

2013年度修士論文

バウンディング運動と短距離走の  
運動学的比較

疾走速度向上を目的としたバウンディング運動の有効性の検討

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程2回生

6232120002-3

井口雅仁

# バウンディング運動と短距離走の 運動学的比較

## 疾走速度向上を目的としたバウンディング運動の有効性の検討

立命館大学大学院 スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程2回生 井口雅仁

### 要旨

キーワード：疾走速度，ジャンプ運動，最高速度区間，バウンディング運動，運動学

### [研究目的]

ジャンプ運動は、主に筋や腱の伸張-短縮サイクルを利用した爆発的なパワー発揮を伴う運動であり、特にバウンディング運動は、短距離走の疾走速度向上を目的としたトレーニングとして用いられる。ただし、短距離走における最高速度区間とバウンディング運動との関係については明らかにされていない。また、短距離走における最高速度区間の疾走動作は、バウンディング運動の跳躍動作と異なることから、両運動における動作の関係について検討する必要がある。そこで、本研究における主な目的は2つである。第1の目的は、100m走における最高速度区間の疾走速度とバウンディング運動の記録との関係について明らかにすること。第2の目的は、最高速度区間の疾走動作とバウンディング運動の跳躍動作との運動学的関係について明らかにすることである。

### [実験 I の結果と考察]

被験者は、陸上競技短距離走種目を専門とする18名とした。試技は、最大努力での100m走および水平方向のジャンプ運動であった。100m走は、レーザー速度計測システム（フォーアシスト社：LDM301S）を用いて疾走タイムと各疾走区間における疾走速度を測定した。ジャンプ運動は、全天候型跳躍ピットにおいて、跳躍開始時のつま先の位置から着地した位置までの最短距離を測定した。水平方向のジャンプ運動は、立幅跳、立三段跳、立五段跳、立十段跳であった。また、バウンディング運動は立十段跳から立三段跳の跳躍記録の差とした。

その結果、100m走の疾走タイムおよび最高速度区間の疾走速度とバウンディング運動の跳躍記録との間に有意な相関関係が認められた。また、疾走タイムおよび各区間における疾走速度の平均値を基準に、平均値以上を疾走能力上位群、そうでないものを下位群とした。その結果、100m走および最高速度区間の上位群におけるバウンディング運動の跳躍記録は、下位群と比較して有意に高い値を示した。これらの結果から、100m走の最高速度区間における疾走速度とバウンディング運動の跳躍記録が関係することが明らかとなった。

### [実験Ⅱの結果と考察]

被験者は、陸上競技短距離走種目を専門とする12名であった。試技は、クラウチングスタートからの60m走と10mの助走をつけた30mのバウンディング運動を行わせた。動作は、サンプリング周波数を200Hzに設定した15台のハイスピードカメラ（Motion Analysis 社:MOTION CAPTURE MAC 3D System: Raptor-E,15台）を用いて、短距離走では50m地点の前後6mの疾走動作およびバウンディング運動では動作開始から15m地点の前後6mを撮影した。

その結果、接地中のバウンディング運動における膝関節および足関節の屈曲および伸展角度変位は、短距離走に比べて、有意に高い値を示した。一方、接地中のバウンディング運動における身体合成重心鉛直速度の変化率は、短距離走と比べて有意に高かった。これらのことから、バウンディング運動は、短距離走よりも、接地中の膝関節および足関節において短距離走と異なる動作をしていたものの、接地中に鉛直方向に大きな力発揮をしていたことが示唆された。

さらに、疾走能力の違いがバウンディング運動の跳躍動作に与える影響について検討した。疾走能力上位群におけるバウンディング運動の接地中の膝関節屈曲角度変位は、下位群と比較して、有意に大きかった。また、上位群におけるバウンディング運動の身体合成重心鉛直速度の変化率は、下位群と比べて有意に高かった。

つまり、疾走能力上位群のバウンディング運動における膝関節の動作は、短距離走における疾走速度が高い選手の特徴である膝関節を固定させる動作とは逆の動きをしていたものの、上位群のバウンディング運動は、水平方向に移動しながらも鉛直方向に大きな力を発揮していたことが示された。

### [結論]

以上の結果から、短距離走における最高速度区間の疾走速度とバウンディング運動の跳躍距離が関係することが明らかとなった。また、バウンディング運動における膝関節および足関節は、短距離走と異なる動作をしているものの、鉛直成分の力発揮が大きいことが明らかとなった。

# A kinematic comparison of bounding and sprint

## Examination of the effectiveness of the bounding exercise for improving sprint velocity

6232120002-3 Masahito Iguchi

### Abstract

Keywords: Sprint velocity, Jump exercise, Maximum velocity phase, Bounding exercise, Kinematics

### [Purpose]

Bounding exercise was horizontal jump exercise and it is utilized for improving sprint velocity. Purposes of this study were to clarify 1) the relationship between sprint velocity and bounding distance for enhancement of sprint velocity and 2) difference of the sprint movements and bounding movement.

### [Research 1: Results & Discussion]

In the first research, eighteen male sprinters performed maximal-effort sprint and horizontal jumps. Analysis parameters were record of 100m sprint time, sprint velocity at each sprint phase (acceleration phase, maximal velocity phase, deceleration phase), and jump distance. Jump distance recorded by the minimums distance from toe to landing spot. Jump was standing broad jump (SBJ), standing triple jumps (STJ), standing five jumps (SFJ), standing ten jumps (STENJ). Bounding was measured by subtracting STJ from STENJ. As a result, sprint velocity at maximum velocity phase significantly correlated with bounding distance. Moreover, two sprint ability groups were compared on the basis of the mean sprint velocity. Bounding distance of high sprint ability group was significantly longer than that of low sprint ability group. Therefore, it was found that bounding distance and sprint velocity were relate at maximal velocity phase.

### [Research 2: Results & Discussion]

In the second research, twelve male sprinters performed maximal-effort 60m sprinting. In addition, subjects who were instructed to “jump as far as you can” performed bounding trials after 10 meters approach running. Sprint and bounding movements were recorded by 3D motion capture system. The main findings were that knee flexion and extension displacement and vertical velocity of center of mass during bounding were significantly higher than those of sprinting. The high sprint ability group had a higher vertical velocity of center of mass during bounding movement. In addition, the knee joint of bounding in high sprint ability group was more flexed than that in low sprint ability group. These results suggested that high sprint ability group had a higher vertical velocity and lager knee flexing and extending

### [Conclusion]

Sprint velocity at maximum velocity phase significantly correlated with bounding distance. Moreover, bounding movements were different from the sprint movements at knee and ankle joint. However, vertical velocity of center of mass in bounding movement was higher than that in sprint movements.

## 目次

第1章 序論 .....	1
1.1 背景 .....	1
1.2 短距離走とレジスタンストレーニングとの関係 .....	2
1.3 短距離走とジャンプトレーニングとの関係 .....	3
1.4 短距離走とバウンディング運動との関係 .....	4
1.5 研究の目的 .....	5
第2章 バウンディング運動の跳躍記録と100m走の疾走タイムおよび最高速度区間の疾走速度との関係 .....	6
2.1 方法 .....	6
2.2 結果 .....	10
2.2.1 バウンディング運動の跳躍記録と100m走の疾走タイムおよび各区間の疾走速度 .....	10
2.2.2 疾走能力の違いによるバウンディング運動の跳躍記録 .....	13
2.3 考察 .....	15
第3章 バウンディング運動と最高速度区間における疾走速度および疾走動作との関係 .....	17
3.1 方法 .....	17
3.2 結果 .....	22
3.2.1 バウンディング運動の跳躍動作と短距離走の疾走動作との比較 .....	22
3.2.2 疾走能力の違いがバウンディング運動の跳躍動作に与える影響 .....	27
3.3 考察 .....	33
3.3.1 バウンディング運動の跳躍動作と短距離走の疾走動作との比較 .....	33
3.3.2 疾走能力の違いがバウンディング運動の跳躍動作に与える影響 .....	34
第4章 結論 .....	36
文献 .....	37

## 第1章 序論

### 1.1 背景

陸上競技における短距離種目は、定められた距離をいかに短い時間で走ることができるかを競う競技である。短距離種目の中でも 100m 走は、屋外の公式競技会で開催される走種目で、最も短い距離を全力疾走する種目である。この 100m 走は、疾走速度が変化するパターンに応じて加速区間、最高速度区間と減速区間に大別することができる (Simonsen ら 1985, Bret ら 2002)。つまり、100m 走の疾走タイムを速くするためには各区間の疾走タイムや疾走速度を向上させることが重要である。

疾走速度は、ストライド (step length) とピッチ (step rate) から構成されており、ストライドとピッチにおいても副次成分から構成されている (図 1, 2)。そのため、高い疾走速度を得るには、長いストライドと高いピッチが求められる。ストライドは、接地期および滞空期の水平移動距離により構成されており、さらに副次成分として、関節角度の変位、離地時の水平および鉛直速度などがある。また、ピッチは、接地期および滞空期の時間により構成されており、さらに副次成分として、関節角度の変位、地面反力の鉛直成分などがある。

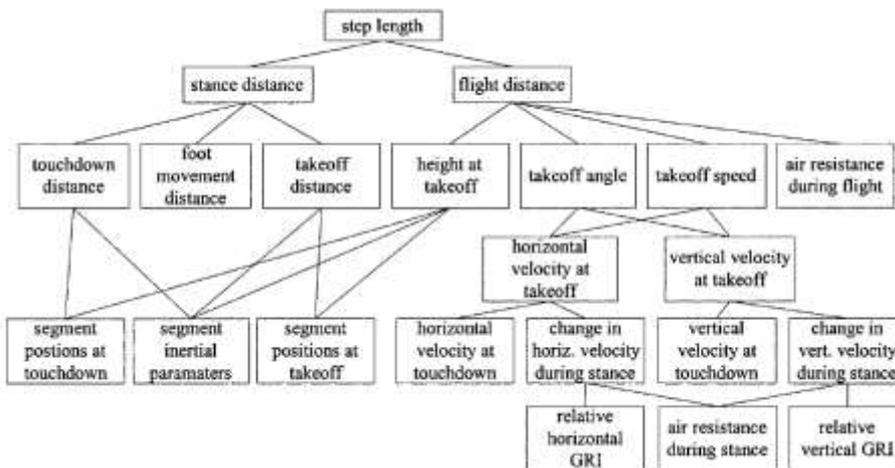


図 1. ストライドの構成図 (Hay 1992, Hunter 2004)

