

2 0 1 6 年 度 修 士 論 文

110m ハードル走におけるアプローチ局面の
歩数の違いがパフォーマンスに与える影響

Effect of the number of steps during
approach phase on the performance of 110 m
hurdles.

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5 0 1 5 A 0 3 1 - 0

早川 恭平
Hayakawa, Kyohei

研究指導教員： 磯 繁雄 教授

目次

I . 諸言	1
II . 方法	7
2-1.被験者	7
2-2.実験内容	7
2-3.分析方法	9
2-4.局面分け	9
2-5.分析項目	10
III . 結果	18
3-1.試技全体の走速度	18
3-2.アプローチ局面におけるストライド	19
3-3.ハードリング距離と踏切，着地距離	20
3-4.ハードリング距離における踏切，着地距離の比率と割合	21
3-5.アプローチ局面における接地時間	21
3-6.アプローチ局面における滞空時間	22
3-7.最高走速度局面における接地時間と滞空時間	23
3-8.ハードリング滞空距離	25
3-9.アプローチ局面における下肢三関節の角度変化	26
3-10.最高走速度局面における下肢三関節の角度変化	32
3-11.アプローチ局面における地面反力の最大値と力積	38
3-12.最高走速度局面における地面反力の最大値と力積	44
IV . 考察	50
4-1.アプローチ局面における走速度とピッチ・ストライド	50
4-2.最高走速度局面における走速度とピッチ・ストライド	52

4-3.アプローチ局面における下肢三関節の角度変化と	
接地・滞空時間	52
4-4.最高走速度局面における下肢三関節の角度変化と	
接地・滞空時間	56
4-5.アプローチ局面における地面反力の最大値と力積	59
4-6. 最高走速度局面における地面反力の最大値と力積	61
V. 結 論	64
VI. 参 考 文 献	66
VII. 謝 辞	72

I . 緒言

陸上競技種目の中でハードル走は，トラック種目の1つであり，障害物(以下，ハードル)を越えていく技術が求められる種目である．このため，100m や 400m などの走運動において，高い走速度を獲得することのできる技術（以下，スプリント能力）だけでなく，ハードルを飛び越える技術（以下，ハードリング）も高いパフォーマンスを獲得する上で必要な要素である．ハードル走は主に，男子 110m ハードル走，女子 100m ハードル走，男女 400m ハードル走に大別されるが，いずれの種目においてもハードルの高さやハードルとハードルの間の距離(以下，インターバル)は一定であり，短距離走種目(以下，スプリント種目)と比較すると走動作の制約が高い競技特性がある．特に男子 110m ハードル走は高さが 106.7cm と非常に高く，短距離種目におけるハードル走の中でも極めて高度なハードリング技術を要する競技であると考えられる．

男子 110m ハードル走では，スタートから第 1 ハードルまでの距離(アプローチ区間とも呼ばれる 13.72m)，インターバル区間(9.14m)，10 台目ハードルからゴールまで(14.02m)が一定に決められている．スプリントにおいて，走速度はピッチ(単位時間当たりの歩数)とストライド(歩幅)の積によって決定され，走速度を上げるためにはピッチかストライド，もしくは両方を上げる必要がある．またスプリントにおける最高走速度の違いはストライドの差(Armstrong 1984)か，ストライドとピッチ両方の差(Hunter et al. 2004)に起因することが明らかとなっており，走速度を獲得するためのピッチとストライドの組み合わせはそれぞれの選手において同様ではないことが報告されている(Schiffer 2009)．しかし，それぞれの区間距離が一定である男子 110m ハードル走においては，制

限されたストライドでピッチを優先的に向上させ、またそのインターバル区間のピッチを後半まで維持できるかどうかが高走速度を獲得する上で必要な課題であると考えられている(一川ら 2002; 森田ら 1994)。したがって競技者が獲得しなければならないインターバル区間でのスプリント技術には、スプリント種目のような個人差は生まれにくいと考えられている。

また、左右の脚が対称に回転するスプリントに対し、左右の脚が非対称の動作であるハードリング動作が含まれることもスプリントと異なる点である。ハードリング動作は、ハードル上で上下運動を用いるリード脚(または振り上げ脚とも呼ぶ)と、踏切脚といわれる抜き脚(ハードル上で側部旋回運動する脚)の2種類の脚の左右非対称な動作により、ハードルを跳び越える技術である。このハードリング動作に要する時間をいかに短縮することができるかが、男子 110m ハードル走のトータルタイムを短縮する上で重要であり(伊藤ら 1997)、森田ら(1994)は 110m ハードル走の世界における中位群選手(13.40 秒-13.70 秒)と下位群選手(13.70 秒-14.00 秒)との差は平均インターバルタイム(インターバルに要した時間)ではなく、平均ハードリングタイム(ハードリングに要した時間)にあると報告している。これらのことから、一流競技者においてもハードリング技術の改善が課題であり、パフォーマンスの向上の要因の1つとして大きく影響していると考えられる。

その他に、ハードル走にはハードリング動作を行う際に、ハードルを飛び越える動作として走運動中に踏切動作がある。106.7cm のハードルを越えるために、身体重心を少なくともハードルの高さより高く上昇させなければならない(山田ら 1990)、立位時の身体重心位置がハードルの高さを越えている選手は海外の選手では近年多くみられるようになった。

しかし、日本人選手では海外の選手と比較すると平均身長が低いため、踏切動作によって身体重心をハードル上に引き上げなければならない際、どの選手も踏切時に例外なく踏切局面では身体重心の水平速度が減少するものの、よりスプリント動作に類似した踏切動作を行える選手のハードル走速度が高いことが報告されている(伊藤と富樫 1997). すなわちハードルに対しての踏切動作においていかに上下動なく、また減速せずスプリントに類似した動作で踏切を行えるかが重要であるといえる.

110m ハードル走に関してこれまで、ハードリングの一連の動作(森田ら 1994; Coh 2003; Coh and Iskra 2012; 柴山ら 2013:2014)に関する研究では、キネマティクスの観点からどの選手も例外無く身体重心の水平速度が減少すること(森田ら 1994; 伊藤と富樫 1997)や、ハードルに踏み切る前の踏切脚のもも上げ速度がハードル走速度と有意な正の相関関係があること(伊藤と富樫 1997)が報告されており、ハードリング滞空期においてはハードル走速度の高い選手ほど滞空時間が短く(柴山ら 2014; 伊藤と富樫 1997; 谷川ら 2002), 脚長の長い選手も同様にハードリング滞空時間が短いこと(柴山ら 2011)が報告されている. また世界一流選手では、踏切時には鉛直方向の速度が増加し、水平方向の速度は減少するものの(Mcdnald and Dapena 1991a; 谷川ら 2008), 速度が減少したまま踏切脚の離地をするのではなく、再加速するような形で踏み切り動作が行われている(森田ら 1994; 谷川ら 2008; Coh 2003). ハードリング動作中の身体重心の最高点はハードル真上に発現していた報告(Mcdnald and Dapena 1991a)やハードル手前で発現していた報告(森田ら 1994)などがあり、ハードリングの動作においては選手間で個人差があると考えられる. またキネティクスの観点から、柴山ら(2013)は疾走速度の高い選手は踏切脚の接地時に大きな角運動量を獲得し、その角運

動量を保ったまま離地していたと報告しており、また疾走速度の高い選手は同様に踏切脚で逆向きの角運動量を大きくすることによってリード脚で大きな角運動量を獲得していたと報告している。加えて踏切局面において水平方向の走速度を維持をするためには接地時間、特にブレーキ局面の時間を短くして地面反力のブレーキ成分を小さくすること (Mclean 1994 ; Coh 2004) や、トップの 110m ハードル選手は踏切脚接地時間内において、ブレーキ局面に要する時間が接地期全体の 9-10% とされている (Mclean 1994)。そのため、同じ接地時間でもブレーキ局面に要する時間を短くすることのできる踏切技術を獲得していることが一流選手において必要であるといえる。

近年まで 110m ハードル走においてアプローチ区間を 8 ステップで走ることが主流であったが、2008 年に Dayron Robles 選手 (CUB) が当時世界記録の 12.87 秒を記録し、そして現在の世界記録保持者 (12.80 秒) である Aries Merritt 選手 (USA) はともにアプローチ区間において 7 ステップを用いていた。また近年の世界大会においても、多くの選手が同区間を 7 ステップで走っていた (2015 年世界選手権決勝進出 8 選手中 7 選手が 7 ステップ)。2015 年世界選手権決勝に進出した 8 選手の身体的特性 (身長: 188.8 ± 7.7 cm, 体重: 80.2 ± 12.8 kg) と、谷川 (2006) が報告している 2004 年アテネ五輪決勝に進出した 8 選手の身体的特性 (身長: 185.9 ± 6.7 , 体重: 82.0 ± 5.4 kg) を比較すると、競技者の高身長化がアプローチ区間における歩数の変化に影響しているとも考えられる。このような世界の傾向から、国内の一流競技者の中でもアプローチ区間において歩数を減らす 7 ステップの技術が取り入れられつつある。しかしながら 110m ハードル走に関する先行研究は、アプローチ区間において 8 ステップを用いる選手を対象としたものであり、現在の国内外の多くの一流競技者が用

いている 7 ステップを対象とした研究はみられない．これまでのハードリングやインターバルランを含む 1 サイクルに関する研究(McDonald and Dapena 1991a；柴山ら 2011)では，踏切局面において鉛直方向への速度は増加し，水平方向への速度は減少するものの，抜き脚接地期(2 歩目)において減速した水平速度を主に回復している報告や，抜き脚接地(2 歩目)から踏切準備脚接地(3 歩目)までの所要時間が長いこと，疾走速度が高いほど抜き脚接地の接地時間と滞空時間が短いことが報告されている．また，柴山ら(2011)は疾走速度および脚長と 1 サイクル動作に着目し，疾走速度の高い選手ほどリード脚接地時間が短く，2 歩目で高いピッチを獲得し，短い時間で加速できたことが 1 サイクルに要する時間を短縮したこと，脚長の短い選手ほど 2 歩目でより大きな地面反力を獲得できるような動作が必要であることを報告している．また短距離走において加速局面に着目した研究は多いが(阿江ら 1994；小林ら 2009；Morin et al. 2015)，110m ハードル走の加速局面であるアプローチ区間に着目した研究は少ない(秋山と有川 2008)．

一流競技者が 8 ステップから 7 ステップに歩数を変更する要因として，スプリント能力の向上や身体的特性の変化に伴い，主観的にアプローチ区間を「狭い」と感じるためであることや，1 台目のハードルから踏切位置を遠くにすることが理由であると考えられる．一方，同一選手間のステップ数の違いをキネティクス，キネマティクス両側面から明らかにすることは，7 ステップを用いることの有用性や動作の基礎的な資料として今後コーチング現場での有益な知見になるといえるが，アプローチ区間におけるステップ数の違いについて，両側面から検討を行っている研究はなく，同一選手内におけるアプローチ局面でステップ数の違いを検討した研究もみられない．

そこで本研究は，国内の一流 110m ハードル走競技者におけるアプローチ区間のステップ数の違いをキネティクス・キネマティクスの両側面から明らかにし，そのことが 110m ハードル走のタイムに与える影響を検討することを目的とした．

Ⅱ．方法

2-1. 被験者

被験者は、110m ハードル走の国内一流競技者 4 名(大学生競技者 3 名，実業団競技者 1 名)であった．被験者の身長，体重，及び 110m ハードル走のベストタイムを表 1 に示した．各被験者には実験の目的，内容，測定中に起こりうる危険性に関する説明をした後，同意を得た．また，本研究は早稲田大学の「人を対象とした研究に関する倫理委員会」の承認を得ている．

表1. 被験者の身体的特性

被験者	身長(cm)	身体質量(kg)	110mH 自己記録(s)
A	180.6	70.7	13.85
B	182.5	82.8	13.73
C	183.6	73.6	13.85
D	177.4	72.9	14.00
平均	181.0	75.0	13.86
標準偏差	2.7	5.3	0.11

2-2. 実験内容 (図 1)

実験は屋内の直線約 100m の陸上競技走路で実施した．被験者には，クラウチングスタートから分析区間(50.28m)を最大努力で 5 台目までのハードル走をさせた．試技はアプローチ区間において 7 ステップを用いる試技，そして 8 ステップを用いる試技の順に実施させた．各試行間の休息は十分にとり，疲労の影響を排除するように配慮した．

実験には、2 台のデジタルハイスピードカメラ(EXILIM EX-F1; CASIO 社製)を走路の左側方約 7m(アプローチ局面)，約 35m(最高疾走局面)の

各地点に設置し，試技を撮影(フレームレート 299.7Hz，シャッター速度は 1/1000 秒)した．また走路に埋設した 50 枚のフォースプレート (90cm ×100cm，TF-90100；Tec Gihan)より，計測周波数 1kHz で接地期の地面反力を測定した．

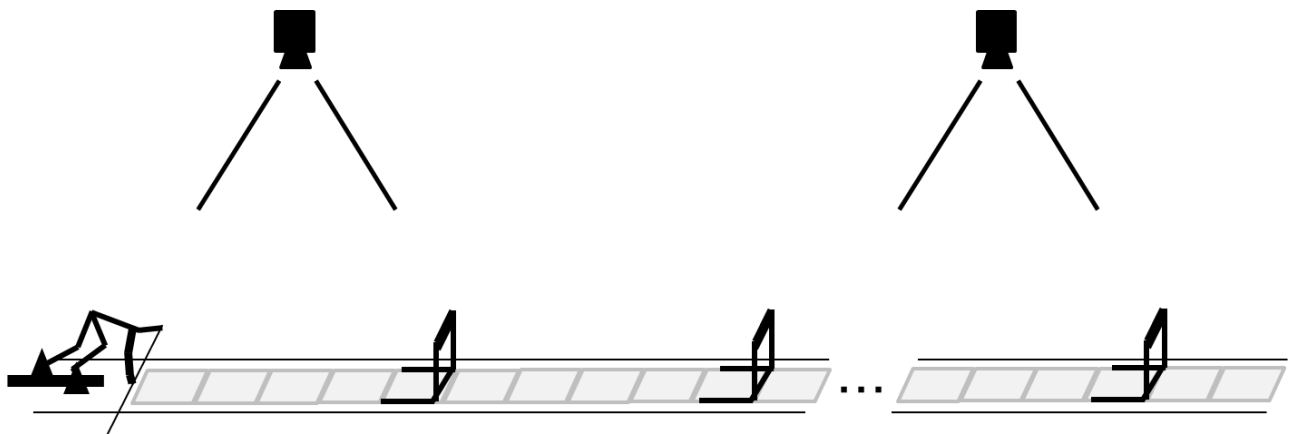


図 1. 実験時の設定

2-3. 分析方法

撮影したデータから，下肢三関節における身体分析点(9 点)及び校正マーク(4 点)をそれぞれデジタルイズ(300Hz)した．デジタルイズには，動作解析ソフト(Frame-DIASIV, DKH 社製)を使い，2 次元平面で分析を行った．デジタルイズされた分析点の座標値は，4 次のデジタルローパスフィルターにより(Winter 2004)，遮断周波数 8Hz(Arampatzis et al. 1999)で平滑化した．走路に埋設した 50 枚の 50m フォースプレートシステムは，ストレンゲージセンサーにより 3 つの直交座標軸 (l 軸;左右方向，f 軸;推進方向，v 軸;垂直方向) について地面反力 (F_l , F_f , F_v) とモーメント (M_l , M_f および M_v) が計測できるフォースプレート 50 台(Tec Gihan, TF-90100 ; 90cm × 100cm)とデータ処理装置で構成されている (Tec Gihan)．地面反力，モーメントおよび圧力中心のデータを、1kHz にてデジタル化し，機械的なノイズを低減させるために 100Hz のバターワースローパスフィルターにて処理した．

2-4. 局面分け

本研究ではスタートから 1 台目までを「アプローチ局面」，宮下(1993)にならい，14 秒から 13 秒台のレベルの選手の最高走速度が発現すると考えられる 3-4 台目のインターバル区間を「最高走速度局面」と定義した．また，アプローチ局面において踏切脚接地を含む 2 サイクル(4 ステップ)と，最高走速度局面の 2 サイクル(4 ステップ)を分析対象とした．7 ステップ目(8 ステップ目)の接地脚を「踏切脚」，踏切 1 歩前の脚を「踏切準備脚」とし，それぞれの動作を，「踏切動作」，「踏切準備動作」と定義した(図 2)．また柴山ら(2011)にならい，リード脚の接地(1-on)から踏切脚の離地(4-off)までを 1 サイクルと定義した(図 2)．

2-5. 分析項目

走速度(RV), ピッチ(SF), ストライド(SL), 接地時間 (T_{con}), 滞空時間 (T_{air}), ハードリング滞空距離(m)については, 50 枚のフォースプレートシステムの圧力中心点の水平座標値(左右方向 ; $CoPx$, 推進方向 ; $CoPy$) および時間情報から, それぞれ以下の通り算出した.

