿屋体育大学 体育学部 体育学科 スポーツパフォーマンス系

I. 序 論

1. 疾走能力と伸張－短縮サイクル運動の遂行能力との関係

従来から、疾走能力を改善するためのトレーニング方法を考えるうえで、疾走能力に必要な体力因子がカテゴリー分けされてきた (Fig. 1) (Schmolinsky, 1966). しかし、数種類に分類された体力トレーニングのうち筋力トレーニングに関しては、最大筋力が筋横断面積に比例するという理論に基づいて (Ikai and Fukunaga, 1968), 筋肥大による出力の増加に主眼が置かれてきた. この理由としては、絶対的な筋出力が大きければ、筋に対する外的抵抗の相対的負荷が低下することになり、単位時間当たりに発揮できる筋出力も大きくなるという考え方が背景にある. ところが、Delecluse et al. (1995) は、9 週間のレジスタンストレーニングにより、ベンチプレス、レッグプレス、ハーフスクワット、レッグエクステンションおよびアームカールの挙上重量が増加したものの、100 m 走の記録が変化しないことを報告している. 同様に、Wilson et al. (1993) も 10 週間のスクワットトレーニングにより、等速性脚伸展トルクが増加しているにもかかわらず、30 m 走の記録が変化しないことを報告している. これらの先行研究は、一般的に実施されているレジスタンストレーニングにより筋力が増加しても、疾走能力の改善に結びつかない可能性を示唆している.

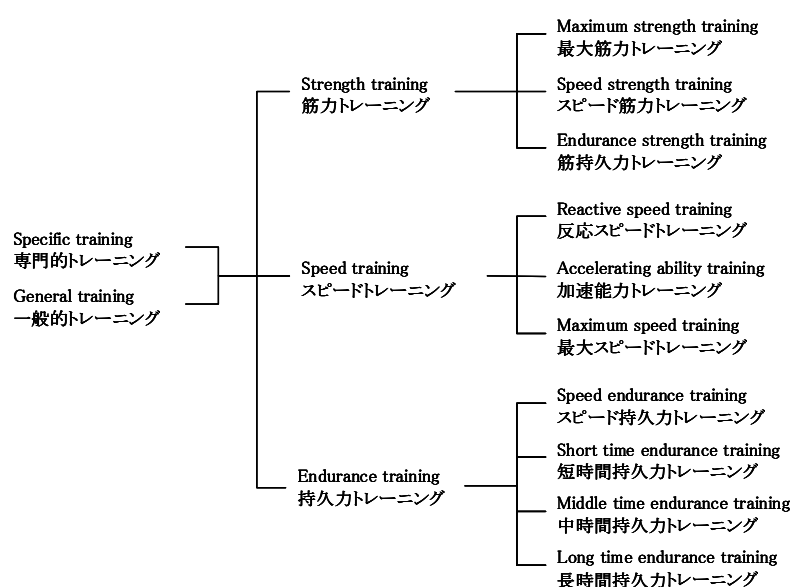


Fig. 1 Category of physical strength training for sprint running (Schmolonsky, 1966)

一方、短距離走の接地時間は、スタート直後の約 200 ms (Mero, 1988; Mero and Komi, 1990) から最大疾走時の約 100 ms (Mero and Komi, 1986; Mero and Komi, 1994; Viitasalo et al, 1997) まで短縮される. また、各種の跳躍運動のうち、ドロップジャンプおよびリバウンドジャンプでは力を発揮する時間が極めて短く、垂直跳の作用時間である約 260 – 290 ms (Fukashiro and Komi, 1987; 深代, 1992) に対して、台高 30 cm のドロップジャンプでは約 140 – 180 ms (岡子・高松, 1996; Young et al., 1999; 岩竹ほか, 2001; 田内ほか, 2002; 木越ほか, 2004), リバウンドジャンプでは約 160 – 190 ms (Locatelli, 1996; 岩竹, 1999; 岩竹ほか, 2001, 2002; Chelly and Denis, 2001) と報告されている. このように、疾走運動と跳躍運動には、極めて短い接地時間で力を発揮して運動を遂行するという類似性があり、1960 年代以降、両要因の間に相関関係が認められるという報告が多数存在している (Table 1). これらの先行研究は、脚が短時間で大きな力を発揮する伸張－短縮サイクル運動の遂行能力 (以下、SSC 運動能力) を高めることが、疾走能力の改善に有効であることを示唆するものといえる.

しかし、先行研究において疾走能力と SSC 運動能力との関係について報告したものは、いずれも上方への移動を伴う両脚同時の SSC 運動能力との関係を検討したものであり、前方への移動を伴う片脚交互の SSC 運動能力との関係を検討したものは見当たらない. また、先行研究では疾走速度と SSC 運動能力との一過性の関係しか検討しておらず、疾走距離の進行に伴って変化する疾走速度に対して、両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力がどのような関係を示していくのかも明らかにされていない. 疾走能力に対して、両脚同時および片脚交

互の SSC 運動能力がどのような構造関係を示すのかを明らかにできれば、疾走能力を改善するために必要な下肢の体力因子を知る手がかりとなり、トレーニングプログラムを構築するうえで有益な情報になると考えられる。

Table 1 Table of research where correlation was admitted between accomplishment ability of stretch – shortening cycle exercise and sprint performance

Reference	Sex	Number	Object	SSC exercise	Sprint running performance
Costill et al (1968)	Male	76	Soccer player et al.	CMJ	40 yard
Mero et al (1981)	Male	25	Sprinter	CMJ, DJ	Flying 30 m
Bosco et al (1983)	Female	12	Sprinter	CMJ, RJ	60 m
岩竹 (1999)	Male	66	Track and Field athlete	RJ	A_{max} , V_{max} at 60 m
Berthoin et al (2001)	Male	22	Physical education student	CMJ	A_{max} , V_{max} at 100 m
Chelly and Denis (2001)	Male	11	Handball player	RJ	V_{max} at 40 m
Hennessy and Kilty (2001)	Female	17	High school sprinter	CMJ, DJ	30 m, 100 m
Bret et al (2002)	Male	19	National level sprinter	CMJ	30 m, 100 m
				RJ	Flying 30 m
Young et al (2002)	Male	15		DJ	8 m
Iwatake et al (2003)	Male	11	Sprinter	RJ	A_{max} , V_{max} at 60 m
Wisloff et al (2004)	Male	17	National level soccer player	CMJ	30 m
Cronin and Hansen (2005)	Male	26	Rugby player	CMJ	5 m, 10 m, 30 m

2. 疾走能力に対するプライオメトリックトレーニングの効果

これまで、多くの先行研究において、疾走能力と垂直跳、ドロップジャンプおよびリバウンドジャンプのパフォーマンスとの間には、相関関係が認められるという報告がされてきた (Costill et al., 1968; Mero et al., 1981; Bosco et al., 1983; 岩竹, 1999; 岩竹ほか, 2001, 2002; Berthoin et al., 2001; Chelly and Denis, 2001; Hennessy and Kilty, 2001; Bret et al., 2002; Young et al., 2002; Iwatake, 2003; Wisloff et al., 2004). これらの報告は、跳躍運動を反復することで脚が短時間に大きな力を発揮する能力を高めるプライオメトリックトレーニング (以下、プライオメトリックス) が、疾走能力の改善に有効であることを示唆するものといえる。しかし、現在のところ、プライオメトリックスが疾走能力に及ぼす影響について検討した報告は少ない (Wilson et al., 1993; Delecluse et al., 1995; Rimmer and Sleivert, 2000; Kotzamanidis, 2006).

Wilson et al. (1993) は、青年期の被験者に対して、ドロップジャンプによるプライオメトリックス、スクワットによるレジスタンストレーニングおよび等尺性最大筋力の 30% の負荷を与えたジャンプスクワットによるプライオメトリックスタイプのレジスタンストレーニングを、それぞれ週 2 回の頻度で 10 週間行わせ、30 m 疾走記録に及ぼす影響を検討した。ドロップジャンプの台高は、20 cm から開始してトレーニング終了時には 80 cm まで増加させている。その結果、ドロップジャンプおよびスクワットトレーニング群では、30 m 走の記録に変化を認めることができず、ジャンプスクワットトレーニング群のみ疾走記録が有意に短縮したことを報告している。

Delecluse et al. (1995) は、体育大生に対して、垂直跳、立幅跳、ハードルジャンプ、スキッピング、バウンディング、ホッピングなど、一般的にスポーツトレーニングの現場で実施されているプライオメトリックスを週 3 回の頻度で 9 週間行なわせ、100 m 疾走記録に及ぼす影響を検討した。その結果、スタートから 10 m までの加速度および最大疾走速度が増加し、100 m 疾走記録が短縮したことを報告している。

Rimmer and Sleivert (2000) は、青年期のラグビー選手に対して、平地や階段におけるタックジャンプ、バウンディング、ホッピングといったプライオメトリックスを週 2 回の頻度で 8 週間行なわせ、40 m 疾走記録に及ぼす影響を検討した。その結果、スタートから 10 m までの疾走記録が短縮し、40 m 疾走記録が短縮したことを報告している。また、この報告では、最大疾走局面における接地時間が短縮したという結果も得られている。