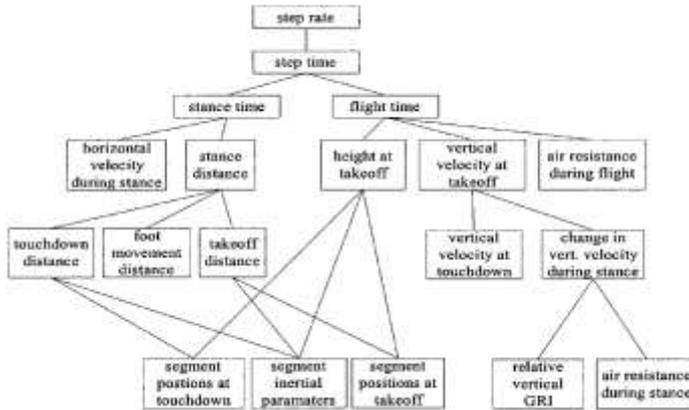


図 2. ピッチの構成図改(Hay 1992, Hunter 2004)

そして、短距離走のストライドおよびピッチについて、これまで様々な観点から研究されてきた（動作からのアプローチ：伊藤ら 1998, Kivi ら 2002. 地面反力からのアプローチ：Wyand 2000, Hunter 2005. トルクからのアプローチ：渡辺ら 2003；遠藤ら 2008. 筋活動からのアプローチ；伊藤ら 1997). また、ストライドおよびピッチを高めることを目的としたトレーニングとして、専門的な“走る”以外に、レジスタンストレーニングやジャンプトレーニングなどが用いられてきた（澤村ら 2004).

## 1.2 短距離走とレジスタンストレーニング

Blazevich and Jinkins (2002) によると、短距離走選手を対象に、7 週間のレジスタンストレーニングを行わせ、トレーニング前と比較した結果、助走を付けた 20 走の疾走タイムは向上しないが報告されている。また、Ross ら (2009) は、短距離走を含むスポーツ選手(アメリカンフットボール, サッカー, 陸上競技)を対象に、7 週間の短距離走トレーニング群, レジスタンストレーニング群, 短距離走およびレジスタンスの複合トレーニング群に分けて、トレーニング前後の 1RM のスクワットと 30m 走の疾走タイムを検討した。その結果、1RM のスクワットは全群トレーニング前後で有意に向上したが、30m 走の疾走タイムは、短距離走およびレジスタンスの複合トレーニング群のみ有意に向上したことが報告されている。これらのことから、レジスタンストレーニングにより筋力や力発揮能力を高めたとしても、短距離走の疾走タイムや疾走速度の向上に必ずしもつながらないことが考えられる。

### 1.3 短距離走とジャンプトレーニング

ジャンプ運動は、反動動作を用いて筋や腱を一度伸張させてから短縮させることで腱の弾性要素を利用して、後に続く動作のパワーを増加させることである (Komi 1992)。そのジャンプ運動の中でもバウンディング運動は、片脚交互に水平方向に移動する運動であり (図, 3), 跳躍動作が疾走動作と類似する点が多いことから, 短距離走の疾走速度向上を目的としたトレーニングとして用いられる (Young 1992)。

Delecluse ら (1995) は, 体育大学生を対象として, ウェイトトレーニング群とバウンディング運動を含むジャンプトレーニング群に分け, トレーニング後の変化を疾走タイムや疾走速度をコントロール群と比較した。その結果, ジャンプトレーニング群にのみ 100m 走の疾走タイムおよび最高疾走速度の疾走速度が有意に向上したことを報告している。さらに, Rimmer and Sleivert (2000) によると, 男子ラグビー選手を対象として, 短距離走トレーニング群とバウンディング運動を含むジャンプトレーニング群に分けて, トレーニング後の疾走タイムの変化をコントロール群と比較した。その結果, 40m 走の疾走タイムはジャンプトレーニング群にのみ有意に向上した。これらの報告から, 短距離走における疾走タイムや疾走速度を向上させることを目的としたジャンプ運動として, バウンディング運動が有効であることが予想される。

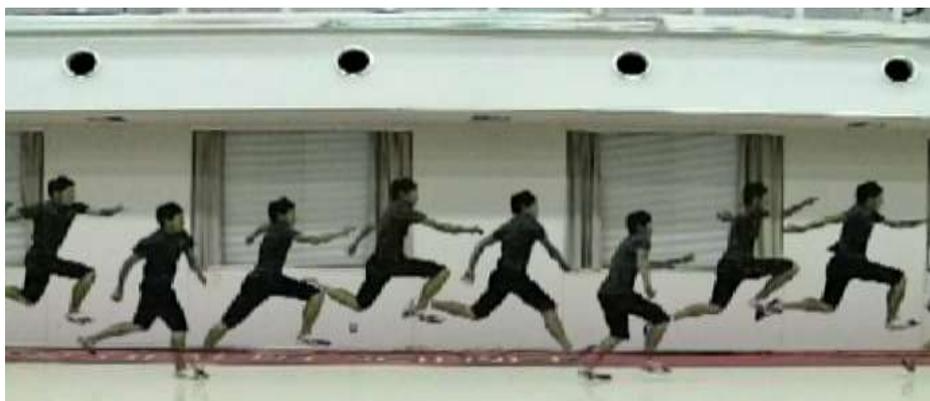


図 3. バウンディング運動

#### 1.4 短距離走とバウンディング運動

短距離走の疾走タイムや疾走速度とバウンディング運動の関係について検討した研究として、青木ら（2007）によると、陸上競技跳躍選手を対象として、50m および 100m 走における疾走タイムが速い選手は、助走を付けたバウンディング運動の跳躍距離が長いことを報告している。また、陸上競技短距離選手を対象として、短距離走における最高疾走速度が高い選手は、助走を付けたバウンディング運動の跳躍距離が長いことが報告されている（磯辺，2010）。これらの報告から短距離走における 100m 走および最高速度区間の疾走速度とバウンディング運動の跳躍距離が関係すると考えられる。これに対して、Kale ら（2009）の研究では、100m 走の疾走タイムおよび最高疾走速度は、立位姿勢から動作を開始した助走をしないバウンディング運動における跳躍距離との間で有意な関係はなかったことが報告されている。

このように、バウンディング運動の跳躍距離は、短距離走の疾走速度と関係していたと報告するものと、関係しないと報告するものがある。一致した見解が得られない理由としてバウンディング運動における試技の違いまたは、短距離走における疾走区間の定義の違いがあげられる。まず、バウンディング運動が、助走付きで行われていたかどうか、もう一つの要因としては、短距離走のパフォーマンスの評価をする疾走区間の定義の違いがあげられる。つまり、バウンディング運動における試技の違いおよび短距離走における疾走区間の定義により、両運動の関係が影響を受けることが予想される。

また、バウンディング運動における跳躍動作に注目した研究では、大宮ら（2003）は、助走をつけたバウンディング運動において、接地期前半における中の膝関節屈曲角度変位は約 33°であったことを報告している。これに対して短距離走における疾走動作に注目した研究では、貴嶋ら（2008）は、短距離走の最高速度区間において接地中の膝関節屈曲角度変位は約 6°であったことを報告している。つまり、助走を付けたバウンディング運動における膝関節屈曲角度変位は、最高速度区間の疾走動作と比べて、接地中において大きく屈曲することを示唆するものである。そのため、バウンディング運動の跳躍距離と最高速度区間の疾走速度が関係していたとしても、バウンディング運動の跳躍動作と短距離走の最高速度区間での疾走動作が異なることが予想される。

短距離走の疾走速度向上を目的としたトレーニングとしてバウンディング運動の跳躍距離との関係を検討する際に、助走付きまたは、助走なしのバウンディング運動の両試技を検討する必要がある、短距離走を加速、最高速度および減速区間のそれぞれとの関

係についても検討する必要がある。さらに、最高速度区間の疾走動作とバウンディング運動の跳躍動作が異なることから、最高速度区間の疾走動作とバウンディング運動の跳躍動作との関係について検討する必要がある。

#### 1.5 本研究の目的

そこで、本研究における主な目的は2つである。第1の目的は、100m走における最高速度区間の疾走速度とバウンディング運動の記録との関係について明らかにすること。第2の目的は、最高速度区間の疾走動作とバウンディング運動の跳躍動作との運動学的関係について明らかにすることである。第1の目的は、第2章で検討し、第2の目的は、第3章で検討することとした。

## 第2章 バウンディング運動の跳躍記録と100m走の疾走タイムおよび 最高速度区間の疾走速度との関係

### 2.1 方法

#### A). 研究対象

被験者は、短距離種目を専門とする男子大学生18名であった。被験者の身体特性は表1に示した。なお、すべての被験者には本実験の主旨、内容ならびに安全性についてあらかじめ説明し、参加の同意を得た。実験試技の測定は、1日で測定を行い、100m走終了から水平方向のジャンプ運動開始までの時間は、疲労の影響がでないように十分な休息時間を取った後に測定した。なお、100m走では、スパイクシューズを使用し、ジャンプ運動ではアップシューズを使用した。

表1. 被験者の身体特性

被験者(n=18)	
年齢 (歳)	20.2±0.8
身長 (m)	1.73±0.05
体重 (kg)	63.1±4.5
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.2±1.1

