

陸上競技短距離走選手のスプリントパフォーマンス向上に伴う
疾走速度に関連する要因の変化
- 100m 走で自己記録を 10 秒台に更新した短距離走選手を対象として -

吉本隆哉¹⁾, 斉藤静真²⁾

¹⁾ 国立スポーツ科学センター

²⁾ 鹿屋体育大学

キーワード: 形態, 身体組成, 筋力, 自転車ペダリングパワー, ジャンプ

【要旨】

ある体育大学に所属する男子陸上競技短距離走選手(SS 選手)は, 高校 3 年に 100m 走で 11.10s を記録してから, 大学 3 年まで記録を更新できないまま競技生活を送っていた. SS 選手は, 大学 3 年の 3 月に, 他大学との合同合宿の際, 疾走速度に関連する要因となるいくつかの能力を測定した結果, 10 秒台の記録を持つ選手に劣る項目がいくつかみられた. そこで, それらの要因を改善するさまざまな取り組みを行うことで, 大学 4 年の 8 月に 4 年ぶりの自己記録の更新(10.96s)を果たし, 9 月には 10.94s を出すことに成功した.

そこで本研究は, SS 選手が 100m 走で 11 秒台であった時期から 10 秒台に記録を更新した時期における疾走速度に関連する要因の変化を明らかにし, その結果から運動指導現場における 10 秒台への記録更新に役立つ重要な知見を明示することを目的とした.

本研究の結果, 10 秒台に自己記録を更新した前後で, 競技力の規定要因となる最大疾走速度に増大がみられ, 疾走速度に関連する要因となる形態, 身体組成, 下肢筋群の力発揮能力およびジャンプ能力に改善がみられた. 特に, リバウンドジャンプおよび立五段跳のパフォーマンスに大きな向上が認められた.

本研究で得られたスプリントパフォーマンスに関連する要因の変容を参考として, トレーニングを立案・作成することは, 100m 走で 10 秒台を目指す選手の一助となる.

スポーツパフォーマンス研究, 9, 78-93, 2017 年, 受付日: 2015 年 8 月 14 日, 受理日: 2017 年 3 月 3 日

責任著者: 吉本隆哉 115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1 国立スポーツ科学センター

takaya.yoshimoto@jpnssport.go.jp

**Changes of physical characteristics improve sprinting performances
in sprinter**

Takaya Yoshimoto¹⁾, Shizuma Saito²⁾

¹⁾Japan Institute of Sports Sciences

²⁾National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: anthropometry, body composition, muscle strength, pedaling power, jump performance

【Abstract】

A sprinter who is a student at a sport university ran the 100-meter dash in 11.10 seconds when he was in his senior year in high school. However, he was not able to achieve that result again until he was in his junior year at the university. After he joined a training camp in March of his junior year and various measurements were made to analyze his running ability, it was found that he had some deficiencies compared to other sprinters who were running at the 10-sec level. Then he took various countermeasures and succeeded in improving his record to 10.96 sec in August of his senior year and, further, he achieved 10.94 sec in September.

The present study aimed to identify changes in elements of his running performance in the period in which he improved his results from the 11-sec level to the 10-sec level, and to collect information useful for field training.

The results confirmed that his maximum running speed, which is the basic element of racing power, increased right before he ran the dash at the 10-sec level, and other improvements were also found in his running posture, his physique, the muscle power in his legs, and his jumping ability. In particular, large improvements were observed in his rebound jump and standing 5-step jump.

These results suggest a new training program for sprinters who are aiming at running at the 10-sec level in the 100-meter dash.

I. 問題提起

陸上競技の 100m 走において、競技活動をスタートさせる選手たちの多くは、まず「11 秒を切り、10 秒台を出す」という目標を立て、トレーニングに取り組んでいる。これは、10 秒 9 台というタイムが、中学生では全日本中学校陸上競技選手権大会の 4~6 位入賞(タイム:10.91 s~10.99 s, Athlete Ranking, 2015)に、高校生では全国高等学校陸上競技対校選手権大会の出場レベル、もしくは地区予選会の準決勝から決勝進出レベル(全国高等学校陸上競技対校選手権大会近畿地区予選会準決勝進出タイム:10.72~10.90 s, 全国高等学校陸上競技対校選手権大会南九州地区予選大会 6 位入賞タイム:10.96 s, Athlete Ranking, 2015)に、大学生では関西学生陸上競技対抗選手権大会などの地方 IC に出場する条件に相当する記録(関西学生陸上競技連盟, 2015)となり、各世代の目標となる競技大会への出場に必要となるタイムである(2015 年度現在)ことが挙げられる。

陸上競技短距離走は、最大疾走速度の獲得が競技力を左右する(Mackala et al, 2007; 松尾ら, 2008)ことから、この能力を高めることが 10 秒台、そしてさらにその先への記録更新に重要な要素となる。そのようなことから、陸上競技短距離走の競技現場では、シーズン前やシーズン中、シーズン後に最大疾走速度、およびそれと関連のあるとされる能力(形態、身体組成、下肢筋群の力発揮能力およびジャンプ能力)をパフォーマンス評価という形で計測する(図子, 2016)。

疾走速度に関連する要因については、形態、身体組成、脚筋力および自転車ペダリングパワーとの関連が数多く検討されており、それらの能力が疾走速度に影響することが報告されている(狩野ら, 1997; 山本ら, 1992; 渡邊ら, 2000; Weyand and Davis, 2005; Copaver et al., 2012; Mackala et al., 2015)。また、100m 走時の疾走速度は、疾走時の鉛直および水平方向の地面反力と有意な相関関係にあることから(Hunter et al., 2005)、鉛直および水平方向の跳躍能力との関連についても検討が行われている(Mero et al., 1981; Bosco et al., 1983; Young et al., 1995, 2002; 岩竹ら, 2002, 2008; Mackala et al., 2015; 吉本ら, 2015)。陸上競技短距離選手を対象とした報告において、疾走能力と鉛直方向(垂直跳, リバウンドジャンプ)および水平方向(立幅跳, 立五段跳)のジャンプ能力との間には有意な相関関係にあったことが示されている(吉本ら, 2015)。以上のことは、形態、身体組成、筋力、自転車ペダリングパワーおよびジャンプ能力が最大疾走速度に関連する要因となることを示しており、陸上競技短距離走では、それらの先行知見や現場で得られた経験をもとに、上記に示したような疾走速度に関連する要因となる能力が測定されている。

