

平成16年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

陸上競技中距離選手の走速度の変動に
影響をおよぼす体力的要因
— 伸張-短縮サイクル運動に着目して —

スポーツ科学領域

コーチング科学分野

松本 毅

論文指導教員 沢木 啓祐 教授

合格年月日 平成 17 年 3 月 3 日

論文審査員

主査

澤本 啓祐

副査

伴 藤 政 男

副査

野川 春 夫

目 次

第1章 序 章	1
第1節 研究の動機および必要性	1
第2章 関連文献の検討	4
第1節 800m 走のレース展開についての関連文献の検討	4
(1) 800m走のレース展開についての先行研究.....	4
(2) 800m 走のレース展開の分析方法についての検討	5
第2節 800m 走者の生理学的特性についての関連文献の検討	6
(1) 800m 走者の生理学的特性についての先行研究.....	6
(2) 800m 走者の生理学的特性からの検討	8
第3節 800m 走者の筋力特性についての関連文献の検討	9
(1) 800m 走者の筋力特性についての先行研究	9
(2) 800m 走者の筋力特性について研究方法の検討	10
第4節 伸張－短縮サイクル運動についての関連文献の検討	11
(1) 伸張－短縮サイクル運動についての先行研究.....	11
(2) 伸張－短縮サイクル運動について研究方法の検討	13
第5節 文献考証のまとめ	14
第3章 目 的	15
第4章 方 法	16
第1節 被験者	16
第2節 測定項目および測定方法	16
(1) 中距離疾走能力測定	16
(2) ジャンプパフォーマンス測定	17
(3) 筋力測定	18
(4) 疲労前後の走動作比較	19
第3節 分析方法	20
(1) 中距離疾走能力測定	20
(2) ジャンプパフォーマンス測定	21
(3) 疲労前後の走動作比較	22
第4節 仮説の設定	23
第5節 統計処理	25
第5章 結 果	26
第1節 中距離疾走能力測定	26

第2節	ジャンプパフォーマンス測定	26
(1)	Squat Jump および Counter-movement Jump	26
(2)	立5段跳および立10段跳	27
第3節	筋力測定	27
第4節	疲労前後の動作分析	28
(1)	地面反力	28
(2)	接地時間	28
(3)	腓腹筋のMTC長	29
(4)	腓腹筋のMTCのstiffness	29
第5節	仮説の検証	29
(1)	理論仮説1の検証	30
(2)	理論仮説2の検証	30
(3)	理論仮説3の検証	31
第6章	考察	33
第1節	ラストスパートにおける走速度、ピッチおよびストライドの関係	33
第2節	ラストスパートでのストライドの維持に影響をおよぼす体力的要因	35
(1)	脚筋力とラストスパートでのストライドの維持	35
(2)	連続跳躍とラストスパートでのストライドの維持	35
(3)	水平前後方向の地面反力とラストスパートでのストライドの維持	36
第3節	ラストスパートでのピッチの増加に影響をおよぼす体力的要因	37
(1)	MTCの弾性特性とラストスパートでのピッチの増加	37
(2)	SSC運動の遂行時間とラストスパートでのピッチの増加	38
第7章	結論	41
第1節	結論	41
第2節	現場への提言	42
第3節	今後の課題	43
第8章	要約	44
引用文献一覧表		46
略語一覧表		51
	欧文要約	
	表1～表8	
	図1～図12	
	付表1	

第1章 序章

第1節 研究の動機および必要性

800m 走で高いパフォーマンスを発揮するためには、大きなパワーを持続し、高い走速度を維持することが重要である。走速度は、ピッチとストライドの積で表されるため、走速度の変化はピッチとストライドの変化から考えることができる³⁵⁾。杉田ら⁶⁸⁾は、800m 走の600m 地点以降のラストスパートの局面において、走速度が増加した者はピッチの増加がみられ、走速度が減少した者はストライドの減少がみられたと報告している。800m 走は、レース中盤の600m 地点までは集団を形成し、ラスト200m のラストスパートの局面における最大努力走によって勝敗が決定することが多い¹¹⁾。すなわち、800m 走のラストスパートの局面では、ストライドの維持とピッチの増加により、走速度を向上させることが、800m 走で高いパフォーマンスを発揮するための重要な能力と考えられる。

一方、800m 走は無氣的エネルギー供給と有氣的エネルギー供給の両方のエネルギー供給系に依存しており、その割合はおおよそ6:4と報告^{18) 23) 34)}されている。そのため、800m 走で高いパフォーマンスを発揮するためには、無酸素性作業能力と有酸素性作業能力の両方の能力に優れていることが重要であると考えられ、多くの研究者は最大酸素摂取量^{15) 65)}や最大酸素負債量⁶⁹⁾、運動中や運動後の血中乳酸濃度^{45) 55) 56) 58)}などの観点から800m 走のパフォーマンスを明らかにしている。そして、井上ら²³⁾は600m 走疾走後の血中乳酸濃度の値と、800m 走のラストスパートの成績との関係を研究し、800m のラストスパートの成績にはラストスパート前の無酸素性エネルギー供給能力の余力の貢献度が高いと報告している。このことは、800m 走における走速度の変動と800m 走者の耐乳酸能力と

の関係を示唆していると考えられる。しかし、実際のレースでは、レース中の走速度の変化への対応や、レース終盤においての急激な走速度の変化で勝敗が決定することが多く、これらの能力は生理学的な能力だけでなく、瞬間的なパワーを発揮する能力も関係していると考えられる。

近年、ランニングは下肢筋群が伸張性と短縮性収縮を繰り返す伸張-短縮サイクル運動 (Stretch-Shortening Cycle 運動：以下「SSC 運動」と略す) であると報告されている¹⁾ (29)。この SSC 運動の筋活動では、伸張性筋活動中に筋や腱に弾性エネルギーが蓄積され、続く短縮性筋活動時に蓄積弾性エネルギーが放出・利用されるため、短縮速度やパワー、機械的効率が高まることが報告されている^{1) 5) 6)}。そのため、短距離走においては、効率の良い SSC 運動の遂行が短距離走のパフォーマンスを決定する重要な要因であると報告されている^{1) 4) 7)}。800m 走においても、大きなパワーの発揮と高い走速度の獲得が必要であり、SSC 運動の遂行は 800m 走のパフォーマンス発揮に重要な役割を果たしている可能性が高い。しかし、800m 走は、短距離走とは違い 1 分 50 秒前後の疾走時間を要するため、瞬間的な SSC 運動の発揮能力だけでなく、SSC 運動の持続能力も重要であろう。Chu ら⁸⁾ は、800m 走の補助運動として、できる限り長い距離のバウンディングを推奨している。バウンディングとは、SSC 運動の遂行能力を高める代表的なトレーニング手段の一つである。そして、長い距離のバウンディングは、SSC 運動の持続能力を高めると考えることができる。そのため、800m 走者にとって、SSC 運動の遂行能力だけでなく、SSC 運動の持続能力を高めることが、800m 走のパフォーマンス向上のために重要な手段であると考えられる。

以上のことから、800m 走では、ラストスパートで走速度を向上させるために、ストライドの維持とラストスパートでのピッチの増加を求められ、それは、生理学的な体力的要因の他に SSC 運動の遂行能力という体力的要因が関係していると考えられる。だが、走速度の変動および SSC 運動の遂行能力に関する報告はそれぞれのあるものの、走速度の変動と SSC 運動の遂行能力の要因が直接関係していることを報告している研究はみられない。従って、800m 走の走速度の変動に影響する、中盤から終盤にかけてのストライドの維持と、ラストスパートでのピッチの増加に影響する体力的要因を、SSC 運動の遂行能力から明らかにすることは、800m 走のパフォーマンス向上のために有益なことであると考え、本研究に着手した。

第2章 関連文献の検討

第1節 800m 走のレース展開についての関連文献の検討

(1) 800m 走のレース展開についての先行研究

800m 走は、1分50秒前後の間に様々な駆け引きや急激な走速度の変化を伴う激しい競技種目である⁶³⁾。実際の800m 走を見ると、600m 前後までは走者は高い走速度を維持しながら集団を形成しており、レースの勝敗は、ラスト200m からの最大努力走に大きく依存している²³⁾。そのため、800m 走者には、適切なペース配分能力や位置取りなどの戦術面の能力も求められる。よって、800m 走のレース展開に着目した研究も多く見られる。

800m 走のレース展開に着目した研究は、1991年に行われた世界陸上競技選手権東京大会から行われ¹⁷⁾、世界レベルの競技会を対象にしたものから国内レベル、国内高校生レベルまで数多く見られる^{13) 35) 36) 62) 63)}。これらの報告は、800m 走をスタートから200m までを序盤、200m から600m までを中盤、600m からゴールまでを終盤（ラストスパート）の3つの層に分類してレース展開を分析している。図1は、松尾ら³⁵⁾が行った1991年世界選手権（国際レベル）のレース分析と、杉田ら⁶³⁾が行った1994年日本選手権（国内レベル）のレース分析の走速度、ピッチおよびストライドの100m 毎の変化を本研究者が一つにまとめたものである。図1から、800m 走の走速度は序盤で最も大きく、中盤で減少した後、終盤で再び増加する傾向が明らかである。ピッチは、走速度と同じように序盤で大きく、中盤で減少し、終盤で再び大きくなることわかる。ストライドについては、序盤で大きく、中盤から終盤にかけて徐々に減少する傾向にあった。次に、国際レベルと国内レベルを比較する。走速度は国際レベル、国内レベルともに序盤で大きな走速度が現

れるが、国内レベルの中盤の低下が大きい。800m 走は、スタートから 100m までセパレートレーン方式で走り、その後オープンレーンとなるため、その際の位置取りが影響し、序盤の走速度が大きくなると報告されている⁶³⁾。また、ピッチは、国際レベルに比べ国内レベルの方が全体を通して大きく、ラストスパートにおいては、国際レベル、国内レベルともにピッチが大きく増加していることがわかった。ストライドについては、国際レベルに比べて国内レベルの減少が大きかった。800m 走においては、序盤から中盤にかけて集団を形成し、ラストスパートにおいて勝敗が決定することが多い¹¹⁾。杉田ら⁶³⁾は、800m 走のラストスパートにおいて、走速度が増加した者は、ピッチが大きく増加しストライドが維持されていたと報告しており、逆にラストスパートで走速度が減少した者は、ストライドの減少がみられたと報告している。また、松尾ら⁶⁵⁾は、800m 走のラストスパートの段階では、走者は疲労困憊の状態であり、大きなキックを用いてストライドを伸ばすことは不可能であり、ピッチを増加させることが有効であると報告している。

以上のことから、800m 走では中盤から後半にかけてストライドの減少を最小限に抑えること、そして、レースの勝敗が決定することが多いラストスパートでは、ピッチを増加させて走速度を増加、あるいは維持することが重要であると考えられる⁶³⁾。しかし、このようなストライドの維持、およびピッチの増加に関する能力に影響する体力的要因については明らかにされていない。

(2) 800m 走のレース展開の分析方法についての検討

これまでの 800m 走のレースにおける研究^{35) 36) 62) 63)}は、実際の競技会における選手の走速度の変化をとらえたものである。800m 走は、わずか 1 分 50 秒前後の間に様々な

駆け引きや急激な走速度の変化を伴う競技特性を持つため、レース展開や他者との駆け引きにより、個人が持つ本来のピッチおよびストライドが出現しにくいと考えられる。そのため、本研究ではレース展開や他者との駆け引きの影響を受けないように少人数での疾走する環境を設定した。そして、競技会でのピッチとストライドの変動を観察したものの比較を行うこととした。

第2節 800m 走者の生理学的特性についての関連文献の検討

(1) 800m 走者の生理学的特性についての先行研究

800m 走者には、有酸素性作業能力と無酸素性作業能力の両方の能力が必要とされる。

無酸素性作業能力に関しては、長距離走者に比べ exhaustion 後の最高血中乳酸濃度が有意に高い^{34) 58) 60) 65)}ことや、最大酸素負荷量が高い³³⁾ことが報告され、中距離走者が無酸素性作業能力に優れていることが生理学的に明らかにされている。その中でも、800m 走のパフォーマンスと耐乳酸能力とは高い相関があると言われている²³⁾。

近年、無氣的パワーを測定するテストとして Maximal Anaerobic Running Test (MART) が Rusko et al.⁵⁷⁾ によって 1993 年に開発され、その後の研究^{37) 52)} によって信頼性および妥当性が検証されている。森丘ら⁴⁴⁾は、MART を行いて 800m 走者と 1500m 走者を比較し、最大血中乳酸値 (Peak La) の 60%の走速度と 800m 走記録、Peak La の 40%の走速度と 1500m 走記録との関連を報告している。さらに、森丘ら⁴⁵⁾は、800m 走者と 400m 走者を対象に MART を実施し、800m 走者の方が 400m 走者に比べて同じ走速度の時に乳酸の生成が少なかったことを報告している。森丘らの研究結果から、1500m

走者や 400m 走者に比べ 800m 走者の方が、同じ走速度での走行時に血中乳酸濃度の生成が少なく、耐乳酸能力に優れていることが示唆されている^{55) 56) 60)}。この理由について、佐伯ら⁵⁸⁾は中距離走者の速筋線維の量と高い走速度における中距離走者のランニングの経済性を挙げている。また、Mc Kenzie D.C. et al.⁹⁾は、一流の中距離走者は、細胞内の pH が酸性に傾くことを防ぐ能力に優れていることを報告している。これらの報告によって中距離走者が他種目走者と比較して同じ走速度での血中乳酸濃度の生成が少ないことを理解することができる。その他に、佐伯ら⁵⁸⁾は、中距離走者は長距離走者に比べて exhaustion 前の早い段階で最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\text{Max}$)が出現し、 $\dot{V}O_2\text{Max}$ が出現してから exhaustion までの走行時間が長いことを報告している。つまり、中距離走者が長距離走者と比較して exhaustion 後の血中乳酸濃度が高いことから、走行中の無気的エネルギーの動因レベルが長距離走者に比べて高く、 $\dot{V}O_2\text{Max}$ の出現から exhaustion までの走行時間が長いことの原因であると佐伯らは報告している。また、井上ら²³⁾は、800m 走のラストスパートの成績には、ラストスパート前の無酸素性エネルギー供給の余力の貢献度が高いと報告している。これらの研究結果を踏まえると、800m 走では、レース中盤までは高い走速度を維持しながら無気的エネルギーの供給をなるべく抑え、ラストスパートにおいて一気に無気的エネルギーを供給することにより高い走速度を得ていると考えられる。

一方、800m 走には無酸素性作業能力だけでなく有酸素性作業能力も必要であり、有酸素作業能力についても考える必要がある。黒田ら³³⁾は、日本人の一流陸上競技選手を対象にして $\dot{V}O_2\text{Max}$ を測定した結果、中距離選手の $\dot{V}O_2\text{Max}$ は長距離選手に次いで高い値だったことを報告している。この研究で対象となった中距離走者 5 名の $\dot{V}O_2\text{Max}$ の平

均値は 70.83ml/kg・min であり、一般正常日本人の値 (30~45ml/kg・min)²⁵⁾ を大きく上回っている。このような、中距離走者の $\dot{V}O_2\text{Max}$ に関する報告は数多くあり、いずれの研究をみても中距離走者は高い $\dot{V}O_2\text{Max}$ を保持していることが明らかである^{9) 15) 38) 39) 41) 65)}。また、中距離走者は 100% $\dot{V}O_2\text{Max}$ の走速度での運動を開始してから 1~2 分目に 82~98% $\dot{V}O_2\text{Max}$ が出現したという研究報告⁴¹⁾ がある。つまり、中距離走者は単に高い $\dot{V}O_2\text{Max}$ を保持しているだけでなく、高強度の運動において短時間で $\dot{V}O_2\text{Max}$ 水準に達する能力も必要であることが示唆されている。その他に、中距離走記録と無酸素性作業閾値 (AT) とも高い相関を示していると報告されている⁶¹⁾。