#### B). 実験試技

100m走は、クラウチングスタートからの主観的努力度100%による全力走を行わせた。測定場所は、本学の全天候型舗装の陸上競技場で実施した。100m走時の疾走速度は、スタート地点後方10mからレーザー速度計（フォーアシスト社：LDM301S）を用いて、被験者の腰部にレーザーを照射することにより計測した（図4）。



図4. レーザー速度計（右）および疾走速度の測定風景（左）

本研究では、立位姿勢からの片脚交互に水平方向に推進するジャンプ運動を水平方向のジャンプ運動とし、運動開始時に推進方向に速度を付けた片脚交互に水平方向に推進するジャンプ運動をバウンディング運動と定義した。水平方向のジャンプ運動は、立幅跳、立三段跳、立五段跳および立十段跳の計4種類行わせた(図5)。立幅跳は、立位姿勢から両脚で踏切、両脚で着地するように指示した。立三段跳、立五段跳および立十段跳は、立位姿勢から両脚で踏切った後、片足交互に接地して、それぞれ3歩目、5歩目、10歩目に両脚で着地するよう指示した。試行数は、それぞれ3回ずつ行い、腕は自由にさせた。測定場所は、本学の全天候型舗装の陸上競技場に隣接している全天候型跳躍ピットにおいて行った。距離記録の計測は、跳躍開始時のつま先から砂場に着地した位置との最短距離をメジャーにて測定した。バウンディング運動について明確な定義はなされていないため、第2章においてのバウンディング運動の跳躍距離は、立十段跳の記録と立三段跳の記録の差と定義した。

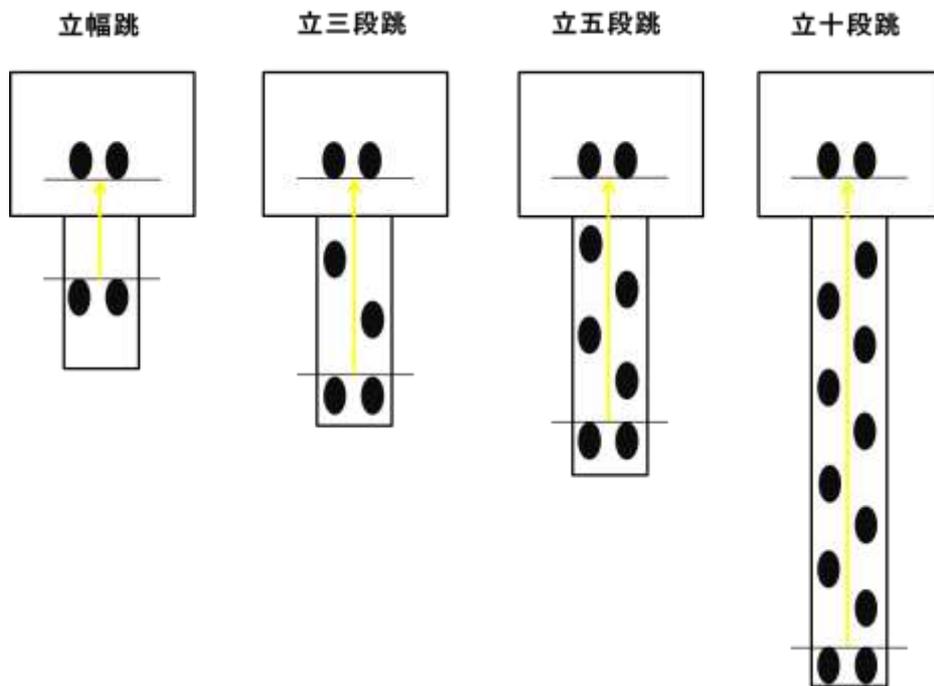


図5. 立幅跳、立三段跳、立五段跳および立十段跳

#### C). データ処理

レーザー速度計から得られた腰部の変位は、バターワース型デジタルフィルタを用いて遮断周波数 1Hz で平滑化した。得られたデータより、スタートから 100m までの疾走タイム, 0m から 30m までの疾走速度の平均値, 30m から 60m までの疾走速度の平均値, 60m から 100m までの疾走速度の平均値を算出した。100m における疾走タイムおよび各疾走区間における疾走速度の平均値を基準とし、平均値よりも疾走タイムおよび疾走速度が高い選手を上位群, 低い選手を下位群とした。100m および各疾走区間における上位群, 下位群の身体的特徴は表 2, 3, 4 に示した。なお, 100m 走の疾走タイムおよび等速区間における疾走速度の上位群, 下位群は同一であったことからまとめて示した。

#### D). 統計処理

被験者における各測定項目の成績について、平均値と標準偏差を求めた。100m 走の疾走タイムおよび疾走速度と跳躍記録との間の相関係数は、ピアソンの積率相関係数を算出した。また、疾走能力の違いによる各ジャンプの跳躍記録の差を比較するための統計的検定手法は F 検定を用い、等分散が仮定できるものには対応のないスチューデントの t 検定を、等分散が仮定できないものには Welch の t 検定を用いた。統計処理における有意水準は 5% 未満とした。

表 2. 100m 走の疾走タイムおよび最高速度区間における  
疾走速度の上位群および下位群における身体特性

	上位群(n=9)	下位群(n=9)
年齢(歳)	20.4±0.8	20.0±0.8
身長(m)	1.73±0.06	1.71±0.04
体重(kg)	61.4±3.6	64.8±4.7
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	20.4±0.9	21.9±0.6

表 3. 加速区間における疾走速度の上位群  
および下位群における身体特性

	上位群(n=9)	下位群(n=9)
年齢(歳)	20.3±0.8	20.1±0.9
身長(m)	1.72±0.06	1.72±0.05
体重(kg)	61.9±3.8	64.3±0.05
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	20.7±0.7	21.6±1.2

表 4. 減速区間における疾走速度の上位群  
および下位群における身体特性

	上位群(n=9)	下位群(n=9)
年齢(歳)	20.7±0.7	19.8±0.8
身長(m)	1.74±0.05	1.71±0.04
体重(kg)	62.3±0.05	63.9±0.04
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	20.5±1.1	21.8±0.5

## 2.2 結果

### 2.2.1 バウンディング運動の跳躍記録と 100m 走の疾走タイムおよび各区間の疾走速度

100m の疾走タイムおよび各疾走区間における疾走速度の平均値とジャンプ運動の跳躍記録との相関係数を表 5 に示した。100m 走の疾走タイムと立十段跳、バウンディング運動の跳躍記録（図 7）との間に有意な負または正の相関関係が認められた（ $r=-0.491$  :  $p<0.05$ ,  $r=-0.579$  :  $p<0.01$ ）。さらに、加速（図 8）、最高速度（図 9）および減速区間（図 10）における疾走速度とバウンディング運動の跳躍記録との間に有意な正の相関関係が認められた（バウンディング :  $r=0.542$  :  $p<0.05$ ,  $r=0.572$  :  $p<0.01$ ,  $r=0.542$  :  $p<0.05$ ）。

また、100m 走の疾走タイムと加速、最高速度および減速区間に有意な負の相関関係が認められた（ $r=-0.922$  :  $p<0.01$ ,  $r=-0.964$  :  $p<0.01$ ,  $r=-0.964$  :  $p<0.01$ ）。

表 5. 100m の疾走タイムおよび各疾走区間における疾走速度と水平方向のジャンプ運動の跳躍記録との相関関係

	立幅跳	立三段跳	立五段跳	立十段跳	バウンディング運動
100m	-0.372	-0.092	-0.405	-0.491*	-0.579**
加速区間	0.246	0.093	0.386	0.462	0.617**
最高速度区間	0.307	0.017	0.383	0.464	0.572**
減速区間	0.246	0.093	0.386	0.462	0.542*