しかしながら、これまで疾走能力との関係を明らかにした先行知見のほとんどは、横断的な研究により明らかにされたものであり、縦断的な疾走能力の変容と上記に示すような能力の変化について検討した報告は少ない。100m 走の自己記録の変容と、疾走速度に関連する要因の変化を縦断的に明らかにすることができれば、陸上競技短距離走現場で役立つ有用な知見を明示できる可能性がある。さらにその変化について 11 秒台から 10 秒台に記録を更新した選手を対象とすることで、陸上競技短距離走選手の多くが目指す 10 秒台を出すために必要となる可能性のある能力を明らかにできると考えられる。

II. 本研究の目的

ある大学男子陸上競技短距離選手である SS 選手は、高校生の頃から 10 秒台を出すことを目標としてトレーニングを行っていたが、高校 3 年の自己ベスト記録(11.10s)から、大学 3 年まで記録を更新で

きないまま競技生活を送っていた。その要因として、高校生期から発症しているハムストリングスの肉離れを、大学生期でも発症しており、練習を継続的に実施することが容易ではなかつた時期があつた。そのような中、大学3年の3月に行つたパフォーマンス評価で、100 m 走の自己記録が10 秒 61 にある選手と比較して、多くの能力が劣る傾向にあつた。項目別に概観すると、ハムストリングスに左右差がみられ、また試合期のパフォーマンスに強く影響すると考えられている下肢筋群の力発揮能力およびフィールドテストで10 秒 6 にある選手と大きな違いがみられた。SS 選手の自転車ペダリングパワー、垂直跳、立幅跳および立五段跳は、それぞれ 12.4 W/kg, 48.8 cm, 2.55 m および 12.92 m であつたのに対し、自己記録が10 秒 6 にある選手は、14.6 W/kg, 63.0 cm, 2.89 m および 15.02 m であつた(表 1 および 2)。前述したように、自転車ペダリングなどの反復的パワーや、鉛直および水平方向のジャンプ能力はスプリントパフォーマンスとの関連が強いと先行知見(山本ら, 1992; 関子, 2000; Mackala et al., 2015; 吉本ら, 2015)で報告されており、10 秒台選手と比較しても、それらの能力が劣つていたことから、反復的パワーおよびジャンプ能力の改善を中心として、指導書(高野ら, 2008; 土江ら, 2011)等を参考にトレーニングを実施した。加えて、ハムストリングスの肉離れの要因となる左右差(Heiser et al., 1984; Agre, 1985; Yamamoto, 1993; Orchard et al., 1997)がみられたことから、大腿後部の力発揮能力の増大を目的としたエクササイズを実施した。その結果、大学4年の8月に目標であつた10 秒台(10.96s)に記録を更新し、9月においてさらなる自己記録(10.94s)を出すことに成功した。またそれに伴い、疾走速度に関連する要因のいくつかに変容がみられた。

そこで本研究は、SS 選手が11 秒台から10 秒台に記録を更新する前後の疾走速度に関連する要因の縦断的な変化を明らかにすることで、その変化から運動指導現場における10 秒台への記録更新に役立つ知見を明示することを目的とした。

III. 方法

1. 対象者

対象者は、大学男子陸上競技短距離選手1名(年齢22歳、身長175.9cm、体重72.8kg、100m 走自己ベスト記録11.10s)であつた。対象者は上肢あるいは下肢に障害を有しておらず、筋機能に影響を与えるような薬を服用していなかつた。測定の実施に先立ち、対象者には、本研究の目的および実験への参加に伴う危険性について十分な説明を行い、実験参加の同意を書面で得た。

2. 測定プロトコル

SS 選手が11 秒台であつた大学3年の2014年3月と、10 秒台更新後の大学4年の2014年10月における形態、身体組成、筋力、自転車ペダリングパワー、ミニハードルテスト、各種ジャンプパフォーマンスおよび疾走速度について計測を行つた。

1) 形態および身体組成

身長は身長計を用いて0.1 cm 単位で計測した。体肢長は、スチール製メジャーを用いて0.5 cm 単位で、胸囲、腹囲、臀囲、上腕、前腕、大腿および下腿の周径囲は、布メジャーを用いて0.1cm 単位で計測した。

体重および体脂肪率は、単周波生体電気インピーダンス方式の体脂肪率計(DC-320, Tanita 社製)で測定した。除脂肪量および脂肪量は、体重および体脂肪率から算出した。Body mass index (BMI)は、身長と体重から求めた： $BMI(kg/m^2) = \text{体重}(kg) / \text{身長}^2(m^2)$ 。

Bモード法超音波診断装置(Prosound α6, Aloka 社製)を用いて、左右の上腕前後部、前腕、大腿前後部、下腿前後部、腹直筋および大腰筋の筋厚を測定した。探触子プローブの超音波発振周波数は7.5MHzであった。筋厚の測定方法は先行研究(安部と福永, 1995; Takai et al., 2011; 吉本ら, 2012, 2015)に倣った。すなわち、大腰筋を除く部位における測定中の対象者の姿勢は立位で行い、近位から上腕前後部では60%、前腕では30%、大腿前後部では50%、下腿前後部では30%、腹直筋では最大の筋厚となる位置をそれぞれ測定した。大腰筋における測定中の姿勢は腹臥位とし、L4-L5における大腰筋の超音波画像を取得した。

2) 等尺性および等速性筋力

静的筋力測定装置(T. K. K. 5402, 竹井機器工業社製)および多用途筋機能評価運動装置(Biodex System2, Biodex 社製)を用いて、等尺性最大随意収縮による背筋力および股関節屈曲・伸展トルクを測定した。背筋力は、立位姿勢から股関節のみ屈曲し、対象者が力を発揮しやすい位置にバーをセットした。膝関節の伸展動作が影響しないよう意識させ、全力の力を発揮を行わせた。股関節屈曲・伸展動作は仰臥位を解剖学的正位180度として、股関節および膝関節屈曲角度を90度にした状態で利き脚のみ計測を行った。また、単発的な筋活動による脚の総合的なパワーを評価することを目的として、脚筋力出力測定装置(T. K. K. 3103, 竹井機器工業社製)を用いて、等速性の脚伸展運動を行わせ、この時に発揮される機械的パワーを測定した。脚伸展動作は、膝関節を90度に屈曲した姿勢から、両脚において全力で脚の伸展運動を行い、この時に発揮されたパワー(脚伸展開始から終了までの最大パワー)を測定した。運動速度は、0.9m/sとした。測定前に、測定装置および測定手順に慣れることを目的として、対象者の主観的な最大努力の50%および80%での力発揮をそれぞれ1~2回行わせた。測定に際し、対象者には、安静状態から最大努力まで5秒かけて徐々に力発揮を行うように指示した。背筋力および股関節屈曲伸展トルクの測定は2回ずつ行い、脚伸展パワーの測定は5回行った。ただし、2回の測定値の差が10%以上あった場合には3回目の測定を行った。全ての試行のなかで最も高い値を代表値として採用した。