(1) 接地時間(s) (図 3)

接地時間(T_{con})は, 接地足のつま先が地面に接地した時間(CT)から, 地面から離れるまでの時間(TO)とした. 算出式は以下の通りである.

$$\text{接地時間}(T_{con})=(TO)-(CT)$$

(2) 滞空時間(s) (図 3)

滞空時間(T_{air})は, 両方の脚が地面に接していない時間である. 接地足のつま先が地面から離れた時間(TO)から, その次の接地足のつま先が地面に接するまでの時間(CT2)とした. 滞空時間の算出式は以下の通りである.

$$\text{滞空時間}(T_{air})=(CT2)-(TO)$$

(3) ピッチ(step/s) (図 3)

ピッチ(SF)は，1 秒あたりのステップ頻度である．(1)，(2)より取得した値をもとに，SF を以下の通り算出した．

$$\text{ピッチ(SF)}=1/(\text{T}_{\text{con}})+(\text{T}_{\text{air}})$$

(4) ストライド(m) (図 3)

ストライド(SL)は接地と離地の中間の時間の CoP_{yn} と，その次の CoP_{yn+1} との差分値とした．

$$\text{ストライド(SL)}=\text{CoP}_{n+1} - \text{CoP}_n$$

(5) 走速度(m/s)

走速度(RV)の計算には，以下の式を用いた．

$$\text{走速度(RV)}=\text{SF} \times \text{SL}$$

(6) ハードリング滞空距離における踏切距離・着地距離(m) (図 3)

a) 踏切距離(ハードリング前半:Takeoff phase)

踏切脚の接地と離地の中間の時間の CoP_{yn} から，ハードル真上までの距離として算出した．

b) 着地距離(ハードリング後半:Landing phase)

ハードルから，1 歩目の接地と離地の中間の時間の CoP_{yn} までの距離として算出した．

c) ハードリング距離

a), b)で取得した値の和より，ハードリング滞空距離を算出した．

なお，踏切脚接地からリード脚接地までのハードリング滞空距離を100%とし，ハードリング前半と後半に分けて規格化した．

(7) アプローチ局面と最高走速度区間の下肢三関節の関節角度変化（図4)

a) もも上げ角度

もも上げ角度は，接地脚並びにスイング脚において，鉛直線と大腿のなす角と定義し，その最大角度と最小角度を算出した．なお，大腿が鉛直線より屈曲位を(-)，伸展位を(+)とし，接地脚のもも上げ角度とスイング脚のもも上げ角度を算出した．

b) 体幹傾斜角度

体幹傾斜角度は，接地期の水平線と大転子中点から胸骨上縁を結ぶ線分とのなす角と定義し，その最大角度と最小角度を算出した．

c) 膝関節角度

膝関節角度は，接地脚において大腿と下腿のなす角と定義し，その最大角度と最小角度を算出した．

なお，膝関節の完全伸展を180度とし，接地脚の膝関節角度とスイング脚の膝関節角度を算出した．

d) 足関節角度

足関節角度は、接地脚の膝と踝を結んだ線分と踝とつま先を結んだ線分のなす角度と定義し、その最大角度と最小角度を算出した。なお、膝と踝を結んだ線分が鉛直線である時を 90 度と定義した。

(8) 試技全体における力積 (図 5)

力積は、水平方向、鉛直方向それぞれを接地期の前半と後半に分けて算出した。力積の成分を Morin et al(2015)と同様に、推進成分(IMP_H+)、ブレーキ成分(IMP_H-)、正味の水平成分(IMP_H)に分けた。鉛直方向の力積は、水平方向と同様に前半の鉛直成分(IMP_V-)、後半の鉛直成分(IMP_V+)、正味の鉛直成分(IMP_V)に分けた。なお体重の影響を考慮する為、すべての力積は体重で除して算出した。

(9) 試技全体における地面反力の最大値 (図 5)

(8)で算出した力積は、接地時間の影響を受けるため、必ずしも地面反力の大きさを反映しない。そこで力積の成分分けと同様に支持期前半における水平方向の地面反力の最大値(ブレーキ成分, GRF_H-)、支持期後半における水平方向の地面反力の最大値(推進成分, GRF_H+)、接地期全体の水平方向の地面反力の最大値(GRF_H)を算出した。鉛直方向の地面反力は、接地期全体の最大値(GRF_V)のみ算出した。

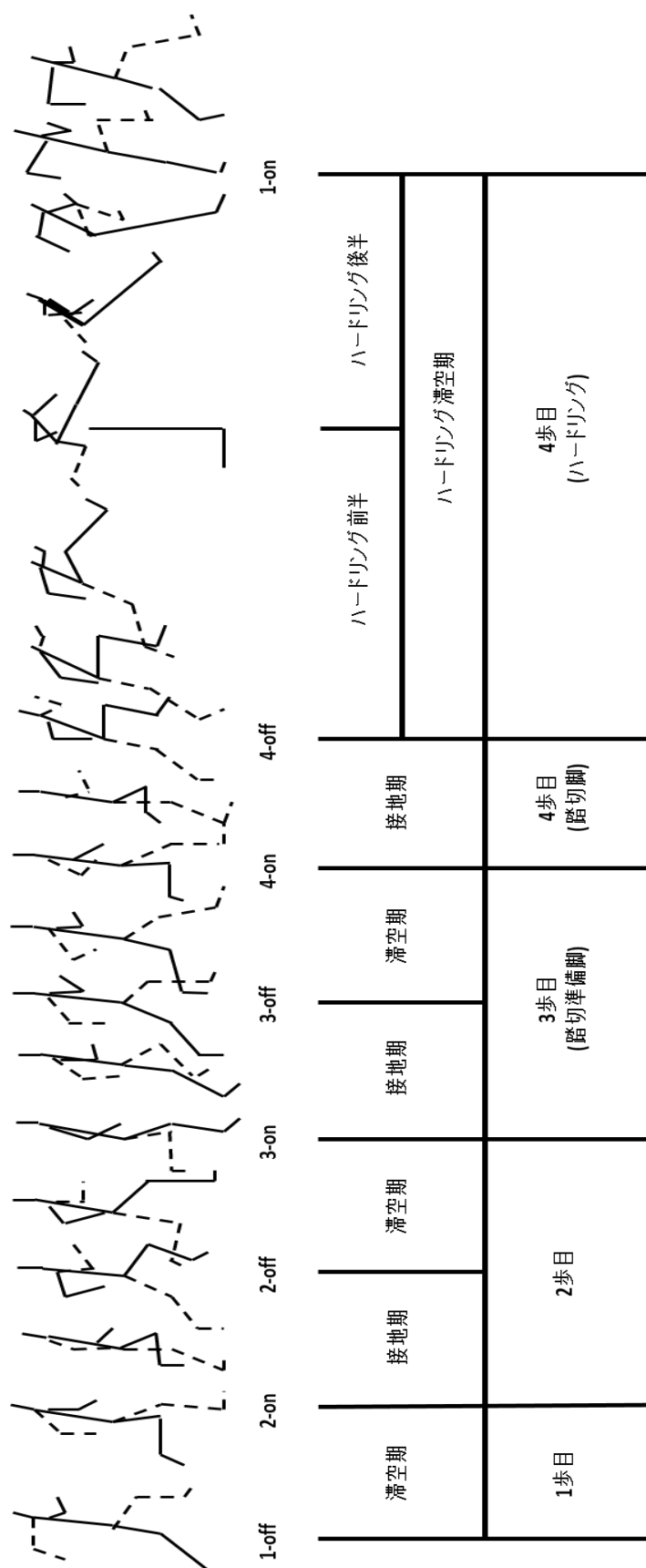


図2. 1サイクルにおける局面分け(柴山ら2011を基に作図)

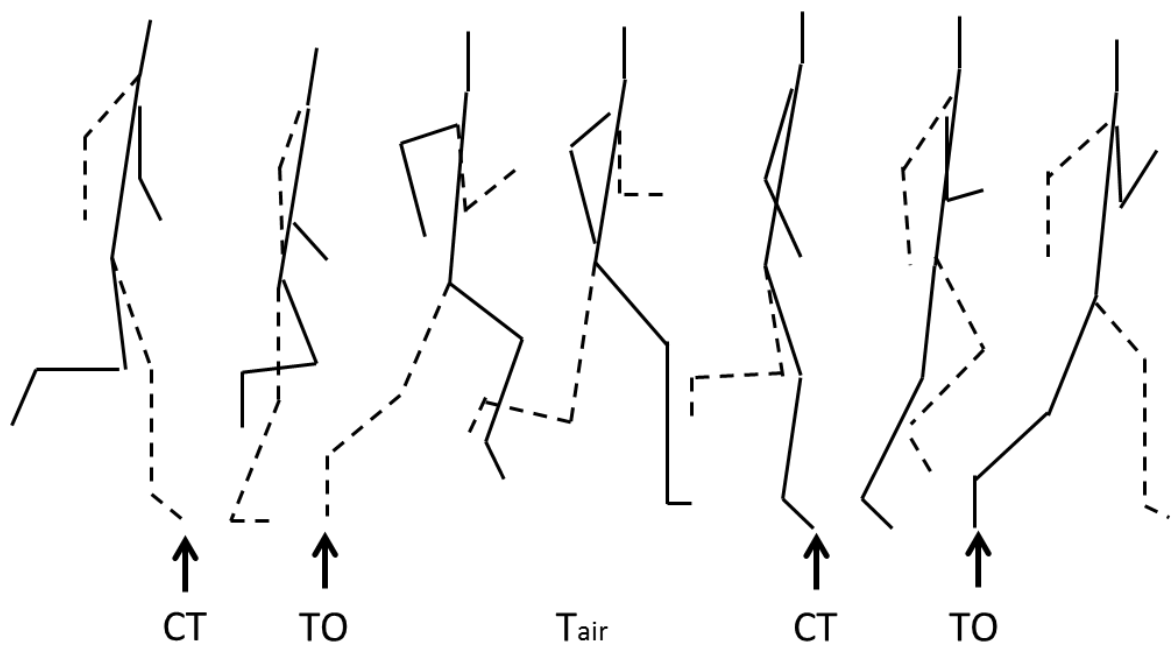
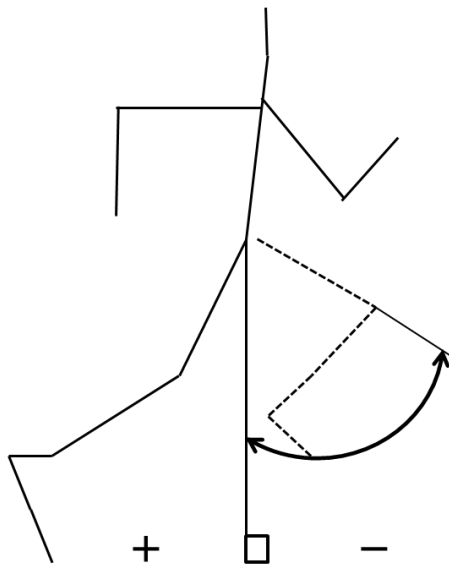
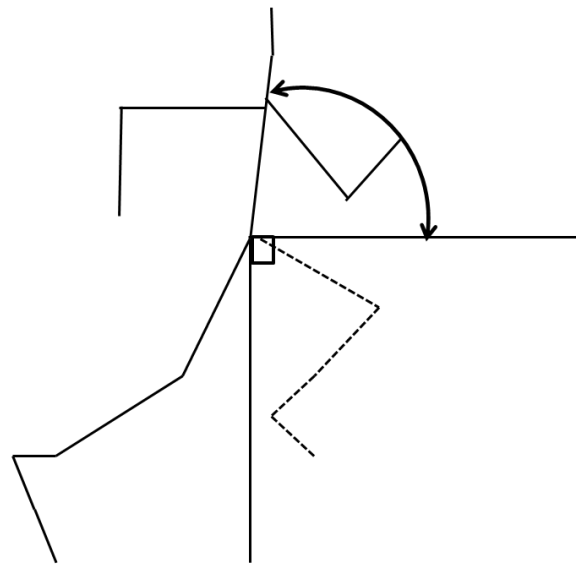


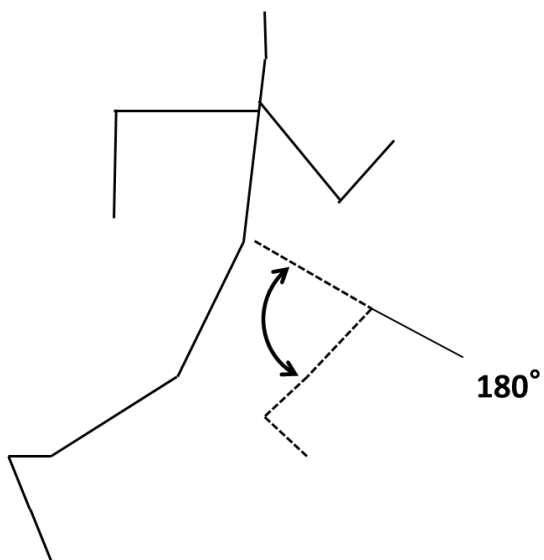
図 3. 接地期・滞空期の概略図



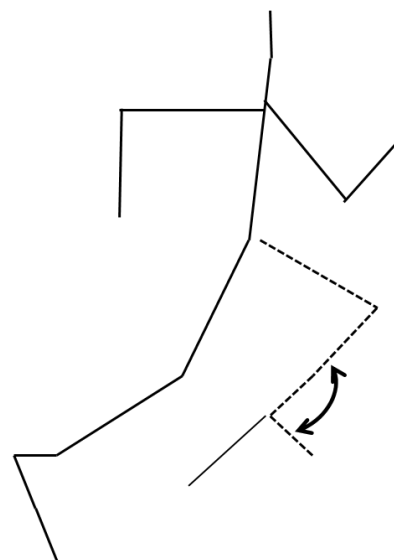
支持脚:もも上げ角度
スイング脚:もも上げ角度



支持期:体幹傾斜角度



支持脚:膝関節角度
スイング脚:膝関節角度



支持脚:足関節角度

図 4. 角度定義の概略図

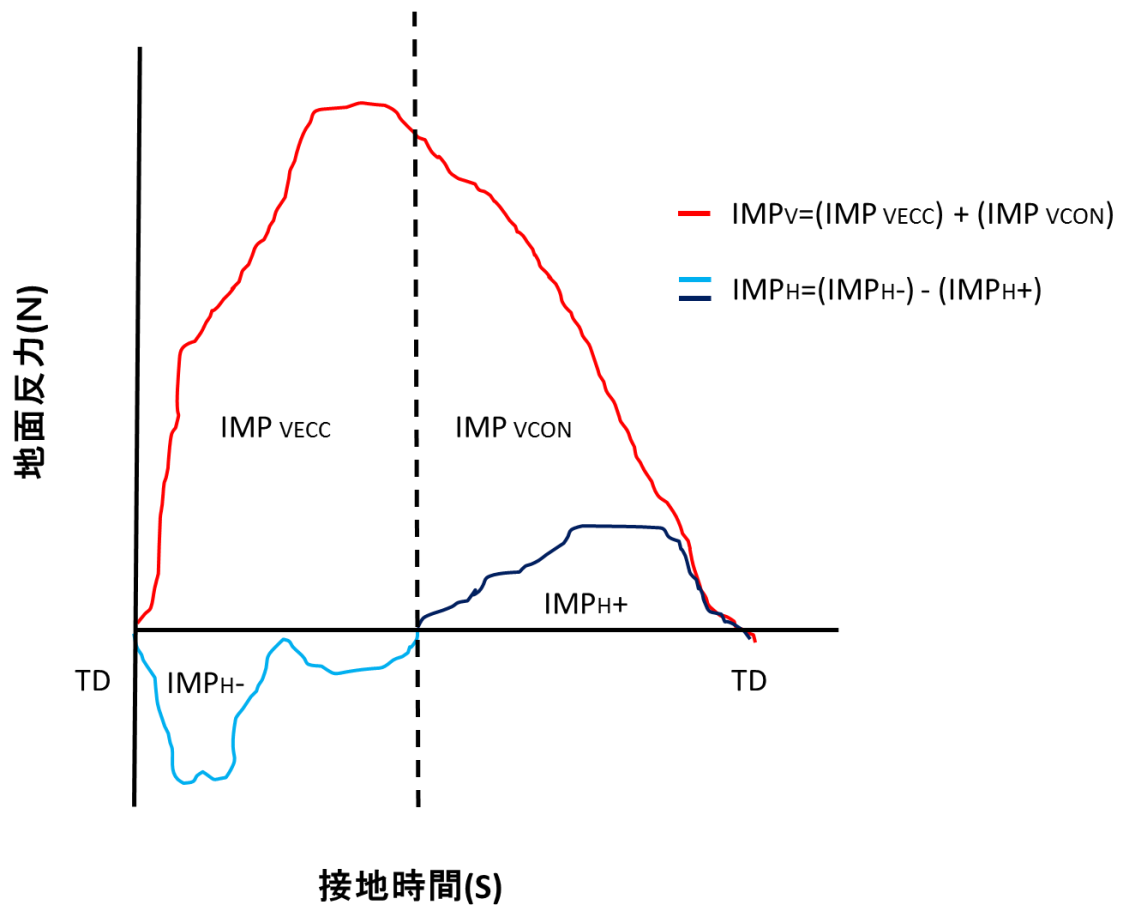


図 5. 力積の鉛直方向と水平方向の成分分け

Eccentric Phase Vertical Impulse (IMP_{VCON}) : 鉛直成分(接地期前半)の力積

Concentric Phase Vertical Impulse(IMP_{VECC}) : 鉛直成分(接地期後半)の力積

Propulsive Impulse (IMP_{H+}) : 推進成分(接地期後半)の力積

Braking Impulse (IMP_{H-}) : ブレーキ成分(接地期前半)の力積

Vertical Impulse : 力積の鉛直成分は, (IMP_{VCON}) + (IMP_{VECC}) とした.

Net Horizontal Impulse (IMP_{H+}) : 力積の正味の水平成分は,

(IMP_{H+}) - (IMP_{H-}) とした.