\* :  $p<0.05$ , \*\* :  $p<0.01$  は 100m 走の疾走タイムおよび各疾走区間の疾走速度と

ジャンプ運動の跳躍記録との間に有意な相関関係があったことを示す。

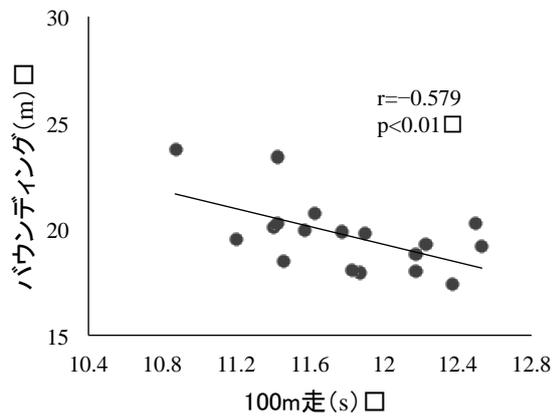


図 7. 100m における疾走タイムとバウンディング運動の  
跳躍記録との相関関係

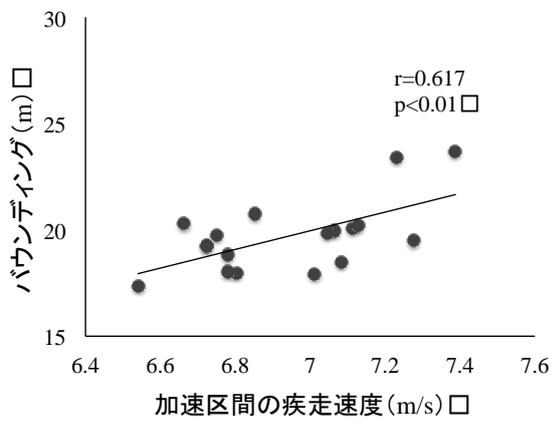


図 8. 加速区間における疾走速度とバウンディング運動の  
跳躍記録との相関関係

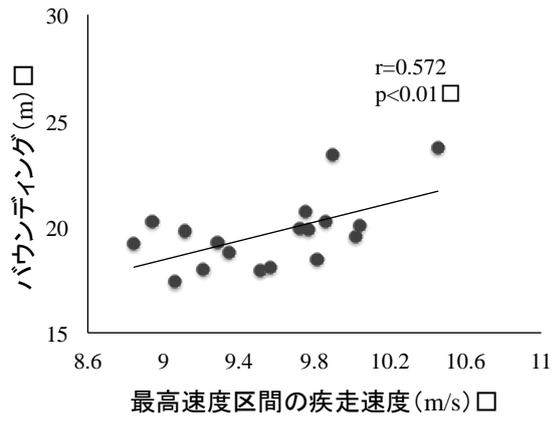


図 9. 最高速度区間における疾走速度とバウンディング運動の  
跳躍記録との相関関係

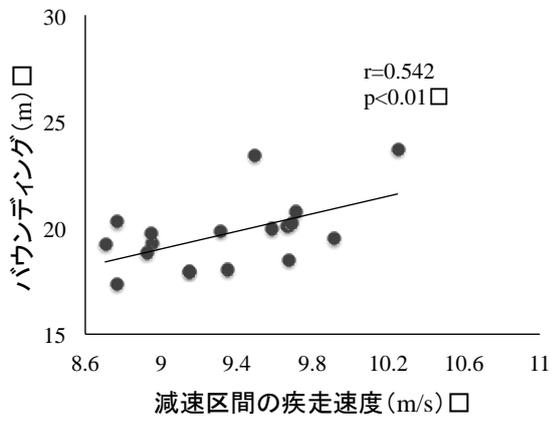


図 10. 減速区間における疾走速度とバウンディング運動の  
跳躍記録との相関関係

### 2.2.2 疾走能力の違いによるバウンディング運動の跳躍記録

100m 走の疾走タイムおよび最高速度区間の上位群における立十段跳およびバウンディング運動は、下位群と比較して有意に高い値を示した（表 6，図 11）。その他，ジャンプ運動の記録は，上位群と下位群を比較しても有意な差および傾向は認められなかった。

加速区間の上位群における跳躍記録は，下位群と比較して有意な差が認められなかった（表 7）。また，減速区間における上位群の跳躍記録は，下位群と比較して有意な差が認められなかった（表 8）。

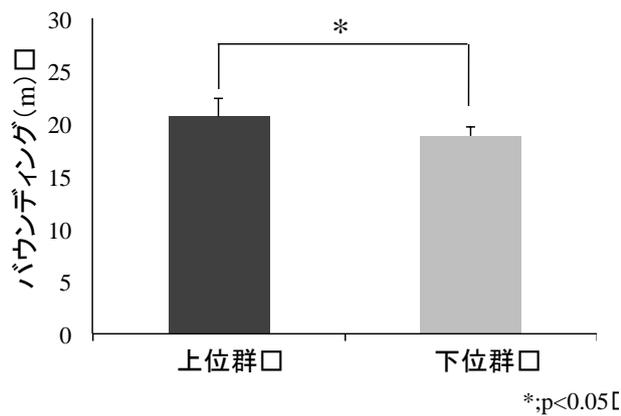


図 11. 100m 走および最高速度区間における上位群と下位群におけるバウンディング運動の跳躍記録の比較

表 6. 100m 走の疾走タイムおよび最高速度区間における疾走速度の  
上位群と下位群における跳躍記録の比較

	上位群(n=9)	下位群(n=9)
立幅跳(m)	2.61±0.2	2.53±0.08
立三段跳(m)	7.86±0.54	7.70±0.61
立五段跳(m)	13.64±1.02	12.96±0.5
立十段跳(m)	28.53±2.15*	26.45±1.26
バウンディング運動(m)	20.66±1.65*	18.75±0.91

\*:p<0.05

表 7. 加速区間における疾走速度の上位群と  
下位群における跳躍記録の比較

	上位群(n=9)	下位群(n=9)
立幅跳(m)	2.63±0.18	2.50±0.10
立三段跳(m)	7.85±0.56	7.71±0.60
立五段跳(m)	13.52±1.10	13.08±0.47
立十段跳(m)	28.20±2.38	26.78±1.29
バウンディング運動(m)	20.35±1.86	19.06±1.04

表 8. 減速区間における疾走速度の上位群と  
下位群における跳躍記録の比較

	上位群(n=9)	下位群(n=9)
立幅跳(m)	2.61±0.20	2.53±0.08
立三段跳(m)	7.85±0.55	7.71±0.61
立五段跳(m)	13.64±1.02	12.96±0.50
立十段跳(m)	28.31±2.34	26.66±1.24
バウンディング運動(m)	20.46±1.83	18.95±0.93

## 2.3 考察

本研究におけるバウンディング運動は、立十段跳の跳躍記録と立三段跳の記録の差とした。木越ら（2001）によると、立五段跳の三步目における接地時間（ $0.45 \pm 0.04$  秒）は、立十段跳の 8 歩目（ $0.40 \pm 0.05$  秒）と比較して有意に長かったことが報告されている。この関係から、3 歩目までは一定のところまで加速する局面と考えられ、8 歩目あたりでは、より高い速度でジャンプ運動をしていたと考えられる。短距離走において加速状態の接地時間は、最高速度状態と比較して長いことから（木越 2012）、立五段跳の 3 歩目は、加速状態であったのに対して、立十段跳の 8 歩目はそれよりも速度が高い状態であったことが考えられる。よって、本研究で定義したバウンディング運動は、高速でのジャンプ運動であったと考えられる。

バウンディング運動は、ジャンプ運動の一種であることから伸張-短縮サイクルを利用した短時間に大きな力を発揮する能力を高めるトレーニングとして用いられている（Young 1992 ; Mero and Komi 1994）。また、短距離走においても、伸張-短縮サイクルが疾走速度を向上させるために重要であることが報告されている（Cavagna 1971）。つまり、バウンディング運動と短距離走においては、下肢の伸張-短縮サイクルを利用した力発揮が重要であり、両運動の力発揮の共通性があるため、相関関係が認められた要因であると考えられる。

100m 走の上位群と下位群に分けたところ、最高速度区間の上位群、下位群は、同一の被験者によって構成された。松尾ら（2008 ; 2009）の報告によると、最高速度区間で発揮されている疾走速度が高い選手ほど、100m 走の記録が良く、これらの関係性は極めて高いことが報告されている（2008 ;  $r=0.933$ , 2009 ;  $r=0.972$ ）。本研究においても、最高速度区間の疾走速度と 100m 走の疾走タイムとの間に有意な負の相関関係が認められた。つまり、100m 走の疾走タイムが速い選手は、最高速度区間における速度が速いことから、100m 走の疾走タイムの上位群が最高速度区間の疾走速度の上位群になったことが考えられる。

100m 走の疾走タイムおよび最高速度区間の疾走速度とバウンディング運動の跳躍記録との間に相関関係が認められた。また、100m 走および最高速度区間の上位群におけるバウンディング運動は、下位群と比べて、有意に高い値を示した。青木ら（2007）によると、60m および 100m 走における疾走タイムが速い選手は、バウンディング運動の跳

躍距離が長いことが報告されている。このことから、バウンディング運動は、短距離走の100m走および最高速度区間の疾走速度と関係することが示唆された。

木越ら(2001)によると、バウンディング運動の跳躍記録と後半の接地時間との間で負の相関関係を報告しており、また接地時間と股関節伸展速度との間に負の相関関係があったことが報告している。この2つの関係から、バウンディング運動は、股関節を速く伸展させて接地時間を短くすることで跳躍距離を伸ばしていることから、股関節を主動とした脚全体のスイングをしていたことが考えられる。伊藤ら(1998)によると、最高速度区間の疾走速度が高い選手は、下肢全体のスイング動作が速いことを報告している。つまり、最高速度区間の疾走速度と立十段跳の後半の動きは、下肢全体をスイングさせる動作であると考えられる。

短距離走の最高速度区間とバウンディング運動における力発揮の関係として、木越ら(2012)によると、短距離走選手を対象として、バウンディング運動における地面反力の鉛直成分は、短距離走と比べて大きく、両運動間の地面反力の鉛直成分に有意な相関関係があることが報告されている。また、Weyandら(2000)によると、疾走速度が高い選手は、地面反力の鉛直成分が高いことが報告されている。この報告から、バウンディング運動における鉛直成分の力発揮は、短距離走の疾走速度向上につながる事が考えられる。

### 第3章 バウンディング運動と最高速度区間における疾走速度および動作との関係

#### 3.1 方法

##### A) . 被験者

被験者は、短距離走種目を専門とする男子選手 12 名（年齢：20.5±1.0 歳；身長：174.6±6.3cm；身体質量：66.3±4.6kg；BMI：21.8±2.1 kg/m<sup>2</sup>；昨シーズンの 100m のベスト記録 11.02±0.36 秒，競技歴：8.4±2.2 年）であった。被験者には実験前に研究の趣旨と測定時の危険などについて書面および口頭にて説明し，書面にて実験参加のインフォームドコンセントを得た。本研究の実験は，所属する研究機関の倫理審査委員会から承認（受付番号／承認番号：BKC-人-2013-6）を受けた後に実施した。

##### B) . 測定試技

クラウチングスタートから 60m までの距離を全力疾走させる短距離走の試技を 2 回，10m の助走をつけた 30m のバウンディング運動の試技を 2 回行わせた。短距離走の試技では，できる限りスタートからゴールまでの疾走タイムを短くすることを指示し，バウンディング運動の試技ではできる限り跳躍距離を伸ばす指示した。各測定試技の順はランダムにして，試技間では被験者に 5 分以上の十分な休息をとらせた。ウォーミングアップは，各自が試合で行う内容と同様にする指示した。