このように、中距離走者は、無酸素性作業能力と有酸素性作業能力の両方の能力に優れていることが考えられた。この割合は、約 6 : 4 だと報告されている^{23) 34)} が、平野ら¹⁸⁾ は、ほぼ同一記録を有する 800m 走者を対象にし、有気的エネルギーと無気的エネルギー供給の割合は、それぞれ 43:57、および 48:52 であったと報告している。これについては、800m 走者は、短距離走の能力が高い 400m-800m 型と、長距離走の能力が高い 800m-1500m 型の 2 種類のタイプに分けられ、そのタイプによりエネルギー供給系に差があることが報告されている。これらのことから、400m-800m 型は ATP-CP 系および La 系に、800m-1500m 型は O₂ 系にそれぞれより多くのエネルギー供給を依存して走ると考えられ、個人によってエネルギー供給系の依存度に差があることは興味深い報告である。しかし、この報告の被験者数は 2 名であり、研究の信頼性と妥当性には疑問が残る。

(2) 800m 走者の生理学的特性からの検討

これまで述べてきた通り、800m 走の生理学的特性の研究報告は数多くみられた。その

ため、800m 走のラストスパートでの走速度の変動に影響をおよぼしていると考えられる、ストライドを維持する能力とピッチを増加させる能力を 800m 走の生理学的特性を研究した報告から推測することは可能であろう。そのため、本研究においては、あえて 800m 走者のラストスパートでの走速度の変動に影響をおよぼしている体力的要因を生理学的観点から明らかにするのではなく、それ以外の新たな観点から明らかにすることとした。

第 3 節 800m 走者の筋力特性についての関連文献の検討

(1) 800m 走者の筋力特性についての先行研究

800m 走者の筋組成に関する報告によると、800m 走者の速筋は短距離選手に比べ低く、長距離走者に比べ高い占有率であった^{39) 40) 41)}。長距離走者と中距離走者の脚筋力を測定した研究^{51) 59) 72)}によると、中距離走者は高い脚筋力を持ち、800m 走記録と脚筋力との間の関係が報告されている。また、石井ら²⁴⁾は、陸上競技トラック種目選手の等速性筋力を測定し、中距離走者の膝関節の伸展および屈曲時のピークトルク値と角速度は、短距離選手と中距離選手の間を示したと報告している。

大きなパワーの持続が必要とされる 800m 走者には、高い筋発揮能力を保持するだけでなく、それを持続させる能力も必要とされる。Chu ら⁸⁾は、中距離選手の補助運動として、できる限り長い距離の連続跳躍を推奨している。連続跳躍とは、通常の走動作からストライドを伸ばすように膨張した補助運動⁸⁾であり、陸上競技の短距離選手や跳躍選手の専門的な体カトレーニングの手段として用いられている²⁷⁾。連続跳躍は、短い支持時間により大きな外的パワーを発揮するため、疾走能力改善のための専門的なトレーニング手段であ

り、パワー向上だけでなく、ストライドおよびピッチの増大を狙いとされている²⁷⁾。永井ら⁴⁶⁾は、800m 走者を対象に、200m という比較的長い距離の連続跳躍を行わせ、連続跳躍の持続能力と競技力とに相関があったと報告している。同様に、榎本ら¹²⁾は女子中距離走者に200m の連続跳躍の縦断的測定を行い、800m 走のパフォーマンスの向上とともに連続跳躍の持続能力が向上したことを示し、200m の連続跳躍が中距離走者のフィールドテストとして有用であると述べている。しかし、200m の連続跳躍は熟練者でも長い距離であり、個人の競技力や技術により差が現れやすいため、中距離走者のパフォーマンス診断に相当であるかは疑問が残る。そのため、200m の連続跳躍が中距離走者のためのフィールドテストとして妥当かは今後の検討課題といえよう。

(2) 800m 走者の筋力特性について研究方法の検討

800m 走者は、高い筋発揮能力を保持するだけでなく、それを持続させる能力も必要だと考えられる。特に、短距離走や跳躍種目の代表的なトレーニングである連続跳躍は、中距離走のトレーニングとしても効果的である。そして、Chu ら⁸⁾の述べた、長い距離の連続跳躍は、高い筋発揮を持続する能力が求められる中距離走において重要なトレーニングと考えられる。Chu らの知見を参考にして、永井ら⁴⁶⁾は、200m の連続跳躍が中距離走のパフォーマンス診断テストとして有益であると報告しているが、個人の競技力や技術が大きく影響するため、200m という距離が中距離走のパフォーマンス診断テストとして適切であるかは疑問が残った。そこで、中長距離走のパフォーマンス診断テストとして、競技力と関連があり^{59) 72)}、陸上競技のパフォーマンス診断テストとして広く用いられている、立5段跳および立10段跳の測定を行うこととした。

第4節 伸張－短縮サイクル運動についての関連文献の検討

(1) 伸張－短縮サイクル運動についての先行研究

ランニングは、歩・跳運動と同様に、主動筋が伸張された後に短縮するSSC運動である²⁹⁾。SSC運動は、短縮性収縮のみからなる運動に比べて高いパワーを発揮できること²⁾³⁾、機械的効率が高いこと^{1) 5) 6)}などが特徴として報告されている。深代^{19) 43)}は、ランニングの着地相における水平前後方向への地面反力から、ランニングのSSC運動の様子を観察している。これによると、SSC運動の伸張性筋活動時に水平前後方向への地面反力は減速成分を示し、続く短縮性筋活動時において水平前後方向への地面反力は加速成分を示すことが報告されている。一方、Nicol et al.⁴⁸⁾は、長距離走前後にランナーに30mスプリント走、垂直跳び、ドロップジャンプを行わせ、その時の地面反力の波形の変化から、SSC運動遂行機能の低下を示唆している。このことは、脚筋の疲労は、高いパワーの発揮や機械的効率に優れるというSSC運動の利点を消失させ、運動効率の低下などをもたらし、全身の疲労をさらに助長する可能性を示唆するものである。事実、長距離走においては、疲労に伴ってストライドの短縮などランニングフォームの変化が起こること⁶⁸⁾や、ランニングの経済性が低下すること⁴⁹⁾が報告されている。

SSC運動では、伸張性筋活動中に筋や腱に弾性エネルギーが蓄積され、続く短縮性筋活動時に蓄積弾性エネルギーが利用される^{5) 6)}。そのため、SSC運動による高いパワーの発揮や機械的効率に優れる特徴を考える際には、筋－腱複合体(Muscle-Tendon Complex: 以下「MTC」と略す)の弾性特性が重要な働きをすることになる²⁰⁾。Komi et al.²⁸⁾やBosco et al.²⁾は、Counter-movement Jump(以下「CMJ」と略す)とSquat Jump(以下

「SQJ」と略す)の2種類の垂直跳びを用いてMTCの弾性特性を明らかにしている。CMJは、直立の姿勢から膝関節の素早い屈伸動作による反動を用いた垂直跳びであり、逆にSQJは膝関節90度の状態から反動を用いずに跳び出す垂直跳びである。そして、CMJとSJの差をCMJで除することにより、膝関節の反動が跳躍高へどれくらい貢献しているかを示すPre Stretch Augmentationを求めることができると報告されている。

近年、超音波法によりヒトの生体のMTC動態が観察可能となってきた^{20) 21) 22) 26) 32)}。福永²⁰⁾は、超音波法を用いて歩行中の腓腹筋の筋繊維および腱組織の長さの変化を観察した結果、歩行中に腓腹筋が活動している相では筋繊維の長さの変化はほとんど観察されないが、腱繊維の著しい伸張が観察されたと述べ、身体重心の加速相における弾性エネルギーの蓄積を報告している。また、Kubo et al.³⁰⁾は、膝伸展動作時の腱組織の弾性特性を定量的に測定する方法を開発し、その特性とパフォーマンスとの関係を、筋張力と腱組織の伸長量との関係から明らかにしようとした。この筋張力と腱組織の伸長量との関係は、力-長さ関係の勾配(力/長さ)であり、stiffnessと表される²⁰⁾。しかし、腱組織のstiffnessを知るためには、力の発揮状況とともに、MTCの長さ変化を調べなくてはならない。MTCの長さ変化は、福永²⁰⁾が行っている超音波法を用いることが一般的である。しかし、この方法では、ランニングなどの大きな動作のMTC変化を観察することは難しい。そこで、Grieve et al.¹⁶⁾やVisser et al.⁶⁷⁾は、死体の解剖により関節角度からMTC長を算出する回帰式を提唱している。これに対して、Hawkins et al.¹⁰⁾は、コンピュータによるシミュレーションにより、MTC長を推定する回帰式を明らかにした。これらの報告による回帰式を用いることにより、関節角度からランニングなど大きな動きをする動作でも、MTC

長を算出することが可能である。そして、福永²⁰⁾は反動による垂直跳び成績の向上率と外側広筋の stiffness との間に有意な相関関係が認められたと報告している。また、長距離選手の stiffness が短距離走者より高い^{31) 32)}こと、100m 走記録の良い者は外側広筋の stiffness が低い³¹⁾ことなどが報告されている。このことは、腱組織の stiffness が低いものほど垂直跳びの反動効果が高いことや短距離走記録がよいことを示すものである。しかし、中距離走者の腱組織の stiffness についての報告はみられていない。

(2) 伸張-短縮サイクル運動について研究方法の検討

ランニングでは SSC 運動の遂行による大きなパワーの発揮が大切であり、それには MTC の弾性特性が重要な働きをしていることが推測できる。そして、大きなパワー発揮能力とそれを持続する能力が求められる 800m 走者にとっても、MTC の弾性特性が重要な働きをしていると考えられる。しかし、800m 走者にとって SSC 運動の重要性は報告されている^{11) 46) 64) 66)}ものの、MTC の弾性特性との関係は明らかにされていない。そこで、本研究では、Komi et al.²⁸⁾ や Bosco et al.²⁾ が提唱した CMJ と SQJ の 2 種類の垂直跳びを用い、Pre Stretch Augmentation を利用した MTC の弾性特性の評価を行い、中距離走者の MTC の弾性特性を検討することとした。また、中距離走では SSC 運動の持続的な発揮能力が求められるため、中距離走の前後に CMJ と SQJ の測定を行い、疲労による MTC の弾性特性の変化を観察することとした。それとは別に、中距離疾走時の動作分析を行うことにより、ランニングの接地時における MTC 長の変化を観察し、SSC 運動の遂行能力を観察することとした。

第5節 文献考証のまとめ

関連文献の検討の結果から、800m 走では、走速度を維持するために、ストライドを維持する能力と、ラストスパートの時点でピッチを増大する能力が勝敗を左右することが明らかになった⁶³⁾。しかし、このような能力に影響する体力的要因を明らかにした研究はみられなかった。これは、800m 走のパフォーマンスには、体力的要因の他に戦術が重要な鍵を握り¹¹⁾、研究が難しいという理由も考えられる。しかし、文献考証から何らかの知見を得ようと試みると、800m 走の走速度の変動に影響をおよぼしている生理学特性として、高い有酸素性作業能力と無酸素性作業能力を有していることが考えられる。その他にも、800m 走の生理学的特性を明らかにしている報告は数多くあり、それらの報告から、800m 走の走速度の変動を考えることは充分可能であり、新たに生理学的特性の観点から中距離走の特徴を明らかにする必要性は少ないと考えられた。

一方、800m 走の走速度の変動に影響をおよぼす筋力的特性についての文献考証からは、高い筋発揮能力とそれを持続する能力が重要であるということが明らかになった。特に、バウンディングのような SSC 運動の遂行能力と走速度の変動との間に関係が深く、800m 走の走速度の変動と SSC 運動の関連性が示唆された。そして、この SSC 運動のパワー向上のメカニズムに着目した際、MTC の弾性特性の重要性が考えられた。しかし、MTC の弾性特性と 800m 走の走速度の変動との関係を明らかにしている研究は行われていない。

そこで、本研究では、800m 走の走速度の変動に影響をおよぼしている体力的要因の中でも特に SSC 運動の遂行能力に焦点を当て研究を進めることにした。

第3章 目的

800m 走は、序盤から中盤まで集団を形成し、終盤のラストスパートの能力によって勝敗が大きく左右される。従って、終盤で走速度を増加させることが、800m 走で高いパフォーマンスを発揮する要因だと考えられる。これまでの研究では、競技会でのピッチとストライドの変動を観察し、終盤で走速度を増加させるためには、終盤でのストライドの減少を最小限にする能力と、終盤でピッチを増加させる能力が必要だと報告されている。しかし、800m 走では、レース展開や他者との駆け引きが影響されるため、個人の持つ本来のピッチとストライドが出現していないことが考えられる。また、800m 走のラストスパートにおいてピッチを増加させる能力とストライドを維持する能力に関する体力的要因を明らかにしている研究は行われていない。

そこで、本研究は、先行研究による 800m 走のラストスパートにおける走速度の変動が、ストライドの維持とピッチの増加によるという報告を、レース展開や駆け引きを排除した状態で追試し、ストライドの維持とピッチの増加は、SSC 運動の発揮能力と持続能力、および MTC の弾性特性に関連性があることを明らかにすることを目的とした。

第4章 方法

第1節 被験者

被験者は、順天堂大学陸上競技部の、中距離種目を専門とする男子学生9名とした。その内訳は、800m走を専門とする者5名、1500m走を専門とする者4名であった。被験者の属性は表1に示したとおりである。

実験に先立ち、被験者に本研究の趣旨および内容を説明し、実験に参加することを依頼した。その結果、全員が参加の承諾をし、研究協力依頼の同意書（付表）を得た。

第2節 測定項目および測定方法

(1) 中距離疾走能力測定

中距離疾走能力の測定として、600m走を2本行った。本研究において600m走を2本用いた理由として、600m走は800m走のトレーニング現場で多く用いられる方法であり、800m走のパフォーマンス診断テストのひとつとして用いられているためである。本研究の600m走の設定記録は、各被験者の800m走の自己記録より2秒速い記録で走った場合の平均速度を算出し、その速度で600mを走った場合の記録を設定記録とした。この速度で600m走を実施した場合、1本目終了時点では身体的、精神的余力が残っており、2本目において最大努力走となる。なお、5名の中距離走者を被験者とした予備実験で、同じプロトコルを用いて600mを2本走った際の血中乳酸値を測定したところ、1本目終了後2分目の血中乳酸値の平均値は $14.28 \pm 1.49 \text{ mmol/l}$ であり、2本目終了後2分目の血中乳酸値は $15.76 \pm 1.10 \text{ mmol/l}$ であった。この結果からも、1本目終了時では身体的余力が残

されており、2本目で最大努力走となることがわかる。そのため、本研究では、600m走を2本行い、2本目の疾走を分析対象とした。

中距離疾走能力測定の測定方法は、100m 区間ごとのラップタイム（図 2-1 中の L1.L2.L3.L4）とピッチ（図 2-1 中の P1）の分析のために、陸上競技場に5台のデジタルビデオカメラを設置した。図 2-1 にビデオカメラの設置位置を図示した。ラップタイム分析用のカメラは、スタート時の同期のためにスターターのピストルの煙を撮影後、カメラが走路と直角になるように固定した。ピッチ分析用のカメラは、パンニング撮影により、被験者の様子を追従撮影した^{13) 35) 62) 63)}。

(2) ジャンプパフォーマンス測定

1) Squat Jump および Counter-movement Jump

垂直方向への跳躍能力の測定のため、圧力板（Kistler 社製）の上で、Squat Jump (SQJ) および Counter-movement Jump (CMJ) の2種類の垂直跳びを行わせた。SQJは膝角度 90° を保持した姿勢からの垂直跳びであり、CMJは直立姿勢から膝角度 90° まで屈曲する反動を用いた垂直跳びである^{2) 31) 32)}。いずれの垂直跳びも、手を腰にあて、上肢はなるべく前後に揺れないように指示した。SQJについては、圧力板からの信号をコンピュータ上で読み取り、反動を用いたときに現れる抜重の軌跡がみられた試技は無効とした。SQJとCMJは1979年にBoscoとKomi²⁾が開発したものであり、多くの研究者^{31) 32)}により、その信頼性と妥当性が検証されている。本研究において、SQJとCMJによる跳躍能力の測定を行った理由として、中距離疾走能力測定の間短時間で容易に測定を行うことができ、かつSSC運動の能力を測定できるためである。