Ⅲ．結果

3-1. 試技全体の走速度（表 2）

表では，1 台目ハードルを 1H，インターバルは 2H-3H という形で記載している．7 ステップ時の被験者の平均走速度は，スタートから増加し，2-3 台目のインターバルにおいて最高走速度が発現し，一度低下するものの 4-5 台目のインターバルにおいて再び増加していた．8 ステップ時も同様に，走速度はスタートから増加し，2-3 台目の間のインターバルにおいて最高走速度が発現していたが，それ以降，低下あるいは維持していた．最高走速度は 7 ステップ時の方が高い値を示した．

表2. 試技全体の走速度(m/s)

被験者	AP steps	AP-1H	1H-2H	2H-3H	3H-4H	4H-5H
A	7	5.34	7.95	8.03	7.94	7.81
	8	5.45	7.99	8.10	8.06	7.95
B	7	5.39	8.04	8.12	8.14	8.16
	8	5.34	7.90	8.04	7.93	7.88
C	7	5.16	7.93	8.03	8.07	8.09
	8	5.27	7.67	7.82	7.87	7.88
D	7	5.51	8.03	8.16	7.98	8.16
	8	5.63	8.03	7.91	7.83	8.02
平均	7	5.35	7.99	8.09	8.03	8.06
	8	5.42	7.90	7.97	7.92	7.93
標準偏差	7	0.15	0.06	0.07	0.09	0.17
	8	0.16	0.16	0.13	0.10	0.07

3-2. アプローチ局面におけるストライド (図 6)

7ステップを用いたときのストライドは,スタートから1歩目で1.02mであったものが,その後歩数を重ねるごとに増加し,5歩目から6歩目では2mを越え(2.10m),6歩目から7歩目では短縮していた(2.04m). 8ステップを用いたときのストライドは,スタートから1歩目で0.83m,その後7ステップと同様に歩数を重ねるごとに増加したが,7ステップのような7歩目から8歩目での短縮はなく,最大値は2mを越えなかった(1.87m).

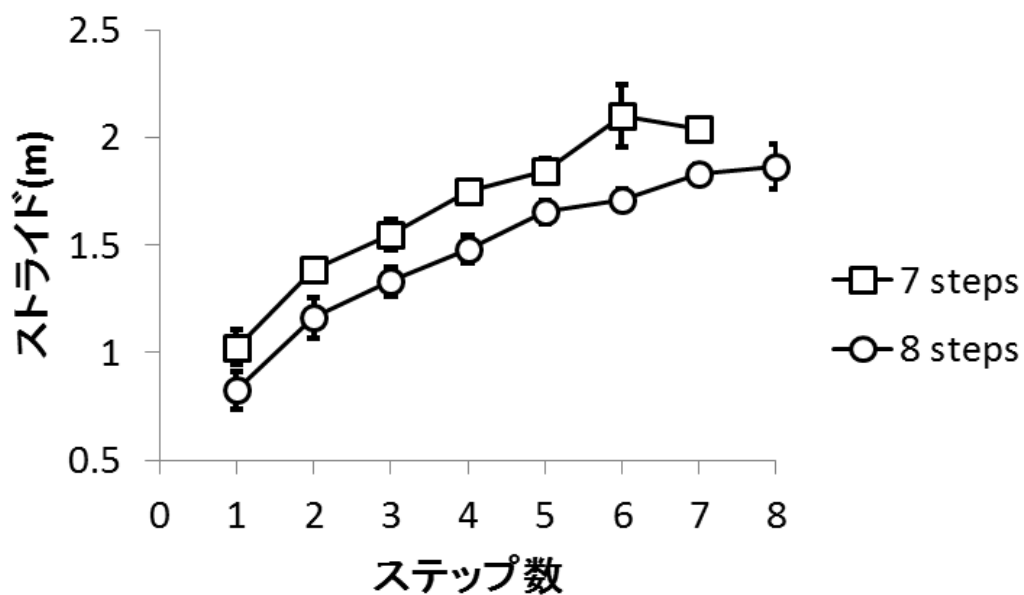


図 6. アプローチ局面における各ステップのストライド

3-3. ハードリング距離と踏切・着地距離（表 3, 4）

ハードリング距離の平均においては，7 ステップ（表 3）では 3.80m，8 ステップ（表 4）では 3.75m であった．また，踏切距離（踏切脚接地地点からハードルまで，以下 TP）と着地距離（ハードルから 1 歩目着地地点まで，以下 LP）に分けてみると，7 ステップの平均は TP:LP=2.28m:1.52m，8 ステップの平均は TP:LP=2.12m:1.60m であった．

表3. 7ステップの時のハードリング滞空距離

被験者	TP/LP	1H	2H	3H	4H	5H
A	TP	2.33	2.22	2.20	2.23	2.24
	LP	1.44	1.56	1.60	1.45	1.50
B	TP	2.26	2.11	2.14	2.21	2.18
	LP	1.45	1.56	1.51	1.52	1.51
C	TP	2.31	2.47	2.42	2.33	2.32
	LP	1.39	1.42	1.38	1.42	1.40
D	TP	2.20	2.19	2.11	2.17	2.34
	LP	1.78	1.88	1.91	1.69	1.71
平均	TP	2.28	2.25	2.22	2.24	2.27
	LP	1.52	1.61	1.60	1.52	1.53
標準偏差	TP	0.06	0.16	0.14	0.07	0.07
	LP	0.18	0.19	0.23	0.12	0.13

表4. 8ステップの時のハードリング滞空距離

被験者	TP/LP	1H	2H	3H	4H	5H
A	TP	2.00	2.19	2.21	2.14	2.29
	LP	1.63	1.48	1.57	1.50	1.52
B	TP	2.10	2.24	2.10	2.15	2.13
	LP	1.43	1.38	1.52	1.42	1.45
C	TP	2.26	2.38	2.36	2.36	2.38
	LP	1.42	1.44	1.35	1.39	1.38
D	TP	2.12	2.10	2.08	2.25	2.33
	LP	1.90	1.79	1.87	1.67	1.72
平均	TP	2.12	2.23	2.19	2.23	2.28
	LP	1.60	1.52	1.58	1.50	1.52
標準偏差	TP	0.11	0.12	0.13	0.10	0.11
	LP	0.23	0.18	0.22	0.13	0.15

3-4. ハードリング距離における踏切・着地距離の比率と割合

ハードリング距離における踏切：着地距離の比率の平均は，7 ステップと 8 ステップ共に 59%：41%であった．しかし，1 台目のハードリング距離における踏切：着地距離の比率を見ると，7 ステップでは 60%：40%，8 ステップでは 57%：43%であった．

3-5. アプローチ局面における接地時間（図 7）

7 ステップの接地時間は 1 歩目に 0.20 秒であり，その後短縮し踏切時（7 歩目）では 0.13 秒であった．8 ステップの接地時間は 1 歩目に 0.17 秒で，その後短縮し踏切時（8 歩目）では 0.12 秒であった．

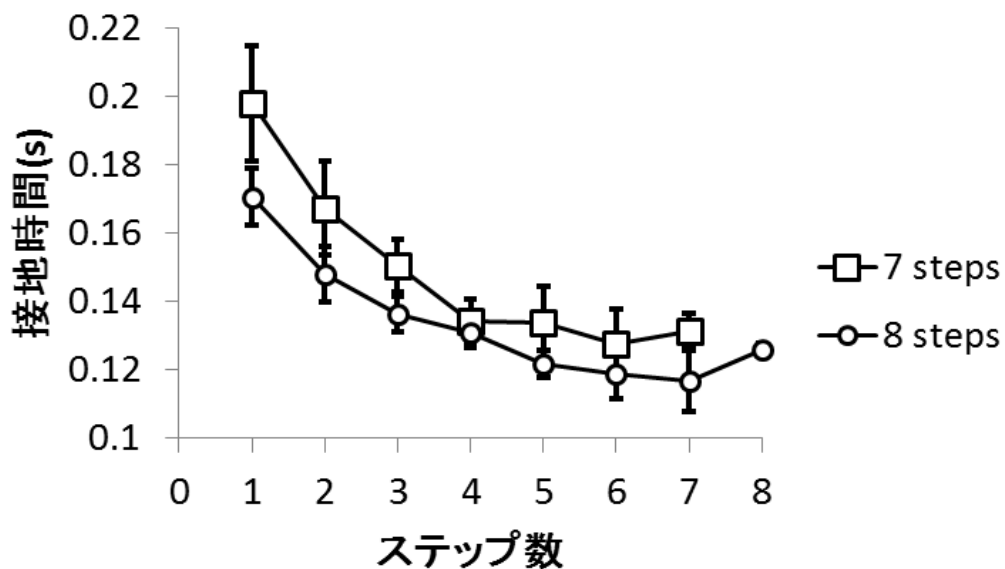


図 7. アプローチ局面における各ステップの接地時間

3-6. アプローチ局面における滞空時間 (図 8)

7 ステップの滞空時間は、スタートから 1 歩目まで 0.09 秒で、その後増加と減少を繰り返し 3 歩目から 4 歩目で増加し、4 歩目から 5 歩目ではやや減少し、5 歩目から 6 歩目では増加し、6 歩目から 7 歩目では再び減少していた。8 ステップの滞空時間はスタートから 1 歩目まで 0.09 秒で、1 歩目から 2 歩目では減少し、4 歩目から 5 歩目までは増加したのち、7 ステップの 4 歩目以降と同様に減少と増加を繰り返し、踏切を迎えていた。接地時間と滞空時間は 8 ステップの方が共に短かったことから、7 ステップを用いたときよりも高いピッチを獲得していた。

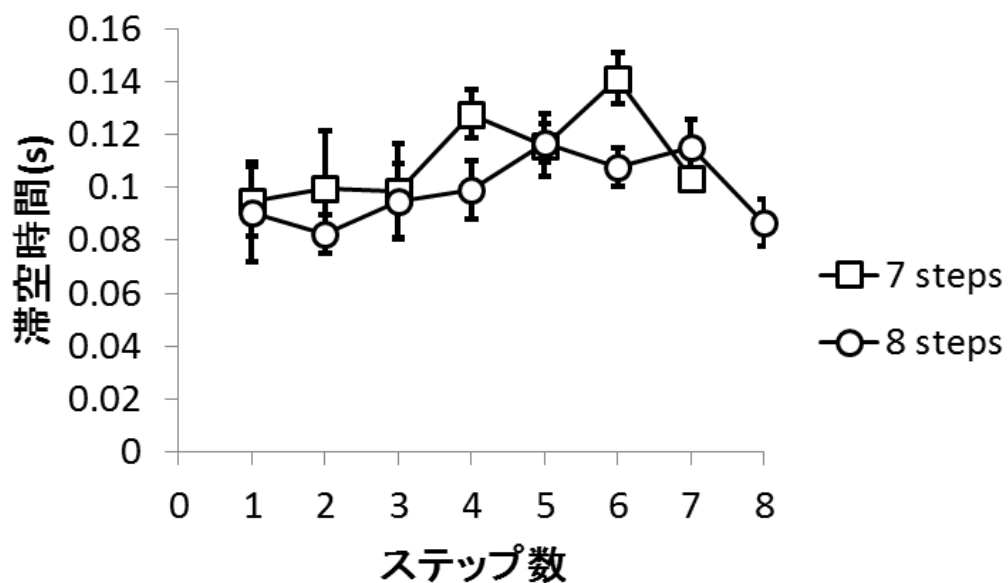


図 8. アプローチ局面における各ステップの滞空時間

3-7. 最高走速度局面における接地時間（図 9）と滞空時間（図 10）

最高走速度出現区間は先行研究(宮下ら 1993)に基づいて、3-4 台目のインターバルと定義して分析を行った。走速度を見ると、7 ステップは 4-5 台目において最高走速度が発現していたが、3-4 台目においても 8 ステップを用いたときよりも高い走速度で疾走していた(7 ステップは 8.03m/s, 8 ステップは 7.92m/s)。

(1) 1 歩目

ハードリング後 1 歩目における接地時間は、両ステップ間において差はなかった。また、1 歩目から 2 歩目までの滞空時間も両ステップ間に差はなかった。

(2) 2 歩目

2 歩目における接地時間は、8 ステップを用いたときに 0.17 秒、7 ステップを用いたときは 0.16 秒とわずかに短かった。また、2 歩目から 3 歩目までの滞空時間は 7 ステップを用いたときの方が 8 ステップを用いたときよりも長かった。

(3) 3 歩目

3 歩目における接地時間は、8 ステップを用いたときに 0.12 秒 7 ステップを用いたときは 0.11 秒とわずかに短かった。また 3 歩目から 4 歩目までの滞空時間は、両ステップ間に差はなかった。

(4) 4 歩目

4 歩目における接地時間は、両ステップ間において差はなかった。

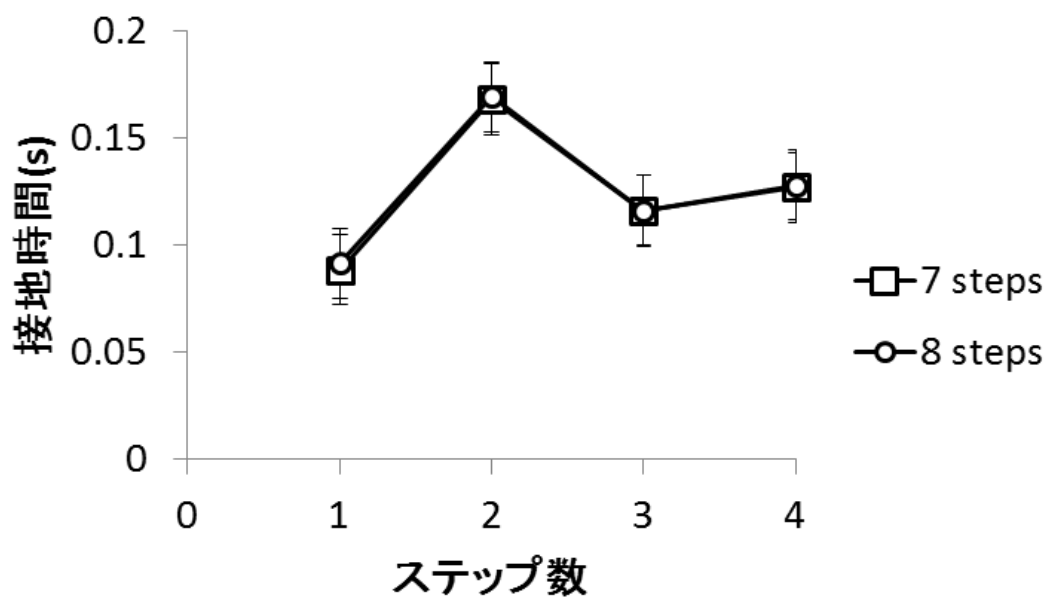


図 9. 最高走速度局面における各ステップの接地時間

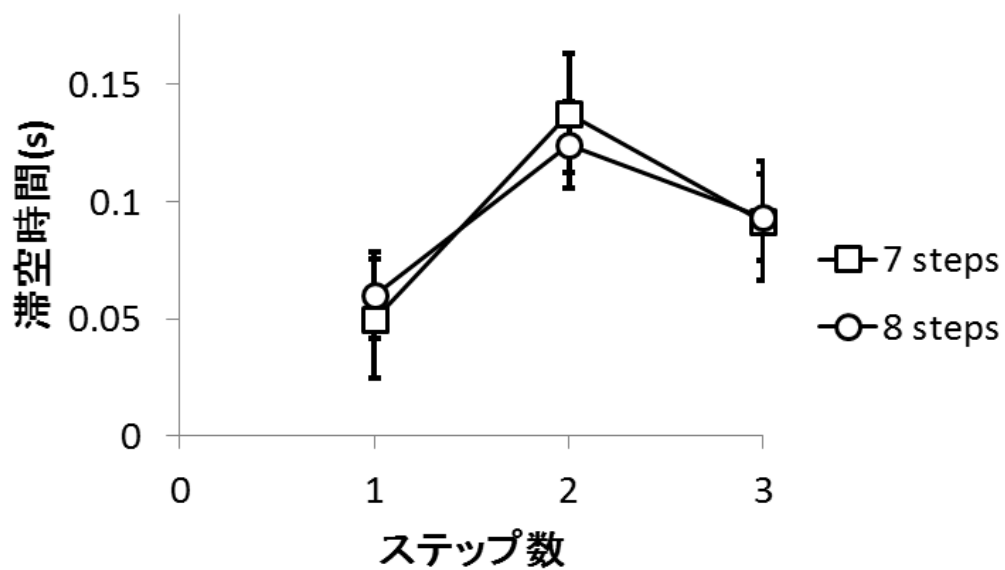


図 10. 最高走速度局面における各ステップの滞空時間

3-8. ハードリング滞空時間（表 5）

ハードリングにおける滞空時間は，1，2 台目においてわずかながら 7 ステップの方が長かった．しかし，3 台目において 7 ステップの滞空時間が 8 ステップよりも短くなり，その後は 7 ステップを用いた方が短いハードリング滞空時間で疾走していた．

表5. ハードリング滞空時間

被験者	AP steps	1H	2H	3H	4H	5H
A	7	0.42	0.40	0.39	0.38	0.39
	8	0.38	0.37	0.38	0.38	0.40
B	7	0.41	0.38	0.37	0.38	0.37
	8	0.39	0.38	0.38	0.37	0.38
C	7	0.41	0.40	0.39	0.39	0.31
	8	0.40	0.42	0.40	0.41	0.40
D	7	0.43	0.44	0.43	0.42	0.42
	8	0.45	0.42	0.43	0.42	0.42
平均	7	0.42	0.41	0.39	0.39	0.37
	8	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40
標準偏差	7	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
	8	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02

3-9. アプローチ局面における下肢三関節の角度変位

以下に 4 ステップそれぞれにおける角度変化の動態を記載する．なお，記載の歩数は 7 ステップを用いたときのものであり，() 内に記載している歩数が，8 ステップを用いたときのものである．

(1) 4(5)歩目 (表 6)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく，特に伸展時の差が大きかった．スイング脚の最大角度と最小角度の差も同様に 7 ステップの方が大きかった．

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく，特に屈曲時の差が大きかった．

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べてわずかに大きかった．スイング脚の最大角度と最小角度の差も同様に 7 ステップの方が大きく，特に屈曲時の差が大きかった．

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は，両ステップで大きな違いはみられなかった．

(2) 5(6)歩目 (表 7)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく、特に屈曲時の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差も同様に 7 ステップの方が大きかった。

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べてわずかに大きかった。

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく、特に屈曲時の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が大きかった。

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は、両ステップで大きな違いはみられなかった。

(3) 6(7)歩目 (表 8)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は両ステップに大きな違いはみられなかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きかった。

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は両ステップで大きな違いはみられなかった。

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は両ステップで大きな違いはみられなかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べてわずかに大きかった。