3) 自転車ペダリングパワー

電磁ブレーキ式の自転車エルゴメータ(パワーマックス VIII, Combi 社製)を用いた Wingate Anaerobic Test (Ayalon, 1974)を行った。運動時間は10秒とし、運動開始と同時に全力で漕ぐよう指示した。自転車エルゴメータのサドルの高さは、対象者が最もペダリングしやすい位置にセットし、トゥクリップを装着させた。ペダルの負荷値は、対象者の体重を基準とした相対負荷(体重の7.5%)を用いた。測定値は自転車エルゴメータに付属するミニコンピュータにより算出し、ディスプレイに表示される値から最大パワーおよび最大回転数を検者が読み取り記録した。実施回数は3回とし、最高値を採用した。試行間の休息は5分以上設け、対象者が違和感なく全力で行えることを確認した後に、次の試行を行った。

4) ジャンプパフォーマンス

先行研究の方法(吉本ら, 2015ab)に倣って, 鉛直および水平方向のジャンプパフォーマンスを測定した. 鉛直方向のジャンプ能力として垂直跳およびリバウンドジャンプのパフォーマンスを, 水平方向のジャンプ能力として立幅跳および立五段跳のパフォーマンスをそれぞれ測定した. 垂直跳では, 対象者は立位姿勢から反動を用いて鉛直方向へ最大努力で跳躍を行った. 膝関節屈曲角度は, 対象者の任意とした. リバウンドジャンプでは, 対象者にはできるだけ短い接地時間で, できるだけ高く跳ぶように連続で6回跳躍するよう指示した. 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(マルチジャンプテスト, DKH社製)を用いて滞空時間を計測し, 次式を用いて算出した: 跳躍高 = $1/8 \times$ 重力加速度(g) \times 滞空時間². また, リバウンドジャンプでは, 跳躍高を接地時間で除してリバウンドジャンプ指数を求めた. 立幅跳および立五段跳では, メジャーを用いて跳躍距離(スタート離地時のつま先から着地時の踵までの距離)を測定した. 立幅跳では, 対象者に立位姿勢から反動動作を用いて水平方向へできるだけ遠くに跳ぶように指示した. 立五段跳では, 対象者は立位姿勢から反動動作を用いて水平方向へ跳躍し, 1歩目から4歩目は片脚交互で, 5歩目は両足で着地するよう指示した. 試行回数は3回とし, 最高値を代表値とした. 試行間の休息時間は1分以上設け, 対象者が違和感なく全力で行えることを確認した後に, 次の試行を行った.

5) ミニハードルテスト

本研究では, ピッチと関連するとされるミニハードルテストを測定した(クイックハードル: 土江, 2011; 吉本ら, 2016). クイックハードルは, 高さ22cm, 幅90cmに設置した10台のミニハードル(フレキハードル, NISHI社製)を, 左右斜め方向に脚を素早く切り返す動作であった(動画1). 1台目を越えて1歩目をついた瞬間から10台目を越えて10歩目をついた瞬間までを, ストップウォッチ(インターバルタイマー, SEIKO社製)を用いて計測した. 実施回数は左右5回とし, 左右毎の最高値を採用した. 被検者が違和感なく全力で行えることを確認した後に, 次の試行を行った.

6) スプリントパフォーマンス

対象者には, 屋外の陸上競技場にてクラウチングスタートから60mを全力で疾走させた. 測定の実施に先立ち, 対象者毎に全力疾走できるよう, 1時間のウォーミングアップを行わせた. 疾走速度は, レーザー速度計(LDM301S, フォーアシスト社製)を用いて100Hzでパーソナルコンピューターに取り込んだ. レーザー速度計は, 対象者から後方10mに配置し, 背部にレーザーを照射することで位置座標を計測した. 取り込んだデータを, 専用の解析ソフト(FARSD, フォーアシスト社製)によって1Hzのローパスフィルター(4次のバターワース型)で平滑化し, 最大疾走速度を算出した. 疾走回数は2回とし, 最高値を採用した. 2回の試行におけるタイム差は5%以内であった.

100m走および200m走の記録は, 日本陸連で定められた規定に準ずる公式大会での記録を採用した. また, デジタルビデオカメラ(EX-F1, Casio社製; iVIS HF G10, Canon社製)を用いて疾走動作を録画し, 得られた動画と100m走の疾走記録から平均疾走速度, 平均ピッチおよび平均ストライドを算出した.

IV. 結果および考察

SS選手は、大学4年までの100m走における自己ベスト記録が11.10s(高校3年)であり、大学3年の2014年3月のパフォーマンス評価直後に行われた試合での記録は11.18s(風速+0.9m, [動画 2:6](#)レーン)であった。SS選手は、大学3年の3月に行ったパフォーマンス評価で、100m走の自己記録が10秒台にある選手と比較して、多くの能力で劣る傾向にあったことから、それらの要因を改善させることを目的とし、取り組みを行った。その結果、大学4年の8月に目標であった10秒台(10.96s, 風速+1.9, [動画 3:4](#)レーン)に記録を更新し、9月においてさらなる自己記録(10.94s, 風速+0.6m, [動画 4:5](#)レーン)を出すことに成功した。また、大学3年の2014年3月のパフォーマンス評価直後に行われた試合では、総歩数51歩、平均疾走速度8.95m/s、平均ピッチ4.56Hz、平均ストライド1.96mであったが、9月の自己ベストでは、総歩数49歩、平均疾走速度9.14m/s、平均ピッチ4.48Hz、平均ストライド2.04mと変化がみられた(表2)。その前後の60m走における最大疾走速度は9.88m/sから10.36m/sに増大し、それに伴い疾走速度に関連する要因となるいくつかの項目に大きな変容がみられた(表1, 2)。松尾ら(2008)が明らかにした最大疾走速度から100m走の記録を予測する式を用いて計算すると、9.88m/sは11.26sに、10.36m/sは10.92sに相当する。また、200m走においても疾走記録の更新を果たした(22.54s, 風速0m ⇒ 22.24s, 風速+1.3m)。このことから、スプリントパフォーマンスが増大していることが窺える。