Kotzamanidis (2006) は、非競技者の思春期前期にある児童に対して、体育授業中にドロップジャンプ、バウンディングおよびスキップを週 2 回の頻度で 10 週間行なわせ、30 m 疾走記録に及ぼす影響を検討した。その結果、10 - 20 m および 20 - 30 m 区間における疾走記録が短縮し、30 m 疾走記録が短縮したと報告している。また、この報告では、スクワットジャンプの跳躍高が増加したという結果も得られている。

これらの研究では、プライオメトリックスを実施した結果、疾走能力に変化が認められなかったもの、加速疾走能力または最大疾走能力が改善するといったもの等、様々な結果が得られている。その理由のひとつとして、Wilson et al. (1993) が両脚同時のプライオメトリックスしか実施していなかったのに対して、Delecluse et al. (1995), Rimmer and Sleivert (2000) および Kotzamanidis (2006) は、両脚同時および片脚交互の複合的なプライオメトリックスを実施していたことが考えられる。つまり、疾走能力を改善するためには、前方への移動を伴い、疾走運動に類似した形態のプライオメトリックスを実施することが重要であると推察される。しかし、両脚同時または片脚交互といった目指す移動の方向が異なるプライオメトリックスが、どのように疾走能力へ転移していくのかは明らかにされておらず、疾走能力を改善するための具体的なプライオメトリックスの方法について検討されていない。

3. 研究目的

前述の文献研究により、脚が短時間で大きな力を発揮する能力ともいえる SSC 運動能力は、疾走能力に影響を及ぼす下肢の重要な体力因子であることが示唆されている。そして、プライオメトリックスは、SSC 運動能力を高めることで疾走能力を改善する有効なトレーニング手段であることが考えられる。

本研究では、疾走能力と両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力との関係を明らかにすることで、疾走能力を改善するためのプライオメトリックス手段や導入手順について検討するとともに、プライオメトリックスが疾走能力に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、以下の課題を設定した。

《研究課題1》

疾走距離全体および局面別に区分した疾走能力と両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力との関係について検討する。

《研究課題2》

両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の優劣が、疾走距離全体および局面別に区分した疾走能力に対して、どのような影響を与えるのか検討する。

《研究課題3》

プライオメトリックスが疾走能力に与える効果について、両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の適応を手がかりに検討する。

Ⅱ．研究課題1 《疾走能力と両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力との関係》

1. 方 法

1) 被験者

被験者は、高等専門学校に在籍する男子生徒 145 名とした。被験者の年齢、身長および体重については Table 2 に示した。被験者には、予め本研究の主旨と内容について説明し、実験参加の同意を得るとともに、データの発表についての了承を得た。本研究は、研究実施機関における研究遂行の許可を得た上で実施した。

Table 2 Means and standard deviations for subject characteristics of the entire group, superior group and inferior group to sprinting ability

Parameters (unit)	Entire (n=145)	Superior (n=80)	Inferior (n=65)
Age (yr)	15.6±0.3	15.6±0.3	15.6±0.4
Body height (cm)	169.4±5.6	169.6±5.1	169.1±6.2
Body mass (kg)	59.6±9.0	59.2±7.6	60.1±10.5

2) 疾走能力の評価

被験者には、十分なウォーミングアップを実施させた後、陸上競技場直線走路においてスタンディングスタートによる 50 m 全力疾走を行わせた。本研究では、腰部に磁気センサー (ACTYE 社製、パーソナルタイマー) を装着させた被験者に、スタートから 50 m までの 10 m 間隔に設置した磁気発生装置 (ACTYE 社製、マグネットバー) の側面を通過させることで区間記録を測定した。区間記録は 1/100 s 単位で測定を行い、得られた記録から 50 m 疾走速度および 10 m 区間毎の疾走速度を求めた。本研究では、50 m 疾走速度の平均値を基準として、平均値以上の被験者を疾走能力上位群に、平均値以下の被験者を疾走能力下位群に分類した。

3) 両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の評価

本研究では、立幅跳、垂直跳およびリバウンドジャンプのパフォーマンスを両脚同時の SSC 運動能力と定義した。また、立五段跳および立三段跳のパフォーマンスを片脚交互の SSC 運動能力と定義した。垂直跳およびリバウンドジャンプの跳躍高は、マットスイッチ (DKH 社製、マルチジャンプテスト) を用いて跳躍中の滞空時間 (Air time: t_a) を測定し、次式 [跳躍高 (h) = $1/8 \cdot g \cdot t_a^2$] により算出した。また、リバウンドジャンプの接地時間 (contact time: t_c) を測定し、リバウンドジャンプ指数 (Rebound jmp index: RJ_{index}) (図子ほか, 1993) を次式 [$RJ_{index} = (1/8 \cdot g \cdot t_a^2) / t_c$] により算出した。リバウンドジャンプは、腰に手を当てた両腕の振込動作を利用しない 6 回の連続垂直跳とし、最も RJ_{index} が高い値を示した跳躍を採用した。立五段跳、立三段跳および立幅跳では、立位時のつま先から着地時の踵までの跳躍距離をメジャーにより測定した。被験者には、全ての項目について事前に練習を行わせ、体育館シューズを着用させて体育館フロアで測定を実施した。

4) 脚筋力の評価

脚筋力の評価は、スクワット姿勢からスクワットラックに固定したシャフトを全力で押し上げるアイソメトリックな最大脚伸展筋力とし、フォースプレート (KISTLER 社製、クワトロジャンプ) を用いて測定した。脚筋力の測定は、Wilson et al. (1993) の報告に従い、走運動や跳躍運動遂行時に観察される膝関節角度 135° により行なった。被験者には、急激に力を発揮せず、徐々に力を出すことで最大の力を発揮するように指示をした。本研究では、5 秒間で発揮された脚筋力の最大値を採用した。

5) 統計処理

本研究で用いた数値は、全て平均±標準偏差で示した。本研究では、各測定項目間の相関関係を明らかにするため、各測定データの正規性を確認した後ピアソンの相関係数の検定 (Pearson's correlation coefficient test) を実施した。疾走能力の違いによる各種 SSC 運動能力および脚筋力の測定値の差を比較するための検定は、F 検定 (F-test) により二群の等分散性を確認した後スチューデントの t 検定 (Student's t-test) を実施した。いずれの統計処理も有意性は危険率 5% 未満とした。

2. 結 果

1) 疾走能力別にみた SSC 運動能力および脚筋力の比較

Table 3 には, 本研究で測定した 50 m 疾走速度と 10 m 区間毎の疾走速度の値を疾走能力別にまとめて示した. 疾走速度は, 疾走能力上位群および疾走能力下位群ともに, 0 - 10 m 区間から 20 - 30 m 区間まで増加した後減少を示した. いずれの疾走速度も疾走能力上位群が疾走能力下位群に比較して有意に高い値を示した ($p < 0.001$). Table 4 には, SSC 運動能力および脚筋力の値を疾走能力の群別にまとめて示した. リバウンドジャンプの接地時間を除く全ての測定項目は, 疾走能力上位群が疾走能力下位群に比較して有意に高い値を示した ($p < 0.05 - 0.001$).

Table 3 Means and standard deviations for sprinting velocity of the entire group, superior group and inferior group to sprinting ability

Parameters (unit)	Entire (n=145)	Superior (n=80)	Inferior (n=65)
V_{50} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	6.59 ± 0.46	$6.92 \pm 0.25^{***}$	6.17 ± 0.30
V_{0-10} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	5.04 ± 0.48	$5.29 \pm 0.37^{***}$	4.73 ± 0.41
V_{10-20} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	6.98 ± 0.52	$7.25 \pm 0.41^{***}$	6.64 ± 0.44
V_{20-30} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7.40 ± 0.60	$7.77 \pm 0.43^{***}$	6.94 ± 0.45
V_{30-40} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7.19 ± 0.62	$7.57 \pm 0.45^{***}$	6.73 ± 0.48
V_{40-50} ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7.10 ± 0.71	$7.53 \pm 0.47^{***}$	6.56 ± 0.59

V_{50} , V_{0-10} , V_{10-20} , V_{20-30} , V_{30-40} , V_{40-50} : Sprinting velocity

"Superior" significantly different from "Inferior" (***) $p < 0.001$

Table 4 Means and standard deviations for several jump performance measures and isometric maximum leg extension force of the entire group, superior group and inferior group to sprinting ability

Parameters (unit)	Entire (n=145)	Superior (n=80)	Inferior (n=65)
SFJ (m)	11.07 ± 0.98	$11.56 \pm 0.76^{***}$	10.47 ± 0.88
STJ (m)	6.43 ± 0.68	$6.75 \pm 0.50^{***}$	6.04 ± 0.67
SLJ (m)	2.20 ± 0.21	$2.30 \pm 0.16^{***}$	2.09 ± 0.20
CMJ _h (cm)	44.7 ± 7.2	$47.8 \pm 5.4^{***}$	41.0 ± 7.4
RJ _{index}	1.96 ± 0.45	$2.13 \pm 0.44^{***}$	1.75 ± 0.38
RJ _h (cm)	33.9 ± 6.0	$36.5 \pm 5.5^{***}$	30.8 ± 5.0
RJ _{ct} (s)	0.177 ± 0.026	0.175 ± 0.028	0.179 ± 0.024
F _{max} (Kg)	211.5 ± 42.3	$218.0 \pm 39.5^*$	203.5 ± 44.4

SFJ: Standing five jump, STJ: Standing triple jump, SLJ: Standing long jump, CMJ_h: Counter movement jump height, RJ_{index}: Rebound jump index, RJ_h: Rebound jump height, RJ_{ct}: Rebound jump contact time, F_{max}: Isometric maximum leg extension force.