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は，両ステップで大きな違いはみられなかった。

(4) 7(8)歩目 (踏切動作) (表 9)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップよりも大きく，特に屈曲時の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差も同様に 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく，特に屈曲時の差が大きかった。

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きかった。

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は両ステップで大きな違いはみられなかった．スイング脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べてわずかに大きかった．

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は，両ステップで大きな違いはみられなかった．

表6. 4(5)歩目接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	40.1	-32.3	34.3	-30.9
	標準偏差	2.9	3.0	5.0	2.7
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	2.4	-73.7	-6.8	-69.7
	標準偏差	7.6	3.7	13.5	4.7
体幹傾斜角度(deg)	平均	58.1	52.4	58.9	55.2
	標準偏差	4.4	5.5	4.8	3.4
接地脚膝関節角度(deg)	平均	155.9	125.1	157.1	128.6
	標準偏差	4.7	2.3	5.3	7.6
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	82.8	41.4	88.2	51.3
	標準偏差	2.4	7.3	4.1	7.8
接地脚足関節角度(deg)	平均	130.1	94.9	130.7	96.1
	標準偏差	4.7	3.2	10.9	13.1

表7. 5(6)歩目接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	36.0	-37.1	32.5	-29.2
	標準偏差	0.5	1.3	4.9	2.6
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	-3.3	-79.3	-4.1	-71.0
	標準偏差	7.3	3.3	4.6	1.8
体幹傾斜角度(deg)	平均	63.8	60.1	64.3	59.9
	標準偏差	4.6	4.1	3.2	5.0
接地脚膝関節角度(deg)	平均	159.2	129.2	152.3	131.8
	標準偏差	3.1	2.9	1.8	0.7
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	83.7	42.6	83.0	52.8
	標準偏差	5.9	2.5	3.3	5.8
接地脚足関節角度(deg)	平均	126.6	91.1	130.7	97.4
	標準偏差	7.2	6.9	7.0	9.3

表8. 6(7)歩目接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	38.6	-25.9	33.7	-27.4
	標準偏差	3.4	5.0	5.2	2.3
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	-5.1	-69.9	-8.5	-61.7
	標準偏差	10.9	6.0	7.0	5.5
体幹傾斜角度(deg)	平均	72.0	65.4	72.5	64.9
	標準偏差	4.0	3.4	2.7	1.6
接地脚膝関節角度(deg)	平均	150.2	133.5	153.5	135.6
	標準偏差	7.4	4.9	6.1	4.7
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	93.5	51.1	104.7	66.0
	標準偏差	9.5	6.4	9.7	6.6
接地脚足関節角度(deg)	平均	122.7	92.5	128.8	98.1
	標準偏差	11.6	6.1	3.8	1.4

表9. 7(8)歩目接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	37.2	-15.3	33.3	-6.8
	標準偏差	3.8	6.7	4.9	13.2
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	1.3	-85.9	2.0	-79.4
	標準偏差	3.3	8.4	7.2	10.7
体幹傾斜角度(deg)	平均	76.9	65.9	76.7	68.5
	標準偏差	1.8	8.3	2.4	5.6
接地脚膝関節角度(deg)	平均	157.8	144.5	157.3	145.2
	標準偏差	2.9	7.7	7.5	8.1
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	90.5	47.6	93.0	46.8
	標準偏差	17.4	5.4	14.1	10.8
接地脚足関節角度(deg)	平均	137.8	107.4	125.1	94.8
	標準偏差	10.7	3.7	9.6	7.1

3-10. 最高走速度局面における下肢三関節の角度変化

(1) 1 歩目 (表 10)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べてわずかに大きく，特に伸展時の差が大きかった．スイング脚はハードリング中に脚を外転する動作であり，矢状面での分析では不明確なため動態は記載しない．

b) 体幹傾斜角度

体幹傾斜角度は，スイング脚の外転動作に伴い矢状面での分析では不明確なため動態は記載しない．

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きく，特に伸展時の差が大きかった．スイング脚はハードリング中に脚を外転する動作であり，矢状面での分析では不明確なため結果は記載しない．

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は，両ステップで大きな違いはみられなかった．

(2) 2 歩目 (表 11)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きく、特に屈曲時の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差も同様に 8 ステップの方が大きかった。

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は両ステップに大きな違いはみられなかった。

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は両ステップに大きな違いはみられなかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく、特に屈曲時の差が大きかったが、伸展時は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きかった。

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きく、特に底屈時の差が大きかった。

(3) 3 歩目 (表 12)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差も同様に 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きかった。

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は両ステップで大きな違いはみられなかった。

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きく、特に伸展時の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は両ステップで大きな違いはみられなかった。

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は、両ステップで大きな違いはみられなかった。

(4) 4 歩目(踏切動作)(表 13)

a) もも上げ角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きく、屈曲時と伸展時の両方の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は両ステップで大きな違いはみられなかった。

b) 体幹傾斜角度

接地期の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きかった。

c) 膝関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きく、特に屈曲時の差が大きかった。スイング脚の最大角度と最小角度の差は 8 ステップの方が 7 ステップと比べてわずかに大きかった。

d) 足関節角度

接地脚の最大角度と最小角度の差は 7 ステップの方が 8 ステップと比べて大きく、特に背屈時の差が大きかった。

表10. 1歩目(リード脚)接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	11.1	-15.2	14.4	-13.9
	標準偏差	8.6	1.3	2.7	3.1
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	-75.7	-106.5	-69.5	-98.4
	標準偏差	10.9	7.3	4.9	0.4
体幹傾斜角度(deg)	平均	71.4	59.2	72.5	57.1
	標準偏差	2.0	5.3	1.7	3.7
接地脚膝関節角度(deg)	平均	173.4	146.9	177.6	144.0
	標準偏差	9.0	3.0	8.8	5.9
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	110.9	60.1	144.1	118.0
	標準偏差	10.3	2.4	10.4	8.3
接地脚足関節角度(deg)	平均	138.0	110.7	144.1	118.0
	標準偏差	6.2	6.0	10.4	8.3

表11. 2歩目接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	36.9	-27.6	38.0	-30.1
	標準偏差	2.7	2.0	4.3	3.2
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	2.7	-60.0	5.0	-59.3
	標準偏差	3.6	9.9	3.4	8.6
体幹傾斜角度(deg)	平均	77.0	74.2	78.5	75.9
	標準偏差	1.0	1.8	0.9	0.8
接地脚膝関節角度(deg)	平均	154.6	137.9	153.7	138.0
	標準偏差	3.7	6.0	5.3	2.4
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	101.0	53.1	105.9	63.4
	標準偏差	4.5	9.3	13.0	6.3
接地脚足関節角度(deg)	平均	138.0	100.2	140.8	97.9
	標準偏差	6.1	6.0	1.4	4.9

表12. 3歩目接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	31.4	-26.3	36.5	-30.3
	標準偏差	6.5	2.3	2.4	3.4
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	-5.6	-60.8	-3.0	-63.8
	標準偏差	5.3	6.2	8.0	5.3
体幹傾斜角度(deg)	平均	78.4	74.0	77.5	73.9
	標準偏差	1.7	3.0	1.0	1.8
接地脚膝関節角度(deg)	平均	152.8	143.8	157.9	144.8
	標準偏差	4.1	6.1	12.1	10.6
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	94.1	56.9	96.4	62.2
	標準偏差	2.2	5.0	5.5	8.0
接地脚足関節角度(deg)	平均	136.0	106.0	134.2	101.7
	標準偏差	4.6	5.1	6.4	8.0

表13. 4歩目(踏切)接地期における下肢三関節の角度

		7 steps		8 steps	
		MAX	MIN	MAX	MIN
接地脚もも上げ角度(deg)	平均	35.9	-16.6	37.8	-21.4
	標準偏差	2.0	4.9	1.5	6.1
スイング脚もも上げ角度(deg)	平均	3.7	-88.5	9.7	-84.4
	標準偏差	3.4	9.5	7.4	9.4
体幹傾斜角度(deg)	平均	79.7	63.4	79.7	65.9
	標準偏差	1.4	4.1	1.3	4.0
接地脚膝関節角度(deg)	平均	166.0	149.9	167.0	144.7
	標準偏差	2.7	5.2	10.3	7.1
スイング脚膝関節角度(deg)	平均	94.1	45.6	69.2	47.0
	標準偏差	5.1	2.4	8.7	3.4
接地脚足関節角度(deg)	平均	158.9	110.0	152.6	110.8
	標準偏差	10.1	2.8	8.8	11.2

3-11. アプローチ局面における地面反力の最大値と力積（図 11-20）

GRF_H^- は、8ステップの方が3歩目以降において7ステップの2歩目以降よりも大きかった。また、 IMP_H^- は両ステップに差はなく、同様に IMP_V^- も両ステップに差はみられなかった。

また GRF_H^+ は、スタートから差はみられなかったものの、踏切時において7ステップの方が大きかった。 IMP_H^+ は、スタート直後から7ステップの方が大きく、後半になるにつれて8ステップと同様の値を示した。また IMP_V^+ は、スタート直後から8ステップよりも大きく、踏切に至るまで8ステップよりも大きかった。

また GRF_H は7ステップの2歩目以降で8ステップよりも大きく、踏切1歩前では8ステップの方が大きいですが、踏切では7ステップの方が再び大きな値を示していた。 GRF_V は、8ステップではスタートから4歩目まで大きいですが、その後2歩で同程度となり、踏切準備時と踏切時においては7ステップの方が大きかった。 IMP_H は、すべてのステップにおいて7ステップの方が大きな値を示していた。また IMP_V も同様に、全てのステップにおいて7ステップの方が大きな値を示していた。