なお、ジャンプパフォーマンス測定は、疲労による跳躍高の変化をみるため、中距離疾走能力測定の前後に行った。実験プロトコルについては、図 2-2 に示したとおりである。

2 種類の跳躍を各試技で 2 回ずつ行わせ、跳躍高の高い方の記録を分析対象とした。

2) 立 5 段跳および立 10 段跳の測定

立 5 段跳および立 10 段跳の測定は、陸上競技場の走幅跳用のピットを利用して行った。

立 5 段跳は 5 歩目、立 10 段跳は 10 歩目で砂場に着地できる位置を跳躍開始位置とし、腕の振りと膝の屈伸を利用して両足で踏み切り、右脚、左脚、右脚と交互に着地と跳躍を繰り返す。立 5 段跳は 5 歩目、立 10 段跳は 10 歩目に砂場に両足で着地するようにした。なお、脚力の左右差を考慮するために、1 歩目の接地が右脚のものと、1 歩目の接地が左脚のものを測定した。跳躍距離の測定は、身体が砂場に触れた最も近いところから最初に踏み切った脚のつま先までの距離とした。なお、試技は各 2 回ずつ行い、記録が良いほうを採用した⁵⁰⁾。立 5 段跳と立 10 段跳は、これまで順天堂大学陸上競技部において中長距離選手のパフォーマンス診断テストとして数十年にわたり定期的な測定を行っている種目であり、その信頼性と妥当性は、沢木⁵⁹⁾ や吉儀ら⁷²⁾ により報告されている。

(3) 筋力測定

1) 脚筋力

脚筋力の測定は、吉儀ら⁷²⁾ の使用した脚筋力計（背筋力系と同じタイプのストレングージ式：最大スケール 1000Kg）を用いて、腰部にキャンバスベルトで計器の牽引バーをしっかりと固定し、膝関節がほぼ 110° になるように鎖の長さを調節し、徐々に力を入れて足を一杯伸展させる方法によって実施した。試技は各自 2 回ずつ行い、記録のよう良

いほうの値を採用した。なお、脚筋力の値は体重による個人差を考慮し、計器に表示された絶対値を体重で除した値を採用した。脚筋力についても、順天堂大学陸上競技部の中長距離選手のパフォーマンス診断テストとして数十年にわたり定期的に測定されてきた種目であり、その信頼性と妥当性については、沢木⁵⁹⁾や吉儀ら⁷²⁾により報告されている。

(4) 疲労前後の走動作比較

疲労による疾走動作の変化をみるために、600m 走の前後に 80m 全力疾走を行わせた(図 3-1)。疲労が無い時とある時の疾走動作を比較するために、80m 走の最大疾走速度の出現が予想される 50m 地点^{53) 54) 70)}の動作分析および地面反力測定を行った。

疲労前後の走動作比較のための実験機器の設置図を図 3-2 に示した。動作分析に関しては、高速度ビデオカメラ(明栄社製、VFC-1000)を走路の 50m 地点とカメラの光軸が直角に交わるように固定し、被験者の右側面から撮影(250fps)した。地面反力は、あらかじめ陸上競技場に設けられた圧力板設置用の穴に固定埋設し、その地点が 50m 地点となるように 80m 走のスタート地点を設定した。なお、接地脚が接地した瞬間を基準とし、圧力板と高速度ビデオカメラの時間データを統一するために、シンクロナイザーを用いて被験者が圧力板を踏んだ瞬間に LED が発光するように設定し、LED の光が高速度ビデオカメラの画像に映りこむようにした。また、80m 疾走の疾走速度の変化を測定するため、スタート地点の後方にレーザー速度計測器(JENOPTIK 社製、LAVEG-Sports)を設置した。試技は、800m 走と同じスタンディングスタートからピストルによる合図でスタートさせた。被験者には、50m 地点に埋設した圧力板を踏むようにと指示を与え、被験者が圧力板を踏みやすいように圧力板の位置にカラーテープでマーキングした。なお、圧力板を接地

脚全体で踏めなかった場合や不自然なランニングフォームで圧力板を踏んだ場合は失敗試技とし、圧力板上に接地脚全体が接地し、しかも走動作が自然であると思われるまで試技を繰り返させた。なお、試技回数については、ほとんどの被験者が1回ないし2回で成功した。

600m 走の設定記録は、400m 地点までは中距離疾走能力測定と同じように、各被験者の800m 走自己記録より2秒速い記録で走った場合の平均速度を算出し、その速度で走らせた。400m 地点以降は各自の最大努力走とした。

第3節 分析方法

(1) 中距離疾走能力測定

1) 走速度

中距離疾走能力測定のラップタイム分析用のカメラから得られた画像より、100m 区間毎のラップタイムをデジタルビデオのフレームカウンターから読み取り、各区間のラップタイムを式①に代入し、100m 区間毎の走速度を算出した。

$$\text{走速度} = 100 / \text{各区間のラップタイム} \cdots \text{①}$$

2) ピッチ

100m 区間ごとのピッチは、中距離疾走能力測定のピッチ分析用のカメラから得られた画像により、100m 区間の10歩に要した時間をビデオ画像から読み取り、式②に代入し算出した。

$$\text{ピッチ} = 10 / \text{10歩に要した時間} \cdots \text{②}$$

3) ストライド

100m 区間毎のストライドは、式①および式②から求められた各区間の走速度およびピッチを式③に代入することにより算出した。

$$\text{ストライド} = \text{走速度} / \text{ピッチ} \cdots \textcircled{3}$$

4) ラストスパート能力

区間5 (400m~500m) および区間6 (500m~600m) の走速度、ピッチおよびストライドの値を式④⑤⑥に代入することにより、区間5から区間6への走速度、ピッチおよびストライドの増加率を算出した。この増加率は、区間5の値を100%とした際に、区間6の値が何%変化したかを表し、区間5から区間6へかけて値が増加すれば正の値が、区間5から区間6へかけて値が減少すれば負の値が示される。

この区間は、中距離走のラストスパートの局面であり、この区間における走速度、ピッチおよびストライドの変化がラストスパートの能力を決定すると考えられる。そのため、区間5から区間6への走速度、ピッチおよびストライドの増加率を中距離走のラストスパート能力とし、走速度増加指数、ピッチ増加指数およびストライド増加指数と定義した。

$$\text{走速度増加指数} = (\text{区間6走速度} - \text{区間5走速度}) / \text{区間5走速度} \times 100 \cdots \textcircled{4}$$

$$\text{ピッチ増加指数} = (\text{区間6ピッチ} - \text{区間5ピッチ}) / \text{区間5ピッチ} \times 100 \cdots \textcircled{5}$$

$$\text{ストライド増加指数} =$$

$$(\text{区間6ストライド} - \text{区間5ストライド}) / \text{区間5ストライド} \times 100 \cdots \textcircled{6}$$

(2) ジャンプパフォーマンス測定

1) Squat Jump および Counter-movement Jump

SQJ と CMJ の跳躍高は、圧力板からの信号をもとに、跳躍時間を算出し、跳躍時間を

式⑦に代入することにより、CMJ 跳躍高および SQJ 跳躍高を算出した^{2) 3) 75)}。

$$h=1/8\cdot 9.8\cdot \text{跳躍時間}^2\times 100\cdots\textcircled{7}$$

⑦の式によって求められた CMJ 跳躍高および SQJ 跳躍高をもとに、MTC の弾性特性の指標である Pre Stretch Augmentation を⑧の式に代入することにより算出した³²⁾。

$$\text{Pre Stretch Augmentation}=(\text{CMJ 跳躍高}-\text{SQJ 跳躍高})/\text{SQJ 跳躍高}\times 100\cdots\textcircled{8}$$

(3) 疲労前後の走動作比較

1) 動作分析

80m 走の 50m 地点に埋設した圧力板に、対象脚が接地する 0.01 秒前から離地後 0.01 秒までを分析対象とした。動作分析は、高速度カメラによって得られた画像を画像解析ソフト Frame-DIASII Ver.3 for Windows (DKH 社製) を用い、対象となる接地脚側の身体 5 点および基準点 4 点を加えた計 9 点をデジタイジングし、膝関節角度および足関節角度を算出した。算出した膝関節角度および足関節角度を Grieve et al.¹⁶⁾ の提唱した式に代入することにより、腓腹筋の MTC 長を算出した。Grieve et al.の式は、1978 年に外国人の死体の解剖により算出された式であり、その式を日本人に当てはめることには疑問が残る。しかし、日本人の MTC 長を算出した多くの研究^{1) 20) 21)} で Grieve et al.の式を採用しており、本研究においても、Grieve et al.の式を採用した。

2) 接地時間および伸張性筋活動遂行時間

図 4 を用いて、接地時間および伸張性筋活動時間の算出方法を説明する。接地時間は、鉛直方向への地面反力に変化が現れた点 (接地) から地面反力が 0 に戻った点 (離地) までの時間とした。また、伸張性筋活動遂行時間は、接地から MTC 最長点まで時間 (Δ Time)

とした。そして、接地から MTC 最長点までの MTC の長さ変化を ΔL として算出した。

なお、 ΔL は、Grieve et al.¹⁶⁾ の方法を用い、座位姿勢で膝関節が 90 度の時の、膝関節中心から外踝までの長さを 100% として、それに対する割合 (%) で示す。

3) 腓腹筋の stiffness

腓腹筋の stiffness を算出する分析対象を、接地脚が接地した時から腓腹筋の MTC 長が最も伸張された時までの範囲とした。そして、その範囲における腓腹筋の MTC 長の長さ変化量 (ΔL)、および水平前後方向への地面反力のカーブ時間曲線の力積の値を用い、水平前後方向への地面反力を ΔL で除すことにより、腓腹筋の MTC の stiffness を算出した。なお、MTC の stiffness 算出のために用いた ΔL は、被験者の形態計測によって得た値を用い、MTC 長を実長換算することにより、stiffness を算出した。Stiffness については、筋の stiffness を算出したものと、MTC の stiffness を算出したものがあり、現在その二つの値が混同すると論議を呼んでいる。本研究においては、腓腹筋の MTC の stiffness を算出することとした。腓腹筋の MTC の stiffness を算出した理由は、長距離選手³²⁾ や短距離選手¹⁾ の MTC の stiffness についての研究が腓腹筋であったため、それらの報告と比較検討しようと試みたためである。

第 4 節 仮説の設定

本研究の目的を遂行するため、次の 3 つ理論仮説を設定した。そして、各仮説を具体的に検証するため、複数の作業仮説を設定した。

理論仮説 1

『中距離走のラストスパートでのストライドの維持およびピッチの増加が、走速度の増加に関係している。』

作業仮説 1-1

ラストスパート（区間 5～区間 6）におけるストライド増加指数と走速度増加指数との間に正の相関関係がある。

作業仮説 2-2

ラストスパート（区間 5～区間 6）におけるピッチ増加指数と走速度増加指数との間に正の相関関係がある。

理論仮説 2

『SSC 運動の遂行能力が高いほど、中距離走のラストスパートにおいてストライドを維持することができる。』

作業仮説 2-1

ラストスパート（区間 5～区間 6）における連続跳躍（立 5 段跳、立 10 段跳）の跳躍距離とストライド増加指数との間に正の相関関係がある。

作業仮説 2-2

ラストスパート（区間 5～区間 6）における CMJ の跳躍高とストライド増加指数との間に正の相関関係がある。

作業仮説 2-3

ラストスパート（区間 5～区間 6）における水平前後方向への地面反力とストライド増

加指数との間に正の相関関係がある。

理論仮説 3

『MTC の弾性特性が高いほど、中距離走のラストスパートでピッチを増加させることができる。』

作業仮説 3-1

ラストスパート（区間 5～区間 6）における Pre Stretch Augmentation とピッチ増加指数との間に正の相関関係がある。

作業仮説 3-2

ラストスパート（区間 5～区間 6）における MTC の stiffness とピッチ増加指数との間に正の相関関係がある。

第 5 節 統計処理

本研究で収集したデータは、Microsoft Excel 2003 および統計ソフト SPSS 10.0J for Windows を用い、ピアソンの積率相関係数を用いて有意差検定を行った。なお、有意水準は 5%とした。

第5章 結果

第1節 中距離疾走能力測定

中距離疾走能力測定の結果記録、100m 毎のスプリットタイムおよびラップタイムを表2に示した。被験者全員の平均記録は1分24秒12±1秒86であった。また、設定記録を100%として達成率を計算した結果、設定記録より平均で0.72%良い達成率であった。なお、測定時は8月2日に行い、暑さを考慮して午後6時30分のスタートとした。測定時の気象状況は晴れ、気温は26度、湿度84%であった。この気象状況は、湿度が高く、蒸し暑い状況であり、中距離走にはやや走りにくい環境だったと考える。

ラストスパートの区間である、区間5（400m～500m）から区間6（500m～600m）への走速度、ピッチおよびストライドの増加率である、走速度増加指数、ピッチ増加指数およびストライド増加指数を表3に示した。次に、走速度増加指数とピッチ増加指数との相関係数を算出したところ、1%水準で有意な高い正の相関（ $r=.830$ ）が認められた。同じように、走速度増加指数とストライド増加指数との相関係数を算出したところ、5%水準で有意な正の相関（ $r=.795$ ）が認められた。

第2節 ジャンプパフォーマンス測定

(1) Squat Jump および Counter-movement Jump

中距離疾走能力測定の疾走前後に行ったSQJ、CMJおよびPre Stretch Augmentationの結果を表4に示した。次に、ストライド増加指数とCMJおよびSQJとの相関係数を算出した。その結果、ストライド増加指数とCMJ（600m 疾走前）跳躍高（ $r=.738$ 、 $p<.05$ ）、

およびストライド増加指数と SQJ (600m 疾走前) 跳躍高 ($r=.804$, $p<.01$) との間に、有意な正の相関が認められた。一方、MTC の弾性エネルギーの指標である Pre Stretch Augmentation とストライド増加指数およびピッチ増加指数との間には有意な相関関係を認められなかった。

(2) 立 5 段跳および立 10 段跳

立 5 段跳 (右・左) および立 10 段跳 (右・左) の結果を表 5 に示した。ストライド増加指数と立 5 段跳および立 10 段跳との相関係数を算出したが、有意な相関関係を認めることはできなかった。そこで、ストライド増加指数の上位群 3 名と下位群 3 名の計 6 名を抽出し、ストライド増加指数と立 5 段跳および立 10 段跳との相関係数を算出した。すると、ストライド増加指数と立 5 段跳 (左) との間に 1%水準で正の相関関係 ($r=.924$) がみられ、ストライド増加指数と立 5 段跳 (右) ($r=.826$) および立 10 段跳 (左) ($r=.821$) との間に 5%水準で正の相関関係が認められた。

第 3 節 筋力測定

脚筋力の結果を表 6 に示した。脚筋力の平均値は $537 \pm 96.457\text{Kg}$ であった。なお、脚筋力の値は、脚筋力の絶対値を体重で除すことにより、体重あたりの脚筋力として算出した。その結果、体重あたりの脚筋力の平均値は $9.06 \pm 1.937\text{kg}$ であった。ストライド増加指数と脚筋力との相関関係をみたところ、5%水準で有意な正の相関 ($r=.782$) が認められた。

第4節 疲労前後の動作分析

疲労前後の動作分析だが、600m 疾走前と疾走後のそれぞれの試技において違う脚で接地している者が4名いた。動作分析の結果、600m 疾走前と疾走後の関節角度に大きな差が現れた。そのため、動作分析に関しては、その4名のデータは除き、5名のデータを分析対象とした。なお、地面反力データに関しては、すべての被験者(9名)の分析を行った。

図5に被験者5名の地面反力(水平前後方向)、MTC長の時間による変化を示した。横軸は時間を表し、接地脚が地面に触れた瞬間を基準値(0)とした。

(1) 地面反力

図5に示したとおり、水平前後方向への地面反力は、接地時に減速成分が大きくなり、その後時間経過とともに加速成分が働いていた。なお、水平前後方向への地面反力の時間・力関係の力積の値は表7に示したとおりである。