本研究では、形態、身体組成、下肢筋群の力発揮能力およびジャンプ能力の変化から、疾走能力が変容した要因について、大学3年の2014年3月から大学4年の10月において変化率が5%以上あった項目を中心に考察することとする。

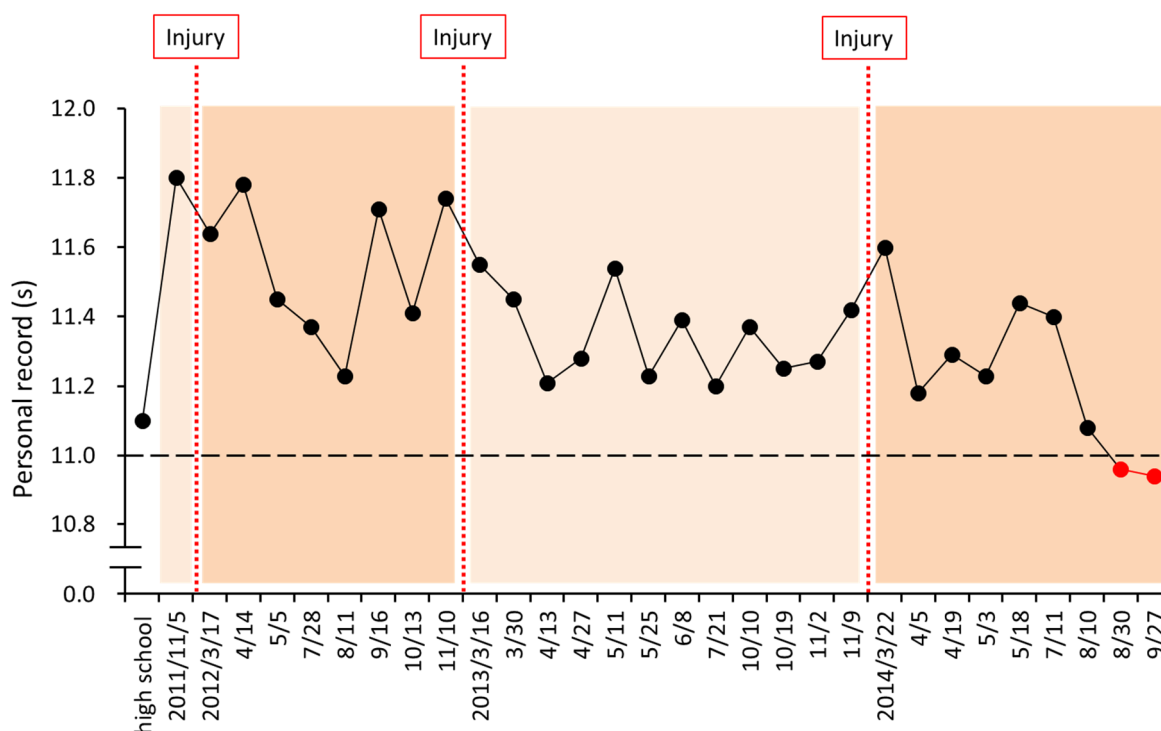


Figure 1. The change of the record

Table 1. Physical characteristics 1

Variable	Mar 2014		Oct 2014		Change		Change, %		10.61s	
Body height, cm	175.9		175.9		0.0		0		179.1	
Body mass, kg	72.8		68.5		-4.3		-6		67.5	
Body mass index,	23.5		22.1		-1.4		-6		21.0	
Percent body fat, %	12.6		10.7		-1.9		-15		9.9	
Fat mass, kg	9.2		7.3		-1.9		-20		6.7	
Lean body mass, kg	63.6		61.2		-2.4		-4		60.8	
<u>Circumference, cm</u>	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
Upper arm	28.3	29.0	27.5	28.0	-0.8	-1.0	-3	-3	27.5	27.0
Front arm	24.5	25.5	25.0	25.0	-0.5	-0.5	+2	-2	24.8	25.8
Thigh	53.7	55.0	51.0	53.2	-2.7	-1.3	-5	-3	50.0	51.0
Lower leg	38.0	39.0	37.3	37.7	-0.7	-1.3	-2	-3	36.9	37.0
Bust		93.2		91.5		-1.7		-2		94.8
Waist		78.2		74.0		-4.2		-5		74.6
Hip		98.5		95.0		-3.5		-4		93.6
<u>Muscle thickness, cm</u>	L	R	L	R	L	R	L	R	R	R
Anterior upper arm	3.5	3.2	3.6	3.6	+0.1	+0.4	+2	+14	3.7	3.7
Posterior upper arm	2.7	2.7	2.9	3.3	+0.2	+0.6	+8	+24	2.7	2.7
Front arm	1.9	2.1	2.1	2.1	+0.2	0.0	+13	+1	2.3	2.3
Anterior thigh	5.4	5.5	4.4	4.8	-1.0	-0.7	-19	-13	5.8	5.8
Posterior thigh	5.8	7.4	6.9	7.3	+1.1	-0.1	+18	-1	5.3	5.3
Anterior lower leg	2.8	2.7	3.3	3.1	+0.5	+0.4	+16	+14	3.0	3.0
Posterior lower leg	6.9	6.7	7.5	7.5	+0.6	+0.8	+9	+13	7.3	7.3
abdominal rectus	1.8	1.8	1.9	1.9	+0.1	+0.1	+3	+3	2.1	2.1
Psoas	5.0	4.7	4.5	4.8	-0.5	+0.1	-10	+2	4.4	4.4