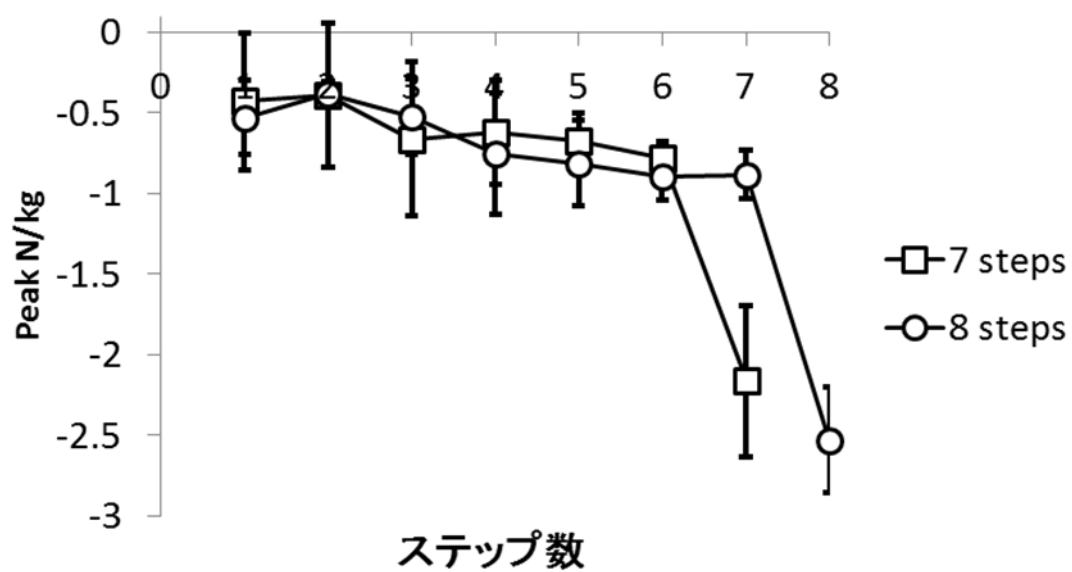


図 11. 接地期前半の水平方向の地面反力の最大値

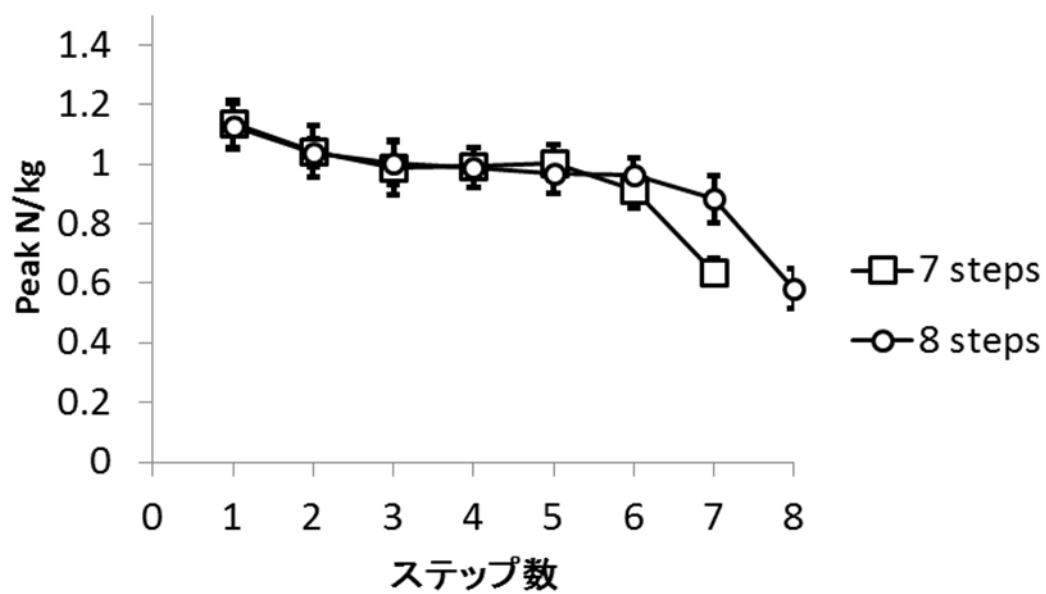


図 12. 接地期後半の水平方向の地面反力の最大値

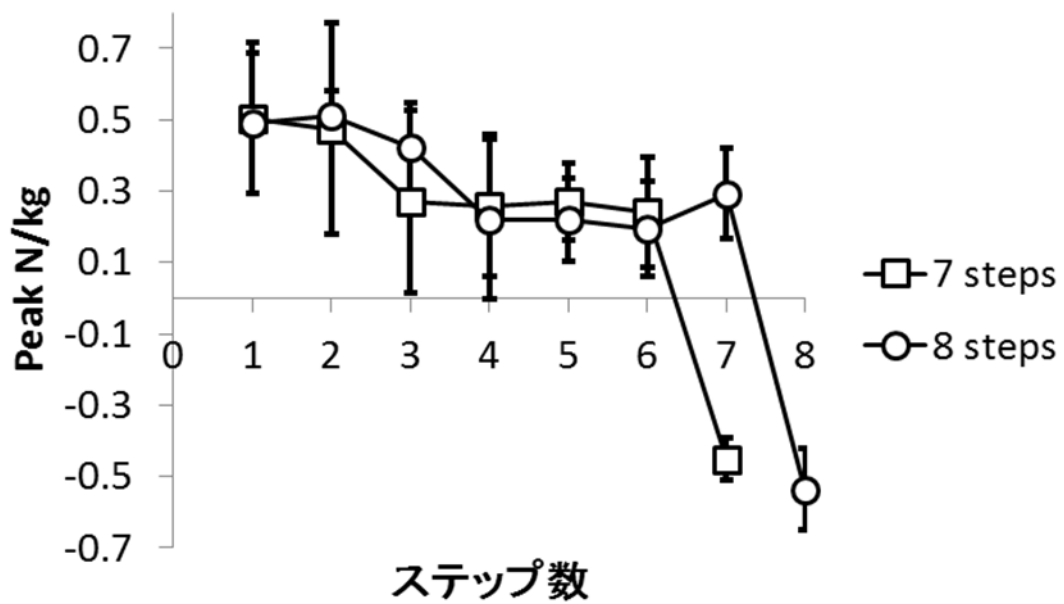


図 13. 接地期全体の水平方向の地面反力の最大値

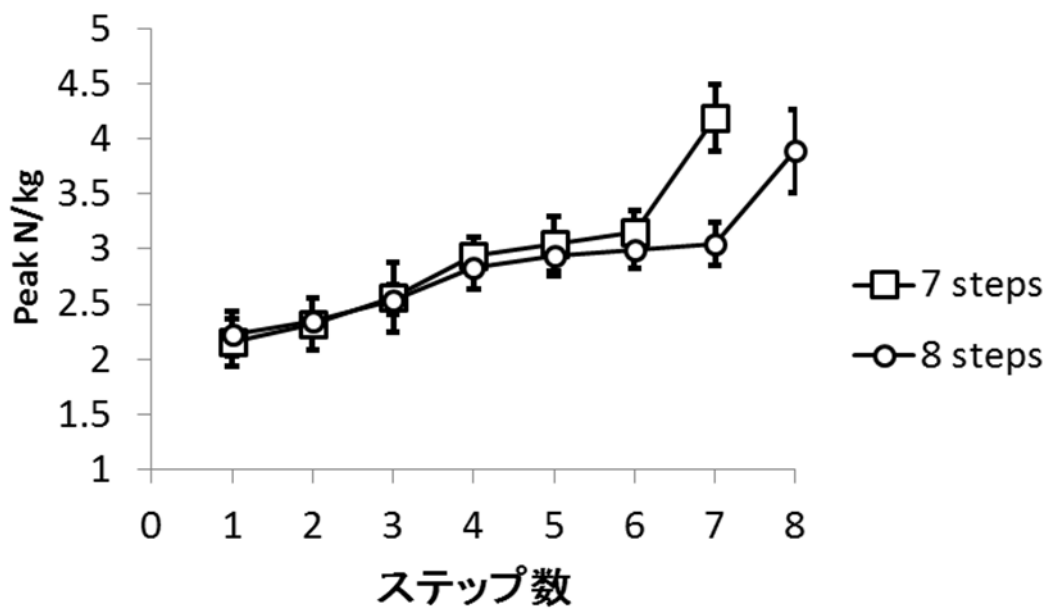


図 14. 接地期全体の鉛直方向の地面反力の最大値

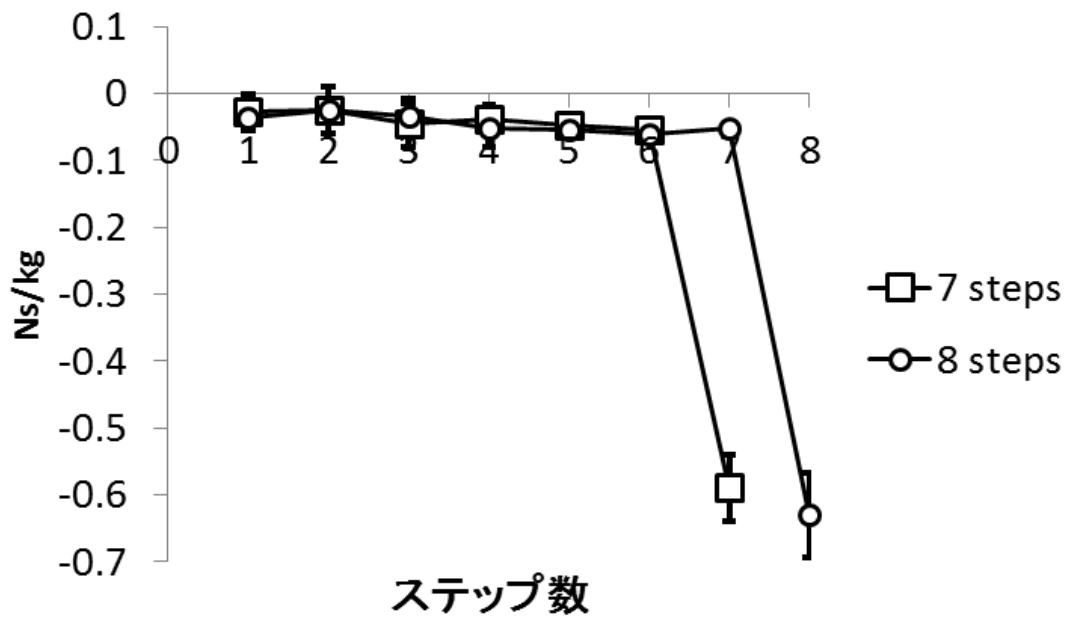


図 15. 接地期前半の力積の水平成分

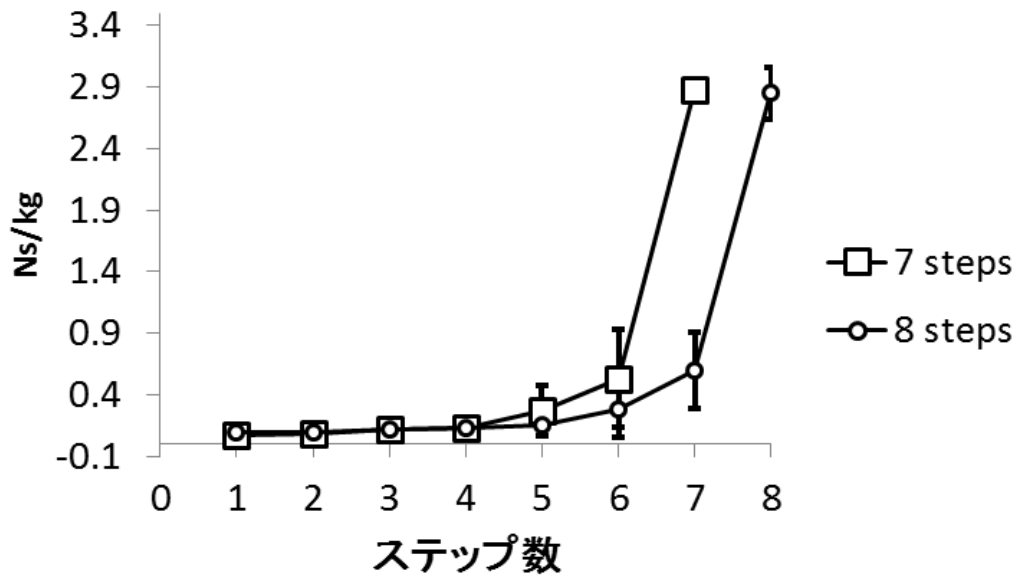


図 16. 接地期前半の力積の鉛直成分

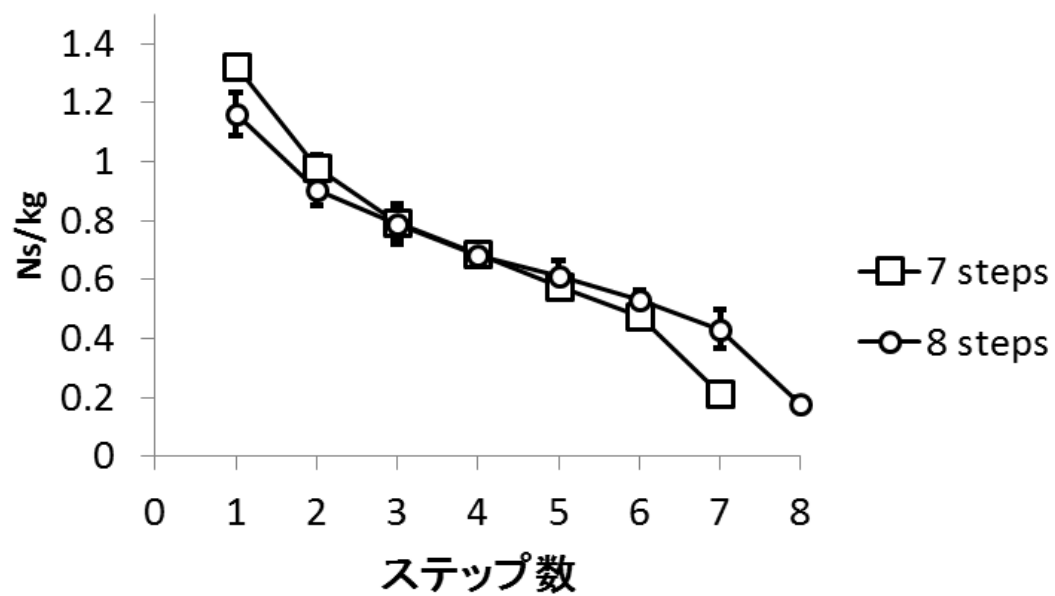


図 17. 接地期後半の力積の水平成分

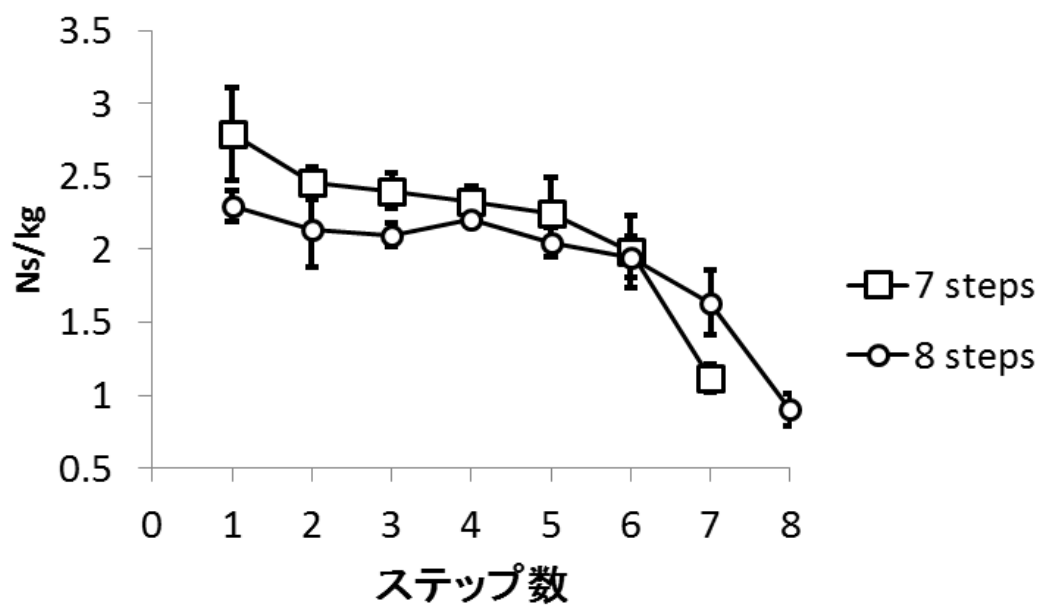


図 18. 接地期後半の力積の鉛直成分

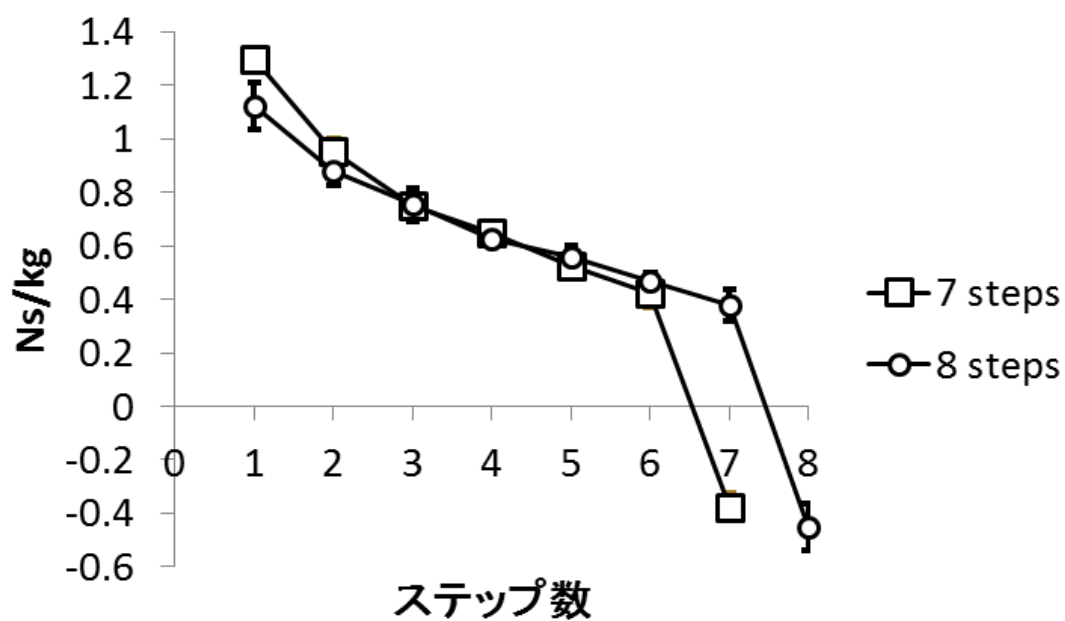


図 19. 接地期全体の正味の力積の水平成分

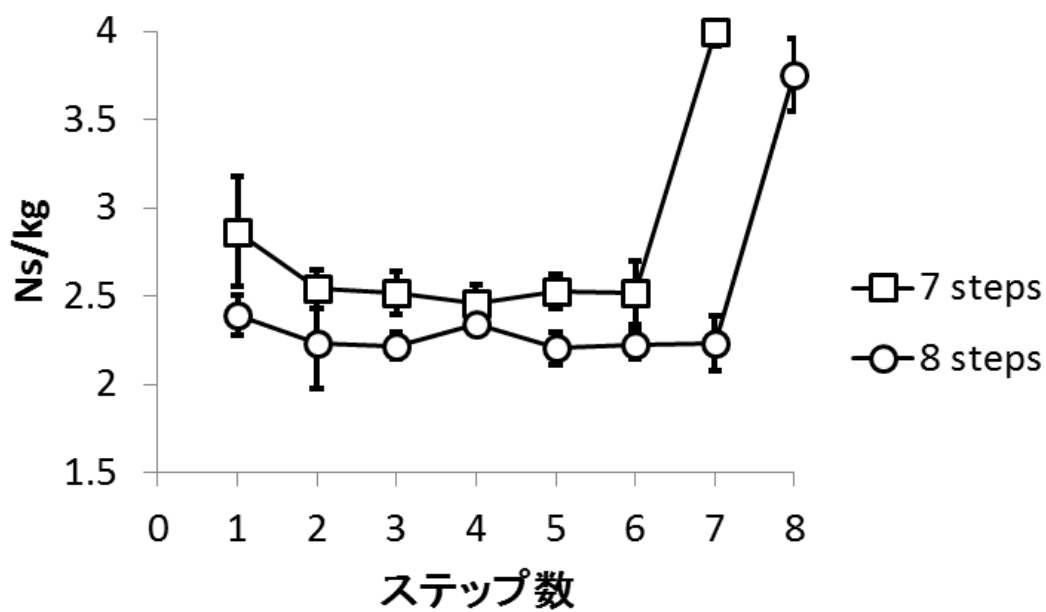


図 20. 接地期全体の正味の力積の鉛直成分

3-12. 最高走速度局面における地面反力の最大値と力積（図 21-30）

GRF_H の最大値は 2 歩目と 4 歩目において 8 ステップの方が 7 ステップと比べて大きかった。 IMP_H は両ステップに差はなく、同様に IMP_V も両ステップに差はみられなかった。

GRF_{H+} の最大値は、1 歩目は 8 ステップが、2 歩目は 7 ステップが大きく、その後は同様であった。 IMP_{H+} は、1 歩目では 8 ステップの方が大きな値を示していたが、2 歩目では 7 ステップの方が大きな値を示していた。その後は両ステップで差はみられなかった。 IMP_{V+} は、1 歩目では 8 ステップの方が大きな値を示していたが、2 歩目では 7 ステップの方が大きな値を示していた。その後 3 歩目では、再度 8 ステップの方が大きな IMP_{V+} を示して、4 歩目では両ステップに差はみられなかった。

GRF_H は、1 歩目に差はなく、2 歩目と 3 歩目は 7 ステップの方が大きかった。 GRF_V は、1 歩目は 8 ステップが、それ以降は 7 ステップが大きかった。 IMP_H は、2 歩目において 7 ステップの方が大きな値を示していた。また IMP_V は両ステップに差は見られなかった。