次に、ストライド増加指数と水平前後方向の地面反力の加速成分との関係を考えて。すると、ストライド増加指数と水平前後方向の加速成分(600m 疾走前)との間に5%水準で有意な正の相関($r=0.765$)が認められた。一方、ストライド増加指数と水平前後方向の減速成分(600m 疾走前)との相関係数をみると5%水準で有意な負の相関($r=-0.684$)が認められた。

(2) 接地時間

表7に各被験者の接地時間を示した。接地時間は、600m 疾走前から疾走後にかけて有意に接地時間が増加していた($p<0.001$)。接地時間とストライド増加指数およびピッチ増

加指数との相関係数を算出したところ、これらの間に有意な相関は認められなかった。

(3) 腓腹筋の MTC 長

接地時の腓腹筋の MTC 長の時間による変化は、図 5 に示したとおりである。腓腹筋の MTC 長は、接地時から時間経過とともに伸張し、水平前後方向への地面反力が負から正に移り変わったすぐ後に MTC 長は最長となり、その後やや等尺を保った後、離地に向けて短縮するという、SSC 運動の動態が観察された。

次に、接地期前半において腓腹筋が伸張性筋活動をしている時間 (Δ Time) を表 7 に示した。そして、600m 疾走前の Δ Time と中距離走のラストスパートでのピッチ増加指数との間に 5% 水準 ($r=0.923$) で、600m 疾走後の Δ Time と中距離走のラストスパートでのピッチ増加指数との間に 1% 水準 ($r=0.985$) で有意な正の相関関係が認められた。また、接地期前半において腓腹筋が伸張性筋活動をしている相での腓腹筋の MTC の長さ変化 (Δ L) を表 7 に示した。そして、600m 疾走前 ($r=0.902$) および 600m 疾走後 ($r=0.941$) の Δ L と中距離走のラストスパートでのピッチ増加指数との間に 5% 水準で有意な正の相関関係が認められた。

(4) 腓腹筋の MTC の stiffness

腓腹筋の MTC の stiffness を表 7 に示した。腓腹筋の MTC の stiffness とピッチ増加指数との相関関係をみたところ、これらの間には有意な相関を認められなかった。

第 5 節 仮説の検証

各作業仮説を検証については、ピアソンの積率相関係数を用いて有意差検定を行った。

なお、表 8 に各作業仮説の有意差検定の一覧を示す。

(1) 理論仮説 1 の検証

本研究において設定した理論仮説 1 は、『中距離走のラストスパートでのストライドの維持およびピッチの増加が、走速度の増加に関係している。』であった。作業仮説 1-1 の『ラストスパート（区間 5～区間 6）におけるストライド増加指数と走速度増加指数との間に正の相関関係がある。』について検証した結果、5%水準で有意な正の相関 ($r=.795$) が認められ、作業仮説 1-1 が採択された。

次に、作業仮説 1-2 の『ラストスパート（区間 5～区間 6）におけるピッチ増加指数と走速度増加指数との間に正の相関関係がある。』について検証した結果、1%水準で有意な正の相関 ($r=.830$) が認められ、作業仮説 1-2 は採択された。

作業仮説 1-1 および 1-2 が採択されたので、本研究の被験者において、中距離走のラストスパートでの走速度の増加には、ストライドおよびピッチの増加が関係していることが明らかになり、理論仮説 1 は採択された。

(2) 理論仮説 2 の検証

本研究において設定した理論仮説 2 は、『SSC 運動の遂行能力が高いほど、中距離走のラストスパートにおいてストライドを維持することができる。』であった。作業仮説 2-1 の『ラストスパート（区間 5～区間 6）における連続跳躍（立 5 段跳、立 10 段跳）の跳躍距離とストライド増加指数との間に正の相関関係がある。』についての検証では、ストライド増加指数の上位群 3 名と下位群 3 名の計 6 名についての相関係数を算出した。その結果、ストライド増加指数と立 5 段跳（左）との間に 1%水準で正の相関関係 ($r=.924$) がみら

れ、ストライド増加指数と立5段跳（右）との間 ($r=0.826$)、および立10段跳（左）との間 ($r=0.821$) に5%水準で正の相関関係が認められた。従って、作業仮説2-1は採択された。

次に、作業仮説2-2の『ラストスパート（区間5～区間6）におけるCMJの跳躍高とストライド増加指数との間に正の相関関係がある。』についての検証では、5%水準で有意な正の相関 ($r=0.738$) が認められ、作業仮説2-2は採択された。

作業仮説2-3の『ラストスパート（区間5～区間6）における水平前後方向への地面反力とストライド増加指数との間に正の相関関係がある。』の検証については、5%水準で正の相関 ($r=0.765$) が認められ、作業仮説2-3は採択された。

以上のことから、すべての作業仮説が採択されたので、『SSC運動の遂行能力が高いほど、中距離走のラストスパートにおいてストライドを維持することができる。』という理論仮説2が採択された。

（3）理論仮説3の検証

本研究において設定した理論仮説3は『MTCの弾性特性が高いほど、中距離走のラストスパートでピッチを増加させることができる。』であった。作業仮説3-1の『ラストスパート（区間5～区間6）におけるPre Stretch Augmentationとピッチ増加指数との間に正の相関関係がある。』について検証した結果、有意な相関は認められず作業仮説3-1は採択されなかった。

次に、作業仮説3-2の『ラストスパート（区間5～区間6）におけるMTCのstiffnessとピッチ増加指数との間に正の相関関係がある。』についての検証においても、有意な相関

は認められず作業仮説3-2についても採択されなかった。

作業仮説を検証した結果、すべての作業仮説が採択されなかったため、『MTCの弾性特性が高いほど、中距離走のラストスパートでピッチを増加させることができる。』という理論仮説3は採択されなかった。

第6章 考察

第1節 ラストスパートにおける走速度、ピッチおよびストライドの関係

松尾ら³⁵⁾は、'91世界陸上の男子800m走のレース分析から、ラストスパートの走速度の持続性は主にピッチの増大によると報告している。同様に、杉田ら⁶³⁾は、32名の中距離走者の800m走を分析し、ラストスパートにおける走速度の増加とピッチの増加($r=.889$ 、 $p<.01$)およびストライドの増加($r=.399$ 、 $p<.05$)との間に相関があったと報告している。

しかし、これらの報告は競技会におけるピッチとストライドの変動を観察したものであり、レース展開や他者との駆け引きにより、個人の持つ真のピッチとストライドが出現していない可能性がある。そこで、本研究においては、レース展開や他者との駆け引きによる影響を排除し、2人~3人の少人数での疾走により、中距離走におけるピッチとストライドの変動を観察した。その結果、本研究においても、ラストスパートにおける走速度の増加とピッチの増加($r=.830$ 、 $p<.01$)およびストライドの増加($r=.795$ 、 $p<.05$)との間に有意な正の相関関係が認められた(図6-1、図6-2)。従って、レース展開や駆け引きを排除した測定においても、先行研究³⁵⁾⁶³⁾と同じ結果を得ることができ、中距離走のラストスパートで走速度を増加させるためには、ピッチの増加とストライドの維持が重要であるという知見を支持することができた。図7は、これまで多くの800m走を分析してきた松尾ら³⁵⁾と杉田ら⁶³⁾が、中距離走において走速度を増加させるためのピッチとストライドの組み合わせを図に表したものである。これによると、ラストスパートにおいて走速度を増加させるためには、図中の①~⑤の方法が考えられる。松尾ら³⁵⁾は、800m走のラストスパートにおいて、走者は疲労困憊の状態であり、大きなキックを利用してストライドを

増加させることは不可能であると報告している。本研究においても、ラストスパートにおいてストライドを大きく増加させた者は1名だけ（図6-1の(a)）であり、多くの者は、ストライド増加指数が0%前後に位置していた。これらのことから、図7に示した中の①、④および⑤のような、ストライドを増加することにより走速度を増加させる方法は、中距離走のラストスパートにおいて効果的でないことがわかる。一方、走速度の変動に対するピッチとストライドの組み合わせを研究した報告⁴²⁾をみると、約6.5m/sec以上の走速度では、ストライドの増加よりもピッチの増加によって走速度の増加がみられると報告されている。本研究における、ラストスパートでの走速度の平均値(区間6)は、 7.13 ± 0.36 m/secであることから、ラストスパートでの走速度の増加は、ストライドの増加よりもピッチの増加による貢献が高いと考えられる。図6-2をみても、ラストスパートにおける走速度増加指数が高い者ほど、ピッチ増加指数も高いことがわかる。また、600m記録の良い者（図6-1、図6-2中の○印）は、ストライド増加指数はわずかに0%を下回っていることに対し、ピッチ増加指数は600m走記録上位群全員が0%を上回っていることがわかる。よって、中距離走のラストスパートにおいて走速度を増加させるためには、図7の②および③のような、ストライドを維持あるいはわずかに減少させ、ピッチを増加させる方法が効果的であることがわかる。

以上のことから、本研究において採択された理論仮説1の中距離走のラストスパートにおける走速度の増加に、ストライドの維持とピッチの増加が関係している理由について考えることができた。従って、中距離走においてラストスパートで走速度を増加させるためには、ストライドの維持とピッチの増加が重要であることを明らかにすることができた。

第2節 ラストスパートでのストライドの維持に影響をおよぼす体力的要因

(1) 脚筋力とラストスパートでのストライドの維持

本研究の理論仮説2の検証において、脚筋力とストライド増加指数との間に有意な相関関係 ($r=.782$, $p<.05$) が認められた。また、脚の伸展筋力を用いた垂直跳びである SQJ の跳躍高とストライド増加指数との間にも有意な相関関係 ($r=.804$, $r=.01$) が認められている。多くの先行研究において、脚筋力と競技成績との関連性が挙げられている^{51) 59) 72)}。また、マーティンら¹¹⁾ は、ストライドの長さを決定する要因の一つに脚筋力を挙げている¹¹⁾。本研究においても、先行研究と同様の結果を得ることができ、ストライドと脚筋力の関係を明らかになった。しかし、脚筋力や SQJ は単に脚の伸展筋群の静的な最大筋力の測定であり、実際のランニング動作とは大きな違いがある。そこで、よりランニング動作に近く、SSC 運動の遂行能力とその持続性の指標となる連続跳躍の記録と中距離走のラストスパートにおけるストライドとの関係について検討した。

(2) 連続跳躍とラストスパートでのストライドの維持

本研究において、ラストスパートにおけるストライド増加指数と連続跳躍との間に有意な相関を認められなかった (図 8-1~図 8-4)。そこで、ストライド増加指数の上位群 3 名と下位群 3 名の計 6 名を抽出し、ストライド増加指数と立 5 段跳および立ち 10 段跳との相関係数を算出した (図 9-1~図 9-4)。すると、ストライド増加指数と立 5 段跳 (左) との間に 1% 水準で正の相関関係 ($r=.924$) がみられ、ストライド増加指数と立 5 段跳 (右) ($r=.826$) および立 10 段跳 (左) ($r=.821$) との間に 5% 水準で正の相関関係が認められた。金原²⁷⁾ は、連続跳躍動作は短い支持時間により大きな外的パワーを発揮する SSC 運

動であり、疾走能力改善のための専門的なトレーニング手段であると述べ、連続跳躍がストライドの増大を狙いとしたトレーニングにつながると報告している。従って、連続跳躍のような SSC 運動とストライドとの間に関連があると考えられる。横川⁷¹⁾も、学生陸上競技選手 20 名を対象として、ストライドと連続跳躍(立 10 段跳)との相関を認めている。沢木⁵⁹⁾は、大きな脚筋力を保持するものであっても、優れたランニングフォームを保持していないと、脚筋力をランニングに生かすことはできず、競技記録に反映しないと報告している。本研究における被験者の脚筋力は、沢木⁵⁹⁾の報告よりも高い値を示したが、連続跳躍(立 10 段跳)の記録はその報告よりも低い値であった。つまり、本研究の被験者は、静的な脚筋力測定では高い脚筋力を発揮しているが、よりランニングに近い動的な脚筋力の筋発揮能力は劣っていた。そのため、本研究の被験者が高い連続跳躍技術を身につければ、連続跳躍とストライド増加指数との間に有意な相関がみられると予想される。

(3) 水平前後方向の地面反力とラストスパートでのストライドの維持

ランニングは SSC 運動の繰り返しである^{1) 29)}。そのため、ランニングの着地相において、伸張性筋活動時に弾性エネルギー蓄積され、続く短縮性筋活動時に蓄積された弾性エネルギーが利用されることにより、ランニングにおいて大きなパワーを発揮することができ、ストライドの大きさに影響をおよぼしていると考えられる^{1) 5) 6)}。そのため、本研究では、ランニングにおける水平前後方向への地面反力の時間・力曲線から、SSC 運動の力発揮の様子を観察した(図 5)。そして、水平前後方向への地面反力の加速成分と中距離走のラストスパートのストライド増加指数との間に有意な正の相関関係($r=0.765$ 、 $p<0.05$)を認めることができた。また、水平前後方向の地面反力の減速成分と中距離走のラストス

パートのストライド増加指数との間には負の相関関係 ($r=-.684$, $p<.05$) の傾向を示した。深代ら¹⁹⁾は、水平前後方向の地面反力について、加速成分が減速成分より大きければ走速度は増加し、加速成分が減速成分を小さければ走速度は減少すると報告している。本研究における水平前後方向の地面反力と中距離走のラストスパートにおけるストライド増加指数との関係から、水平前後方向の地面反力の加速成分が減速成分より大きければストライドは増加、加速成分が減速成分より小さければストライドが減少するということが明らかになった。よって、深代ら¹⁹⁾が報告した水平前後方向の地面反力の加速成分と減速成分の大小による走速度の増減は、ストライドの増減によるものであることが本研究の結果から示唆できた。

第3節 ラストスパートでのピッチの増加に影響をおよぼす体力的要因

(1) MTCの弾性特性とラストスパートでのピッチの増加

ランニングは、主動筋が伸張された後に短縮するSSC運動である^{1) 29)}。このSSC運動では、筋が伸張性筋活動を行う際にMTCに弾性エネルギーが蓄積され、続く短縮性筋活動時に蓄積された弾性エネルギーが利用されるため、SSC運動の遂行にはMTCの弾性特性との関係が認められている^{5) 6)}。本研究においては、Komi et al.²⁸⁾が提唱している、MTCを用いた弾性特性の指標であるPre Stretch Augmentationを、中距離疾走能力測定の前後に測定した。しかし、中距離走のラストスパートにおけるピッチ増加指数とPre Stretch Augmentationとの間に有意な相関関係を認めることはできなかった。

一方、福永ら²⁰⁾は、筋の力発揮と腱組織の伸張量との関係であるstiffnessを用い、MTC

の弾性特性を表している。本研究においても、中距離疾走能力測定の前後に、腓腹筋の MTC の stiffness を算出し、中距離走のラストスパートでのピッチの増加との関係を考えてみた。しかし、MTC の stiffness と中距離走のラストスパートでのピッチの増加との間に有意な相関関係を認めることはできなかった。

以上の2つの測定から、本研究の被験者においては、中距離走者のラストスパートにおけるピッチの増加に MTC の弾性特性が関係していることを明らかにすることはできなかった。久保ら³²⁾は、長距離走者の腓の弾性特性を研究し、長距離走者の Pre Stretch Augmentation および MTC の stiffness は、一般成人に比べ長距離走者の方が低かったと報告し、長距離走者は SSC 運動の伸張性筋活動期において弾性エネルギーを充分蓄えることを示唆している。そこで、本研究の被験者における Pre Stretch Augmentation と MTC の stiffness を、久保ら³²⁾の報告と比較した結果、本研究の被験者の値は、久保らの報告した長距離走者の値より高い値を示していた。また、図5をみると、水平前後方向への地面反力が減速成分を示すと MTC 長は伸張され、水平前後方向への地面反力が加速成分を示すと MTC 長は短縮するため、ランニングの接地時における腓腹筋の SSC 運動の様子が観察できている。従って、中距離走者のランニングにおいては、SSC 運動が遂行され、SSC 運動の伸張性筋活動時に蓄えられた弾性エネルギーをランニングに利用していると考えられる。しかし、本研究においては、MTC の弾性特性と中距離走のラストスパートでのピッチの増加との関係を明らかにすることはできなかった。