##### C) . データ計測

短距離走における疾走タイムは，スタートの合図をアナログ信号として出力し，光電センサ（E3S-3D/L，オムロン社）を通過したときに出力されるアナログ信号まで時間とした。

被験者の全身計 51 点に反射マーカを貼付し（図 12），サンプリング周波数を 200Hz に設定した 15 台のハイスピードカメラ（Raptor-E，Motion Analysis 社）によって，短距離走の疾走動作およびバウンディング運動の跳躍動作中の三次元座標変位データを取得した。短距離走におけるスタートから 50m 地点の前後 6m の疾走動作およびバウンディング運動における動作開始から 15m 地点の前後 6m の動作を撮影した。

短距離走およびバウンディング運動の試技における各測定範囲での身体合成重心の水

平速度の増加量は、それぞれ  $0.09 \pm 0.04 \text{m/s}$ 、 $0.06 \pm 0.09 \text{m/s}$  であった。そのため、各試技における疾走動作および跳躍動作は、最大努力下での最大速度区間において撮影されたとはいえる。

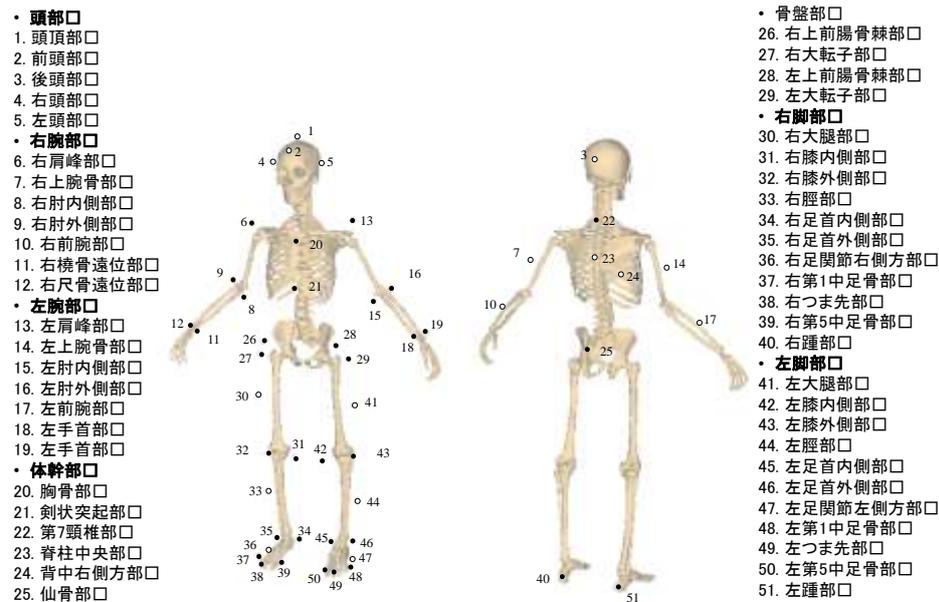


図 12. マーカーの配布位置 ●:解剖学的特徴点, ○:セグメント貼付点

#### D) . データ分析

計測から得られた反射マーカー51点の三次元座標変位データは、四次のバターワース型ローパスフィルターを用いてカットオフ周波数 12Hz (STEPHEN ら, 2000) で平滑化した。接地の瞬間は、つま先または踵に貼付したマーカー合成速度が  $2 \text{m/s}$  以下となった瞬間、離地の瞬間は、つま先または踵に貼付したマーカー速度が  $2 \text{m/s}$  以上となった瞬間で同定した。

Nakamura ら (2005) の手法を用いて、得られた三次元座標変位データから頭部、第1~7頸椎、第1~12胸椎、第1~5腰椎、左右肋軟骨部、胸骨、左右鎖骨部、左右肩甲骨部、左右上腕部、左右前腕部(尺骨側)、左右前腕部(橈骨側)、左手、右手、左右大腿部、骨盤部、左右下腿部(脛骨側)、左右膝蓋骨部、左右下腿部(腓骨側)、左右後足部、左右つま先の計53のセグメントからなる剛体リンクモデルによって解析を行った。下肢三関節角度は、骨格モデル上のマーカー位置と実際のマーカーの位置が一致するように、最小

化問題を解いて求めた。身体形状の推定は、産業技術総合研究所の AIST 人体寸法データベース 1997-98 を用いた。下肢三関節における関節角度および角速度の算出では、筋骨格モデル動作解析ソフトウェア (nMotion muscular ver.1.11, Nac 社) を用いた。

#### E). 分析項目

- ・身体重心水平速度 : 1 サイクルにおける身体重心の移動距離とその所要時間から算出した平均速度.
- ・身体重心鉛直速度の変化量 : 接地時から離地時までの身体合成重心における鉛直変位を時間微分したもの.
- ・身体重心鉛直速度の変化率 : 身体重心鉛直速度の変化量を時間微分したもの.
- ・跳び出し角度 ( $\theta_{\text{jump}}$ ) : 離地直後と滞空期の最高到達地点における身体合成重心位置がなす角 (図 13A).
- ・ストライド : 接地時の踵から次の接地時(右足の場合, 右脚の接地から左脚の接地) の踵までの距離における 1 サイクルの平均.
- ・接地期の身体重心水平変位 : 接地の瞬間から離地の瞬間までの身体重心水平移動距離.
- ・滞空期の身体重心水平変位 : 離地の直後から次の脚が接地するまでの身体重心の水平移動距離.
- ・ピッチ : 疾走速度を歩幅で除した値.
- ・接地時間 : 足が地面に接地してから離れるまでの時間.
- ・ストライド指数 : ストライド/下肢長
- ・ピッチ指数 :  $\text{ピッチ} \times (\text{下肢長}/9.81)^{1/2}$
- ・股関節角度 : 骨盤部からみた大腿骨との相対角度 (図 13B).
- ・膝関節角度 : 大腿骨と下腿部がなす相対角度 (図 13B).
- ・足関節角度 : 下腿部と足部がなす相対角度 (図 13B).
- ・股関節開脚角度 ( $\theta_{\text{leg}}$ ) : 右大転子と右膝外側部を結んだ線の長軸と左大転子と左膝外側部を結んだ線の長軸がなす絶対角度 (図 13A).
- ・振り出し角度 ( $\theta_{\text{knee\_air}}$ ) : 滞空期におけるつま先が反対の足つま先を超えてからの膝関節角度 (図 13C).
- ・接地時および離地時における股関節, 膝関節, 足関節の角度.
- ・接地期における最大屈曲時の膝関節, 足関節の角度 (なお, 本研究における足関節の屈曲は背屈を意味している) .

- ・股関節伸展，膝関節屈曲および伸展，足関節底屈および伸展の最大角速度.
- ・滞空期における最大屈曲時の股関節，膝関節角度.
- ・股関節屈曲，膝関節屈曲，股関節開脚，振り出しの最大角速度.

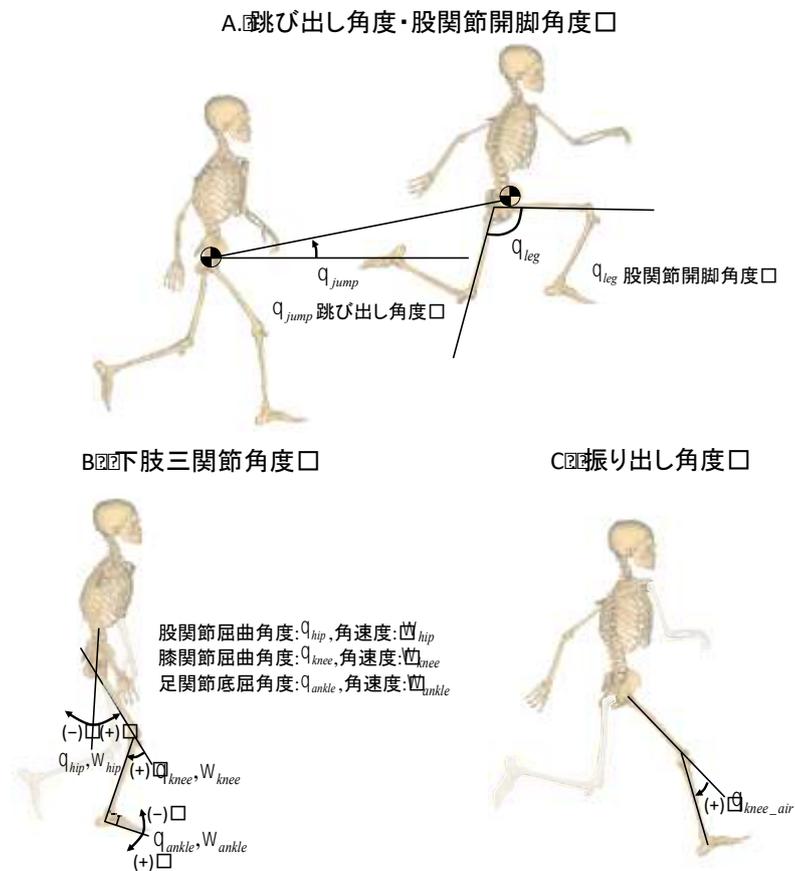


図 13. 角度定義

また，短距離走における 50m 地点の疾走速度を基づき，被験者 12 名を上位群 6 名と下位群 6 名へ分けた。

F) . 統計処理

短距離走とバウンディング運動との差の検定では、対応のある t 検定を用い、上位群と下位群における差の検定では、F 検定を行い、等分散が仮定できるものには対応のないスチューデントの t 検定を、等分散が仮定できないものには Welch の t 検定を用いた。統計処理における有意水準を 5%未満とした。

## 3.2 結果

### 3.2.1 バウンディング運動の跳躍動作と短距離走の疾走動作との比較

バウンディング運動は、短距離走よりもストライドが有意に長く、ピッチが有意に低かった(表 9)。接地期におけるバウンディング運動の身体重心水平速度は、短距離走よりも有意に低かったのに対して、身体重心鉛直速度の変化率(図 14 E)は有意に高かった。また、滞空期におけるバウンディング運動の身体重心水平変位および滞空時間は、短距離走よりも有意に長かった(図 14C)。さらに、