L: Left, R: Right

Table 2. Physical characteristics 2

Variables	3 th 2014		10 th 2014		Change		Change,%		10.61s	
Back strength, kg	156.5		192.0		+35.5		+23		123.5	
Back strength relative to body mass, kg/kg	2.15		2.80		+0.65		+30		1.83	
Hip flexion, Nm	123.8		161		+37.2		+30		91.2	
Hip flexion relative to body mass, Nm/kg	1.70		2.35		+0.65		+38		1.35	
Hip extension, Nm	356.1		293.0		-63.1		-18		196.3	
Hip extension relative to body mass, Nm/kg	4.89		1.01		-0.25		-20		2.87	
Leg power, W	1474		1464		-10		-1		1155	
Leg power relative to body mass, W/kg	20.2		21.4		+1.1		+6		17.1	
Pedaling power, W	906		921		+15		+2		986	
Pedaling power relative to body mass, W/kg	12.4		13.4		+1.0		+8		14.6	
Counter movement jump, cm	48.8		51.4		+2.6		+5		63.0	
Rebound jump index, m/s	3.019		3.778		+0.759		+25		2.712	
Rebound jump height, cm	47.1		51.8		+4.7		+10		50.2	
Rebound jump contact time, ms	156		137		-19		-12		185	
Standing long jump, m	2.55		2.65		+0.10		+4		2.89	
Standing five-step jump, m	12.92		13.80		+0.88		+7		15.02	
Quick hurdle, s	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
	2.46	2.38	2.36	2.32	-0.10	-0.06	-4	-3	2.49	2.61
Maximal sprint velocity, m/s	9.88		10.36		+0.48		+5		10.03	
100-m personal record, s	11.10		10.94		-0.16		-2		10.61	
Average sprint velocity, m/s	8.95		9.14		+0.19		+2			
Average frequency, Hz	4.56		4.48		-0.08		-2			
Average stride, m	1.96		2.04		+0.08		+4			

L: Left, R: Right

SS選手は、大学3年の2014年3月から大学4年の2014年10月にかけて体重、BMI、体脂肪率、脂肪量および除脂肪量が減少した。また周径囲についても多くの項目で減少がみられた。特に、体脂肪率(-15%)および体脂肪量(-20%)に大きな変化が認められた。これまで、日本人を対象に、100m走のベスト記録が11秒台にある選手と10.6s以内の選手の体重およびBMIを比較した結果、10.6秒以内の選手の方が有意に小さいことが報告されている(10.6s以内:体重64.9kg, BMI 21.7kg/m², 11s台:体重70.6kg, BMI 22.4 kg/m², 山本ら, 1992)。先行知見において、両グループの体脂肪率および体脂肪量は明らかにされていないが、本研究の結果から、このBMIの違いは、疾走能力が劣る群の方が余分な脂肪を有している可能性が示唆される。SS選手は、2014年3月から10月にかけて、特に積極的な食事制限は実施しておらず、摂取する量についても2014年以前と主観的に変化していなかった。一方で、後述でも述べるように下肢の故障がみられなかったことで、継続的に日々のトレーニングを実施することができ、それ以前と比較して運動量の増大があったものと推察される。SS選手の自省報告としては、自然と体重の減少がみられ、主観的には特に疾走動作への影響は感じなかったと述べている。

しかしながら、結果的に日本人の一流選手のようなスプリントパフォーマンスの高い体格に近づいたことから、疾走能力の向上に伴って疾走に適した体格へと変容したものと推察される。

筋厚ではいくつかの項目で増大がみられた。特にスプリントパフォーマンスに強く影響するとされるハムストリングス(狩野ら, 1997; Kumagai et al., 2000)の変化に着目すると、大学3年の2014年3月には左右差の大きかったSS選手の大腿後部の筋厚(右7.4 cm, 左5.8 cm, 左右差1.6 cm)は、10月には3月ほどの左右差がみられず(右7.3 cm, 左6.9 cm, 左右差0.4 cm)、大学4年の2014年10月には左の大腿後部筋厚が1.1cm、変化率にして18%も増大していた。陸上競技短距離走は、ハムストリングスの肉離れが多く、その要因の一つとして、左右の筋のバランスの違いが挙げられる(Heiser et al., 1984; Agre, 1985; Yamamoto, 1993; Orchard et al., 1997)。事実、SS選手も2013年度までは1年に1度程度左ハムストリングスに肉離れを発症しており、トレーニングメニューをこなせないこともしばしばあった。しかし、2014年3月からシーズンオフまで肉離れを発症することはなく、ハムストリングスに違和感もなかったため、トレーニングを中断することがなかった。このようなトレーニングの継続を経て、ハムストリングスを構成する大腿後部の筋厚に左右差がなくなり、故障につながる要因が少なくなったことが、トレーニング活動の継続的な実施を可能とし、結果的に10秒台につながったものと推察される。

大腿後部筋厚を構成する大腿二頭筋は、遊脚期に脚を前方に引きつける際、そして接地期において脚を後方へスイングする際に大きく活動し、接地期における推進力は大腿二頭筋の筋活動によって発揮される(馬場ら, 2000)。本研究ではスプリント動作についてバイオメカニクス的な検討を行っていないため、SS選手の動作について明らかにすることはできないが、左脚のみ大腿後部筋厚に改善がみられたことから、SS選手においては左脚の脚動作に変容があった可能性がある。これまで伊藤ら(1998)は、股関節の伸展速度を利用することで、脚全体の最大スイング速度を増大させることが最大疾走速度の獲得に重要であり、Nagahara and Zushi(2016)は、疾走速度の向上に伴って、接地期中の脚の前方向への推進力が増大することを示している。筋は、新たな刺激が加わると筋肥大が起こり、その程度は徐々に低下する(Staron et al., 1994)。このことから、SS選手の左脚には伊藤ら(1998)が述べるような走動作の変容があり、筋に新たな負荷が加わった可能性がある。一方で、右脚動作においては、走パフォーマンスの向上に伴う変容が少なく、新たな刺激が加わらなかった(これまでと変わらない走動作による刺激のみ)可能性がある。このことが左右の脚の筋厚の変化の違いがみられた要因と推察される。

しかしながら、筋力の増大には、筋の適応と神経系の適応(福永, 2002; Baechle and Earle, 2010)がある。これまで、Häkkinen et al.(1998)は2年間にわたって高重量レジスタンストレーニングの成果を追跡調査した結果、筋力はトレーニング強度の上昇とともに増大したが、その上昇に筋肥大の寄与はほぼなかったことを示している。つまり、最大筋力の向上には神経系の適応が大きい。100m走のような運動は、ATP-PCrのエネルギー供給を主とする短時間の無酸素パワー運動であり、筋に対しては神経系の適応が起こるバリスティックな筋収縮(Hutton et al., 1986; Nardone et al., 1989)の連続である。したがって、SS選手の右脚の筋形態に変化がなくとも、力発揮能力に変容がなかったと断定することはできない。

本研究の結果、SS選手の左右の大腿前部筋厚には減少が認められ、その変化率は右で-13%、左で-19%であった。上述したように股関節の伸展速度を利用することで、脚全体の最大スイング速度を増大させることが最大疾走速度の獲得に重要である一方で、膝関節の伸展速度が高いことが疾走速

度に負の影響を与えることが示されている(伊藤ら, 1998). また Nagahara and Zushi(2016)は, 疾走能力の向上に伴って, 支持期中の膝関節伸展トルクが減少し, 膝関節屈曲の変化が小さくなると報告している. これらのことから, SS 選手についても, 疾走速度の向上に伴って, 脚の前方向への推進力の増大し, 膝関節伸展の力発揮が小さい動作へと変容した可能性がある. このことが, SS 選手の膝関節伸展の力発揮に起因する大腿前部筋厚が大きく減少した要因であると示唆される.