(2) SSC 運動の遂行時間とラストスパートでのピッチの増加

ピッチは、接地時間と非接地時間から構成されている¹⁴⁾。本研究において、600m 走の

前後に行った 80m 走の 50m 地点における接地時間と中距離走のラストスパートにおけるピッチ増加指数との間の相関係数を算出したところ、それらの変数間には有意な相関はみられなかった (図 10-1 および図 10-2)。しかし、相関係数はわずかであったが負の相関関係を示していた。また、600m 走記録上位群 (図 10-1、図 10-2 中○印) ほど、接地時間が短く、ピッチ増加指数が大きい傾向がみられる。Nelson et al.⁴⁷⁾ は、学生長距離走者のストライドとピッチの変化を 5 年間の縦断的研究を行った結果、大多数の者にストライドの減少とピッチの増加がみられ、ピッチの増加は、接地時間の減少と非接地時間の増加によるものだと報告している。本研究においても、600m 走記録が良く、ラストスパートでのピッチ増加指数が高いものの方が、接地時間が短い傾向があったことは、Nelson et al.の報告を支持できるものと考えられる。また、榎本ら¹⁴⁾ は、学生長距離走者を対象として 4 年間の縦断的研究を行い、接地時間の減少を報告し、接地時間の減少は、接地期前半の支持時間の減少であると報告している。この接地期前半の支持時間とは、SSC 運動における伸張性筋活動が行われている相を指している。よって、本研究においても、接地期前半の MTC の伸張時間 (Δ Time) とラストスパートでのピッチ増加指数との相関係数を算出した。しかし、榎本らの報告とは逆に正の相関関係がみられた (図 11-1 および図 11-2)。図子^{73) 74)} は、SSC 運動により大きなパワーを発揮するためには、なるべく短い時間で大きな力を発揮することが、SSC 運動の遂行能力を高めるために重要な要因となっていることを報告している。よって、ランニングにおける SSC 運動では、接地期前半の伸張性筋活動時に、より短い時間で、より大きな弾性エネルギーを腱に蓄積することが、続く短縮性筋活動時に大きなパワーを発揮することにつながる。これを考えると、ピッチの

増加は接地期前半の伸張性筋活動の時間の短縮によるものという榎本らの報告が支持され、本研究の結果を支持できないこととなる。しかし、SSC運動において伸張性筋活動時間を短くすればするほど大きなパワーを発揮できることには、疑問が残る。そこで、本研究の被験者を600m走記録の上位群と下位群に分け、 Δ Time および Δ L と中距離走のピッチ増加指数を考えた（図11-1 および図11-2、図12-1 および図12-2）。すると、600m走記録上位者は、 Δ Time が0.07sec 前後に集中していたことに対し、600m記録下位者は Δ Time が極端に短い者と長い者がいた。同様に、 Δ L に関しても、600m記録上位者（図12-1、12-2 中の○印）の Δ L は4.5%前後に集中し、600m記録下位者（図12-1、12-2 中の●印）の Δ L は極端に大きい者と、極端に小さい者がいた。このことから、ランニングにおけるSSC運動では、弾性エネルギーを蓄積する伸張性筋活動の時間とMTCの伸張量には、最も弾性エネルギーを蓄積できる時間と伸張量があることが示唆できた。これについては、さらに被験者数を増やし、追加実験をすることによって検討を重ねることが今後の課題だと考えられる。

第7章 結 論

第1節 結 論

本研究の目的は、先行研究による 800m 走のラストスパートにおける走速度の変動が、ストライドの維持とピッチの増加によるという報告を、レース展開や駆け引きを排除した状態で再検討し、ストライドの維持とピッチの増加は、SSC 運動の発揮能力と持続能力、および MTC の弾性特性に関連性があることを明らかにすることであった。

そこで、レース展開や他者との駆け引きを排除した状態でピッチとストライドの変動を観察したところ、ラストスパートにおける走速度の増加指数とピッチの増加指数との間 ($r=.830$ 、 $p<.01$)、および走速度の増加指数とストライドの増加指数との間 ($r=.795$ 、 $p<.05$) に有意な相関関係が認められた。従って、これまでの競技会による測定で報告されていた、ラストスパートにおいて走速度を増加させるためには、ラストスパートにおいてピッチを増加させること、およびストライドを維持することが重要であるという知見を、レース展開や他者との駆け引きを排除した測定においても支持することができた。そして、ラストスパートにおいてストライドを維持する能力と、ピッチを増加させる能力に関する体力的要因については、次の2つのことが明らかになった。

(1) ラストスパートにおけるストライド増加指数と脚筋力の間には有意な相関関係 ($r=.782$ 、 $p<.05$) が認められた。一方、ラストスパートにおけるストライド増加指数と連続跳躍 (立 5 段跳、立 10 段跳) との間に、有意な相関関係を認めることはできなかった。しかし、ストライド増加指数の上位群 (3 名) と下位群 (3 名) を抜き出して分析した結果、ラストスパートにおけるストライド増加指数と連続跳躍 (立 5 段跳、立 10 段跳)

との間に有意な相関関係を認めることができた。このことは、中距離走のラストスパートにおいてストライドを維持するためには、大きな脚筋力を保持するだけでなく、その脚筋力をランニングに生かす技術が重要であると考えられる。

(2) 中距離走のラストスパートにおけるピッチ増加指数と MTC の弾性特性との間に有意な相関関係を認めることはできなかった。しかし、中距離走のラストスパートでのピッチ増加指数と SSC 運動の伸張性筋活動の遂行時間 ($r=.923$, $p<.05$) および腓腹筋の MTC の長さ変化 ($r=.902$, $p<.05$) との間に相関関係を認めることができた。特に、中距離走の記録上位群の SSC 運動の遂行時間と MTC の伸張量には、記録下位群に比べ一定の傾向がみられ、最も効率よく SSC 運動を行うための遂行時間と MTC の伸張量があることが考えられた。

第2節 現場への提言

本研究において、中距離走のラストスパートにおいて走速度を増加させるためには、ピッチの増加およびストライドの維持が重要であることが明らかになった。従って、中距離走のコーチング現場では、ラストスパートの局面において腕を太鼓を叩くように振るなどの意識的にピッチを増加させる指導が望ましいと考えられる。また、中距離走のラストスパートにおけるストライドの維持とピッチの増加には、SSC 運動の遂行能力が関係していることが示唆できた。そのため、連続跳躍などの SSC 運動の筋収縮様式を利用したトレーニングが、中距離走のラストスパートにおいて走速度を増加させるために有効なトレーニングとなることが示唆できた。

第3節 今後の課題

本研究において、ラストスパートにおけるストライドの維持に関する体力的要因については、大きな脚筋力を保持し、それを SSC 運動の効果的な遂行によりランニングに生かす技術が重要であることが明らかになった。しかし、ラストスパートにおけるピッチの増加に関する体力的要因については明らかにすることができなかった。これは、MTC の弾性特性を算出した部位が腓腹筋であったことが考えられる。よって、今後は MTC の弾性特性の算出部位を大腿部や臀部に広げることが課題であろう。また、SSC 運動の遂行能力および MTC の弾性特性とトレーニングとの関係を研究し、そこから新たにランニングにおけるストライドとピッチの変化を検討することも重要な視点であると考えられる。

第8章 要約

本研究の目的は、先行研究による 800m 走のラストスパートにおける走速度の変動が、ストライドの維持とピッチの増加によるという報告を、レース展開や駆け引きを排除した状態で再検討し、ストライドの維持とピッチの増加は、SSC 運動の発揮能力と持続能力、および MTC の弾性特性に関連性を明らかにすることであった。

そこで、順天堂大学陸上競技部に所属する男子中距離走者 9 名を対象とし、中距離疾走能力測定 (600m×2)、ジャンプパフォーマンス測定 (SQJ、CMJ、立 5 段跳、立 10 段跳)、および脚筋力測定を行った。また、中距離疾走前後に 80m 走を行わせ、疲労前後の動作分析を行った。

その結果、先行研究で報告されていた通り、中距離走のラストスパートにおける走速度の増加指数とピッチ増加指数との間 ($r=.830$ 、 $p<.01$)、および走速度の増加指数とストライド増加指数との間 ($r=.795$ 、 $p<.05$) に有意な相関関係が認められた。よって、レース展開や他者との駆け引きによる影響を排除した状態においても、先行研究と同じ結果となった。そして、ラストスパートにおけるピッチの増加とストライドの維持に関係する体力的要因として、次の 2 点が明らかになった。

(1) ラストスパートにおけるストライド増加指数と脚筋力の間には有意な相関関係 ($r=.782$ 、 $p<.05$) が認められた。一方、ラストスパートにおけるストライド増加指数と連続跳躍 (立 5 段跳、立 10 段跳) との間に、有意な相関関係を認めることはできなかった。しかし、ストライド増加指数の上位群 (3 名) と下位群 (3 名) を抜き出して分析した場合、ラストスパートにおけるストライド増加指数と連続跳躍 (立 5 段跳、立 10 段跳)

との間に有意な相関関係を認めることができた。このことは、中距離走のラストスパートにおいてストライドを維持するためには、大きな脚筋力を保持するだけでなく、その脚筋力をランニングに生かす技術が重要であると考えられる。

(2) 中距離走のラストスパートにおけるピッチ増加指数と MTC の弾性特性との間に有意な相関関係を認めることはできなかった。しかし、中距離走のラストスパートでのピッチ増加指数と SSC 運動の伸張性筋活動の遂行時間 ($r=.923$, $p<.05$) および腓腹筋の MTC の長さ変化 ($r=.902$, $p<.05$) との間に相関関係を認めることができた。

以上の結果から、ラストスパートにおける、ストライドの維持およびピッチの増加には、SSC 運動の遂行能力が関係していることを示唆することができ、コーチング現場において、SSC 運動の遂行を伴った補助運動を取り入れることが、ラストスパートで走速度を増加するための有効なトレーニングであることが考えられた。

引用文献一覧表

- 1) 馬場崇豪,和田幸洋,伊藤 章:短距離走の筋活動様式.体育学研究,45,186-200,(2000)
- 2) Bosco,C.,P.V.Komi : Mechanical Characteristics and Fiber Composition of Human Leg Extensor.Eur.J.Appl.Physiol.,41,275-284,(1979)
- 3) Bosco,C.,P.V.Komi:Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching,Acta. Physiol. Scand.,106,467-472,(1979)
- 4) Bret,C,A.Rahmani,A.B.Dufour,L.Messonier,J.R.Lacour:Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running,J. Sports Med. Phys. Fitness,42(3),274-281,(2002)
- 5) Cavagna,G.A.,F.P.Saibene,R.Margaria:Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle.J. Physiol.,20,157-158,(1965)
- 6) Cavagna,G.A.,L.Komarek,S.Mazzoleni:The Mechanics of Sprint Running. J.Physiol.,217,709-721,(1971)
- 7) Chelly,S.M.,C.Denis : Leg power and hopping stiffness : relationship with sprint running performance.Med. Sci. Sports Excer.,33(2),326-333(2001)
- 8) Chu,D.A. : Jumping into plyometrics,ChampaignⅢ. 5,58,Human Kinetics:USA(1992)
- 9) Crielaard,J.M.,F.Pirnay:Anaerobic and Aerobic Power of Top Athletes.Eur. J. Appl. Physiol.,47,295-300,(1981)
- 10) David,H.,M.L.Hull:A Method For Determining Lower Extremity Muscle- Tendon Lengths During Flexion/Extension Movements.J. Biomechanics,23(5),487-494,(1990)
- 11) Devid,E.M.,P.N.Coe:中長距離ランナーの科学的トレーニング.高本恵美訳,征矢英昭,尾縣貢監訳,第1版,2-29,234-237,大修館書店:東京,(2001)
- 12) 榎本靖士:中距離走のトレーニングを考える.月刊陸上競技,1,118-120,(2003)
- 13) 榎本靖士,阿江通良,杉田正明:2002年アコムドルディスタンスチャレンジ中距離レースにおける走速度,ストライドおよびピッチの変化.日本陸連科学委員会報告,2(1),129-145,(2003)
- 14) 榎本靖士,阿江通良,藤井範久,鍋倉賢治:長距離選手の記録向上と疾走動作の変化.バイオメカニクス研究概論,224-228,(1999)
- 15) Granier,P.,B.Mercier,J.Mercoer,F.Anselme,C.Prefaut : Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners.Eur. J. Appl. Physiol.,70,58-65,(1995)
- 16) Grieve,D.W.,S.Pheasant,P.R.Cavanagh:Prediction of gastrocnemius length from knee and ankle joint posture.In Asmussen, E. and Jorgensen, K. ed.,Biomechanics VI-A,405-412,University Park Press: Baltimote,(1978)
- 17) 平野 了:中距離走者の疾走能力に影響を及ぼす生理学的・バイオメカニクスの要因に関する事例的研究.陸上競技研究,40,16-23,(2000)
- 18) 平野 了,永井 純,関岡康雄:ほぼ同一記録を有する男子中距離選手における体力特性の研究.陸

- 上競技研究,34,20-25,(1998)
- 19) 深代千之,桜井伸二,平野裕一,阿江通良:スポーツバイオメカニクス 第2版.13-18,朝倉書店:東京,(2000)
 - 20) 福永哲夫:身体運動の成績に影響する筋腱複合体の振る舞い.体育の科学,51(1),12-20,(2001)
 - 21) 福永哲夫:身体運動における筋収縮のバイオメカニクス.体育学研究,42,337-348,(1998)
 - 22) Ichinose,Y.,Y.Kawakami,M.Ito,H.Kanehisa,T.Fukunaga:In vivo estimation of contraction velocity of human vastus lateralis muscle during "isokinetic" action.J. Appl. Physiol.,88,851-856,(2000)
 - 23) 井上 辰,樹戸塚 学,富岡 徹,丹羽哲次,広田公一:800m ラストスパートのエネルギー供給機構,体力科学,42,173-182,(1993)
 - 24) 石井隆士,日隈広至,水野増彦,菅原 勲,登坂一晴,宮舘美能留,松田竜太郎,細谷治朗,岸田謙二,渡邊文雄,吉泉一久,長谷川 健,清田 寛,大和 眞:陸上競技男女トラック種目の等速性筋力の特徴,日本体育大学紀要,28(1) ,67-75,(1998)
 - 25) 石河利寛,杉浦正輝:運動生理学.第9版,160,建帛社:東京,(1998)
 - 26) Kawakami,Y,Abe,T.,Fukunaga,T.:Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. J. of Appl. Physiol.,74,2740-2744,(1993)
 - 27) 金原 勇:陸上競技のコーチング(I).第1版,240,大修館書店:東京,(1976)
 - 28) Komi,p.v.,C.Bosco:Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women, Medicine and Science in Sports,10(4),261-265,(1978)
 - 29) Komi,p.v.:Stretch-Shortening Cycle.In Komi P.V. ed.,Strength and power in sport,169-179, Blackwell Scientific Publications:Oxford,(1992)
 - 30) Kubo,K.,Kawakami,Y.,Fukunaga,T.:Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans,J. of Appl. Physiol.,87(6),2090-2096,(1999)
 - 31) Kubo,K.,Kanehisa,H.,Kawakami,Y.,Fukunaga,T.:Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners.Eur.J.Appl.Physiol.,81,181-187,(2000)
 - 32) 久保啓太郎,川上泰雄,柳谷登志雄,澤木啓祐,福永哲夫:長距離選手における腱の弾性特性.バイオメカニクス研究概論,218-223,(1999)
 - 33) 黒田善雄,伊藤静夫,塚越克己,雨宮輝也,鈴木洋児:日本一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量,昭和48年度日本体育協会スポーツ科学報告,1-27,(1973)
 - 34) Lacour,J.R,E.Bouvat,J.C.Bathelemy:Post-competition blood lactate concentrations indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races.Eur. J. Appl. Physiol.,61,172-176,(1990)
 - 35) 松尾彰文,杉田正明,阿江通良,小林寛道,岡田英孝:中距離決勝におけるスピード,ピッチおよびストライドについて.陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術,第1版,92-111,ベースボールマガジン社:東京,(1994)
 - 36) 松尾彰文,杉田正明,小林寛道,阿江通良:アジア大会におけるおける中距離走者のスピード,ピッチ