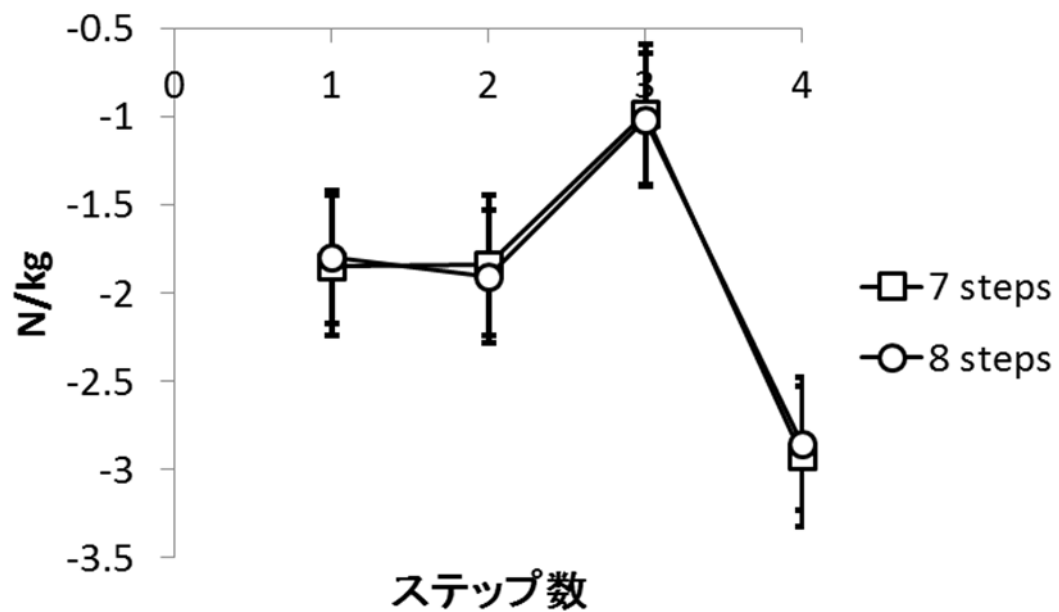


図 21. 接地期前半の水平方向の地面反力の最大値

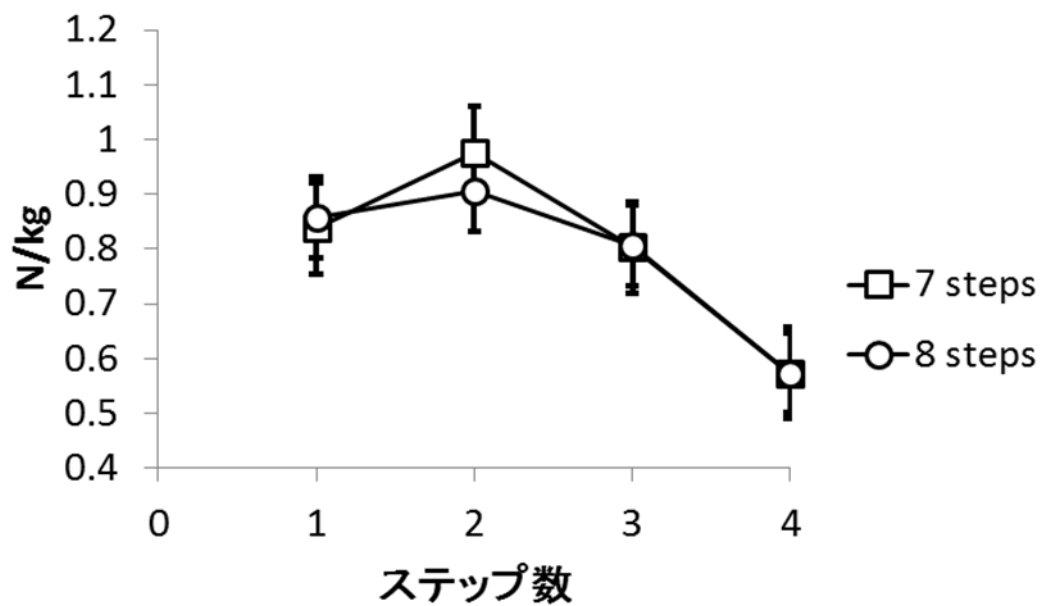


図 22. 接地期後半の水平方向の地面反力の最大値

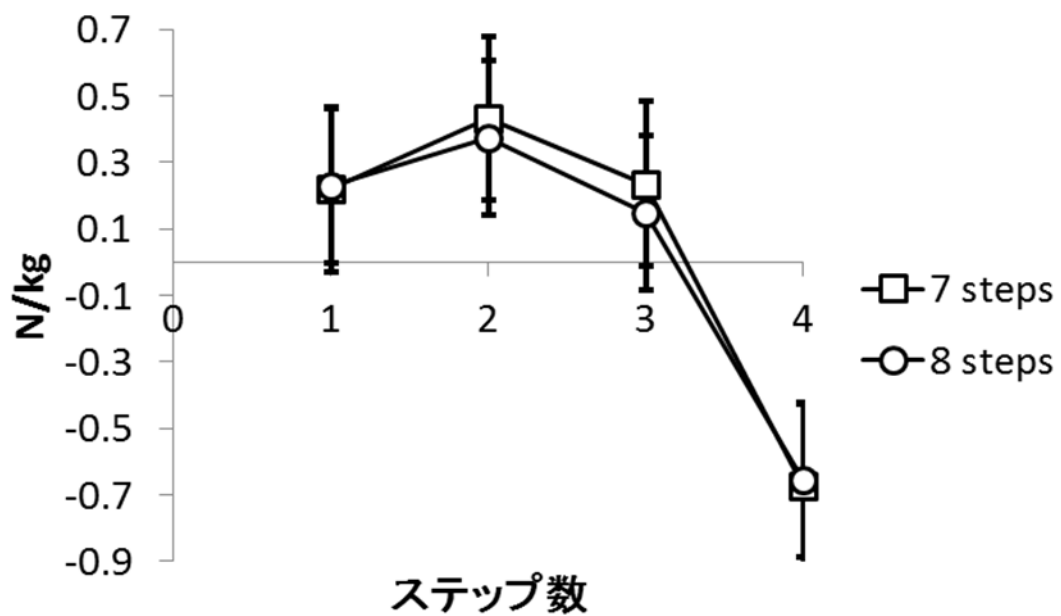


図 23. 接地期全体の水平方向の地面反力の最大値

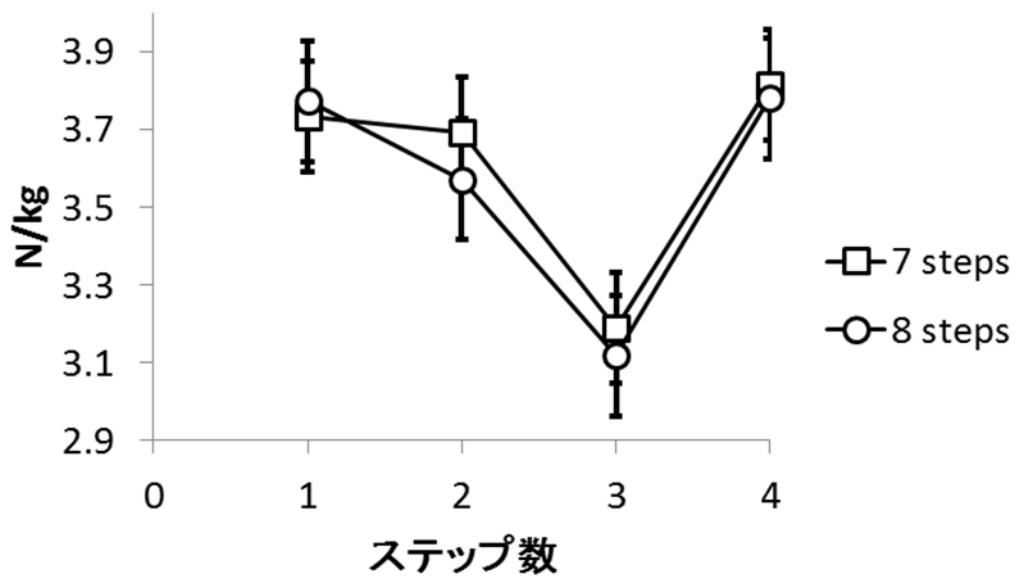


図 24. 接地期全体の鉛直方向の地面反力の最大値

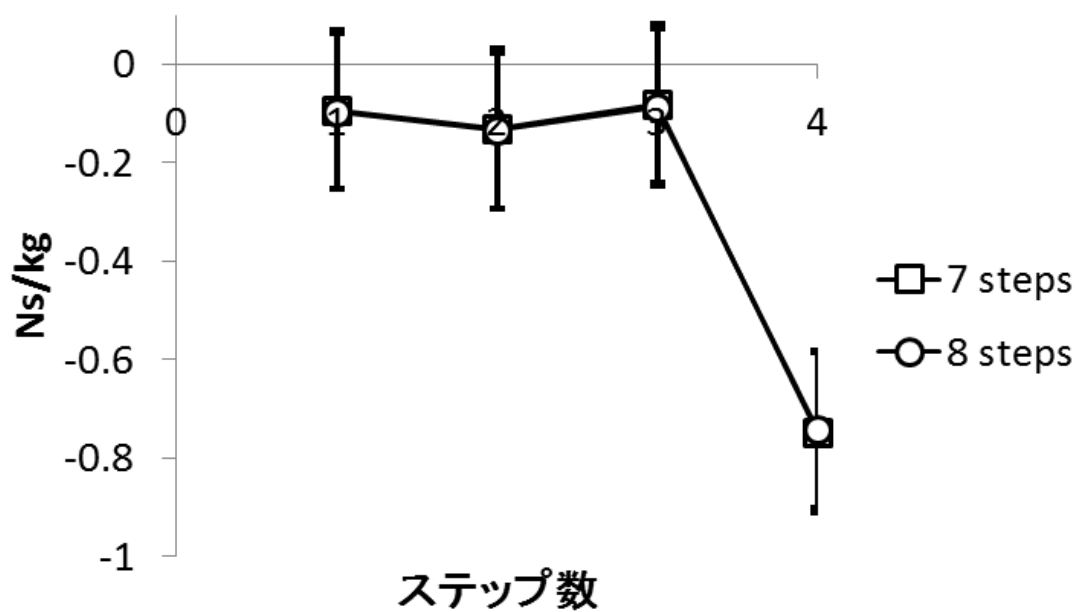


図 25. 接地期前半の力積の水平成分

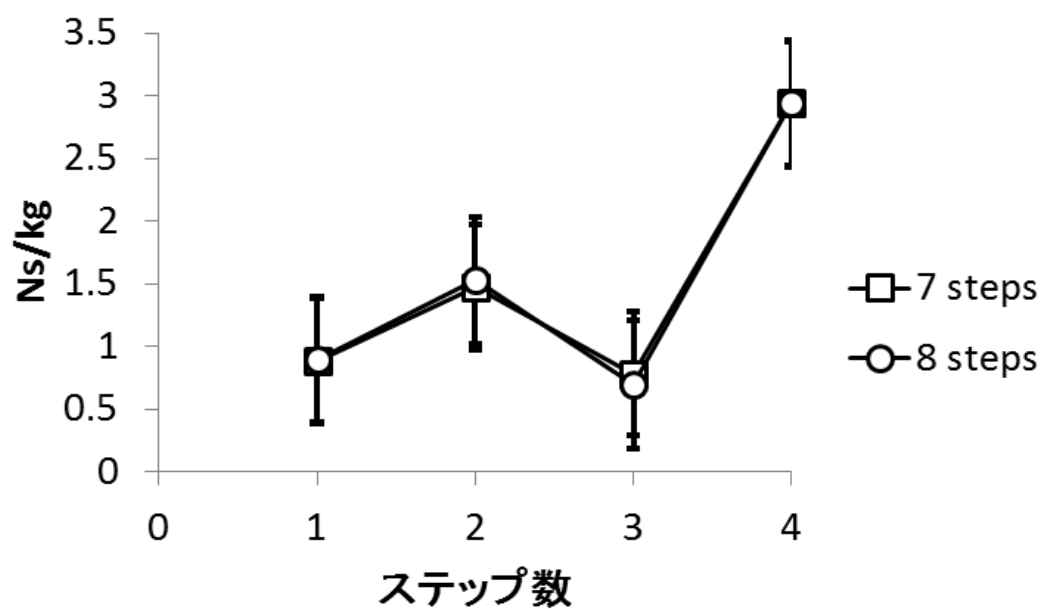


図 26. 接地期前半の力積の鉛直成分

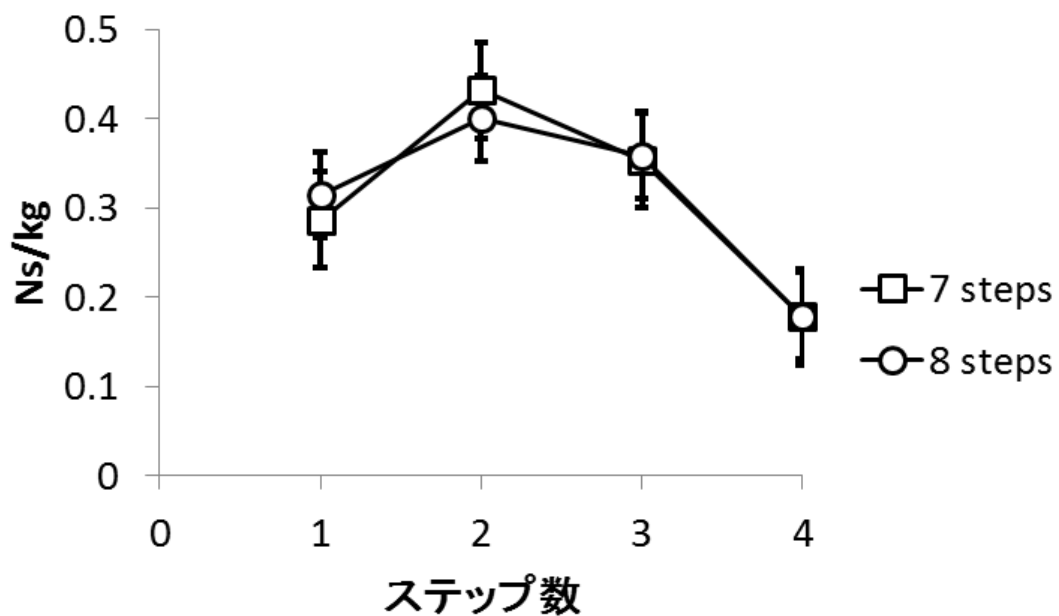


図 27. 接地期後半の力積の水平成分

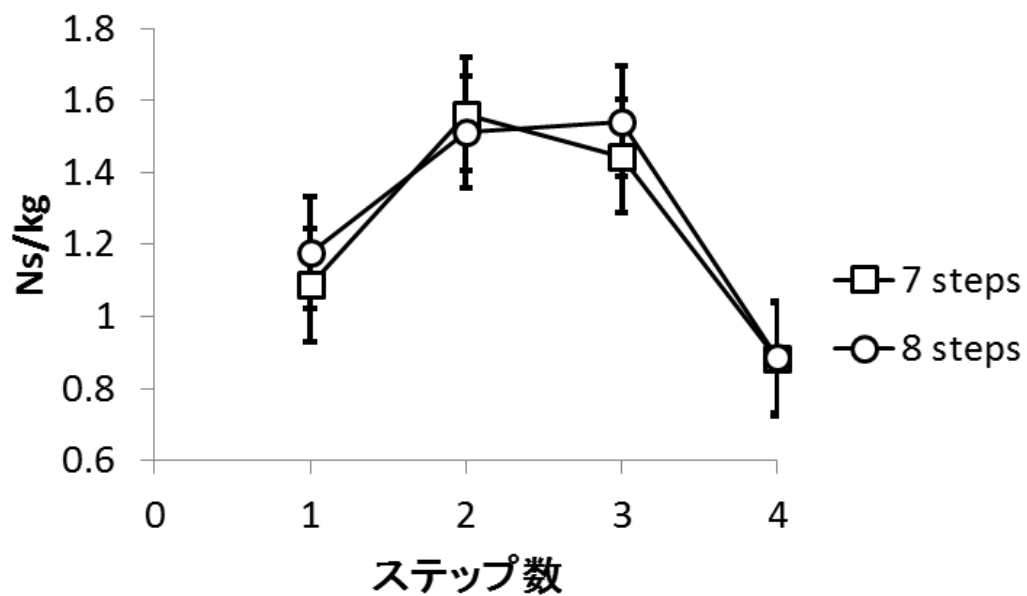


図 28. 接地期後半の力積の鉛直成分

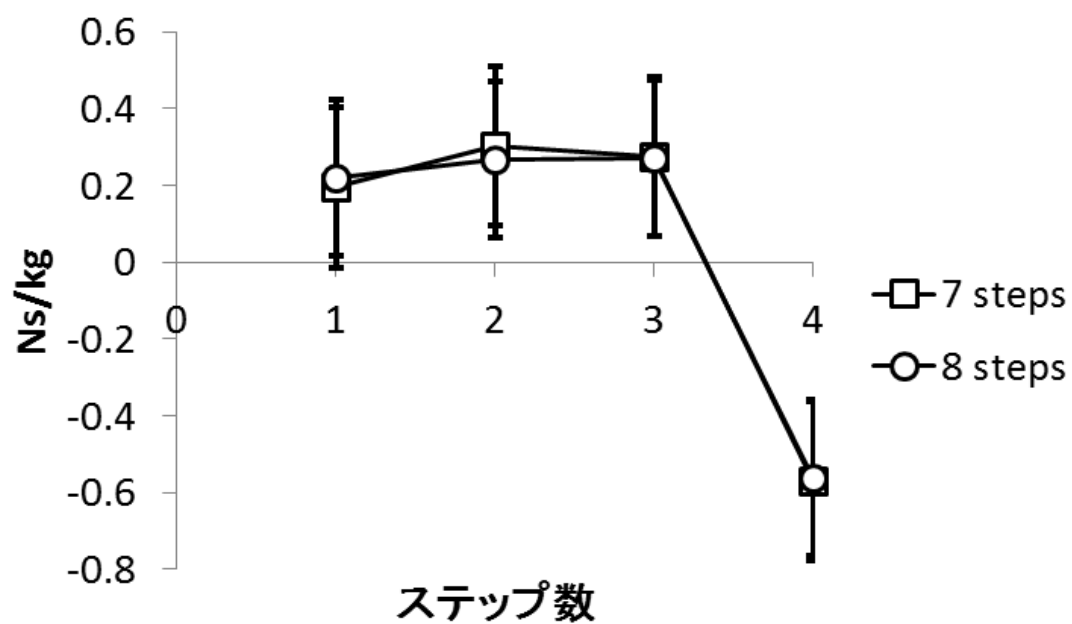


図 29. 接地期全体の正味の力積の水平成分

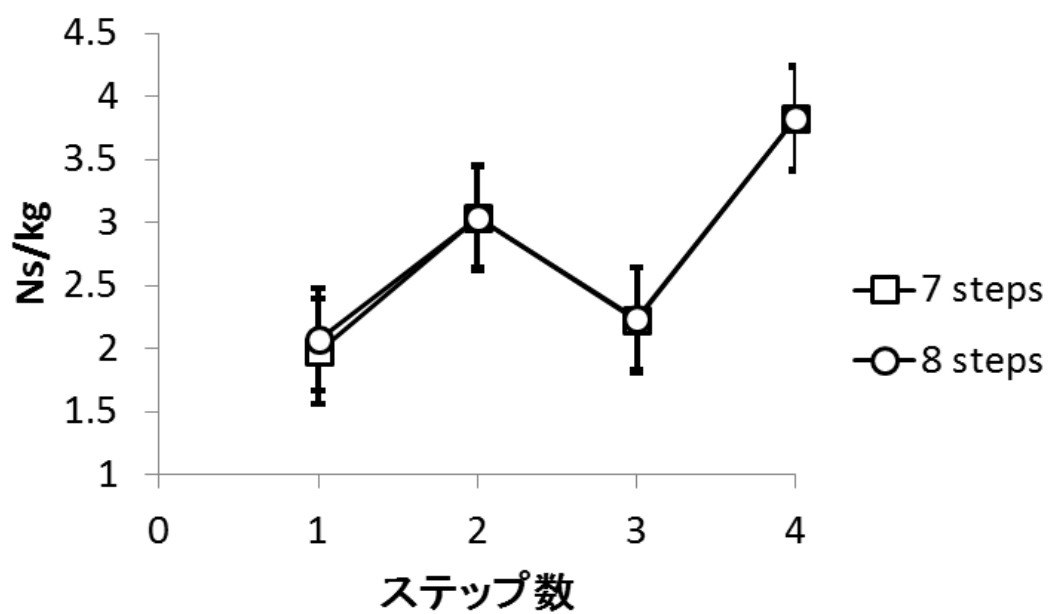


図 30. 接地期全体の正味の力積の鉛直成分

IV. 考察

本研究の目的は，国内の一流 110m ハードル走競技者におけるアプローチ局面のステップ数の違いを，キネティクス・キネマティクスの両側面から明らかにし，110m ハードル走のタイムに与える影響を検討することであった．スタートから 5 台目ハードリング後に着地するまでのタイムは，7 ステップが 7.28 ± 0.06 秒，8 ステップが 7.32 ± 0.10 秒と 7 ステップの方がタイムが短かった．一方で，スタートから 1 台目ハードリング後に着地するまでのタイムは，7 ステップが 2.75 ± 0.05 秒，8 ステップが 2.72 ± 0.05 秒と 8 ステップの方がタイムが短かった．

4-1. アプローチ局面における走速度とピッチ・ストライドの変化

本研究の結果では，アプローチ局面において 8 ステップの方が高い走速度を獲得していた．この背景には，すべての被験者が 8 ステップを主にしており，このことがアプローチ局面における走速度に影響したと考えられる．しかし，7 ステップと 8 ステップの走速度の差は 0.08m/s であり，1 台目から 2 台目においては 7 ステップの方が高い走速度を獲得していたことから，今回の被験者のレベルにおいて 7 ステップを用いることは有用である可能性が示唆できる．言い換えれば，アプローチ局面において 8 ステップで無理にピッチを高めている選手は，7 ステップを用いてストライドを優位にすることで，無理なく加速ができると推察される．