表 9. 短距離走およびバウンディング運動における身体合成重心、ストライドおよびピッチに関する変数の違い

	短距離走	バウンディング運動
身体合成重心		
水平速度(m/s)	9.40±0.29**	5.22±0.63
接地期の鉛直成分の速度変化量(m/s)	1.4±0.1	3.7±0.3††
接地期の鉛直成分の速度変化率(m/s <sup>2</sup> )	12.6±1.3	18.8±1.9††
跳び出し角度(°):θ <sub>jump</sub>	1.9±0.3	9.0±1.8††
ストライド(m)		
接地期の身体重心水平位置の変位(m)	1.04±0.06	1.01±0.08
滞空期の身体重心水平位置の変位(m)	1.03±0.05	1.89±0.26††
ピッチ(Hz)		
接地時間(s)	0.110±0.006	0.197±0.012††
滞空時間(s)	0.113±0.007	0.363±0.033††
ストライド指数	— 2.39±0.08	3.31±0.31††
ピッチ指数	— 1.35±0.05**	0.54±0.05

短距離走 > バウンディング運動の場合 \* : p<0.05) \*\* : p<0.01

短距離走 < バウンディング運動の場合 † : p<0.05) †† : p<0.01

表の書式変更

書式変更: インデント: 最初の行: 0  
字

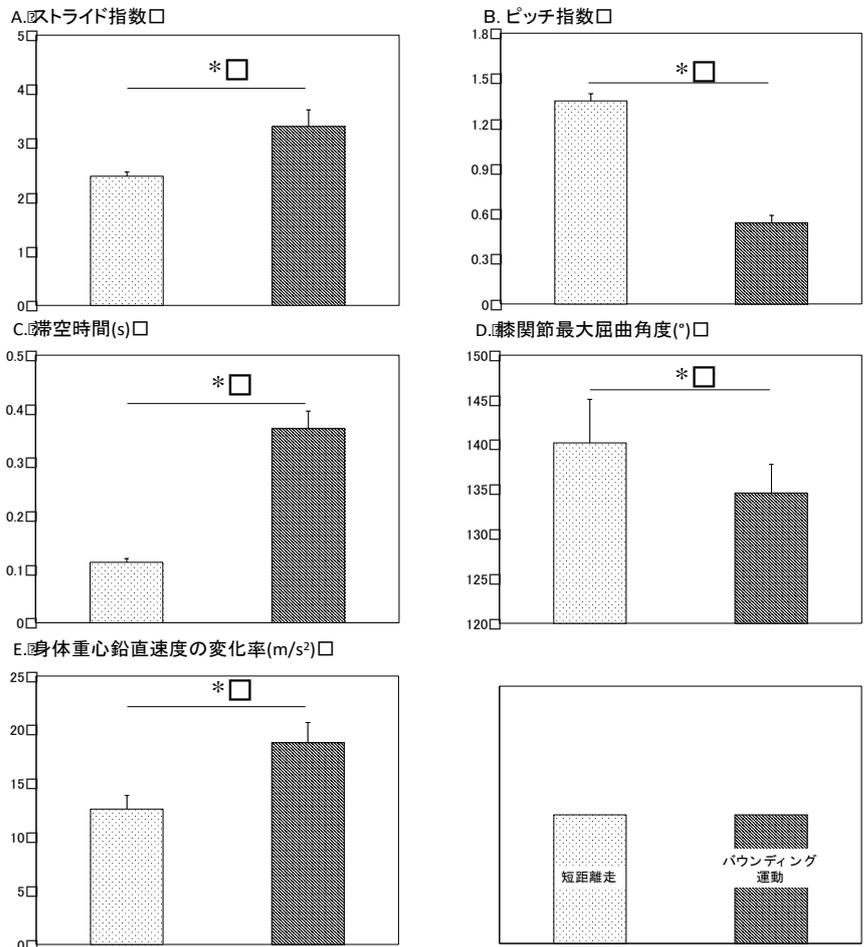


図 14. 短距離走とバウンディング運動における各変数の比較

\* : p<0.05 は値が有意に大きいことを示す.

バウンディング運動における股関節角度の接地時および離地時は，短距離走と比較して有意な差は認められなかった（表 10）．バウンディング運動における膝関節角度の接地時，離地時，最大屈曲（図 14D），屈曲および伸展の変化量は，短距離走と比較して高い値を示した．バウンディング運動における膝関節最大屈曲角速度は，短距離走に比較して有意に低い値を示し，膝関節伸展角速度においては，有意な差は認められなかった．バウンディング運動における足関節角度の離地時，最大屈曲（図 14D），屈曲および伸展の変化量は，短距離走と比較して高い値を示した．また，滞空期のバウンディング運動における跳び出し角度，股関節最大屈曲角度および股関節開脚角度は，短距離走と比較して有意に高い値を示した（表 11）．その他の接地期および滞空期における短距離走およびバウンディング運動の変数については表 10，11 に示した．

表 10. 接地期における短距離走およびバウンディング運動の下肢動作の比較

	短距離走	バウンディング運動
股関節		
角度: $\theta_{\text{hip}}$ (°)		
接地時	51.1±7.1	51.9±6.9
離地時	-4.2±4.8	0.2±9.2
角速度: $\omega_{\text{hip}}$ (°/s)		
最大伸展	578±41**	390±72
膝関節		
角度: $\theta_{\text{knee}}$ (°)		
接地時	157.1±4.0	161.0±4.6†
最大屈曲時	140.2±4.8**	135.0±3.2
離地時	160.2±3.8	171.0±2.6††
屈曲変位	16.9±4.3	26.8±5.8††
伸展変位	20.0±4.4	36.4±3.5††
角速度: $\omega_{\text{knee}}$ (°/s)		
最大屈曲	400±92	533±91††
最大伸展	440±50	476±54
足関節		
角度: $\theta_{\text{ankle}}$ (°)		
接地時	15.9±2.9	17.5±8.7
最大屈曲	-10.0±4.1	-19.6±3.1††
離地時	30.7±6.7	36.4±5.0†
屈曲の変化量	25.9±3.2	37.1±9.0††
伸展の変化量	40.6±5.8	56.0±4.5††
角速度: $\omega_{\text{ankle}}$ (°/s)		
最大屈曲	1015±94*	929±86
最大伸展: $\omega_3$	599±91	574±132

短距離走 > バウンディング運動の場合 \* : p<0.05) \*\* : p<0.01

短距離走 < バウンディング運動の場合 † : p<0.05) †† : p<0.01

表 11. 滞空期における短距離走およびバウンディング運動の下肢動作の比較

	短距離走	バウンディング運動
股関節		
角度: $\theta_{\text{hip\_air}}$ (°)		
最大屈曲角度	95.9±3.5	115.2±11.4††
開脚角度	97.5±3.4	110.4±6.7††
角速度: $\omega_{\text{hip\_air}}$ (°/s)		
最大屈曲	793±59**	638±29
最大開脚	1492±114**	912±87
最大閉脚	1100±64**	851±90
膝関節		
角度: $\theta_{\text{knee}}$ (°)		
最大屈曲	143.0±5.2**	116.0±16.0
振り出し	158.0±3.9	164.0±4.3††
角速度: $\omega_{\text{knee\_air}}$ (°/s)		
最大屈曲	1242±104**	658±143
最大振り出し	1265±88**	595±150
短距離走 > バウンディング運動の場合 * : p<0.05) ** : p<0.01		
短距離走 < バウンディング運動の場合 † : p<0.05) †† : p<0.01		

### 3.2.2 疾走能力の違いがバウンディング運動の跳躍動作に与える影響

最高速度区間における疾走能力上位群と下位群の身体特性を示した(表 12). 上位群におけるバウンディング運動のストライド指数は, 下位群と比較して有意に高い値を示し, ピッチ指数は, 有意に低い値を示した(表 13, 図 15A, B). また, 上位群におけるバウンディング運動の接地時間は, 下位群と比較して有意な差は認められなかったが, 上位群におけるバウンディング運動の滞空時間は, 下位群が有意に高い値を示した.(図 15C). さらに, 上位群におけるバウンディング運動の身体重心鉛直速度の変化率は, 下位群と比較して有意に高い値を示した(図 15E).