およびストライドの変化. 日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班編 アジア一流陸上競技者の技術, 第1版, 83-97, 創文企画: 東京, (1997)

- 37) Maxwell, N.S., M.A. Nimmo: Anaerobic capacity: A maximal anaerobic running test versus the maximal accumulated oxygen deficit. *Canadian J. of Appl. Physiol.*, 21, 35-47, (1996)
- 38) McKenzie, D.C., W.S. Parkhouse, W.E. Hearst : Anaerobic Performance Characteristics of Elite Canadian 800m Meter Runners. *Can. J. Appl. Sports*, 7, 158-160 (1982)
- 39) 満園良一, 宮田浩文, 麻場一徳, 金尾洋治, 勝田 茂: 中・長距離走パフォーマンスに貢献する生理学的要因について. *久留米大学論叢*, 34(1), 43-50, (1985)
- 40) 満園良一, 勝田 茂, 金尾洋治, 田淵健一, 永井 純: 中・長距離ランナーにおける筋繊維組成, 毛細血管, 酸化酵素活性と有酸素性作業能との関係. *体力科学*, 35, 182-191, (1986)
- 41) 満園良一, 丸山敦夫, 四元清路: 中・長距離ランナーの酸素摂取量および酸素負債能と走強度との関係, *久留米大学論叢*, 34(2), 145-152, (1985)
- 42) 三浦望慶, 松井秀治, 神山 鈺: 長距離走のスキルに関する実験的研究. 日本バイオメカニクス学会編, 身体運動の科学Ⅱ—身体運動のスキル—, 第1版, 134-144, 杏林書院: 東京, (1976)
- 43) 宮下充正: 走る科学 小林寛道編, 第2版, 33-111, 大修館書店: 東京, (1993)
- 44) 森丘保典, 伊藤静夫, 大庭恵一, 原 孝子, 内丸 仁, 青野 博, 雨宮輝也: 間欠的漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係. *体力科学*, 52, 285-294, (2003)
- 45) 森丘保典, 伊藤静夫, 持田尚, 大庭恵一, 原 孝子, 内丸 仁, 青野 博, 雨宮輝也: 間欠的な漸増負荷ランニング中の血中乳酸動態から推定されるパワーと 400m 走記録との関係. *体育学研究*, 48, 181-190, (2003)
- 46) 永井 純, 榎本靖士, 木越清信, 柴田賢二: 中距離走者におけるハウंटニング持続能力. *陸上競技研究*, 51, 18-24, (2002)
- 47) Nelson, R.C., R.J. Gregor: Biomechanics of distance running : a longitudinal study. *Research Quarterly*, 47(3), 417-428, (1976)
- 48) Nicol, C., P.V. Komi, P. Marconnet : Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. I. Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scandinavian J. of medicine & science in sports*, 1(1), 10-1, (1991)
- 49) Nicol, C., P.V. Komi, P. Marconnet Komi, P.V.: Effects of marathon fatigue on running kinematics and economy. *Scandinavian J. of medicine & science in sports*, 1(4), 195-204, (1991)
- 50) 日本陸上競技連盟科学委員会編: 体力測定法 日本陸連方式, 第1版, 119, 講談社: 東京, (1975)
- 51) 沼澤秀雄: 陸上競技中・長距離選手の競技成績と筋力について. *陸上競技紀要*, 3, 8-12, (1990)
- 52) Nummela, A.N., N. Andersson, K. Hakkinen, H. Rusko: Effect of Inclination on the Results of the Maximal Anaerobic Running Test. *Int. J. Sports Med.*, 17, s103-s108, (1996)
- 53) 尾縣 貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 関岡康雄: 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係. *体育学研究*, 47, 535-542, (1998)

- 54) 尾縣 貢,福島洋樹,大山圭悟,安井年文,関岡康雄: 下肢の筋持久力と400m 走中の疾走速度逡減との関係. 体育学研究, 42, 370-379, (1998)
- 55) Ohkuwa, T., Kato, Y., Katsumata, K., Nakano, T., Miyamura, M.: Blood lactate and glycerol after 400-m and 3,000-m runs in sprint and long distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 53, 213-218, (1984)
- 56) Olesen, H.L., E. Raabo, J. Bangsbo, N.H. Secher: Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 9, 140-146, (1994)
- 57) Rusko, H., A. Nummela, A. Mero: A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66, 97-101, (1993)
- 58) 佐伯徹郎, 鍋倉賢治, 高松 薫: 漸増負荷テストにおける生理的応答からみた中距離走者と長距離走者の相違, 体力科学, 48, 385-392, (1999)
- 59) 沢木啓祐: 中長距離走における競技力と筋力の関連. 第1回陸上競技の医科学・コーチング国際会議 講演・発表論文集, 139-142, (1999)
- 60) Schnabel, A., W. Kindermann: Assessment of Anaerobic Capacity in Runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52, 42-46, (1983)
- 61) 塩田 徹: 中距離種目の競技成績と無酸素性作業閾値の関係に関する研究. 日本体育学会第42回大会号, 42-B, 677, (1991)
- 62) 杉田正明: 陸上競技トラックレースの分析について(特集 ゲームとレースの分析). バイオメカニクス研究, 7(1), 82-88, (2003)
- 63) 杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良, 伊藤 章, 小林寛道: 男子800m 走におけるスピード・ピッチおよびストライド長に関する事例的研究. トレーニング科学, 6(2), 119-128, (1994)
- 64) Spurr, R.W., A.J. Murphy, M.L. Watsford: The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89, 1-7, (2003)
- 65) Svedenhag, J., B. Sjodin: Maximal and Submaximal Oxygen Uptakes and Blood Lactate Levels in Elite Male Middle- and Long-Distance Runners, *Int. J. Sports Med.*, 5, 255-261, (1984)
- 66) Swart, A.D.: Plyometrics In Middle Distance Running Training. *Modern Athlete and coach*, 31-34 : AUSTRALIE, (1998)
- 67) Visser, J.J., J.E. Hoogkamer, M.F. Bobbert, P.A. Huijting: Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip-joint angles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61, 453-460, (1990)
- 68) Williams, K.R., R. Snow, C. Agruss: Changes in Distance Running Kinematics With Fatigue. *Int. J. Sport Biomechanics*, 7, 138-162, (1991)
- 69) 山地啓司: ランニングの経済性に影響をおよぼす要因. 運動生理学雑誌, 4(2), 81-98, (1997)
- 70) 安井年文, 尾縣 貢, 福島洋樹, 宮下 憲, 関岡康雄: 400m 疾走中の速度逡減に影響を及ぼす体力的要因について. 陸上競技研究, 35, 2-15, (1998)
- 71) 横川和幸: 疾走能力とストライド・ピッチ・跳躍能力との関係について—本学学生について—. 仙台大学紀要, 11, 93-99, (1979)

- 72) 吉儀 宏,澤木啓祐,仲村 明:長距離走者の競技力と脚筋力.陸上競技研究,13-18,(2000)
- 73) 図子 浩二:ばねを測定する.コーチングクリニック,8,20-25,(1996)
- 74) 図子 浩二,高松 薫:"ばね"を高めるためのトレーニング理論.トレーニング科学,8(1),7-16,(1996)
- 75) 図子浩二,高松薫: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-筋力及び瞬発力に着目して-.体力科学,44,147-154,(1995)

略語一覧表

本文表記(略語)

用語

SSC 運動	-----	Stretch-Shortening Cycle 運動
MART	-----	Maximal Anaerobic Running Test
Peak La	-----	最大血中乳酸値
$\dot{V}O_2\text{Max}$	-----	最大酸素摂取量
MTC	-----	Muscle-Tendon Complex (筋-腱複合体)
CMJ	-----	Counter-Movement Jump
SQJ	-----	Squat Jump

Relationship Between Physical Fitness Factors and
Change of Running Velocity in 800m Running
– With Stretch Shortening Cycle Movement –

Takeshi Matsumoto

Summary

The purpose of this study was to investigate effects on changes in running velocity during the last sprint in 800m running.

Subjects were nine male middle distance college runners. They performed middle distance running tests (600m × 2: measurement of running velocity, step frequency and step length), jump performance tests (squat jump (SQJ), counter movement jump (CMJ), standing 5step jump (S5J), standing 10step jump (S10J)) and measurements of leg strength. I compared the running movements between before and after 600m running.

Main results were followed:

- 1) A significant correlation was seen between increase in step frequency and increase in running velocity ($r=.830$, $p<.01$), and increase in step length and increase in running velocity ($r=.795$, $p<.05$) during the last sprint.
- 2) A significant correlation was observed leg strength and increase in step length ($r=.782$, $p<.05$) during the last sprint. And, Significant correlation was seen, between ground reaction forces (positive work of horizontal plane) of contact phase and increase in step length ($r=.765$, $p<.05$) during the last spurt.
- 3) Significant correlation was found between the time of extension phase of Stretch-Shortening Cycle movement and increase in step frequency ($r=.923$, $p<.05$), and change length of MTC and increase in step frequency ($r=.902$, $p<.05$) during the last sprint.

These results suggested that increase in step frequency effects of the increase in running velocity, also the increase in step length effects of the increase in running velocity during the last sprint in 800m running. Furthermore, SSC movement effects the increase in step frequency and the increase in step length. Therefore, SSC movement training is important for the increase in running velocity during the last sprint in middle distance running.

謝 辞

本論文の作成にあたり、実験の被験者として御協力いただいた、順天堂大学陸上競技部男子中距離ブロック、並びに測定の補助として御協力いただいたスポーツバイオメカニクス研究室の学生諸君に心から感謝申し上げます。

また、本論文の作成にあたり御協力いただいた、柳谷登志雄先生、仲村明先生、八幡賢司氏、佐久間淳氏に厚く御礼申し上げます。

そして、本論分の審査および御指導をいただいた、伊藤政男教授、野川春夫教授に深く感謝の意を申し上げるとともに、指導教官の沢木啓祐教授に対しては、多大な御指導、御支援を賜り、衷心の感謝にたえません。

ここに多大なる皆様の御協力に、心から感謝の意を表します。

表1 被験者の属性

被験者ID	年齢・(歳)	身長・(cm)	体重・(kg)	体脂肪率・(%)	800m最高記録	1500m最高記録
1	22	168.1	52.9	5.4	1:52.13	3:50.53
2	21	173.3	65.4	8.0	1:55.00	3:50.60
3	21	183.0	65.3	9.0	1:55.44	4:01.30
4	21	170.9	61.2	11.2	1:57.50	4:02.90
5	21	174.2	58.2	6.8	1:52.33	4:21.00
6	20	175.3	62.3	5.9	1:54.15	4:07.00
7	20	171.2	54.0	8.0	1:51.22	3:58.08
8	19	172.2	57.2	6.7	1:55.00	3:53.79
9	18	172.2	61.8	5.8	1:56.08	4:14.00
平均	20.3	173.4	59.8	7.4	1:54.32	4:02.13
最大値	22	183.0	65.4	11.2	1:57.50	4:21.00
最小値	18	168.1	52.9	5.4	1:51.22	3:50.53
標準偏差	1.2	4.2	4.5	1.8	0:02.05	0:10.46

表2 600m疾走能力測定 スプリットタイム、ラップタイム一覧

被験者ID※1		100m	200m	300m	400m	500m	600m
1	Sprit	14秒23	27秒63	41秒81	55秒44	1分09秒07	1分22秒79
	Lap	14秒23	13秒40	14秒18	13秒63	13秒63	13秒72
2	Sprit	15秒02	28秒97	43秒14	53秒60	1分10秒13	1分25秒20
	Lap	15秒02	13秒95	14秒17	13秒46	13秒53	15秒07
3	Sprit	15秒90	30秒40	44秒77	58秒37	1分12秒03	1分25秒13
	Lap	15秒90	14秒50	14秒37	13秒60	13秒66	13秒10
4	Sprit	14秒80	28秒80	42秒92	56秒67	1分10秒64	1分25秒63
	Lap	14秒80	14秒00	14秒12	13秒75	13秒97	14秒99
5	Sprit	13秒64	26秒78	40秒39	54秒06	1分07秒74	1分21秒41
	Lap	13秒64	13秒14	13秒61	13秒67	13秒68	13秒67
6	Sprit	13秒99	27秒19	40秒81	54秒50	1分08秒69	1分23秒00
	Lap	13秒99	13秒20	13秒62	13秒69	14秒19	14秒31
7	Sprit	14秒17	27秒40	41秒00	54秒66	1分08秒67	1分21秒83
	Lap	14秒17	13秒23	13秒60	13秒66	14秒01	13秒16
8	Sprit	15秒50	30秒22	44秒53	58秒19	1分11秒87	1分26秒23
	Lap	15秒50	14秒72	14秒31	13秒66	13秒68	14秒36
9	Sprit	15秒70	30秒03	44秒30	57秒93	1分11秒73	1分25秒90
	Lap	15秒70	14秒33	14秒27	13秒63	13秒80	14秒17
平均値	Sprit	14秒77	28秒60	42秒63	56秒27	1分10秒06	1分24秒12
	Lap	14秒77	13秒83	14秒03	13秒64	13秒79	14秒06
最大値	Sprit	13秒64	26秒78	40秒39	54秒06	1分07秒74	1分21秒41
	Lap	13秒64	13秒14	13秒60	13秒46	13秒53	13秒10
最小値	Sprit	15秒90	30秒40	44秒77	58秒37	72秒03	86秒23
	Lap	13秒64	13秒14	13秒60	13秒46	13秒53	13秒10
標準偏差	Sprit	0秒812	1秒403	1秒694	1秒674	1秒599	1秒860
	Lap	0秒812	0秒607	0秒322	0秒079	0秒216	0秒711

※1 被験者IDは被験者それぞれの個人IDを表す。

表3 走速度、ストライドおよびピッチ増加指数一覧

被験者ID※1	走速度 増加指数(%)※2	ストライド 増加指数(%)	ピッチ 増加指数(%)
1	-0.66	-1.71	1.07
2	-10.22	-6.81	-3.66
3	4.27	0.80	3.45
4	-6.80	-3.51	-3.41
5	0.27	-0.95	0.87
6	-0.85	-1.04	0.00
7	6.44	4.00	2.24
8	-4.74	2.14	-6.73
9	-2.61	-1.13	-1.50
平均値	-1.65	-0.91	-0.85
最大値	6.44	-6.81	-6.73
最小値	-10.22	4.00	3.45
標準偏差	5.200	3.134	3.258

※1 被験者IDは被験者それぞれの個人IDを表す。

※2 増加指数は、区間5の値を100%とし、区間5に対して区間6の値が何%変化したかを示す指数である。

表4 中距離疾走能力前後のCMJ、SQJおよびPreStretchAugmentationの結果一覧

被験者 ID※1	600m疾走前			600m1本目疾走後			600m2本目疾走後		
	CMJ	SQJ	PSA(%)	CMJ	SQJ	PSA(%)	CMJ	SQJ	PSA(%)
	跳躍高(cm)	跳躍高(cm)		跳躍高(cm)	跳躍高(cm)		跳躍高(cm)	跳躍高(cm)	
1	39.80	37.06	6.89	38.42	34.41	10.43	38.42	31.86	17.06
2	33.12	24.81	25.11	30.63	24.81	19.00	25.92	22.65	12.62
3	34.41	30.63	11.00	33.12	31.86	3.81	25.92	25.92	0.00
4	33.12	28.22	14.79	27.06	24.81	8.33	24.81	21.61	12.89
5	38.42	33.12	13.78	37.06	30.63	17.36	34.41	30.63	11.00
6	34.41	37.06	-7.69	37.06	33.12	10.61	39.80	37.06	6.89
7	45.58	39.80	12.68	38.42	33.12	13.78	37.06	28.22	23.83
8	39.80	37.06	6.89	34.41	31.86	7.40	39.80	33.12	16.77
9	34.41	34.41	0.00	34.41	31.86	7.40	34.41	30.63	11.00
平均値	37.39	34.07	9.27	35.63	31.70	10.90	34.45	29.77	12.45
最大値	47.09	41.21	25.11	41.21	38.42	19.00	41.21	37.06	23.83
最小値	33.12	24.81	-7.69	27.06	24.81	3.81	24.81	21.61	0.00
標準偏差	4.61	4.74	9.36	4.06	4.19	4.96	5.78	4.71	6.71