また，アプローチ局面における接地時間，滞空時間はすべてのステップにおいて 7 ステップの方が長かったことから，7 ステップでは大きなストライドにより，8 ステップは高いピッチにより高い走速度を獲得し

ようとしていたと考えられる．特に 7 ステップでは各ステップでのストライドを 8 ステップよりも伸ばす必要があるため，全体として 7 ステップでは 8 ステップよりも各ステップで大きなストライドを獲得していたといえる．アプローチ局面のステップを分割し，7 ステップを前半 3 歩・後半 4 歩，8 ステップを前半 4 歩・後半 4 歩としてストライドを比較すると，7 ステップのスタートから 3 歩で $3.71 \pm 0.20\text{m}$ ，8 ステップは 4 歩で $4.54 \pm 0.16\text{m}$ とスタートから前半の歩数においては 8 ステップの方が 0.82m 長かった．しかし，後半の 4 歩を比較すると，7 ステップは $7.73 \pm 0.16\text{m}$ ，8 ステップは $7.06 \pm 0.10\text{m}$ と 8 ステップよりも 0.67m 大きなストライドを獲得していた．特に 5 歩目から 6 歩目，6 歩目から 7 歩目においては 2m を越えるストライドを獲得しており，スプリント走種目の加速局面と同程度のストライド(小林ら 2009)であった．しかし，スプリント走時にストライドが 2m を越えた地点の歩数と走速度を 7 ステップで 2m のストライドが発現した地点と比較すると，本研究結果の 7 ステップの方が早い段階で 2m を越えるストライドを獲得していたが，走速度は同時点においてスプリント走の方が高かった．つまり，加速に伴いストライドが増大していくスプリント走に対し，7 ステップを用いたアプローチ局面では，ストライドを優位に加速する技術と身体的特性が必要であることを示唆するものである．換言すれば，7 ステップを用いるアプローチ局面の動作は，高いピッチの獲得ではなく，ストライドを優位に加速する必要があると考えられる．これはアプローチ局面において，7 ステップを用いるための特性であるといえる．

4-2. 最高走速度局面における走速度とピッチ・ストライド

最高走速度局面では、7ステップが高い走速度を獲得していた。今回の被験者のレベルにおいては7ステップを用いたことで走速度は低下せず、むしろ高い走速度を獲得できたことが示唆された。また、最高疾走局面における接地時間においては両ステップに差はなく、滞空時間は1歩目から2歩目においては8ステップが、2歩目から3歩目においては7ステップの方が長かった。また、ストライドにおいては1歩目から2歩目において7ステップの方が0.05m短く、2歩目から3歩目では7ステップの方が、0.04m長かった。これらの結果はこれまでの先行研究(谷川ら 2002; 礪ら 2002; Coh 2003)と同様のストライドの推移であった。しかし、世界一流選手の先行研究(Coh 2003; McdNald and Dapena 1991)と、7ステップの最高疾走局面のストライドを比較すると、7ステップの方が1歩目から2歩目、2歩目から3歩目のストライドが短く、3歩目から4歩目のストライドが長かったことから、世界一流選手は3歩目から4歩目までのストライドを短縮することで適切な踏切準備動作をしているといえる。つまり、本研究で得られた結果よりも高い走速度を獲得するためには、1歩目から2歩目のストライドを大きくし、3歩目から4歩目のストライドを短縮することが必要だと考えられる。

4-3. アプローチ局面における下肢三関節の角度変化と接地・滞空時間

踏切動作を含む2サイクル(4ステップ)の下肢三関節の角度変化についての分析結果では、4歩目(8ステップでは5歩目)で、接地脚のもも上げ角度は7ステップの方が8ステップよりも5.7度伸展させていたことを示している。同様にスイング脚のもも上げ角度も7ステップの方が大きかった。これは、アプローチ局面においてより大きなストライドを獲

得しようとした結果，接地脚の股関節伸展，スイング脚の股関節屈曲を大きくすることを意識していた可能性が考えられる．また，接地脚の膝関節角度変化量に差はなく，スイング脚の膝関節角度は 7 ステップの方が 9.9 度屈曲させていたことを示している．これは膝をより屈曲させて前方へ投射しようとする意識の中で，大きなストライドを獲得しようとした結果であると推察される．一方，体幹傾斜角度は最小値において 7 ステップの方が 2.8 度小さく，また変化量も大きかったことから，体幹の前後傾動作を用いてストライドを獲得しようとしたと考えられる．その結果，接地時間も 7 ステップの方が長く，滞空時間も同様に長かった．先行研究では，スイング脚前半に膝関節をすばやく屈曲させることでスイング中の下肢の回転半径を小さくし，下肢の慣性モーメントを減少させることも可能になる(湯と豊島 1990)ことが報告されている．本研究の結果を考慮すると，7 ステップの際に接地期の体幹傾斜角度を小さくしたことは，股関節の容易な屈曲に繋がり，そのことが脚の前方への振り出しを容易にすることで，結果的にストライドの増大につながった可能性が考えられる．

5 歩目(8 ステップでは 6 歩目)では，4 歩目(8 ステップでは 5 歩目)同様に接地脚のもも上げ角度は 7 ステップの方が 8 ステップよりも 7.9 度屈曲させていたことを示している．同時にスイング脚のもも上げ角度も 7 ステップの方が 8.3 度屈曲させていた．これは，接地時に 7 ステップの方がより股関節屈曲した状態で接地しており，同時に股関節の伸展が大きかったと考えられる．すなわち大きなストライドを獲得しようとした結果，角度の変化が大きい股関節の動作になっていたと推察できる．また，接地脚の膝関節角度は 7 ステップの方が 8 ステップよりも 6.9 度伸展させていたことを示しており，大きな膝関節伸展動作を伴っていた．

さらに、スイング脚の膝関節角度においても 7 ステップの方が 8 ステップよりも 10.2 度屈曲させていたことから、脚の回転半径を小さくし、慣性モーメントを小さくすること(湯と豊島 1990)で、すばやい脚の振り出しを可能にしていたと考えられる。体幹傾斜角度変化量は 8 ステップの方が大きかったことから、上体を 7 ステップよりも起こすことでスイング脚の股関節の過屈曲を防ぎ、ストライドを制限していたと考えられる。接地時間と滞空時間は互いに 4 歩目(8 ステップでは 5 歩目)と比較してそれぞれ短縮されていたものの、7 ステップの方が長かったため、大きなストライドの獲得のために 7 ステップの方が接地時間と滞空時間の所要時間が共に増加したと考えられる。しかしながら、4 歩目(8 ステップでは 5 歩目)と比較して、各関節の角度変化量やそれらの最大値と最小値は同じ傾向でなかったことから、左右の脚の動作が同様ではなく、これらのことが 4 歩目(8 ステップでは 5 歩目)よりも接地時間と滞空時間の短縮に繋がったといえる。

6 歩目(8 ステップでは 7 歩目)では、接地脚のもも上げ角度は 7 ステップの方が 8 ステップよりも 4.9 度股関節伸展させていたことを示している。同時にスイング脚のもも上げ角度は 7 ステップの方が 8 ステップよりも 8.2 度屈曲させていた。接地脚もも上げ角度の伸展時の最大角度と、スイング脚もも上げ角度の屈曲時の最大角度に大きな差がみられた。すなわち、接地脚とスイング脚が同じである 4 歩目(8 ステップでは 5 歩目)と、6 歩目(8 ステップでは 7 歩目)には接地期の股関節角度変化に同様の傾向が発現するといえる。また、接地脚の膝関節角度変化量には差はなく、最大値と最小値共に差はみられなかった。スイング脚の膝関節角度は 8 ステップの方が 7 ステップよりも 11.2 度膝関節伸展させており、7 ステップの方が 14.9 度屈曲していた。これは、7 ステップの方が 6 歩目

(8ステップでは7歩目)においても大きなストライドを獲得しようとしていたこと、8ステップはスイング脚の膝関節を過度に屈曲させない動作でストライドを制限する動作を行っていたと考えられる。体幹傾斜角度変化量に差はなかったことから、このステップにおけるストライドの獲得並びに制限においては下肢の運動を主として行っていたといえる。また6歩目(8ステップでは7歩目)から7歩目(8ステップでは8歩目)にかけては先行研究において、ストライドを小さくしてピッチを高めながら踏切を行うことを踏切準備動作と定義している(Tsarouchas et al. 1993; Hay 1988)。本研究では7ステップにおいて踏切1歩前のストライドを短縮しており、適切な踏切準備動作がなされていたと考えられる。一方、8ステップはストライドの制限をしていたものの、踏切1歩前のストライドの短縮はできていなかったため、アプローチ局面における適切な踏切準備動作はできていなかったと考えられる。すなわち7ステップは大きなストライドの獲得と、適切な踏切準備動作を両立していたといえる。

7歩目(8ステップでは8歩目)の1台目のハードルに対する踏切動作において、接地脚のもも上げ角度は7ステップの方が大きく、8ステップよりも3.9度股関節屈曲し、8.5度伸展していた。スイング脚のもも上げ角度も7ステップの方が8ステップよりも大きく、6.5度股関節屈曲していた。7ステップの方が8ステップと比較して16 cm手前から踏切動作を行っていたことで、接地脚の股関節が、より屈曲していたと推察される。これは各選手が7ステップを用いる理由の1つとして挙げられる「8ステップよりも遠くから踏切動作を行うことができる」ことを支持するものであったといえる。股関節伸展時の最大角度も7ステップの方が大きかったことから、遠くから踏切動作を行ったことで接地脚股関節

の伸展動作をより強調していたと考えられる。谷川(2008)は、世界一流競技者と、国内一流競技者の7台目のハードルに対する踏切動作時の踏切脚大腿角度(鉛直線と大腿のなす角)をハードリングタイプの似た競技者ごとに比較した。その結果、世界一流競技者は踏切脚大腿角度が大きく、すなわち後方まで股関節を伸展させていたと報告している。また、踏切脚を後方に残すことによって大きな角運動量を獲得しているという報告(McDonald and Dapena 1991)もある。本研究においても、同一被験者内における接地脚の股関節の伸展角度は、8ステップよりも7ステップの方が大きかったことを考慮すると、踏切動作を改善する上で7ステップが有用である可能性を示唆している。踏切脚接地時間は7ステップの方が0.01秒長いが、接地脚もも上げ角度の変化量も7ステップの方が12.4度大きかったことから、7ステップを用いることで踏切距離が遠くなるとともに、股関節の角度変化が大きくなるといえる。同時に、踏切動作では接地脚の膝関節角度の伸展動作を小さくすることで水平速度の減少を抑える必要がある(森田ら 1994)。

本研究では接地脚の膝関節伸展角度に両ステップの差がなかったことから、7ステップを用いることで踏切位置を遠くしながらも膝関節伸展動作を抑えることができると考えられ、踏切時の水平速度の減少を少なくできる可能性があると考えられる。

4-4. 最高疾走局面における下肢三関節の角度変化と接地・滞空時間

本研究では矢状面での分析のため、ハードリング中に脚を外転する動作が関与する1歩目のスイング脚のもも上げ角度、膝関節角度、足関節角度、体幹傾斜角度については検討していない。

まず1歩目では、接地脚のもも上げ角度は8ステップの方が7ステッ

プよりも 3.3 度股関節伸展させており，1 歩目から 2 歩目のストライドも大きかった．また，接地時間に両ステップで差はなく，1 歩目から 2 歩目までの滞空時間は 7 ステップの方が短かった．すなわち 8 ステップの方がより前方に身体を投射しようと股関節の伸展を強調した結果，大きなストライドを獲得し，伸展動作の小さかった 7 ステップの方が滞空時間を短くしてピッチを高めていたといえる．接地脚の膝関節角度は 8 ステップの方が 4.2 度伸展していた．先行研究(Mann 1996；森田ら 1994)では，世界一流選手の接地時の膝関節角度はほぼ 180 度の完全伸展であったことを報告しており，8 ステップの方が世界一流選手の動作に近いと考えられる．その結果，1 歩目から 2 歩目にかけて大きなストライドを獲得できていたと考えられる．

2 歩目では，接地脚のもも上げ角度は 8 ステップの方が 7 ステップよりも 2.5 度股関節屈曲させており，同時にスイング脚のもも上げ角度変化も 8 ステップの方が 7 ステップよりも 2.3 度伸展させていた．換言すれば，接地時に 8 ステップの方が股関節屈曲した状態で接地していたといえる．柴山ら(2011)は，走速度の高い選手は接地時に大腿がより鉛直に近いことを報告しており，本研究における 7 ステップの結果と一致するものであった．また，接地脚の膝関節角度変化量に差はなかったが，スイング脚の膝関節角度変化量には差がみられ，7 ステップの方が 10.3 度屈曲していた．これは脚の回転半径を小さくし，慣性モーメントを小さくすること(湯と豊島 1990)で素早い脚の振り出しを行っていたと考えられる．つまり，接地脚の膝関節の伸展を抑えながら，前方への脚の振り出し速度を高めることで，2 歩目から 3 歩目において 8 ステップよりも大きなストライドを獲得できていたと考えられる．

3 歩目では，接地脚のもも上げ角度変化は 8 ステップの方が 7 ステッ

プよりも 4.0 度股関節屈曲させており，同時にスイング脚のもも上げ角度も 8 ステップの方が 7 ステップよりも 3.0 度屈曲させていた．換言すれば，2 歩目と同様に接地時に 8 ステップの方が股関節屈曲した状態で接地しているといえる．また，8 ステップは 2 歩目から 3 歩目のストライドが短かったことで，踏切準備のためにストライドを短縮せず，むしろストライドを獲得しようとした結果，スイング脚の股関節の屈曲が大きかったと推察される．一方，接地脚の膝関節角度変化量に差はみられず，スイング脚の膝関節角度は 7 ステップの方が 5.3 度屈曲していた．これらのことが 2 歩目と同様に素早い脚の振り出しを可能にしていたと考えられる．3 歩目から 4 歩目のストライドにおいて，7 ステップの方は 2 歩目から 3 歩目のストライドと比較して短縮していたのに対して，8 ステップのストライドは同様の推移であった．本研究の結果から，7 ステップの方が脚の素早い振り出しと，ストライドを短縮しながら踏切準備動作を行っていたのに対して，8 ステップはストライドを短縮できなかったため，適切な踏切準備動作を適切に行うことができなかったと考えられる．

4 歩目(踏切脚)では，接地脚のもも上げ角度変化は 8 ステップの方が 7 ステップよりも 4.8 度股関節屈曲させていた．同時にスイング脚のもも上げ角度も 8 ステップの方が 7 ステップよりも 6.0 度伸展していた．これらのことは，7 ステップの方が踏切準備動作を適切に行っていたことで踏切脚の股関節屈曲を制限できたことを示唆するものである．また，8 ステップでは踏切準備動作を適切に行えなかったことで，踏切時に股関節を過屈曲させた状態で接地し，脚の振り出しが遅れていたと考えられる．ハードル走速度の高い選手は，踏切脚接地地点と身体重心点の水平距離が短いため(伊藤と富樫 1997)，股関節を過屈曲させて接地してい

た 8 ステップの方が速度の減少が大きかった可能性が考えられる．また接地脚の膝関節角度変化量について先行研究では，ハードリングの接地脚の膝関節を固定していることが記録と関係があったことを報告している．(森田ら 1994；柴山ら 2011)．7 ステップの方が接地脚の膝関節角度変化量が小さかったことから走速度の減少を抑えて踏切動作を行っていたと考えられる．スイング脚の膝関節角度変化量にも大きな差がみられ，7 ステップの方が 24.9 度伸展していた．谷川(2008)は，世界一流競技者の技術として，スイング脚の膝関節における伸展角度が大きい傾向にあることを述べており，踏切動作において早い段階からスイング脚の膝関節を伸展させていると報告している．すなわち，本研究の結果では 7 ステップを用いた方が競技レベルの高い選手と同様の踏切動作を行っていたと推察される．

4-5. アプローチ局面における地面反力の最大値と力積

アプローチ局面では全てのステップにおいて接地時間，滞空時間共に 7 ステップの方が長かった．地面反力をみると， GRF_{H-} は，3 歩目では 7 ステップが大きく，それ以降は 8 ステップが大きかったが，特に踏切脚接地期の値は 8 ステップの方が大きかった． GRF_{H+} ではアプローチ局面前半の 3 歩目(8 ステップでは 4 歩目)までに差はなく，後半の 4 歩は 7 ステップの方が大きかった．換言すれば両ステップ共に後半 4 歩において加速し続けているが，7 ステップはストライドの獲得のために GRF_{H+} を，8 ステップはストライドの制限のために GRF_{H-} を大きくしていたといえる．その結果，7 ステップの方が後半の 4 歩において大きなストライドを獲得できていたと推察できる．また GRF_H は，1 歩目に差はなく，2，3 歩目と踏切準備脚接地期では 8 ステップが大きな値を示し，それ以

外は 7 ステップの方が大きかった．すなわち 8 ステップが前半において 7 ステップよりも大きな GRF_H を獲得できていたことが，前半の大きなストライドの獲得に貢献していたと考えられる． GRF_V は，アプローチ局面の前半に差はなく，後半の 4 歩は 7 ステップの方が大きな値を示していた．つまり， GRF_{H+} の大きさだけでなく，大きな GRF_V を獲得することもストライドを獲得する上で重要であるといえる．踏切時について考えると，7 ステップの方が大きな GRF_H を獲得していた．水平速度維持のために踏切局面では地面反力のブレーキ成分を小さくすることが必要である (McLean 1994 ; Coh 2004) ことから，7 ステップを用いることで水平速度の減速を抑えられる可能性が示唆できる．また GRF_V においても 7 ステップの方が大きかった．樋口ら (1982) は，ハードリングにおいては身体重心を引き上げなければならず， GRF_{H-} が大きくなることを報告しているが，本研究では，8 ステップの方が GRF_{H-} は大きかったため，踏切位置が遠くなることで GRF_{H-} を大きくすることよりも GRF_V を大きくすることでより遠くから踏切動作を行っていたと推察される．