"Superior" significantly different from "Inferior" (* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$)

2) 疾走能力と SSC 運動能力および脚筋力との相互関係

Fig. 2 には、50 m 疾走速度と SSC 運動能力および脚筋力との相互関係を相関係数の高い順に示した。50 m 疾走速度と SSC 運動能力および脚筋力との相関係数は、立三段跳の跳躍距離 ($r = 0.632$, $p < 0.001$), 立五段跳の跳躍距離 ($r = 0.630$, $p < 0.001$), 立幅跳の跳躍距離 ($r = 0.612$, $p < 0.001$), リバウンドジャンプの跳躍高 ($r = 0.594$, $p < 0.001$), 垂直跳の跳躍高 ($r = 0.588$, $p < 0.001$), RJ_{index} ($r = 0.541$, $p < 0.001$), 脚筋力 ($r = 0.238$, $p < 0.05$) およびリバウンドジャンプの接地時間 ($r = -0.156$, NS) の順に高い値を示した。

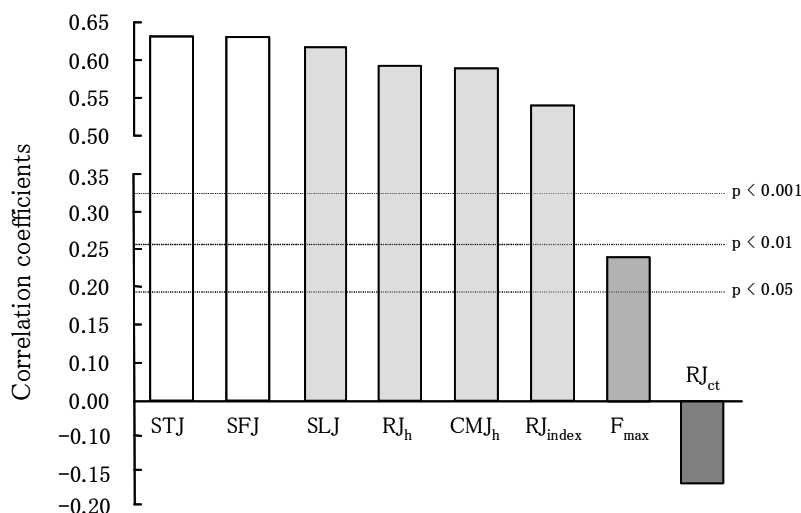


Fig. 2 Comparison of correlation coefficients between 50 m sprinting velocity and several parameters. STJ: Standing triple jump; SFJ: Standing five jump; SLJ: Standing long jump; RJ_h : Rebound jump height; CMJ_h : Counter movement jump height; RJ_{index} : Rebound jump index; F_{max} : Isometric maximum leg extension force; RJ_{ct} : Rebound jump contact time.

Table 5 には、SSC 運動能力と脚筋力との相互関係を相関係数で示した。脚筋力は立幅跳の跳躍距離 ($r = 0.292$, $p < 0.01$), RJ_{index} ($r = 0.198$, $p < 0.05$) およびリバウンドジャンプの跳躍高 ($r = 0.241$, $p < 0.05$) との間に有意な相関関係を示したが、垂直跳の跳躍高、立五段跳および立三段跳の跳躍距離との間には有意な相関関係を示さなかった。SSC 運動能力の評価指標に限ると、立五段跳の跳躍距離、立三段跳の跳躍距離、立幅跳の跳躍距離、垂直跳の跳躍高、リバウンドジャンプの跳躍高および RJ_{index} は、互いに高い相関関係 ($r = 0.510 - 0.896$, $p < 0.001$) を示した。一方、リバウンドジャンプの接地時間は、立五段跳の跳躍距離、立三段跳の跳躍距離および RJ_{index} との間において有意な相関関係 ($r = -0.200 - -0.640$, $p < 0.01 - 0.001$) を示した。

Fig. 3 には、10 m 区間毎の疾走速度と SSC 運動能力および脚筋力との相関係数の変化について示した。相関係数の変化パターンは、0 - 10 m 区間から次第に増加して 20 - 30 m 区間において最大値を示す立幅跳の跳躍距離 ($r = 0.541$), 垂直跳の跳躍高 ($r = 0.570$), リバウンドジャンプの跳躍高 ($r = 0.577$), RJ_{index} ($r = 0.541$), 脚筋力 ($r = 0.290$) およびリバウンドジャンプの接地時間 ($r = -0.185$) と、20 - 30 m 区間以降も増加して 40 - 50 m 区間で最大値を示す立五段跳の跳躍距離 ($r = 0.564$) および立三段跳の跳躍距離 ($r = 0.583$) とに分類された。立五段跳の跳躍距離、立三段跳の跳躍距離、立幅跳の跳躍距離、垂直跳の跳躍高、リバウンドジャンプの跳躍高および RJ_{index} は、いずれも区間疾走速度との間に高い相関関係を示して推移したが、脚筋力においては 0 - 10 m 区間において、リバウンドジャンプの接地時間においては全ての区間において有意な相関関係を認めることができなかった。

Table 5 Interrelation of sprinting performance, several jump performance measures and isometric maximum leg extension force

	SFJ	STJ	SLJ	CMJ _h	RJ _{index}	RJ _h	RJ _{ct}	F _{max}
SFJ	-							
STJ	0.896 ***	-						
SLJ	0.663 ***	0.610 ***	-					
CMJ _h	0.620 ***	0.551 ***	0.686 ***	-				
RJ _{index}	0.557 ***	0.522 ***	0.567 ***	0.533 ***	-			
RJ _h	0.580 ***	0.510 ***	0.666 ***	0.610 ***	0.798 ***	-		
RJ _{ct}	-0.200 **	-0.240 ***	NS	NS	-0.640 ***	NS	-	
F _{max}	NS	NS	0.292 **	NS	0.198 *	0.241 *	NS	-

SFJ: Standing five jump, STJ: Standing triple jump, SLJ: Standing long jump, CMJ_h: Counter movement jump height, RJ_{index}: Rebound jump index, RJ_h: Rebound jump height, RJ_{ct}: Rebound jump contact time, F_{max}: Isometric maximum leg extension force, V₅₀: 50m sprinting velocity.

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

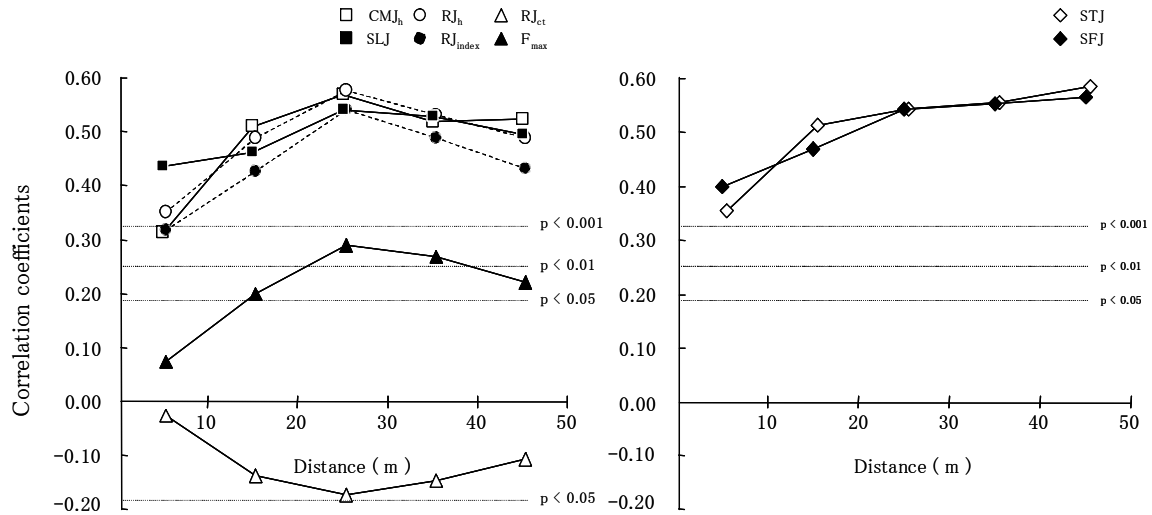


Fig. 3 Changes in correlation coefficients between sprinting velocity at 10m intervals and several parameters. (◆): Standing five jump; (◇): Standing triple jump; (■): Standing long jump; (□): Counter movement jump height; (●): Rebound jump index; (○): Rebound jump height; (△): Rebound jump contact time; (▲): Isometric maximum leg extension force.