表 12. 上位群および下位群の特徴

	上位群(n = 6)	下位群(n = 6)
短距離走の身体合成重心水平速度(m/s)	9.61±0.26*	9.20±0.19
年齢(歳)	21.0±0.6	20.6±1.2
身長(m)	1.75±0.03	1.73±0.08
身体質量(kg)	63.8±4.0	69.0±3.6
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	21.6±2.7	20.8±1.3
100m 走のシーズンベスト記録(s)	10.74±0.20*	11.31±0.23
競技歴(年)	9.0±1.9	7.8±2.3

上位群>下位群の場合 \* : p<0.05 \*\* : p<0.01

上位群<下位群の場合 † : p<0.05 †† : p<0.01

表 13. 上位群および下位群のバウンディング運動における身体合成重心  
ストライドおよびピッチに関する変数の比較

バウンディング運動	上位群 (n = 6)	下位群 (n = 6)
身体合成重心		
水平速度(m/s)	5.15±0.88	5.28±0.41
接地期の鉛直成分の速度変化量(m/s)	3.9±0.3*	3.5±0.2
接地期の鉛直成分の速度変化率(m/s <sup>2</sup> )	20.0±1.7*	17.6±1.5
跳び出し角度(°) : $\theta_{\text{jump}}$	9.9±2.3	8.1±0.9
ストライド(m)		
接地期での身体重心水平位置の変位(m)	1.00±0.09	1.01±0.10
滞空期での身体重心水平位置の変位(m)	2.01±0.29	1.76±0.20
ピッチ(Hz)		
接地時間(s)	0.197±0.013	0.198±0.014
滞空時間(s)	0.385±0.030*	0.341±0.024
ストライド指数	3.48±0.28*	3.14±0.24
ピッチ指数	0.51±0.05	0.57±0.02†

上位群 > 下位群の場合 \* : p<0.05 \*\* : p<0.01

上位群 < 下位群の場合 † : p<0.05 †† : p<0.01

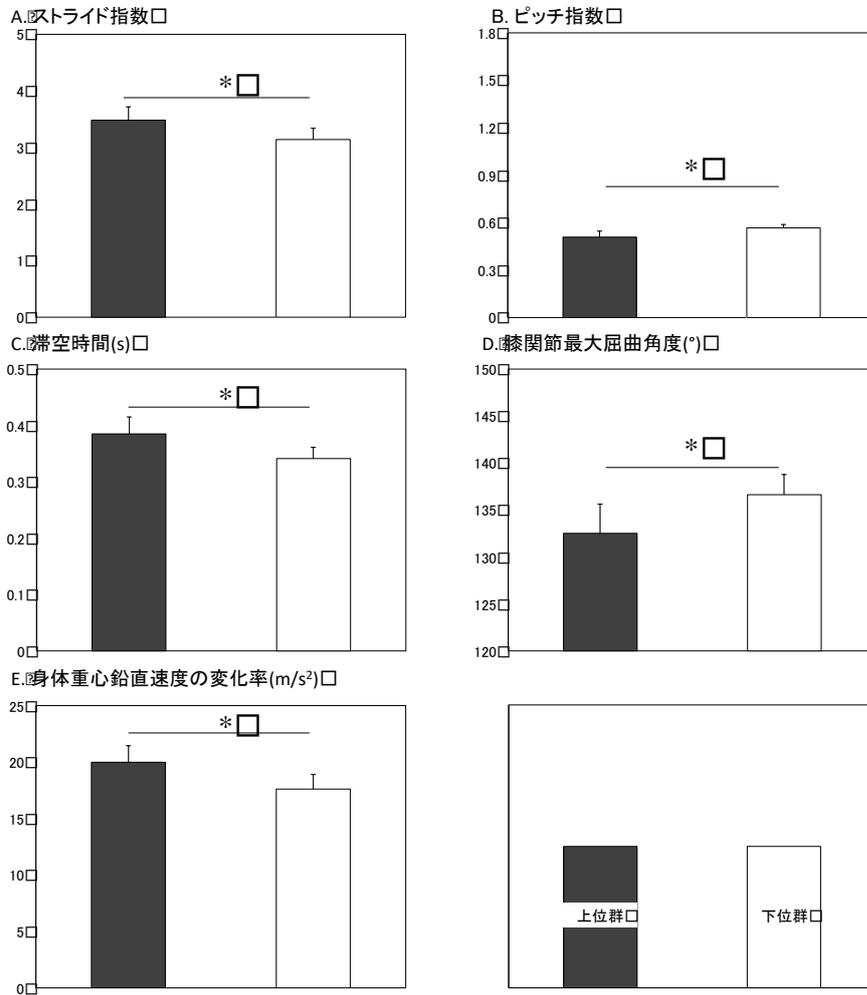


図 15. 上位群と下位群における各変数の比較

\* :  $p < 0.05$  は値が有意に大きいことを示す.

書式変更: 中央揃え

接地期のバウンディング運動における股関節角度は、どの局面においても上位群と下位群を比較して有意な差は認められなかった(表 14)。上位群におけるバウンディング運動の膝関節角度の接地時および最大屈曲角度、屈曲の変化量は、下位群と比較して有意に高い値を示した。上位群におけるバウンディング運動の膝関節屈曲角速度は、下位群と比較して有意に高い値を示した。また、上位群におけるバウンディング運動の膝関節伸展角速度は、下位群と比較して有意な差は認められなかった。滞空期におけるバウンディング運動の股関節最大屈曲角速度および最大開脚角速度は、上位群と下位群を比較して有意な差は認められなかった(表 15)。上位群におけるバウンディング運動の膝関節最大屈曲角度は、下位群と比較して有意に高い値を示し、振り出し角度は上位群と下位群を比較して有意な差は認められなかった。その他の接地期および滞空期における上位群および下位群の変数については表 13, 14 に示した。

表 14. 接地期の上位群と下位群におけるバウンディング運動の下肢動作の比較

バウンディング運動	上位群 (n = 6)	下位群 (n = 6)
股関節		
角度 : $\theta_{\text{hip}}$ (°)		
接地時	51.2±6.0	52.5±8.9
離地時	2.6±10.1	-2.2±9.3
角速度 : $\omega_{\text{hip}}$ (°/s)		
最大伸展	347±33	433±84*
膝関節		
角度 : $\theta_{\text{knee}}$ (°)		
接地時	164.1±4.4*	158.5±3.5
最大屈曲時	132.5±3.1	136.6±2.1*
離地時	170.7±2.4	171.2±3.2
屈曲変位	31.6±4.0**	21.9±2.9
伸展変位	38.2±2.2	34.6±4.0
角速度 : $\omega_{\text{knee}}$ (°/s)		
最大屈曲	596±56*	470±85
最大伸展	495±41	457±66
足関節		
角度 : $\theta_{\text{ankle}}$ (°)		
接地時	16.9±12.5	18.1±4.8
最大屈曲	-21.4±1.8	-17.9±3.6
離地時	34.3±4.3	38.5±5.5
屈曲の変化量	38.2±11.6	36.0±7.6
伸展の変化量	55.7±3.2	56.4±6.2
角速度 : $\omega_{\text{ankle}}$ (°/s)		
最大屈曲	957±92	902±86
最大伸展: $\omega_3$	580±169	568±116

上位群 > 下位群の場合 \* (p<0.05) \*\* (p<0.01)

上位群 < 下位群の場合 † (p<0.05) †† (p<0.01)

表 15. 滞空期の上位群と下位群におけるバウンディング運動の  
下肢動作の違い

バウンディング運動	上位群 (n = 6)	下位群 (n = 6)
股関節		
角度: $\theta_{\text{hip\_air}}$ (°)		
最大屈曲角度	115.7±13.4	114.8±11.6
開脚角度	107.3±6.1	113.4±6.8
角速度: $\omega_{\text{hip\_air}}$ (°/s)		
最大屈曲	630±31	646±30
最大開脚	911±107	912±81
最大閉脚	867±90	834±103
膝関節		
角度: $\theta_{\text{knee}}$ (°)		
最大屈曲	120.0±17.6	112.5±16.4
振り出し	166.4± 4.0*	160.7± 3.0
角速度: $\omega_{\text{knee\_air}}$ (°/s)		
最大屈曲	564±157	753±55*
最大振り出し	602±96	589±211

上位群 > 下位群の場合 \* (p<0.05) \*\* (p<0.01)

上位群 < 下位群の場合 † (p<0.05) †† (p<0.01)

### 3.3 考察

#### 3.3.1 バウンディング運動の跳躍動作と短距離走の疾走動作との比較

バウンディング運動において被験者に指示した運動課題は、できる限り跳躍距離を伸ばすことであった。バウンディング運動におけるストライドは 2.92m、ストライド指数は 3.31 であり（図 14A）、短距離走におけるストライドは 2.10m、ストライド指数は 2.39 であった。

接地期におけるバウンディング運動の跳躍動作は、短距離走の疾走動作と比べて、膝関節および足関節屈曲角度変位・最大屈曲角度（図 14D）・伸展角度変位が有意に大きかった。つまり、バウンディング運動では、短距離走と比べ、膝関節および足関節を大きく屈曲させながら体全体が沈み込み、その後、大きな伸展動作によって水平方向へ移動させるキックをしていることが示唆された。

接地期のバウンディング運動における膝関節および足関節角度の屈曲および伸展変化量は、短距離走と比較して有意に高い値を示した。短距離走における研究では、最高疾走速度が高い選手ほど、接地期において膝関節および足関節を離地にかけて伸展させないことが報告されている（伊藤ら，1998；貴嶋，2008）。つまり、バウンディング運動では、最高速度区間の疾走速度を高めるための、膝関節および足関節の屈曲および伸展変位を少なくするという課題とは異なる動作が行われていたことが示唆された。

バウンディング運動では、短距離走と比べて滞空時間が長くなるため、接地時により大きな重力加速度が身体重心に加わりながら着地することになる。接地期におけるバウンディング運動の身体重心鉛直速度の変化率は、短距離走よりも有意に高かった（図 15E）。接地の瞬間から離地の瞬間までの身体重心速度の変化量は、地面反力を時間積分した力積を身体質量で除したものに相当する。そのため、接地期における身体重心鉛直速度の変化率は、身体重量あたりの地面反力の平均値に相当する。そのため、接地期においてバウンディング運動は、短距離走と比べて、鉛直方向に大きな力発揮をしていたことが考えられる。短距離走の最高速度区間において疾走速度が高い選手ほど、身体質量あたりの地面反力の鉛直成分の平均値が大きいことが報告されている（Weyand ら，2000）。つまり、バウンディング運動では、短距離走の中間疾走で求められる大きな力発揮が行われることが示唆された。

バウンディング運動における身体重心鉛直速度の変化率は、 $18.8\text{m/s}^2$  であり、短距離走における  $12.6\text{m/s}^2$  よりも 1.5 倍の値であった。Weyand ら（2000）の短距離

走の最高速度区間に関する直線回帰式によれば、身体質量あたりの地面反力の鉛直成分の平均値が 1.5 倍になる時、疾走速度は 2.3 倍になることが示されている。このようにバウンディング運動では、短距離走を全力疾走して発揮する力以上の負荷が体全体にかかることになるため、バウンディング運動は、過負荷の原理からみて短距離走の最高速度区間における鉛直方向への力発揮能力を改善するトレーニングとなることが考えられる。