※1 被験者IDは被験者それぞれの個人IDを表す。

表5 立ち幅跳び、立ち5段跳びおよび立ち10段跳の結果一覧

被験者 ID※1	立ち5段跳び(m)		立ち10段跳び(m)	
	右	左	右	左
1	12.76	12.15	26.40	26.01
2	11.95	11.66	25.10	24.48
3	12.23	12.15	24.50	25.00
4	12.00	11.88	25.40	24.96
5	13.95	13.90	29.55	29.78
6	12.50	12.43	26.53	26.45
7	13.12	13.10	26.60	27.20
8	13.06	12.94	28.30	27.45
9	12.73	12.42	26.19	26.08
平均値	12.70	12.51	26.51	26.38
最大値	13.95	13.90	29.55	29.78
最小値	11.95	11.66	24.50	24.48
標準偏差	0.631	0.694	1.574	1.626

※1 被験者IDは被験者それぞれの個人IDを表す。

表6 脚筋力測定の結果一覧

被験者 ID※1	脚筋力 (kg)	脚筋力/体重 (kg)
1	587	11.10
2	408	6.24
3	666	10.20
4	360	5.88
5	572	9.83
6	519	8.33
7	607	11.24
8	563	9.84
9	551	8.92
平均値	537	9.06
最大値	666	11.24
最小値	360	5.88
標準偏差	96.457	1.937

※1 被験者IDは被験者それぞれの個人IDを表す。

表7疲労前後の動作分析実験における結果一覧

被験者 ID※1	水平前後方向減速成分 (N·Sec)		水平前後方向加速成分 (N·Sec)		接地時間(Sec)		△L※2(cm)		△Time※3(sec)		腓腹筋MTCの stiffness(N·Sec/cm)		600m走time
	600m疾走前	600m疾走后	600m疾走前	600m疾走后	600m疾走前	600m疾走后	600m疾走前	600m疾走后	600m疾走前	600m疾走后	600m疾走前	600m疾走后	
1	126.05	138.54	44.45	37.92	0.112	0.120	2.000	1.990	0.068	0.072	63.05	69.46	1分24秒11
2	97.56	110.76	31.93	59.60	0.120	0.132	NG	NG	NG	NG	NG	NG	1分28秒12
3	68.31	74.66	76.20	75.66	0.128	0.140	2.540	2.470	0.072	0.092	26.84	30.25	1分27秒17
4	144.07	132.22	38.35	77.19	0.112	0.140	NG	NG	NG	NG	NG	NG	1分25秒23
5	47.31	93.86	62.09	71.86	0.104	0.112	1.590	1.820	0.064	0.072	29.72	51.62	1分24秒11
6	60.37	66.69	60.24	65.49	0.104	0.116	1.900	1.810	0.064	0.068	31.72	36.79	1分25秒30
7	60.74	65.47	72.34	77.99	0.100	0.116	NG	NG	NG	NG	NG	NG	1分27秒20
8	66.79	68.02	77.92	89.21	0.124	0.132	NG	NG	NG	NG	NG	NG	1分28秒14
9	35.47	40.41	65.53	65.94	0.096	0.108	1.320	1.540	0.052	0.060	26.98	26.32	1分28秒10
平均値	78.52	87.85	58.78	68.98	0.111	0.124	1.870	1.926	0.064	0.073	35.662	42.888	1分26秒38
最大値	144.07	138.54	77.92	89.21	0.128	0.140	2.540	2.470	0.072	0.092	63.050	69.460	1分28秒14
最小値	35.47	40.41	31.93	37.92	0.096	0.108	1.320	1.540	0.052	0.060	26.840	26.320	1分24秒11
標準偏差	36.457	33.290	16.793	14.512	0.011	0.012	0.460	0.344	0.007	0.012	15.445	17.704	1秒701

※1 被験者IDは被験者それぞれの個人IDを表す。

※2 △Lは伸張性筋活動時の腓腹筋のMTCの長さ変化の量を表す。

※3 △Timeは接地から腓腹筋のMTCが最も長くなるまでの時間を表す。

表8 仮説の検証に用いた有意差検定一覧

		走速度 増加指数	ストライド 増加指数	ピッチ 増加指数
理論仮説1	作業仮説1-1 ストライド増加指数	.795 *		
	作業仮説1-2 ピッチ増加指数	.830 **		
理論仮説2	作業仮説2-1 立ち5段跳び(右)※		.826 *	
	立ち5段跳び(左)※		.924 **	
	立ち10段跳び(右)※		.518	
	立ち10段跳び(左)※		.821 *	
	作業仮説2-2 CMJ跳躍高		.738 *	
	作業仮説2-3 水平前後方向地面反力		.765 *	
理論仮説3	作業仮説3-1 PreStretchAugmentation_Pre			-.380
	PreStretchAugmentation_Post1			-.392
	PreStretchAugmentation_Post2			.256
	作業仮説3-2 腓腹筋のstiffness_Pre			.061
	腓腹筋のstiffness_Post			.135

*:p<.05

** :p<.01

※立5段跳(右・左)および立10段跳(右・左)の検定については、ストライド増加指数の上位3名および下位3名の計6名の被験者を対象に検定

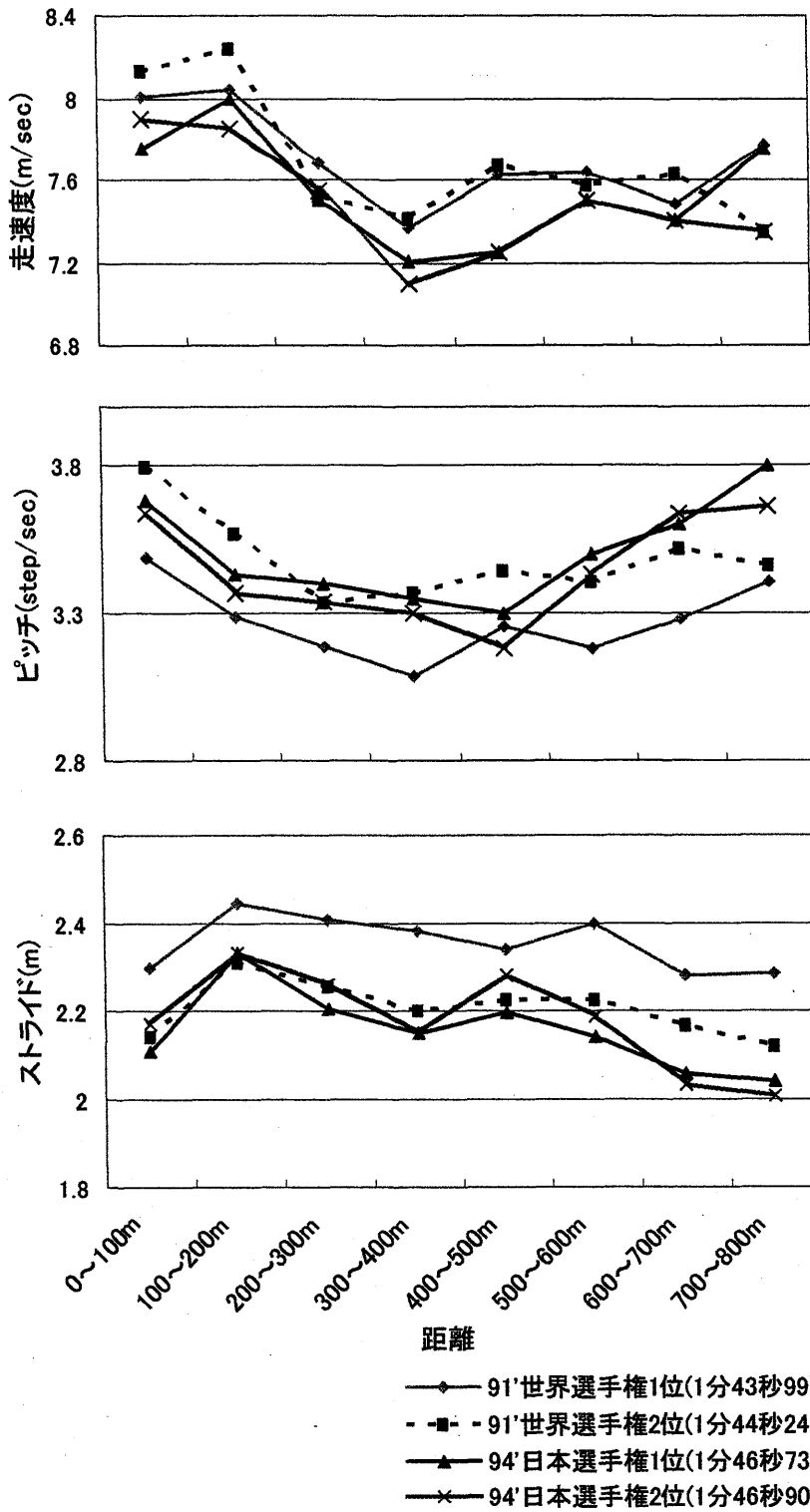
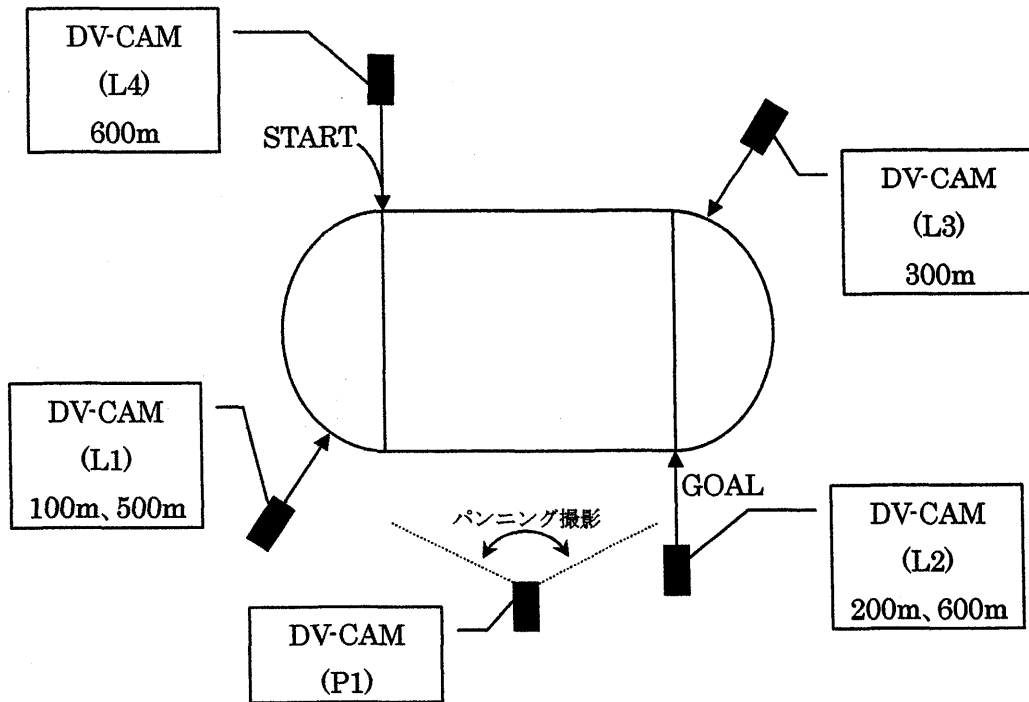