Ⅲ. 研究課題2 《両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の優劣が疾走能力に及ぼす影響》

1. 方 法

1) 被験者

被験者は、高等専門学校に在籍する男子生徒 59 名とした。被験者には、予め本研究の主旨と内容について説明し、実験参加への同意を得るとともに、データの発表についての了承を得た。本研究は、研究実施機関における研究遂行の許可を得た上で実施した。

2) 疾走能力の評価

本研究では、研究課題1と同様の方法を用いて 50 m 疾走速度および 10 m 区間毎の疾走速度を算出し、区間疾走速度の最大値を最大疾走速度とした。また、10 m 区間毎の疾走速度の増加分 (Δv) を疾走時間の増加分 (Δt) で除することにより加速度を算出し、その最大値を最大加速度とした。

3) 両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の評価

本研究では、疾走運動と同様に循環型運動の SSC 運動能力に着目し、上方への移動を伴う両脚同時の SSC 運動能力についてはリバウンドジャンプのパフォーマンスを、前方への移動を伴う片脚交互の SSC 運動能力については立五段跳のパフォーマンスを評価した。測定は、研究課題1と同様の方法で行なった。

本研究では、 RJ_{index} および立五段跳の跳躍距離の平均値を基準として、SSC 運動能力が両脚同時および片脚交互ともに優れるグループ (G I)、両脚同時に劣り片脚交互に優れるグループ (G II)、両脚同時に優れ片脚交互に劣るグループ (G III) および両脚同時および片脚交互ともに劣るグループ (G IV) の 4 グループに被験者を分類した (Fig. 4)。各グループに分けられた被験者の年齢、身長および体重は Table 6 に示した。

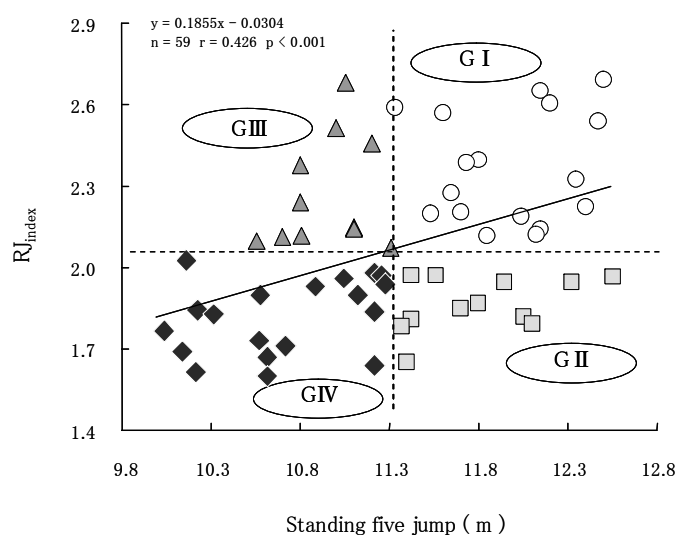


Fig. 4 Relation between standing five jump and RJ_{index} . The classification according to the jumping ability was based on the mean of standing five jump and RJ_{index} .

Table 6 Means and standard deviations for characteristics of subject.

Item (unit)	All subjects	G I	G II	G III	G IV
Age (yr)	15.6±0.3	15.6±0.2	15.8±0.2	15.6±0.3	15.6±0.3
Body height (cm)	168.4±5.7	170.5±4.8	170.8±7.1	165.6±5.5	166.7±4.3
Body mass (kg)	58.1±8.1	58.1±6.7	60.1±9.1	57.7±6.9	57.0±9.6

G I : SFJ and RJ_{index} are superior, G II : SFJ is superior and RJ_{index} is inferior, G III : SFJ is inferior and RJ_{index} is superior, G IV : SFJ and RJ_{index} are inferior

4) 統計処理

本研究で用いた数値は、全て平均±標準偏差で示した。RJ_{index}と立五段跳の跳躍距離との関係については、ピアソンの相関係数の検定 (Pearson's correlation coefficient test) を実施した。また、SSC 運動能力別に分類した疾走能力の評価指標の比較には、一元配置分散分析 (One-Way ANOVA) を実施した。統計処理の有意性は危険率 5%未満とした。

2. 結果

Fig. 4 には、RJ_{index}と立五段跳の跳躍距離との相関関係を示した。両者の間には有意な関係が認められた ($p < 0.001$)。被験者を RJ_{index} および立五段跳の跳躍距離の平均値を基準とした 4 グループに分類したところ、図のように G I は右上、G II は右下、G III は左上および G IV は左下に分布した。

Fig. 5 には、RJ_{index} および立五段跳の跳躍距離を SSC 運動能力別の 4 グループに分類して示した。RJ_{index} は、G I、G III、G II および G IV の順に高い値を示し、G I が G II および G IV と比較して、G III が G II および G IV と比較して有意に高い値を示した。また、立五段跳の跳躍距離は、G I、G II、G III および G IV の順に高い値を示し、G I が G III および G IV と比較して、G II が G III および G IV と比較して有意に高い値を示した。

Fig. 6 には、50 m 疾走速度を SSC 運動能力別の 4 グループに分類して示した。50 m 疾走速度は、G I、G III、G II および G IV の順に高い値を示し、G I、G II および G III が G IV と比較して有意に高い値を示した。

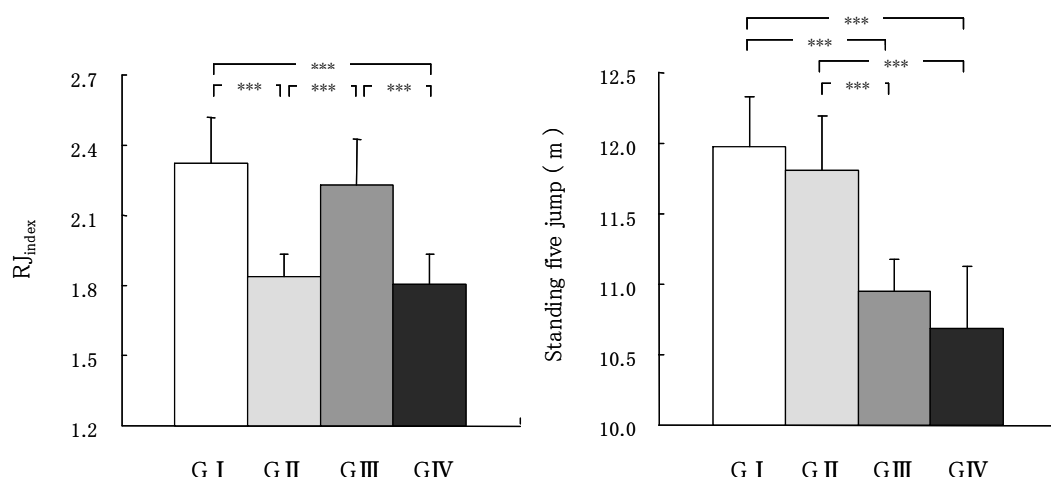


Fig. 5 Comparison of jumping performances by difference of achievement ability of the stretch - shortening cycle movement. *** < 0.001

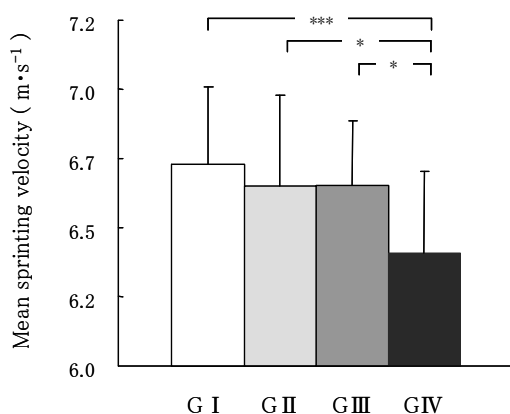


Fig. 6 Comparison of 50 m mean sprinting velocity by difference of achievement ability of the stretch - shortening cycle movement. * < 0.05, *** < 0.001

Fig.7 には、最大加速度および最大疾走速度を SSC 運動能力別の 4 グループに分類して示した。最大加速度は、GⅢ、GⅡ、GⅠ および GⅣの順に高い値を示し、GⅠ、GⅡ および GⅢが GⅣと比較して有意に高い値を示した。一方、最大疾走速度は、GⅠ、GⅡ、GⅢおよび GⅣの順に高い値を示し、GⅠが GⅣと比較して有意に高い値を示した。

Fig. 8 には、対照的なグループの傾向を比較するため、GⅠと GⅣ（左図）および GⅡと GⅢ（右図）における 10 m 区間毎の疾走速度を分けて示した。0 - 10 m 区間の疾走速度は、GⅢ、GⅠ、GⅡ および GⅣの順に高い値を示すが、10 - 20 m 区間から 40 - 50 m 区間では GⅠ、GⅡ、GⅢおよび GⅣの順に高い値を示した。GⅠと GⅣとの比較では、全ての区間において GⅠの疾走速度が GⅣより高い値を示し、20 - 30 m 区間を除く全ての区間において有意な差が認められた。一方、GⅡと GⅢとの比較では、0 - 10 m 区間において GⅢの疾走速度が GⅡより有意に高い値を示したが、10 - 20 m 区間以降は GⅡの疾走速度が GⅢより高い値を示した。