滞空期のバウンディング動作は、股関節の最大屈曲角度および開脚角度が有意に大きかった。この結果は、バウンディング運動における跳躍動作では、短距離走と比べて、腿を高く上げながら、脚を前後に大きくする動作であることを示唆するものである。これは、バウンディング運動では、高く跳ぶことで腿を高く上げることができる余裕ができるため、自然と短距離走よりも大きな動作が行われていたものと考えられる。

### 3.3.2 疾走能力の違いがバウンディング運動の跳躍動作に与える影響

短距離走の上位群は、下位群よりも、バウンディング運動において同じ接地時間の中で膝関節最大屈曲角度を大きくさせた後（図 15D）、離地時では下位群と同じ膝関節角度になるように伸展させていた。バウンディング運動は、上述したような短距離走における疾走速度の高い選手の特徴とは、逆の動きをしていたのにもかかわらず、上位群におけるバウンディング運動においては、その動きが強調される結果を示した。さらに上位群は滞空時間を下位群よりも有意に長くすることで（図 15C）、ピッチ指数を低下させながらも（図 15B）、ストライド指数を高めていた（図 4A）。

Bobbert ら（1987）によると、台高 20cm の高さからのカウンタームーブメントジャンプにおける跳躍高および膝関節屈曲は、台高 20cm の高さからドロップジャンプと比べて有意に高かったことが報告されている。このことをバウンディング運動に置き換えると、上位群が下位群と比較して、接地瞬間から膝関節最大屈曲までの膝関節屈曲変位を大きくすることで、鉛直方向へ跳び上がる跳躍動作を示したことが考えられる。これは、最高速度区間における疾走速度は、バウンディング運動における接地中の膝関節が大きく屈曲しながらも、その時にかかるエクセントリックな負荷に耐えることと関係があることを示唆するものである。このようなバウンディング運動における接地中のキック動作が、上位群のその後の滞空時間の長さやストライド指数高さにつながったと考えられる。

短距離走の疾走能力上位群における身体重心鉛直速度の変化率は、下位群より

も有意に高かった (図 15E)。木越ら (2012) は、短距離走の中間疾走における地面反力の鉛直成分が高い者ほど、バウンディング運動における地面反力の鉛直成分が高いことを報告している ( $r = 0.911, p < 0.01$ )。これは、バウンディング運動における地面反力の鉛直成分は短距離走の疾走速度と関係があることを示唆するものである。以上のことから、バウンディング運動では、跳躍距離を伸ばしながらも鉛直方向に力を発揮することが重要な課題となることが考えられた。

## 第4章 結論

本研究では、第2章では100m走の疾走タイムおよび最高疾走区間の疾走速度とバウンディング運動の跳躍記録との関係について検討した。さらに第3章では、最高速度区間の疾走動作とバウンディング運動の跳躍動作との相違点について検討した。主な結果は以下の通りである。

1. 100m走の加速、最高速度および減速区間とバウンディング運動における跳躍記録との間に有意な相関関係が認められた。
2. 最高速度区間における疾走能力上位群のバウンディング運動の跳躍記録は、下位群と比べて、有意に高い値を示した。
3. バウンディング運動における身体重心鉛直速度の変化率は、短距離走の最高速度区間と比較して、有意に高い値を示した。
4. バウンディング運動における股関節角度は、短距離走の最高速度区間と比較して、有意な差が認められなかった。
5. バウンディング運動における膝関節および足関節角度は、短距離走の最高速度区間と比較して、有意に屈曲および伸展が大きかった。
6. 疾走能力上位群におけるバウンディング運動の身体重心鉛直速度の変化率は、下位群と比較して、有意に高い値を示した。
7. 疾走能力上位群におけるバウンディング運動の股関節角度は、下位群と比較して、有意な差が認められなかったが、疾走能力上位群におけるバウンディング運動の膝関節屈曲変位は、下位群と比較して、有意に屈曲および伸展が大きかった。

以上の結果から、バウンディング運動の跳躍記録を高めることは、短距離走における最高速度区間の疾走速度を高めることにつながる可能性があると考えられ

る。また、バウンディング運動は、短距離走における鉛直成分の力発揮の能力を改善するトレーニングになることが予想される。

参考文献

Abdolhamid Habibi, Esmaeil Rahimi, Rouhollah Fatemi, Abdolrahman Najafi,

Hossein Analoei, Morad Hosseini (2010). Relationship between jump test results and acceleration phase of sprint performance in national and regional 100m sprinters. Journal

of Human Kinetics 23, 29-35.

青木和浩, 河村剛光, 越川一紀, 吉儀 宏 : 大学跳躍選手におけるバウンディング能力と体力の関係およびその性差, 陸上競技研究(71), 10-15, 2007

Blazevich, A. J. & Jenkins, D. G. (2002). Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *J Sports Sci* 20, 981-90.

Bobbert, M. F., Huijing, P. A. & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc* 19, 332-8.

Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Messonnier, L. & Lacour, J. R. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J Sports Med Phys Fitness* 42, 274-81.

Cavagna, G. A., Komarek, L. & Mazzoleni, S. (1971). The mechanics of sprint running. *J Physiol* 217, 709-21.

Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R. & Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 27, 1203-9.

Dowson, M. N., Nevill, M. E., Lakomy, H. K., Nevill, A. M. & Hazeldine, R. J. (1998). Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J Sports Sci* 16, 257-65.

遠藤俊, 典宮下憲, 尾縣貢: 100m走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティック的要因の影響, 体育学研究53, 477-490, 2008

福田厚治, 伊藤章: 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか, 体育学研究 49, 29-39, 2004

Hunter, J. P., Marshall, R. N. & McNair, P. J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech* 21, 31-43.

伊藤章, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道: 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, 1998

伊藤章, 斉藤昌久, 淵本隆文: スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワーおよび筋放電パターンの変化, 体育学研究42, 71-83, 1997

伊藤道郎: スプリントトレーニングにおけるバウンディング運動の効果, 天理大学学報 203:7-13, 2003

岩竹淳, 鈴木朋美, 中村夏実, 小田宏行, 永澤健, 岩壁達男: 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, 2002

Joseph L. Rogers, 沢村博, 沢木啓祐, 尾県貢, 青山清英: コーチングマニュアル, 東京印書館, 1994

Kale, M., Asci, A., Bayrak, C. & Acikada, C. (2009). Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *J Strength Cond Res* 23, 2272-9.

Kivi, D. M., Maraj, B. K. & Gervais, P. (2002). A kinematic analysis of high-speed

- treadmill sprinting over a range of velocities. *Med Sci Sports Exerc* 34, 662-6.
- 木越清信,磯部慶,加藤彰浩:特徴の異なるバウンディング運動における力およびパワー発揮の特異性, 陸上競技学会誌, 2012
- 貴嶋孝太, 福田厚治, 伊藤章, 堀尚,末松大喜,大宮真一,川端浩一,山田彩,村木有也, 淵本隆文,田邊智:世界と日本の一流短距離選手のスタートダッシュ動作に関するバイオメカニクス分析—特にキック脚動作に着目して—, 陸上競技研究紀要, 4,56-66, 2008
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech* 33, 1197-206.
- 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 土江寛裕, 杉田正明:2007年男女100m, 100mハードルおよび110mハードルのスピード分析報告, 陸上競技研究紀要4,48-55, 2008
- 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 土江寛裕, 杉田正明:2008年男女100m, 100mハードルおよび110mハードルのスピード分析報告, 陸上競技研究紀要5,50-62, 2009
- Maulder, P., & Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport* 6, 74-82.
- Mero A, Komi PV. (1994). EMG, force, and power analysis of sprint-specific strength exercises. *Journal of applied biomechanics* 10, 1-13.
- 大宮真一, 合屋十四郎:陸上短距離選手のバウンディング動作-助走速度の変化に伴う地面反力と踏切動作の検討, 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 28: 37-43, 2003
- Rimmer E, Sleivert G. (2000). Effects of a Plyometrics Intervention Program on Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2000, 14(3), 295–301

Ross, R. E., Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., Kang, J. & Chilakos,

A.

(2009). The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. J Strength Cond Res 23, 385-94.

書式変更: インデント : 左 : 0 mm, 最初の行 : 0 字

斉藤昌久, 伊藤章 : 2 歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化, 体育學研究 40(2), 104-111, 1995

Senshi Fukashiro, Thor F. Besier, Rod Barrett, Jodie Cochrane, Akinori Nagano, David G. Lloyd (2005). Direction Control in Standing Horizontal and Vertical Jumps. International Journal of Sport and Health Science Vol. 3 (2005) No. Special\_Issue\_2005 P 272-279

Simonsen, E. B., Thomsen, L. & Klausen, K. (1985). Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 54, 524-32.

W, Young. (1992). Sprint bounding and the sprint bound index. . Nat Strength Cond Assoc J. 14, 18-21.

渡邊 信晃, 榎本 靖士, 大山, 卞圭悟, 尾懸 貢, 勝田 茂スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係体育學研究 48(4), 405-419, 2003

Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J. & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. J Appl Physiol 89, 1991-9.

## 謝辞

本研究及び本論文の作成を進めるにあたり，多大なご指導を頂きました伊坂忠夫教授，東京大学の吉岡伸輔准教授に心より感謝致します．また本研究に対し，多くのご助言を頂きました立命館大学スポーツ健康科学部の栗原俊之助教，大塚光雄特任助教，本城豊之専門研究員，さらには日々の研究活動や事務処理などにおいて多くのお世話を頂いた秘書の奥村悦子氏，ご多忙にも関わらず快く実験を引き受けてくださった被験者の皆様，ならびにスポーツ健康科学部の伊坂研究室の方々に深く感謝いたします．