力積をみると， IMP_{H-} に両ステップの差はなく，さらに IMP_{V-} にも両ステップの差はみられなかった．しかし， IMP_{H+} をみると，全ステップにおいて 7 ステップの方が大きな値を示しており，特に 1 歩目は大きな差がみられた．つまり 1 歩目の GRF_H には差はなかったものの， IMP_{H+} は 7 ステップの方が大きかったことから接地時間を長くしたことで大きな IMP_{H+} の獲得に貢献していたといえる．その後歩数を重ねるごとに IMP_{H+} は両ステップ共に減少したが，踏切局面においても 7 ステップの方が大きな IMP_{H+} を獲得していた．また IMP_H は，全てのステップにおいて 7 ステップの方が同等もしくは大きな値を示しており， IMP_V は，すべてのステップにおいて 7 ステップの方が大きな値を示していた．

Hunter et al.(2004)はストライドを規定する要因の 1 つは地面反力の力積の大きさであると述べており、この力積の大きさがストライドに違いが生じた主な要因の 1 つであると考えられる。Hunter et al.(2005)は IMP_{H+} の大きさには下肢三関節の最大伸展角度は影響していないと報告しているが、本研究において股関節の最大伸展角度は 7 ステップの方が大きかったことを踏まえると、選手は主観的に大きなストライドを獲得しようとした際に下肢三関節の伸展動作を強調していたと考えられる。しかし、実際には伸展角度の増大ではなく、高い角速度の獲得を求めることでより大きな IMP_{H+} を獲得できる可能性があるといえる。また、全てのステップにおいて 7 ステップの IMP_V は大きかった。先行研究ではストライドは滞空距離と比例関係(松尾ら 2008)があり、滞空時間は接地期の鉛直方向の力積に依存する(Hay 1993)ことから、大きな IMP_V の獲得も 7 ステップのストライドの増大に貢献していたと考えられる。

4-6. 最高疾走局面における地面反力の最大値と力積

最高疾走局面では、全ステップにおいて接地時間に差はなく、 GRF_H はすべてのステップにおいて大きな差はみられなかったが、 GRF_{H+} では 7 ステップにおいて 2 歩目が大きかった。 GRF_H は 2 歩目と 3 歩目において大きな 7 ステップの方が大きく、 GRF_V では 1 歩目では 8 ステップが大きく、それ以降は 7 ステップの方が大きかった。柴山ら(2011)は、2 歩目でより大きな地面反力を獲得することが高いピッチを生み出す上で必要であると述べているが、本研究では 7 ステップの地面反力が大きかったが、同時に滞空時間も長かった。小林ら(2009)は、加速局面において一流選手群は対照群と比較して地面反力の作用方向を進行方向へ傾斜させ、対照群よりも大きな力積の水平成分を獲得していたと報告してお

り、これらの知見を考慮すると、地面反力の作用方向をより進行方向に傾斜させることで滞空時間を短縮し、高いピッチを獲得できる可能性があるといえる。

IMP_H-と IMP_V-にも両ステップに差はみられなかった。しかし、IMP_H+において1歩目は8ステップ、2歩目は7ステップの方が大きく、それ以降に差はなかった。また IMP_V+では、1, 3歩目は8ステップが、2歩目は7ステップが大きく、4歩目に差はなかった。IMP_Hも IMP_H+と同様に1歩目は8ステップ、2歩目は7ステップが大きく、それ以降に差はなかった。IMP_Vは1歩目のみ8ステップが大きく、それ以降に差はなかった。本研究の結果から1歩目は8ステップの水平方向及び鉛直方向の疾走速度の変化量が大きく、2歩目は7ステップの水平方向の疾走速度の変化量が大きかったといえる。ストライドを規定する要因の1つは地面反力の力積の大きさであるため(Hunter et al. 2004)、1歩目から2歩目のストライドは8ステップが、2歩目から3歩目では7ステップのストライドが大きかったことに貢献しているといえる。また1歩目において、8ステップの IMP_Vが大きかったことが滞空時間の長さに寄与したといえる(Hay 1993)。2歩目では7ステップが、8ステップと同程度の IMP_Vであったにも関わらず大きなストライドと高い疾走速度を獲得できたのは、大きな IMP_Hを獲得できていたからであると考えられる。先行研究では、インターバル走速度が高いほど2歩目においてスプリント走に近い動作がみられること(伊藤と富樫 1997; 谷川ら 2002)や、ハードリングにおいて減少した水平速度は主に2歩目で再加速していること(McDonald and Dapena 1991; 伊藤と富樫 1997)、疾走速度の高い選手ほど2歩目の接地時間及び2歩目から3歩目の滞空時間が短いこと(柴山ら 2011)が報告されているが、本研究では接地時間に変わりは

なく、滞空時間においては 7 ステップの方が長かった。谷川(2002)は、滞空比が大きいほどインターバルの走速度が高かったことを報告しており、本研究で 2 歩目の滞空比が 7 ステップの方が大きかったことで高い走速度を獲得していたと考えられる。また 7 ステップの IMP_H は 8 ステップのそれよりも大きかったことから、8 ステップと比較して走速度が回復しているといえる。3 歩目では、 IMP_H に差はないものの、7 ステップは 2 歩目と比較して小さくなっていたが、8 ステップでは 2 歩目よりも大きな IMP_H を獲得していた。

先行研究において、3 歩目でストライドを短縮し、ピッチを高めて(Hay 1988)踏切準備動作を行う選手と、2 歩目に近いスプリント動作を行う選手がおり、踏切動作を異なる動作で迎えていること(谷川 2002)を報告している。本研究の結果を踏まえると、7 ステップは 2 歩目で加速が完了し、3 歩目では踏切準備動作を行っていたのに対して、8 ステップは 3 歩目まで加速し続けるスプリント動作で踏切を行っていたと考えられる。また谷川(2002)は、2 歩目までに走速度を高められていないことで 3 歩目までスプリント動作をしていたと考察しており、本研究の結果も踏まえると大きな IMP_H と IMP_V を獲得することが、2 歩目で高い走速度を得るためには必要であると考えられる。4 歩目では IMP_H と IMP_V 共に両ステップに差はみられなかったことから、踏切時には同様の力積を獲得していた。しかし踏切 1 歩前でストライドを短縮していた 7 ステップの方が、同じ力積でも踏切動作においては世界一流競技者に類似した動作を獲得していた(森田ら 1994)。換言すれば、本研究の被験者においては踏切準備動作を用いることで、同じ力積ながらも速度の減少が少ない踏切動作を行うことができるといえる。

V. 結論

本研究では，アプローチ局面では 8 ステップが，最高疾走局面とスタートから 5 台目ハードルまででは 7 ステップのタイムが短かった．すなわち本研究の被験者と同程度の競技レベルを有する選手に，7 ステップを用いることが有用である可能性があることが示唆された．

1. アプローチ局面では 7 ステップが全てのステップにおいてストライドが大きく，踏切位置も遠かった．すなわち，これまで 110m ハードル走に求められてきた高いピッチの獲得ではなく，ストライドを優位に加速する技術と身体的特性が必要であることが示唆された．アプローチ局面の後半 4 歩における下肢三関節の角度変化では，7 ステップは接地脚股関節の伸展とスイング脚股関節の屈曲，スイング脚の膝関節の屈曲を大きくすることでストライドを獲得，8 ステップはスイング脚の膝関節の過屈曲を防ぐことでストライドを制限しようとしていたことが考えられる．地面反力は，7 ステップが GRF_{H+} を大きくしてストライドを獲得し，8 ステップは GRF_{H-} を大きくしてストライドの制限をしていたと考察できる．また力積は IMP_{H+} において 7 ステップの方が大きかったが， GRF_{H+} に差はみられなかったことから，接地時間を長くすることで大きな IMP_{H+} を獲得していたことが示唆された．またすべてのステップにおいて， IMP_H と IMP_V 共に 7 ステップの方が大きかったことから，アプローチ局面における 7 ステップのストライドの獲得のためには，水平方向と鉛直方向両方の力積を大きくする必要があることが示唆された．

2. 最高走速度局面ではすべてのステップの接地時間に差はみられなかった．2 歩目から 3 歩目のストライドと比較して，3 歩目から 4 歩目のストライドが 7 ステップでは短縮していたのに対し，8 ステップでは

維持していた．すなわち，7ステップは踏切準備動作，8ステップはスプリント動作を伴って踏切動作へ移行していたことが示唆された．下肢三関節の角度変化から1歩目では8ステップの方が膝関節を伸展させて接地していたこと，2歩目では7ステップの方が股関節を伸展させて接地していたことが大きなストライドの獲得につながったと考えられる．また踏切脚接地期において，踏切脚の膝関節角度変化量が小さかった．すなわち本研究の被験者と同程度の競技レベルを有する選手においては，踏切準備動作を適切に行うことで踏切動作での速度の減少を抑えられる可能性があることが示唆された．地面反力では，7ステップが2歩目において大きな GRF_H+ と，地面反力の鉛直成分の最大値 (GRF_V) を獲得できたことがストライドの獲得に貢献していることが示唆された．また力積では2歩目では7ステップが，3歩目では8ステップが大きな IMP_H+ を獲得していたことを踏まえると，踏切準備動作とスプリント動作から踏切動作へ移行したというキネマティクスの側面における考察を，キネティクスの側面からも支持するものであった．

本研究の結果では7ステップはアプローチ局面において，接地時間を伸ばして水平方向と鉛直方向双方の大きな力積を獲得することでストライドを獲得し，最高走速度局面では2歩目に大きな力積を獲得することで高い走速度を獲得することができ，踏切準備動作が適切に行え，タイムが短縮する可能性があることが示唆された．

VI. 参考文献

阿江通良，鈴木美佐緒，宮西智久，岡田英孝，平野敬晴（1994）世界一流スプリンターの 100m のレースパターン分析-男子を中心に-．佐々木秀幸・小林寛道・阿江通良監修，世界一流競技者の技術，ベースボールマガジン社，東京，pp.14-28

秋山祐介，有川秀之（2008）110m ハードル走におけるアプローチ区間の踏切準備動作について．埼玉体育スポーツ科学，4，12-21

Aki A.S., Simon Scarborough.(2006) Changes in technique within a sprint hurdle run, Sports Biomechanics.,vol.5(2), 166-166

Arampatzis A., Bruggemann G.P., Metzler V.(1999) The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running, J Biomech., 32(12):1349-1353

Armstrong L.E., Costill D.L., Gehlsen G.(1984) Biomechanical comparison of university sprinters and marathon runners. Track Tech., 87: 2781-2782.

Cavagna G.A., Saibene F.P., and Margaria R.(1964) Mechanical work in running. J.Appl.Physiol, 19-2:249-256

Coh M (2003) Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique, New. Stu. In Athletics, 18(1): 37-45

Coh M.(2004) Biomechanical analysis of 110m hurdle clearance technique, Mod. Ath. And Coach., 42(4): 4-8

Coh M., and Janusz Iskra.(2012) Biomechanical studies of 110m hurdle clearance technique,Spo Sci,(5)1:10-14

Mann R. (1996) Hurdle mechanics. The mechanics of sprinting and hurdling, Compsport international: pp 89-119

McDonald C., and Dapena J.(1991a) Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. Med and Sci in Spo and Exer., No.23:1382-1391

McDonald C., and Dapena J.(1991b) Angular momentum in the men's 110-m and women's 100-m hurdles races, Med and Sci in Spo and Exer, vol.23, no.12:1392-1402

樋口憲生・浅川正一・湯浅景元・斉藤昌久・平岡寿弘 (1982) ハードリングの力学的分析. 中京体育学研究, 23(1), 44-51

Hay J.G. (1988) Approach Strategies in Long Jump, Int. J. Sport Biomech, 4: 114-129

Hay J.G. (1993) The biomechanics of sports techniques (4th Edition).
Prentice Hall., New Jergey., pp396-412

Hunter J., Marshall R., McNair P.(2004) Interaction of step length
and step rate during sprint running, Med. Sci. Sports Exerc., 36(2):
261-271.

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(1): 31-43

磯繁雄，榎本靖士，中田和寿，羽田雄一，阿江通良（2002）一流 110m
ハードル選手のインターバル走に関するキネマティクス的研究．陸上競
技研究，49:11-17

一川大輔，宮下憲，谷川聡，横澤俊治，金子公宏（2002）110m ハードル
選手の競技力向上に関する事例的研究～日本人 13 秒台を対象として～.
陸上競技研究，第 48 号，No.1

伊藤章，富樫勝（1997）ハードル走のバイオメカニクスの研究：スプリ
ントとの比較．体育学研究，42，246-260

小林海，土江寛裕，松尾彰文，彼末一之，磯繁雄，矢内利政，金久博昭，
福永哲夫，川上泰雄（2009）スプリント走の加速局面における一流短距
離選手のキネティクスに関する研究．スポーツ科学研究，6，119-130

LaFortune M.A. (1988) Biomechanical analysis of 110 m hurdles, Track and Field News., 105: 3355-3365

松尾彰文，広川龍太郎，柳谷登志雄，土江寛裕，杉田正明（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(2): 74-83

宮下憲（1993）110m ハードルレースにおけるモデルタッチダウンタイムに関する研究．陸上競技研究，14:10-20

森田正利，伊藤章，沼澤秀雄，小木曾一之，安井年文（1994）スプリントハードル(110mH・100mH)および男女 400mH のレース分析．佐々木秀幸・小林寛道・阿江通良監修，世界一流競技者の技術，ベースボールマガジン社，東京，pp.66-87

McLean B. (1994) The Biomechanics of hurdling: Force plate analysis to assess hurdling technique, New Stu. in Athletics., 4:55-58

Morin J.B., Slawinski J., Dorel S., Saez de Villarreal E., Couturier A., Samozino P., Brughelli M., and Rabita G. (2015) Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: Push more, brake less?, J.Biomechanics, 48(12): 3149-3154

Munro C.F., Miller D.I., and Fuglevand A.J. (1987) Ground reaction forces in running:

A reexamination. J.Biomechanics, 20-2:147-155

柴山一仁，藤井範久，阿江通良（2011）一流 110m ハードル走選手の 1 サイクル動作に関するキネマティクスの研究：疾走速度および脚長と動作の関連から．体育学研究，56(1):75-88

柴山一仁，藤井範久，阿江通良（2013）一流 110m ハードル走選手のハードリング動作に関するバイオメカニクスの分析：角運動量保存則からの検討．体育学研究，58(1):135-149

柴山一仁，藤井範久，門野洋介，阿江通良（2014）国内外 110m ハードル走選手のハードリング動作に関する 3 次元キネマティクスの研究．陸上競技学会誌，12:45-53

Schffer J.(2009) The sprints, New Studies in Athletics., 24: 7-17

谷川聡，宮下憲，高橋潤二，安井年文，金子公宏（2002）ハイハードル走のインターバルランニングに関する研究．スプリント研究，12:43-53

谷川聡（2006）世界トップレベルから見た 110m ハードル競走の競技特性．スプリント研究，16:24-40

谷川聡（2008）世界一流 110m ハードル競技者のレースタイムおよび動作特性の検討(特集 世界陸上アスリートのパフォーマンスー東京大会から 16 年後の大阪大会)．バイオメカニクス研究，12(2):101-108

土江寛裕，松尾彰文，磯繁雄，福永哲夫（2005）陸上競技短距離選手にみられる加速走中の下肢スティフネスの変化．東京体育学研究，2005年度報告，29-32

湯海鵬，豊島進太郎（1998）慣性モーメントから見たランニングのフォーム．バイオメカニクス研究，2(2): 92-98

Tsarouchas L., Papadopoulos C., Kalamaras K., and Giavroglou G. (1993) Approach phase for the clearance of the hurdle in the 110 m high hurdles run, Track and Field quarterly review., 40-45

Winter DA. (2004) Biomechanics And Motor Control of Human Movement. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York., pp75-102

山田憲政・宮下憲（1990）ハードル走における踏切時間を短縮する要因．体育学研究，35:53-61

VII. 謝辞

本研究は、磯繁雄教授のご指導の下行われました。修士論文の作成にあたり終始懇切なご指導、ご助言を賜りました。また早稲田大学に入学してから7年、本当に多くの時間をご一緒させていただき「早稲田人として何たるか」を身をもって教えて頂きました。心より感謝申し上げます。土屋純教授と彼末一之教授にも副査を快諾していただき、大変感謝しております。早稲田大学スポーツ科学学術院の深野真子助教には、大学院1年時の担任時から研究者の厳しさと、大学院で学ぶことの覚悟の持ち方をご指導頂きました。また本実験を行うにあたり、鹿屋体育大学体育学部の松尾彰文先生には実験のセッティングから分析に至るまで、大変お忙しい中丁寧にご指導頂きました。松尾先生本当にありがとうございました。そして日本スポーツ振興センターの小林海さんには、計画の段階から最後の最後までご指導頂き、研究のいろはを一から叩き込んで頂きました。本当に感謝しております。先生方以外にも、共に論文作成に取り組んだ磯研究室の皆様には大変お世話になりました。松井一樹さんには、指導の在り方など多くの時間の中で勉強させていただきました。千葉里美さんには、選手としての意地と誇りを背中で教えて頂きました。そして、欠畑岳君とは6年間一緒にいて衝突する時期もありましたが、それでも私にとってはかけがえのない本当に良き理解者であり大切な後輩です。欠畑君がいなければ越えられない壁もたくさんありました。陸上競技も、研究も一緒にやることができ本当に楽しかった。ありがとう。またお互い成長して、会いましょう。

最後に、好き勝手に生きている私を見捨てずに応援し続けてくれる両親に感謝致します。

2017年1月13日