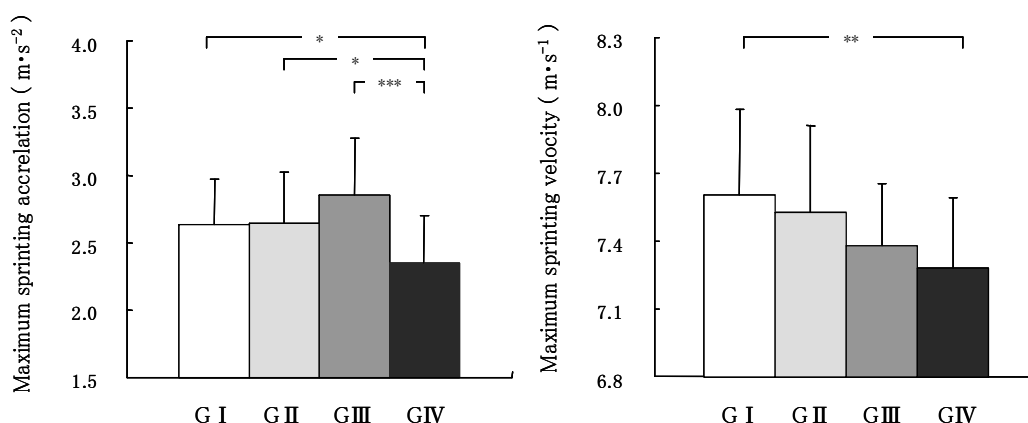


Fig. 7 Comparison of maximum acceleration and maximum sprinting velocity by difference of achievement ability of the stretch - shortening cycle movement. * < 0.05, ** < 0.01, *** < 0.001

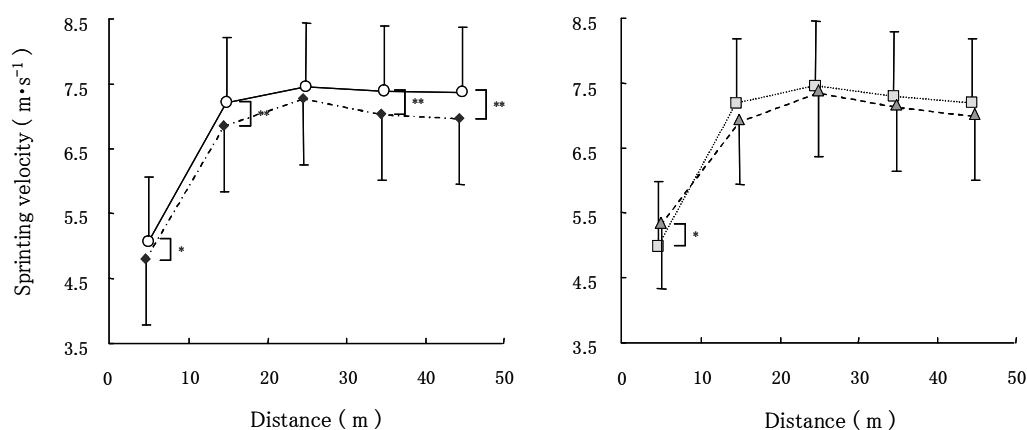


Fig. 8 Comparison of sprinting velocity curve by difference of achievement ability of the stretch - shortening cycle movement. (○): GⅠ, (□): GⅡ, (△): GⅢ, (◆): GⅣ * < 0.05, ** < 0.01

IV. 研究課題3 《プライオメトリックスが疾走能力に与える効果》

1. 方 法

1) 被験者

被験者は、これまで計画的にプライオメトリックスや筋力トレーニングを実施した経験のない、高等専門学校の一年次に在籍する男子生徒 97 名（年齢 15.6 ± 0.3 歳，身長 168.8 ± 6.0 cm および体重 59.3 ± 9.3 kg）とし、プライオメトリックス群，筋力トレーニング群，複合トレーニング群およびコントロール群に分類した。各トレーニング群における年齢，身長および体重は Table 7 にまとめて示した。被験者には，予め本研究の主旨と内容について説明し，実験参加への同意を得るとともに，データの発表についての手承を得た。本研究は，研究実施機関における研究遂行の許可を得た上で実施した。

Table 7 Means and standard deviations for subject characteristics of the each training group

	Plyometrics (n=20)	Resistance training (n=21)	Complex training (n=27)	Control (n=29)
Age (yr)	15.6 ± 0.4	15.6 ± 0.3	15.6 ± 0.3	15.5 ± 0.3
Body height (cm)	166.9 ± 4.8	168.7 ± 7.3	169.4 ± 5.7	169.6 ± 5.9
Body mass (kg)	59.8 ± 12.2	57.2 ± 8.3	59.0 ± 8.0	60.7 ± 9.1

2) トレーニング

本研究では，プライオメトリックス，筋力トレーニングおよび複合トレーニングを週 1 回の頻度で 8 週間連続して被験者に実施させた。各トレーニングプログラムの回数およびセット数は，Table 8 に示した。被験者には，本研究に特別な運動を行なわないよう指示をした。

Table 8 Each training programs and number of jumps per session

Exercise	Plyometrics		Resistance training		Complex training	
	Reps	Series	Reps	Series	Reps	Series
Leg lunge			10	6	10	3
Single leg squat			10	6	10	3
Squat			10	6	10	3
Hurdle jump	6	6			6	3
Skiping	10	6			10	3
Bounding	10	6			10	3

A. プライオメトリックス

プライオメトリックス群では，被験者を二列縦隊に整列させて一人ずつ交互に運動することが可能なハードルジャンプ，スキップおよびバウンディングの三種目を採用した。

ハードルジャンプは，池田・淵元（2005）と同様に 90 cm の間隔で並べられた 6 台のハードルを両脚で跳び越えていくものとした。トレーニングは，被験者の安全を考慮して左右対称に並べたハードルの間にゴムチューブを張ったものを用いた。高さは 40 cm および 60 cm の二種類を設定し，被験者の SSC 運動能力に応じてトレーニングする高さを選択させた。6 回の連続したハードルジャンプを 1 セットとし，6 セット行なわせた。スキップは，数歩の助走をつけた後に，跳躍距離の獲得を意識させながら左右交互に 10 回の連続したジャンプを 1 セッ

トとし、6 セット行なわせた。バウンディングは、直立の状態から左右交互に 10 回の連続したジャンプを 1 セットとし、6 セット行なわせた。これらのトレーニングでは、できるだけ接地時間を短くして膝関節を曲げすぎないように意識させた。

B. 筋力トレーニング

筋力トレーニング群には、レッグランジ、シングル・レッグ・スクワットおよびスクワットの三種目を行なわせた。このうち、レッグランジはプライオメトリックスと同様に被験者を二列縦隊に整列させてトレーニングを実施した。レッグランジは自重負荷とし、両脚の接地時に股関節を伸展させた脚の膝が地面に触れることを条件とした。左右交互に 10 回の連続した運動を 1 セットとし、6 セット行なわせた。

シングル・レッグ・スクワットおよびスクワットは、被験者を三人一組にしてパートナーに膝関節角度を確認してもらうよう指示をした。シングル・レッグ・スクワットは自重負荷とし、膝関節角度 90 度まで屈曲することを条件とした。姿勢バランスの保持を目的に補助者を利用することは認めるが、脚伸展運動の助力としてはならないことを指示した。片脚 10 回の連続した下肢の屈伸を 1 セットとし、左右の脚それぞれに 6 セット行なわせた。スクワットは、体重の近似した被験者を負荷として背負い、膝関節角度 90 度まで屈曲することを条件とした。両脚 10 回の連続した下肢の屈伸を 1 セットとし、6 セット行なわせた。筋力トレーニングのプログラムは、いずれも反動を利用せずに指導者の合図に合わせて 2 秒に 1 回の頻度で運動を反復するよう指示をした。

C. 複合トレーニング

複合トレーニング群は、プライオメトリックスおよび筋力トレーニングをそれぞれ 3 セットずつ行なわせた。

3) 疾走能力の評価

本研究では、研究課題2と同じ方法を用いた。

4) 両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の評価

本研究では、研究課題1と同じ方法を用いた。

5) 脚筋力の評価

本研究では、研究課題1と同じ方法を用いた。

6) 統計処理

本研究で用いた数値は、全て平均±標準偏差で示した。トレーニング前後における各測定値を比較するための検定として、F 検定 (F - test) により二群の等分散性を確認した後にスチューデントの t 検定 (Student's t - test) を実施した。いずれの統計処理も有意性は危険率 5% 未満とした。

2. 結 果

Fig. 9 は、50 m 疾走速度をトレーニング前後で比較したものである。50 m 疾走速度は、プライオメトリックス群および複合トレーニング群において有意な増加を示した。

Fig. 10 は、最大加速度および最大疾走速度をトレーニング前後で比較したものである。最大疾走速度は、プライオメトリックス群において有意な増加を示したが、最大加速度は、いずれの群においても有意な変化を示さなかった。