本研究では, 近年スプリントパフォーマンスに強く関与されるとされる大腰筋の変化についても検証を行った. 大腰筋は主に股関節屈曲に関与し(馬場ら, 2000), 両者は疾走能力に強く影響することが報告されている(Copaver et al., 2013). 疾走中の股関節屈曲は, 後方にスイングした脚を前方向に引きつける際に行われ, 運動指導現場ではこの動作を脚の挟み込みと呼び, 改善を目的としたトレーニングも実施されている. 本研究においては, SS 選手の大腰筋の筋断面積に右で増加(+2%), 左で減少(-10%)が認められたが, 股関節屈曲トルクは増大が認められた. 筋力の増大には, 筋肥大による要因と神経系の改善(福永, 2002; Baechle and Earle, 2010)が挙げられるが, SS 選手は, 大学 3 年の 2014 年 3 月から大学 4 年の 2014 年 10 月にかけて大腰筋における神経系が改善し, 単位筋断面積あたりの筋力が増大した可能性がある. このことが脚の挟み込み動作の改善を促したと推察される.

SS 選手は, 大学 3 年の 2014 年 3 月から大学 4 年の 2014 年 10 月にかけて等尺性股関節伸展トルクには絶対値でも相対値でも減少がみられたが(-18%および-20%), 脚伸展パワーの相対値は増大していた(+6%). このような結果が得られた要因として, 本研究で行った股関節伸展の動作が, 等尺性股関節伸展トルクと比較して脚伸展パワーの測定動作が疾走中に行われる動作と近かった可能性が挙げられる. 疾走中の臀筋およびハムストリングスは, 接地直前もしくは直後に大きく活動する(Mero and Komi, 1992, 1994)ことから, 疾走中では脚がある程度伸展した状態で最大の力が発揮されると推察される. しかし, 本研究で行った股関節伸展筋力の計測は, 疾走中で考えると, 大腿が水平時の状態で, 下方向に等尺性力発揮を実施したものである. 一方で, 脚伸展パワーの計測は, 下肢 3 関節を屈曲した状態から脚を伸展しながら力発揮を行うことから, より疾走に近い動作で力発揮をしていたと考えられる. また, 山本ら(1994)によると, スプリンターは高速度域のパワーが有意に優れていると述べている. これらのことを併せ考えた場合, 等尺性力発揮と比較して, 速度を伴う脚伸展パワーの方が疾走能力には強く影響し, その増大がスプリントパフォーマンスの向上につながった可能性がある. しかしながら, 等尺性股関節伸展トルクが脚伸展パワーに影響することで, 間接的にスプリントパフォーマンスに影響している可能性もあるため, 今後両者の関係について検討する必要がある.

これまで 30m 走タイムと Wingate Anaerobic test (Ayalaon, 1974)における自転車ペダリングパワーとの間には強い相関が認められている(Bosco et al., 1983). また, 山本ら(1994)は, スプリンターを疾走能力が高い群(10.6s 以内)と低い群(11s 台)に分け, 両者の体重あたりの自転車ペダリングパワーの違いを明らかにした結果, 疾走能力が高い群の方が有意に高値を示したことを報告している(10.6s 以内:14.21W/kg, 11s 台:12.78W/kg). 山本ら(1994)が報告する 10.6 以内の選手には及ばないものの, SS 選手の自転車ペダリングパワーは, 3 月から 10 月にかけて増大がみられた(絶対値:+2%, 相対値:+8%). スプリント動作は, 股関節伸展・屈曲筋群の強化が重要である(馬場ら, 2000). 自転車ペダリングパワーは, それらの筋群が活動することが明らかにされており(O'Bryan et al, 2014), その能力の増大は, 股関節伸展・屈曲筋群が強化されたことを示唆する. したがって, SS 選手は自転車ペダリング

パワーが増大し、スプリント動作に重要とされるそれらの筋群に改善がみられた可能性がある。

SS 選手は、本研究で行ったすべてのジャンプパフォーマンスが 3 月から 10 月で増大した(垂直跳:+5%, リバウンドジャンプ指数:+25%, 立幅跳:+4%, 立五段跳:+7%)。これまで、横断的な手法に基づいて、スプリント能力とジャンプパフォーマンスとの関係を明らかにした研究は数多い(Mero et al., 1981; Bosco et al., 1983; Young et al., 1995, 2002; 関子, 2000; Chelly and Denis, 2001; 岩竹ら, 2002, 2008; Misjuk and Viru, 2007; McBride et al., 2009; Alemdaroglu, 2010; 吉本ら, 2015)。それらの報告では、鉛直(垂直跳およびリバウンドジャンプ)および水平(立幅跳および立五段跳)方向のジャンプパフォーマンスとスプリント能力の間には有意な相関関係が認められたことが示されており、特に立五段跳が強く関係する(岩竹ら, 2008; 吉本ら, 2015)。また、スプリントパフォーマンスとリバウンドジャンプ能力の縦断的变化を明らかにした関子ら(2007)は、疾走速度の増大とともにリバウンドジャンプの能力が向上したことを示している。疾走速度の獲得には、水平および鉛直方向の地面反力が重要な要素となり(Mero and Komi, 1992; Hunter et al., 2005)、スプリント中の接地動作は、極めて短時間のバリスティックな伸長-短縮サイクル(SSC)運動を高い水準に向上させることが重要である(関子と高松, 1995)。本研究では、大学 3 年の 2014 年 3 月のパフォーマンス評価直後に行われた試合では、平均ストライドが 1.96m であったのに対し、大学 4 年の 2014 年 9 月の自己ベストでは、2.04m と変化がみられた(表 2)。リバウンドジャンプは鉛直方向に、立幅跳および立五段跳は、水平方向に大きくジャンプすることで跳躍高や跳躍距離を獲得するが、このような鉛直・水平方向の力発揮能力の向上が、結果的に 100m 走におけるストライドの増大に寄与したものと推察される。また、SS 選手は、特にリバウンドジャンプ指数で大きな変容認められ(+25%)、跳躍高が増大し(+10%)、接地時間が減少していた(-12%)。このことは、極めて短時間で力発揮を遂行する能力が改善したことを意味する。