Fig. 11 は、10 m 区間毎の疾走速度をトレーニング前後で比較したものである。0 - 10 m から 20 - 30 m 区間における疾走速度は、いずれの群においても有意な変化を示さなかった。一方、30 - 40 m および 40 - 50 m 区間における疾走速度は、プライオメトリックス群のみが有意な増加を示した。

Fig. 12 は、両脚同時の SSC 運動能力の評価指標とした RJ_{index} 、リバウンドジャンプの接地時間と跳躍高、垂直跳の跳躍高および立幅跳の跳躍距離をトレーニング前後で比較したものである。 RJ_{index} は、プライオメトリックス群および複合トレーニング群において有意な増加を示した。また、リバウンドジャンプの接地時間は、プライオメトリックス群において有意な減少を示した。さらに、垂直跳の跳躍高は複合トレーニング群において有意な増加を示した。一方、リバウンドジャンプの跳躍高および立幅跳の跳躍距離は、いずれの群も有意な変化を示さなかった。

Fig. 13 は、立五段跳および立三段跳の跳躍距離をトレーニング前後で比較したものである。立五段跳は、

プライオメトリックス群において有意な増加を示した。また、立三段跳は、プライオメトリックス群および複合トレーニング群において有意な増加を示した。

Fig. 14 は、脚筋力をトレーニング前後で比較したものである。脚筋力は、いずれの群も有意な変化を示さなかった。

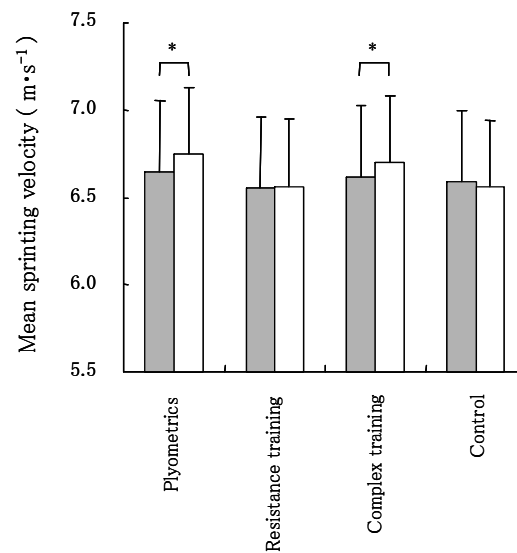


Fig. 9 Comparison of 50 m mean sprinting velocity in each training group. * $p < 0.05$

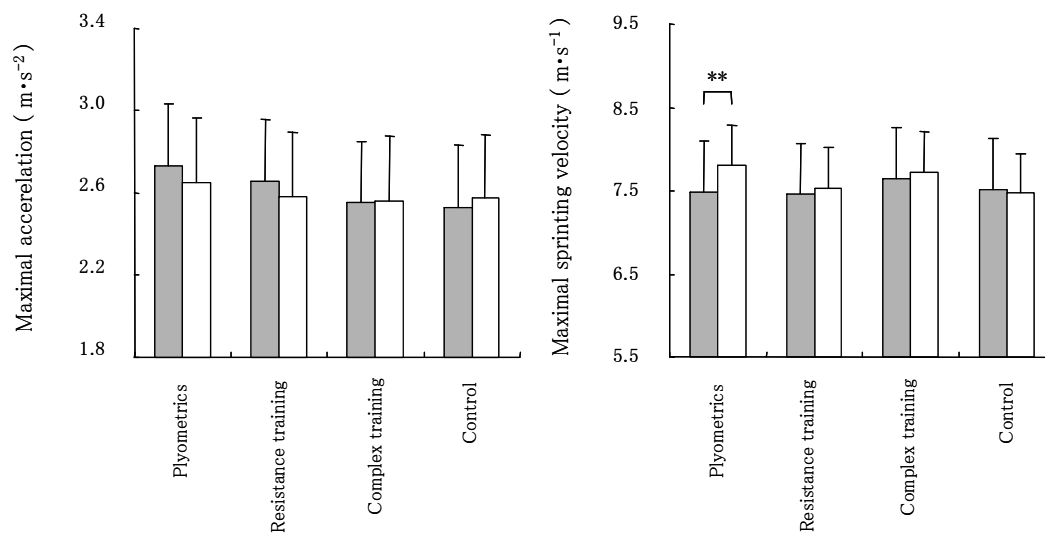


Fig. 10 Comparison of maximal acceleration and maximal sprinting velocity in each training group. ** $p < 0.01$

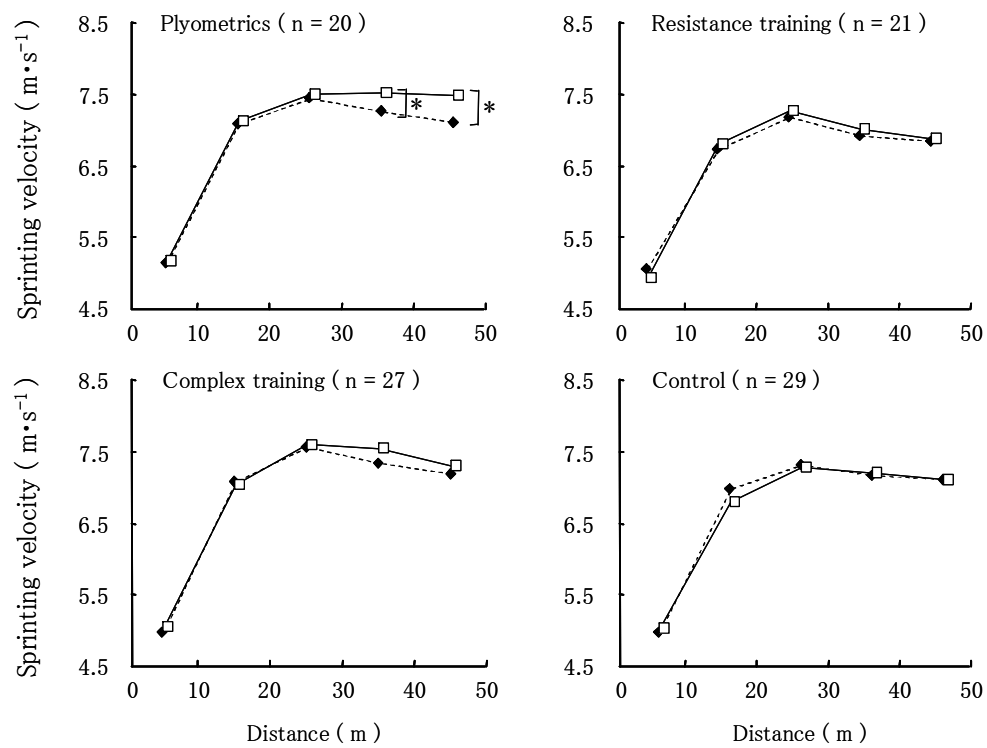


Fig. 11 Changes in sprinting velocity at 10 m intervals of each training group. The dotted line indicates pre-training, and the solid line indicates post-training. *p<0.05

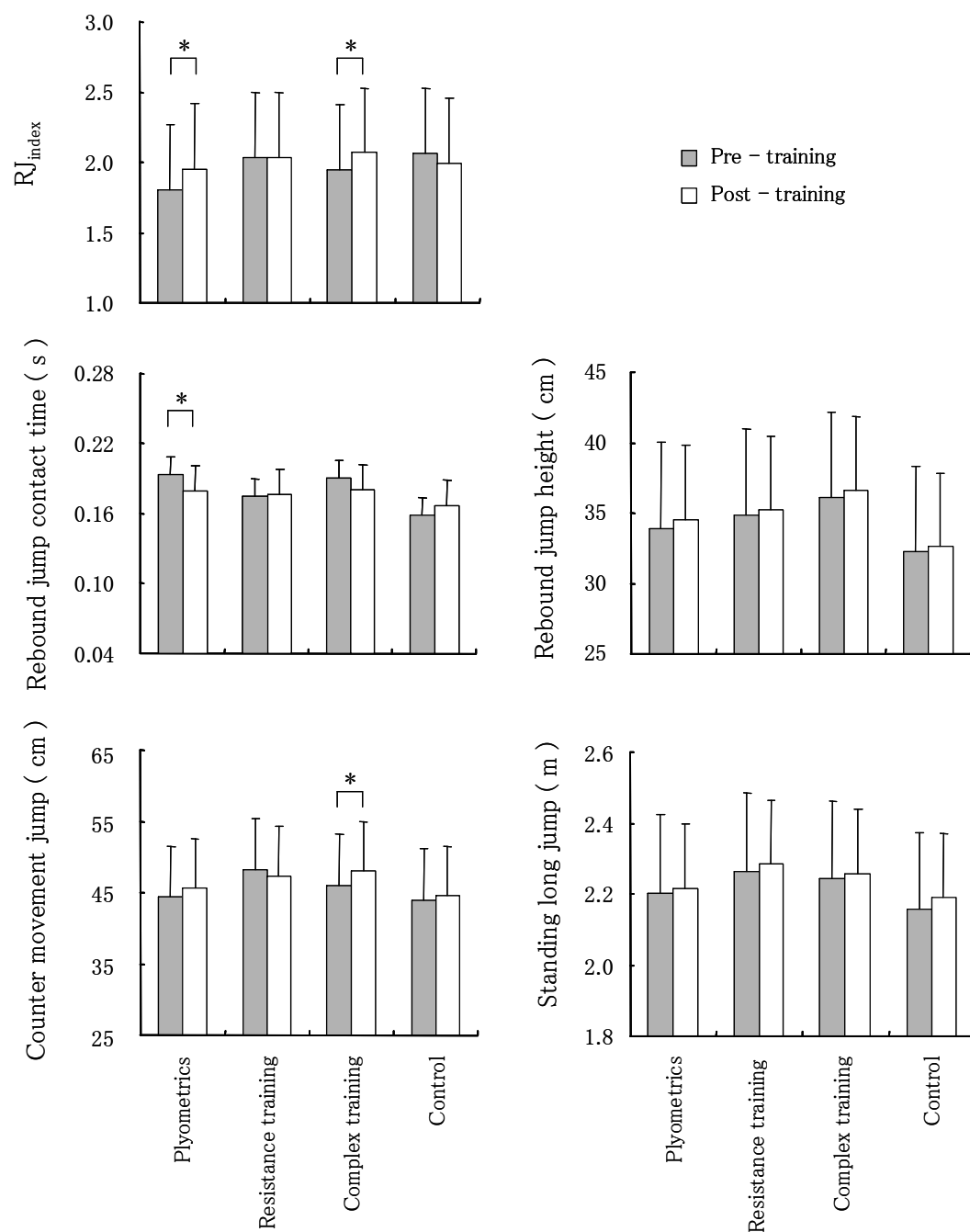


Fig. 12 Comparison of both legs simultaneous jump parameters in each training group. * $p < 0.05$

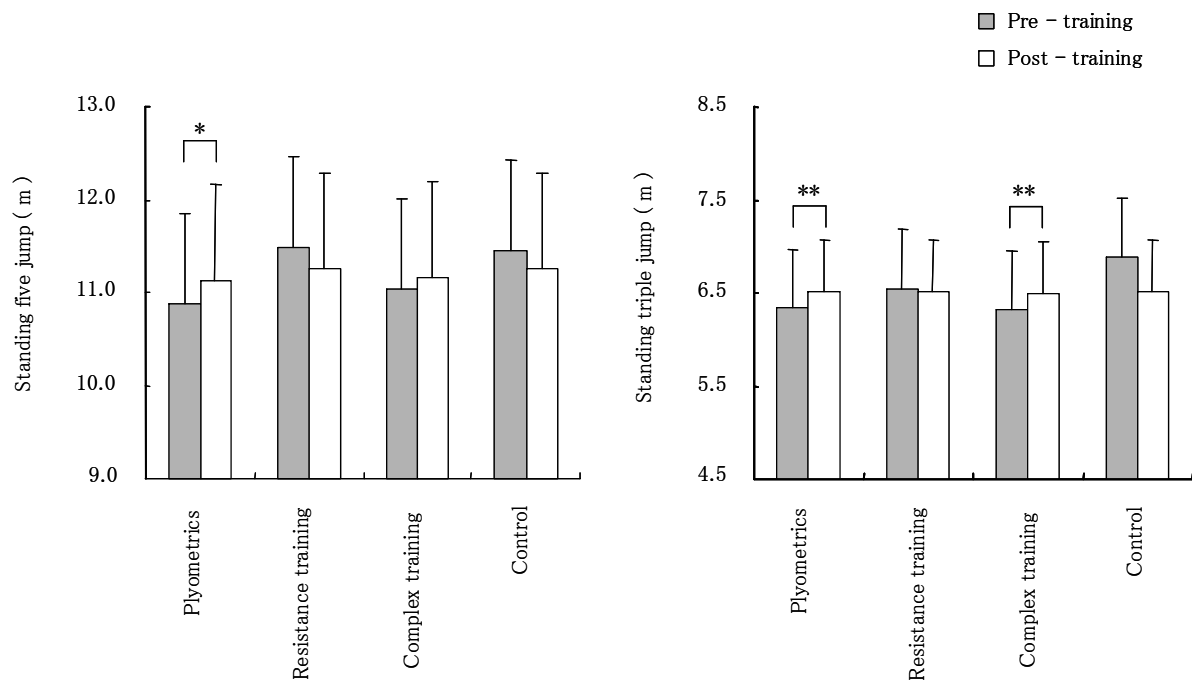


Fig. 13 Comparison of one leg alternation jump parameters in each training group.
 * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

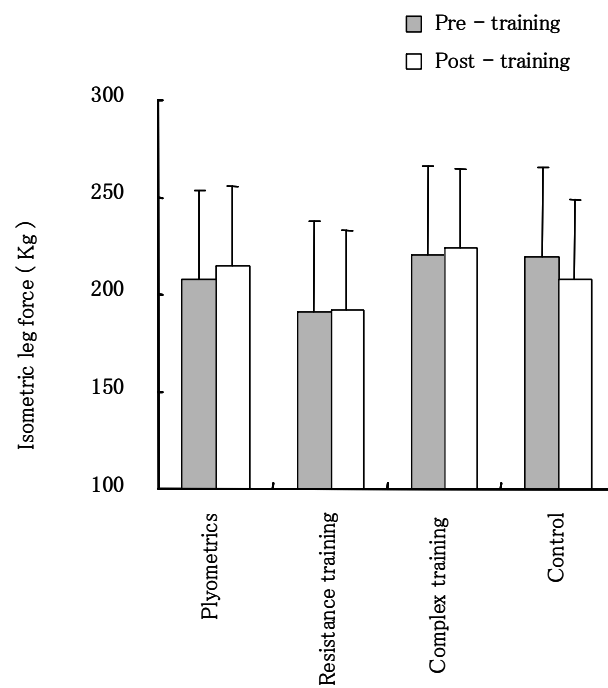


Fig. 14 Comparison of isometric leg force in each training group.

V. 総 括

1. 疾走能力を規定する体力因子としての SSC 運動能力

これまで多くの研究において、疾走能力と SSC 運動能力との間には、強い関係が認められると報告されてきた (Costill et al., 1968; Mero et al., 1981; Bosco et al., 1983; 岩竹, 1999; 岩竹ほか, 2001, 2002; Berthoin et al., 2001; Chelly and Denis, 2001; Hennessy and Kilty, 2001; Bret et al., 2002; Young et al., 2002; Iwatake, 2003; Wisloff et al., 2004). しかし、これらの報告は、短距離走における疾走速度、最大加速度または最大疾走速度と、垂直跳、リバウンドジャンプやドロップジャンプにおけるパワー (Bosco et al., 1983), stiffness (McMahon et al., 1987) または跳躍高といった、両脚同時の SSC 運動能力との関係から導かれた示唆であった。

そこで、本研究では、疾走能力と両脚同時の SSC 運動能力との関係に加え、これまで検討されてこなかった疾走能力と片脚交互の SSC 運動能力との関係についても詳細な分析を進めた。その結果、50 m 疾走速度と SSC 運動能力との相関係数は、両脚同時の SSC 運動能力 (立幅跳の跳躍距離、垂直跳の跳躍高、リバウンドジャンプの跳躍高および RJ_{index}) に比較して、片脚交互の SSC 運動能力 (立五段跳および立三段跳の跳躍距離) において強くなる傾向を示した。また、疾走能力と脚筋力 (等尺性最大脚伸展筋力) についても相関係数を検討したところ、両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力に比較して関係が弱いことが認められた (研究課題1 Fig. 2)。さらに、本研究では、局面別の疾走能力と両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力との関係についても検討を加えた。その結果、疾走距離の進行に伴い、疾走速度と両脚同時の SSC 運動能力との相関係数は次第に増加するが、最大疾走速度に到達した後は低下する傾向を示した。一方、疾走速度と片脚交互の SSC 運動能力との相関係数は、スタートからゴールまで増加し続ける傾向を示した (研究課題1 Fig. 3)。

次に、本研究では、被験者を両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力の優劣により複数のグループに分類し、各グループの疾走能力を比較することで、疾走能力と SSC 運動能力との構造関係について検討した。その結果、スタート直後の一次加速疾走局面における疾走能力に影響する SSC 運動能力は、両脚同時に優れていること、片脚交互または両脚同時および片脚交互に優れていること、両脚同時および片脚交互に劣ること、の順に重要となることが考えられた。また、二次加速疾走局面から最大疾走局面における疾走能力に影響する SSC 運動能力は、両脚同時および片脚交互に優れること、片脚交互に優れること、両脚同時に優れること、両脚同時および片脚交互に劣ること、の順に重要となることが考えられた (研究課題2 Fig. 7 および 8)。

前述した、研究課題1および研究課題2により得られた知見を統合すると、高い疾走能力を獲得するためには、両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力に優れていること、疾走能力を規定する SSC 運動能力には、両脚同時の SSC 運動能力が片脚交互の SSC 運動能力に影響するという、階層的な構造関係にあることが考えられた。また、加速疾走局面における疾走能力には、両脚同時の SSC 運動能力が、最大疾走局面における疾走能力には、片脚交互の SSC 運動能力が、より重要となることも考えられた (Fig. 15)。これらの関係が示された理由として、加速疾走では主に脚の屈曲伸展を伴い、膝および足関節伸展筋力の重要性が高いことが両脚同時の SSC 運動に類似することと、最大疾走では主に脚の振込動作を伴い、股関節伸展筋力の重要性が高いことが片脚交互の SSC 運動に類似することが推察される。