本研究では、運動指導現場で行われている素早い脚の挟み込み動作であるクイックハードル(土江, 2011; 吉本ら, 2016)についても検討を行った。これまで、クイックハードルのタイムは、加速および最大疾走局面のピッチと有意な相関関係があると報告されている(吉本ら, 2016)。SS 選手のクイックハードルタイムには短縮がみられたが、このことは、疾走能力の向上に伴って、クイックハードルでの素早い脚の挟み込みが改善したことを示唆している。ピッチは、脚の挟み込みの素早さが影響すると考えられている(土江, 2011)。前述でも述べたように、SS 選手の大学 4 年の 2014 年の 9 月における 100m 走のピッチには大学 3 年の 2014 年 3 月と比較して減少がみられたが、ストライドは 10cm 近く増大していた。ピッチとストライドはトレードオフの関係にあることから、ストライドが 10cm 増大した場合には、ピッチが減少し、結果的に疾走速度は変化しない。しかしながら、疾走速度に増大がみられたことは、ストライドの大きな向上の一方で、脚の挟み込みに改善があり、ピッチの減少を最小限に留めることができたものと推察される。

以上のように、SS 選手は、2014 年 3 月から 2014 年 10 月にかけて、反復的パワーおよびジャンプ能力の改善を中心として、トレーニングを遂行した。その結果、上記の項目に数多くの改善がみられた一方、形態および身体組成にも予想していなかった変容が認められた。特に、脂肪量および除脂肪量ともに低下したことで、体重は 4.3kg 減少し、本研究で対象とした周径囲についてもすべての項目で減少していた。このことは、SS 選手が有していた体格が小さくなったことを示している。一方で、本研究で対象とした筋厚については、大腿前部を除く左右一方もしくは両方で増大が認められ、反復的パワーお

よびジャンプ能力が改善していた。つまり、SS 選手は体格としては小さくなったものの、身体が有するパワー発揮能力には改善があったものと推察される。本研究からは、SS 選手の体格の変化が、10 秒台を出すうえで最適な体格になったのかを明らかにすることはできない。しかし、少なくとも疾走能力の向上に伴い、反復的パワーやジャンプ能力が改善する一方で、体格にも変容がみられた一つの例であるといえる。これまで疾走速度とそれに関連する要因との関係については、横断的な手法によって数多くの報告がなされているが、縦断的手法によって明らかにしたものは数少ない。その中でも、本研究は 11 秒台から 10 秒台にスプリントパフォーマンスを向上した選手を対象として、疾走速度およびそれに関連する要因の変化を明らかにした初めての知見となる。

V. 結論

本研究では、陸上競技 100m 走において、11 秒台から 10 秒台に記録を更新した短距離走選手のスプリントパフォーマンスに関連する要因の変化を明らかにすることを目的とした。その結果、スプリントパフォーマンスの向上に伴って、形態および身体組成に変化がみられ、力発揮能力およびジャンプパフォーマンスに改善が認められた。本研究で得られたスプリントパフォーマンスに関連する要因の変容を参考として、トレーニングを立案・作成を実施することは、100m 走で 10 秒台を目指す選手の一助となる。

引用文献

- ・ 安部孝, 福永哲夫(1995)日本人の体脂肪と筋肉分布, 初版, 東京:杏林書院, pp. 97-100.
- ・ Agre JC (1985) Hamstring injuries. Proposed aetiological factors, prevention, and treatment. *Sports Med.* 2: 21-33.
- ・ Athlete Ranking. com (2015) <http://www.athleteranking.com/>
- ・ Ayalon A, Bar-Or O and Inbar O (1974) Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power. In: *Biomechanics VI*, Nelson, R. C. and C. A. Morehouse (Eds.) , Mac Millan, New York. pp. 572-577.
- ・ 馬場崇豪, 和田幸洋, 伊藤章(2000)短距離走の筋活動様式. *体育学研究.* 45:186-200.
- ・ Baechle TR and Earle RW (2010) *Essentials of strength training and conditioning.* National strength and conditioning association. 3: 104-114.
- ・ Bosco C, Luhtanen P and Komi PV (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol.* 50: 273-282.
- ・ Chelly SM and Denis C (2001) Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 33: 326-333.
- ・ Copaver K, Hertogh C and Hue O (2012) The effect of psoas major and lumbar lordosis on hip flexion and sprint performance. *Res Q Exerc Sport.* 83: 160-167.
- ・ 藤林 献明, 荻山 靖, 木野村嘉則, 関子浩二(2013)水平片脚跳躍を用いたバリスティックな伸張・短縮サイクル運動の遂行能力と各種跳躍パフォーマンスとの関係. *体育学研究.* 58:61-76.

- ・ 藤林献明, 荻山靖, 木野村嘉則, 関子浩二 (2014) リバウンドロングジャンプテストの遂行能力からみた水平片脚跳躍において高い接地速度に対応するための踏切動作. 陸上競技学会誌. 12:33-44.
- ・ 藤林献明, 坂口将太, 荻山靖, 関子浩二 (2014) リバウンドロングジャンプ指数の優劣を決定する踏切局面の技術的要因. 体育学研究. 59:175-188.
- ・ Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y and Kanehisa H (2001) Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand*, 172: 249-255.
- ・ 金久博昭, 秋間広, 川上泰雄, 神崎素樹, 久保啓太郎, 豊岡史, 深代千之, 政二慶 (2002) 身体の形と力への興味. 福永哲夫教授退官記念誌編集委員会, 初版, 福永哲夫教授退官記念誌, 壮光舎印刷. pp. 267.
- ・ Häkkinen K, Pakarinen A, Alén M, Kauhanen H and Komi PV (1988) Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol*. 65: 2406-2412.
- ・ Heiser T, Weber J and Sullivan G (1984) Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med*. 12: 71-76, 368-370.
- ・ Hunter JP, Marshall RN and McNair PJ (2005) Relationship between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech*. 21: 31-43.
- ・ 稲岡純史, 村木征人, 国土将平 (1993) コントロールテストからみた跳躍競技の種目特性および競技パフォーマンスとの関係. *スポーツ方法学研究*. 6:41-48.
- ・ 伊藤章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*. 43:260-273.
- ・ 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*. 47:257-261.
- ・ 岩竹淳, 山本正嘉, 西菌秀嗣, 川原繁樹, 北田耕司, 関子浩二 (2008) 思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係. *体育学研究*. 53:1-10.
- ・ 狩野豊, 高橋英幸, 森丘保典, 秋間広, 宮下憲, 久野譜也, 勝田茂 (1997) スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係. *体育学研究*. 41:352-359.
- ・ 荻山靖, 関子浩二 (2014) 跳躍方向の異なるバウンディングにおける踏切脚の力発揮特性. *体育学研究*. 59:397-411.
- ・ 関西学生陸上競技連盟 (2015), <http://gold.jaic.org/icaak/>
- ・ 小林寛道 (1989) ソウル五輪代表スプリンターおよびジュニア優秀スプリンターの脚力の特徴. *競技力向上のスポーツ科学 I*, 初版, トレーニング科学研究編. 朝倉書店. pp. 19-37.
- ・ Kraemer WJ and Ratamess (2004) Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med Sci Sport Exerc*. 36: 474-678.
- ・ Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S and Mizuno M (2000) Sprint

- performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol.* 88: 8-11.
- Mackala K (2007) Optimisation performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *N Stud Athletics.* 22: 7-16.
 - Mackala K, Fostiak M and Kowalski K (2015) Selected determinants of acceleration in the 100m sprint. *J Hum Kinet.* 45: 135-148.
 - 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 土江寛裕(2008)男女 100m レースのスピード変化. *バイオメカニクス研究.* 12:74-83.
 - McBride JM, Blow D, Kirby TJ, Haines TL, Dayne AM and Triplett NT (2009) Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *J Strength Cond Res.* 23: 1633-1636.
 - Mero A, Komi PV (1994) EMG, force and power analysis of sprint-specific strength exercises. *J Appl Biomech.* 10: 1-13.
 - Mero A, Komi PV and Gregor RJ (1992) Biomechanics of sprint running. *Sports Med.* 13: 376-392.
 - Mero A, Luhtanen P, Viitasalo JT and Komi PV (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand J Sports Sci.* 3: 16-22.
 - Misjuk M and Viru M (2007) The relationships between jumping tests and speed abilities among estonian sprinters. *Acta Academiae Olympicae Estoniae.* 15: 9-16.
 - Nagahara R, Zushi K (2016) Development of maximal speed sprinting performance with changes in vertical, leg and joint stiffness. *J Sports Med Phys Fitness.* In press.
 - O'Bryan SJ, Brown NA, Billaut F and Rouffet DM (2014) Changes in muscle coordination and power output during sprint cycling. *Neurosci Lett.* 576: 11-16.
 - Orchard J, Marsden J and Lord S (1997) Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med.* 25: 81-85.
 - Slawinski J, Bonnefoy A, Levêque JM, Ontanon G, Riquet A, Dumas R and Chêze L (2010) Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *J Strength Cond Res.* 24: 896-905.
 - Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Falkel JE, Hagerman FC and Hikida RS (1994) Skeletal muscle adaptations during the early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol.* 76: 1247-1255.
 - Takai Y, Katsumata Y, Kawakami Y, Kanehisa H and Fukunaga T (2011) Ultrasound method for estimating the cross-sectional area of the psoas major muscle. *Med Sci Sports Exerc* 43: 2000-2004.
 - 土江寛裕(2011)陸上競技入門ブック:短距離・リレー. 初版, ベースボール・マガジン社. pp.43, 90-

91.

- ・ 渡邊信晃, 榎本好孝, 大山卞圭悟, 狩野豊, 安井年文, 宮下憲, 久野譜也, 勝田茂(2000)スプリンターの股関節筋力とパフォーマンスとの関係. 体育学研究. 45:520-529.
- ・ Weyand PG and Davis JA (2005) Running performance has a structural basis. J Exp Biol. 208: 2625-2631.
- ・ 山本利春, 山本正嘉, 金久博昭(1992)陸上競技における一流および二流選手の下肢筋出力の比較 -100m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として-. Jpn J Sports Sci. 11:72-76.
- ・ Yamamoto T (1993) Relationship between hamstring strains and leg muscle strength. J Sports Med Phys Fitness. 33: 194-199.
- ・ 吉本隆哉, 酒井一樹, 山本正嘉(2015)陸上競技短距離選手を対象とした運動指導現場で用いられる各種コントロールテストと疾走速度, ピッチおよびストライドとの関係. スプリント研究. 24:21-31.
- ・ 吉本隆哉, 高井洋平, 藤田英二, 福永裕子, 金高宏文, 西菌秀嗣, 金久博昭, 山本正嘉(2012)小・中学生男子の下肢筋群の筋量および関節トルクが走・跳躍能力に与える影響. 体力科学. 61: 79-88.
- ・ 吉本隆哉, 高井洋平, 藤田英二, 福永裕子, 山本正嘉, 金久博昭(2015)発育期男子における 50m 走の疾走速度に与える身体組成, 力発揮能力および跳躍能力の影響. 体力科学. 64:155-164.
- ・ 吉本隆哉, 高井洋平, 土江寛裕, 千葉佳裕, 原村未来, 舟橋毅, 金久博昭(2016)陸上競技短距離走選手におけるスプリントパフォーマンスとミニハードルエクササイズのタイムとの関係. 日本体育学会第 67 回大会. 267.
- ・ Young W, McLean B and Ardagna J (1995) Relationship between strength qualities and sprinting performance. J Sports Med Phys Fitness. 35: 13-19.
- ・ Young W, Jamse R and Montgomery JI (2002) Is muscle power related to running speed with changes of direction?. J Sports Med Phys Fitness. 42: 57-64.
- ・ 関子浩二(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. 12:69-82.
- ・ 関子浩二, 高松薫(1995)バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因-筋力および瞬発力に着目して-. 体力科学. 44:147-154.
- ・ 関子浩二, 永原隆, 石井泰光(2007)スプリントパフォーマンスの向上に対するプライオメトリックスの可能性. スプリント研究. 17:21-31.
- ・ 関子浩二(2016)特集:パフォーマンスを評価する, パフォーマンス構造を理解しトレーニングサイクルを循環させる. 初版, コーチングクリニック, 共同印刷株式会社. pp. 4-7.