本研究の結果から、疾走能力を改善するためのプライオメトリックスのプログラムを考える場合、両脚同時の SSC 運動能力を改善するとともに、両脚同時の SSC 運動能力を片脚交互へと転換させるトレーニングを実施することにより疾走能力を改善させることが有効と考えられた。

2. プライオメトリックスによる SSC 運動能力の適応と疾走能力の改善

研究課題1および研究課題2において、加速疾走局面および最大疾走局面における疾走能力と両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力との関係について検討した。その結果、両脚同時の SSC 運動能力を改善することは、加速疾走局面における疾走能力の改善に影響する可能性が、片脚交互の SSC 運動能力を改善することは、最大疾走局面における疾走能力の改善に影響する可能性があると考えられた。したがって、前述の示唆は、これまで明確にされてこなかった、多様に存在するプライオメトリックスにより高められた SSC 運動能力が、疾走能力へ転移するメカニズムを知る手がかりになると考えられる。

そこで、本研究では、被験者に対してプライオメトリックスを導入することにより、局面別の疾走能力がどのように改善されるのか、SSC 運動能力の適応を手がかりに検討することにした。その結果、最大疾走速度と 30 - 40 m および 40 - 50 m 区間における疾走速度が増加し、50 m 疾走能力が改善した。(研究課題3 Fig. 11) また、プライオメトリックスにより、リバウンドジャンプの接地時間が短縮することで RJ_{index} が増加し、立五段跳および立

三段跳の跳躍距離が増加した（研究課題3 Fig. 12 および 13）。

これらのことから、脚が短時間で大きな力を発揮する SSC 運動能力が高まること、特に片脚交互の SSC 運動能力が改善したことで、最大疾走局面における疾走能力が改善したものと推察された。しかし、本研究では、両脚同時の SSC 運動能力が改善したにも関わらず、加速疾走局面における疾走能力の改善が認められなかった。本研究と同様に、プライオメトリックスが疾走能力に与える効果を検討した報告によると、思春期前期における児童では加速疾走局面における疾走能力に改善が認められないが（Kotzamanidis, 2000）、青年期のスポーツ選手では改善が認められている（Rimmer and Sleivert, 2000）。

これらの報告における大きな違いは、Kotzamanidis (2000) が平地においてトレーニングを実施していたのに対して、Rimmer and Sleivert (2000) は段差を利用したトレーニングも含めていたことであった。平地ではより短時間で踏み切りが可能になるが、段差がある場合には接地時間が長くなり、平地に比較して大きな力積を発揮しなければならない。したがって、プライオメトリックスにより加速疾走局面における疾走能力を改善する場合、加速疾走局面におけるパワー発揮特性を考慮して、より大きな力積を発揮できるようなプログラムを立案する必要があるといえよう。

本研究の結果から、短い接地時間を意識したプライオメトリックスにより、両脚同時および片脚交互の SSC 運動能力を改善することは、最大疾走局面における疾走能力の改善に有効であるが、加速疾走局面における疾走能力の改善を考える場合には、本研究において実施したトレーニングとは異なるプログラムを検討する必要があると考えられた。

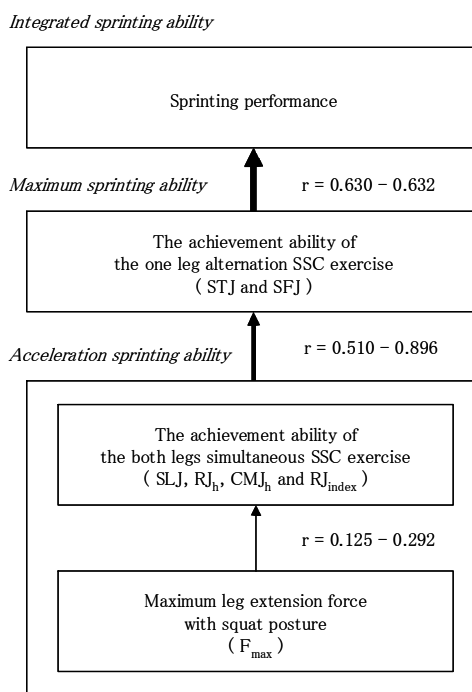


Fig. 15 Correlation analyses among the most important determinants of sprinting performance in the present study. STJ: Standing triple jump; SFJ: Standing five jump; SLJ: Standing long jump; RJ_h: Rebound jump height; CMJ_h: Counter movement jump height; RJ_{index}: Rebound jump index; F_{max}: Isometric maximum leg extension force.

参考資料

- Berthoin, S., Dupont, G., Mary, P., and Gerbeaux, M. (2001) Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field tests in physical education students. *J. Strength Cond. Res.*, 15: 75-80.
- Bosco, C., Luhtanen, P., and Komi, P.V. (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50: 273-282.
- Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A.B., Messonnier, L., and Lacour, J.R. (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42: 274-281.
- Chelly, S.M. and Denis, C. (2001) Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: 326-333.
- Costill, D.L., Miller, S.J., Myers, W.C., Kehoe, F.M., and Hoffman, W.M. (1968) Relationship among selected test of explosive leg strength and power. *Res. Q.*, 39: 785-787.
- Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R., and Goris, M. (1995) Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 1203-1209.
- Fukashiro, S. and Komi, P.V. (1987) Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *Int. J. Sports Med.*, 8: 15-21, Suppl.
- 深代千之 (1992) 瞬発性運動における発揮パワーの評価. *Jpn. J. Sports Sci.*, 11: 176-187.
- Hennessy, L. and Kilty, J. (2001) Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 15: 326-331.
- Ikai, M. and Fukunaga, T. (1968) Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol.*, 26: 26-32.
- 池田祐介・淵本隆文 (2005) ダブルレッグホップのトレーニングにともなう下肢関節のモーメントとパワーの変化. *体育学研究*, 50: 1-11.
- 岩竹 淳 (1999) 連続跳躍運動におけるパワー発揮能力と陸上競技選手のスプリント能力との関係. 日本女子体育大学大学院修士学位論文.
- 岩竹 淳・永澤 健・伊澤英紀・中村夏実・小田宏行・鈴木朋美・飯田晴子 (2001) 疾走直後の血中乳酸濃度によるコンディション評価. *トレーニング科学*, 13: 13-20.
- 岩竹 淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・永澤 健・岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 47: 253-261.
- Iwatake, J. (2003) Importance of stretch - shortening cycle exercise in the transition phase of sprinting. 8th Annual Congress of the European College of Sport Science, Salzburg, Austria.
- 木越清信・岩井浩一・島田一志・尾縣 貢 (2004) ドロップジャンプにおける姿勢が下肢関節 Kinetics およびジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. *体育学研究*, 49: 435-445.
- Kotzamanidis, C. (2006) Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J. Strength Cond. Res.* 20: 441-445.

Locatelli, E. (1996) The importance of anaerobic glycolysis and stiffness in the sprints (60, 100 and 200metre). *New Studies in Athletics*, 11: 121-125.

MacMahon, T.A., Valiant, G., and Frederick, E.C. (1987) Groucho running. *J. Appl. Physiol.*, 62: 2326-2337.

Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J.T., and Komi, P.V. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.*, 3: 16-22.

Mero, A. and Komi, P.V. (1986) Force-, EMG, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 553-561.

Mero, A. (1988) Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Res. Q.*, 59: 94-98.

Mero, A. and Komi, P.V. (1990) Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61: 73-80.

Mero, A. and Komi, P.V. (1994) EMG, force, and power analysis of sprint-specific strength exercise. *J. Appl. Biomech.*, 10: 1-13.

Rimmer, E. and Sleivert, G. (2000) Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.* 14: 295-301.

Schmolinsky, G. (1966) *Leichtathletik*. Sportverlag. Berlin.

田内健二・尹 聖鎮・栗山佳也・高松 薫 (2002) 下肢のバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた槍投げ競技者の体力特性. *体育学研究*, 47: 569-577.

Viitasalo, J.T., Luhtanen, P., Mononen, H.V., Norvapalo, K., Paavolainen, L., and Salonen, M. (1997) Photocell contact mat: A new instrument to measure contact and flight times in running. *J. Appl. Biomech.*, 13: 254-266.

Wilson, G.J., Newton, R.U., Murphy, A.J., and Humphries, B.J. (1993) The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25: 1279-1286.

Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., and Hoff, J. (2004) Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.*, 38: 285-288.

Young, W.B., Wilson, G.J., and Byrne, C. (1999) A comparison of drop jump training method: Effects on leg extensor strength qualities. *Int. J. Sports Med.*, 20: 295-303.

Young, W.B., Jamse, R., and Montgomery, J.I. (2002) Is muscle power related to running speed with changes of direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42: 282-288.

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: 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着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響 — 膝関節角度に着目して —. *体力科学*, 45: 209-218.