図1 世界選手権と日本選手権の800m走のレース展開の比較
 松尾ら^{a3)}、杉田ら^{a14)}を編集



L1・L4 はラップタイム計測、P1 はピッチ計測のためのカメラである。

図 2-1 中距離疾走能力測定機器設置位置

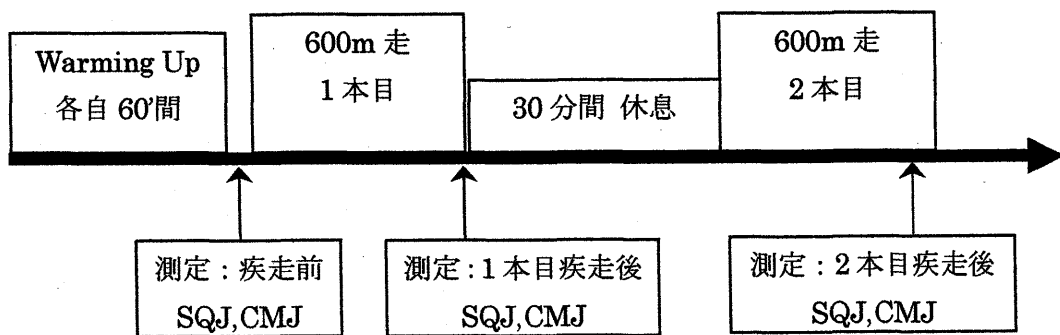


図 2-2 中距離疾走能力測定実験プロトコル

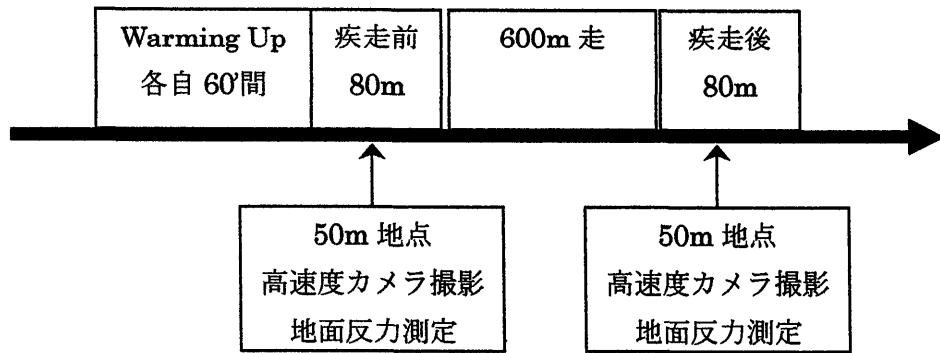


図 3 - 1 地面反力および疾走動作測定の実験プロトコル

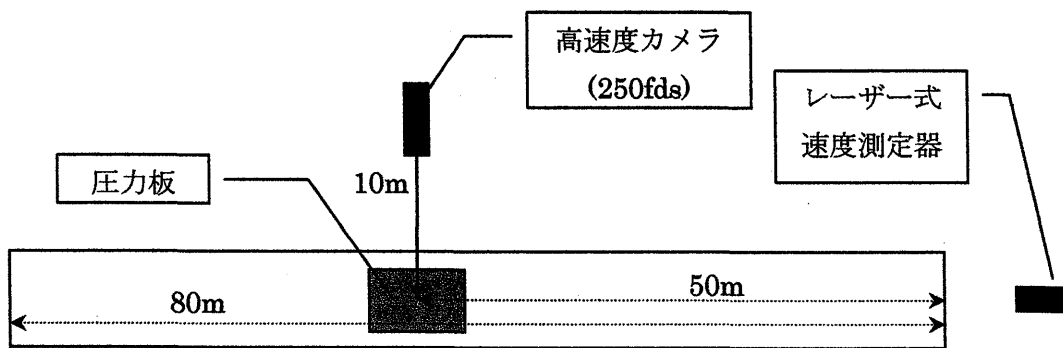


図 3 - 2 地面反力および疾走動作測定の実験機器配置図

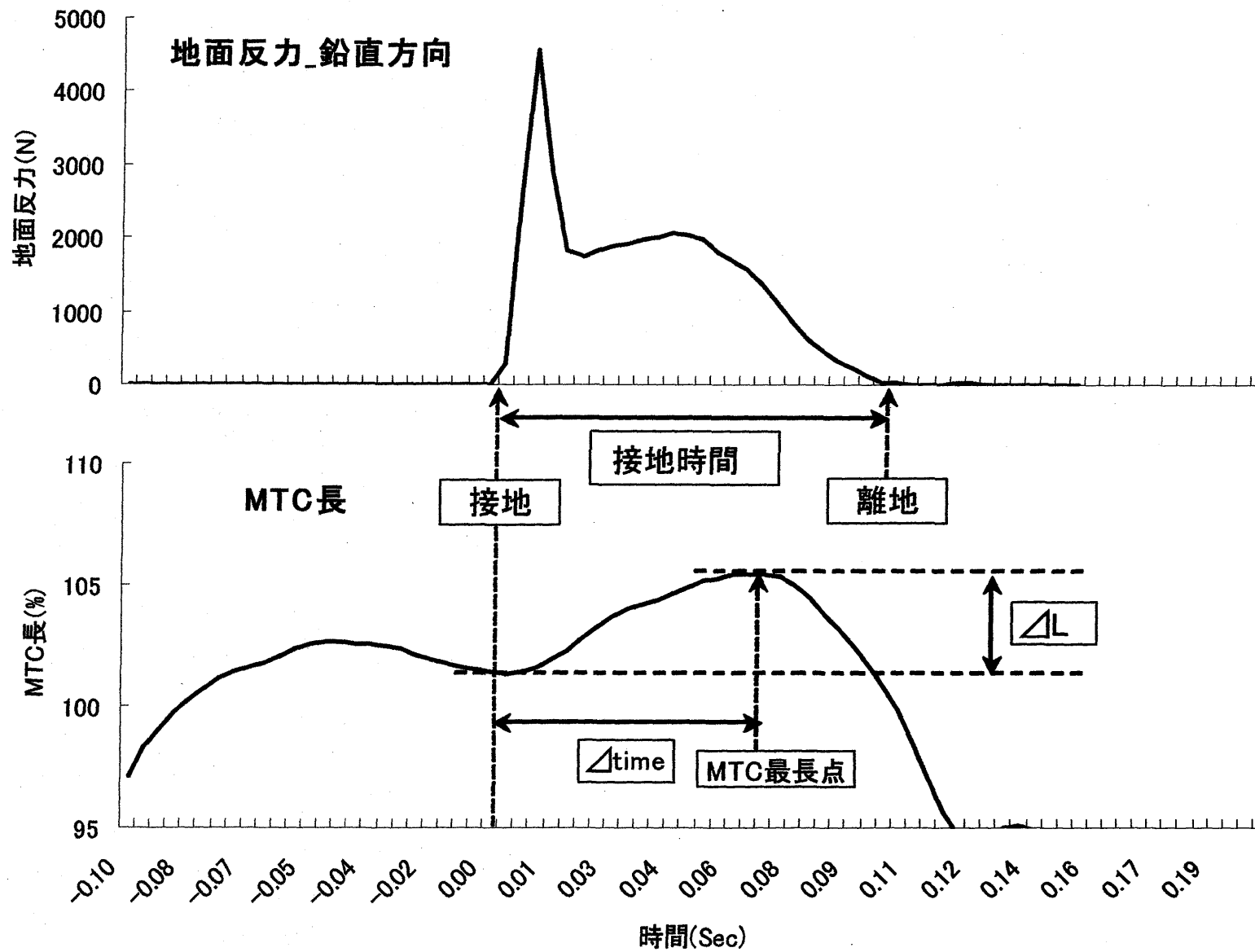


図4 接地時間、伸張性筋活動時間の算出

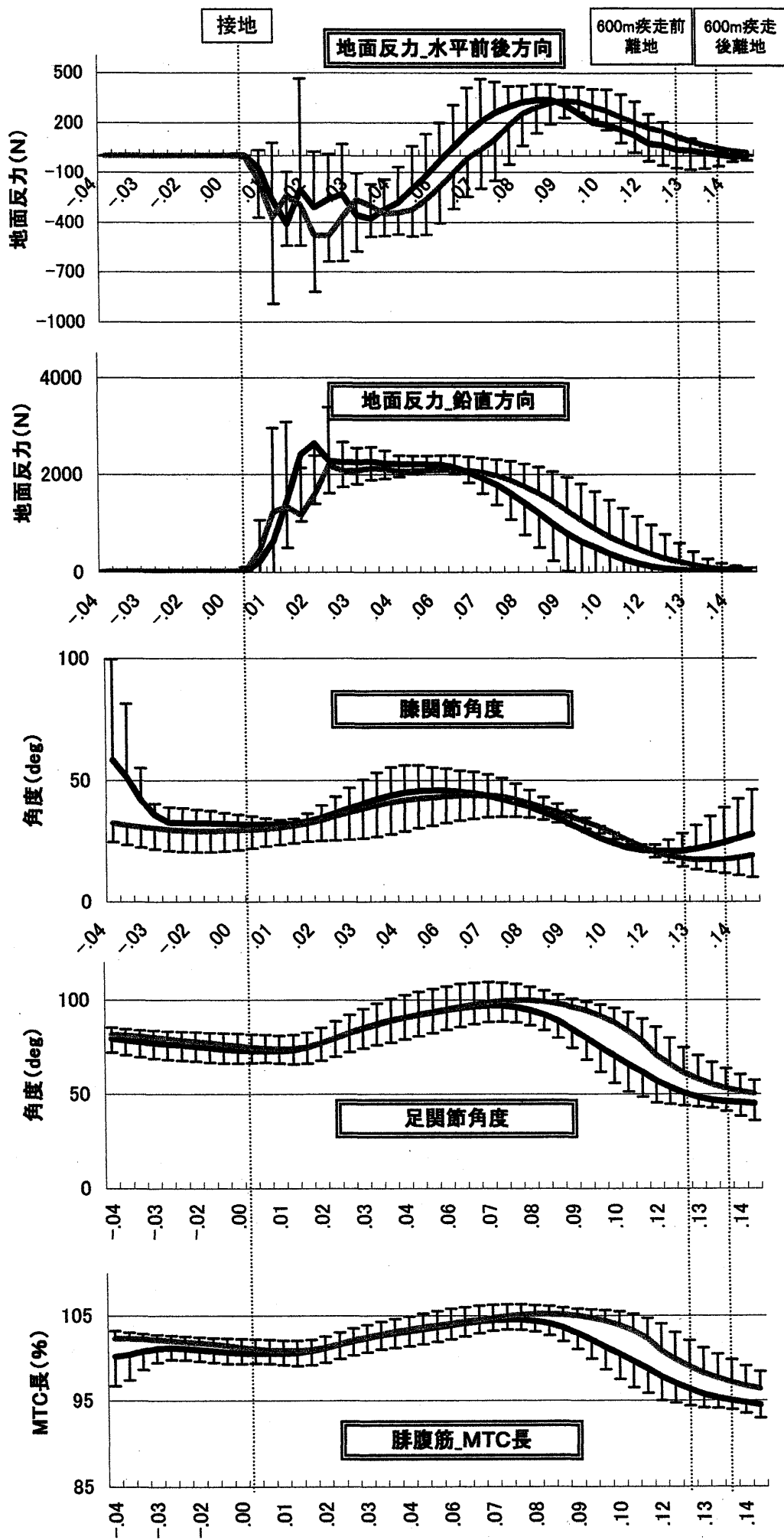


図5 接地時における地面反力(水平前後方向、鉛直方向)、関節角度(膝関節、足関節)およびMTC長(腓腹筋)の変化

— 600m疾走前
- - 600m疾走

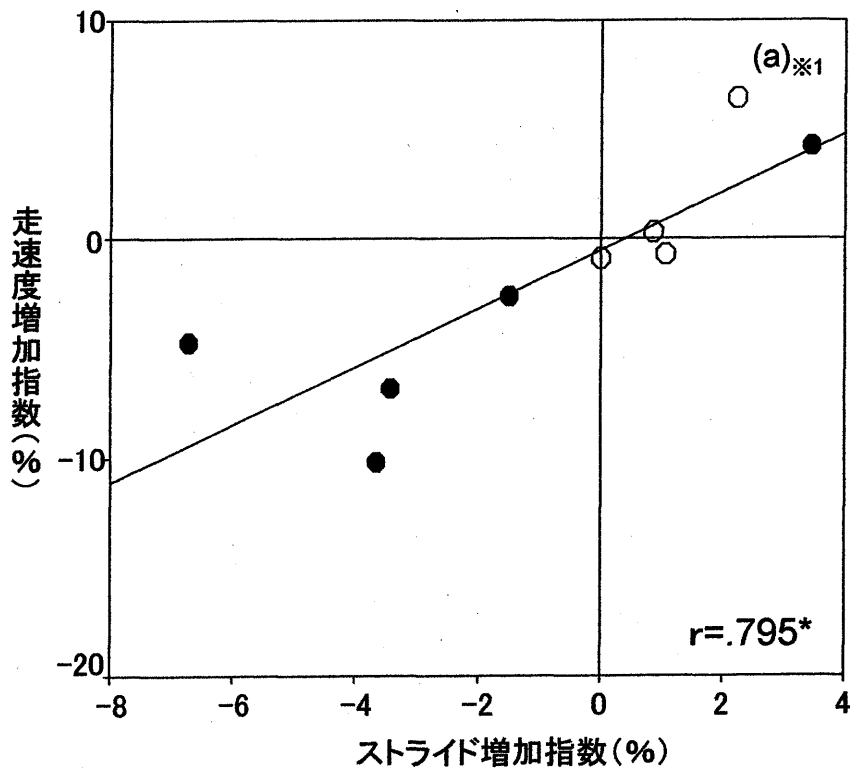


図6-1 ストライド増加指数と
走速度増加指数との関係

※1 (a)は本文中の説明にあるラストスパートにおいて
ストライドが大きく増加した者を指す。

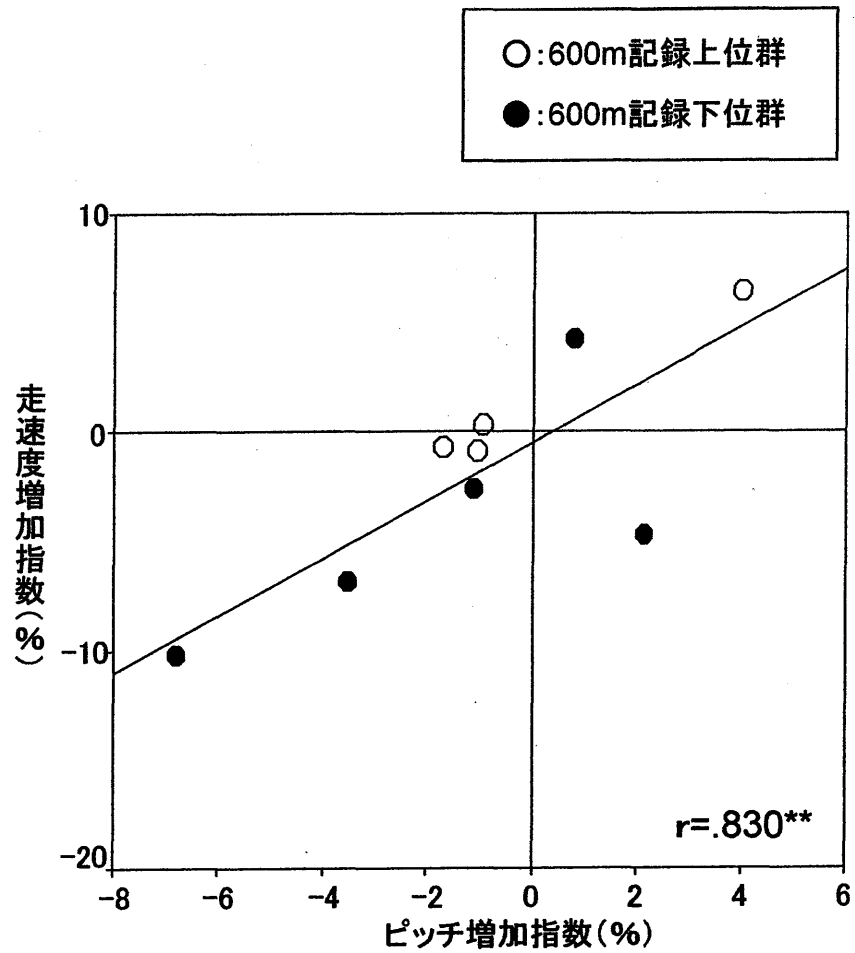
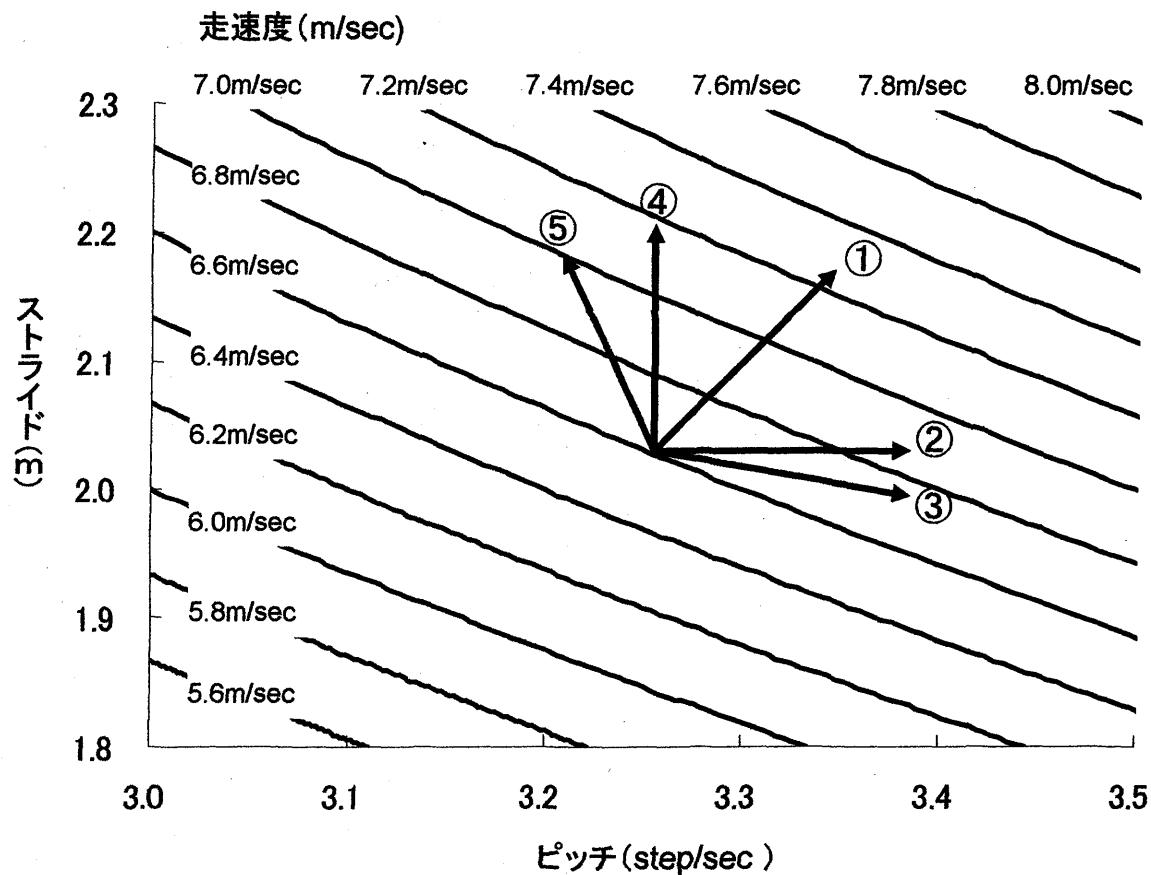


図6-2 ピッチ増加指数と
走速度増加指数との関係

* : $p < 0.05$

** : $p < 0.01$



- ①ピッチとストライドの両方を増加させる
- ②ストライドは変えずにピッチを増加させる
- ③ストライドをわずかに減少させ、
ピッチをそれ以上に増加させる
- ④ピッチを変えずにストライドを増加させる
- ⑤ピッチをわずかに減少させ、
ストライドをそれ以上に増加させる

図7 中距離走において走速度を増加させるためのピッチとストライドの組み合わせ

松尾ら^{b3)}、杉田ら^{b14)}より抜粋

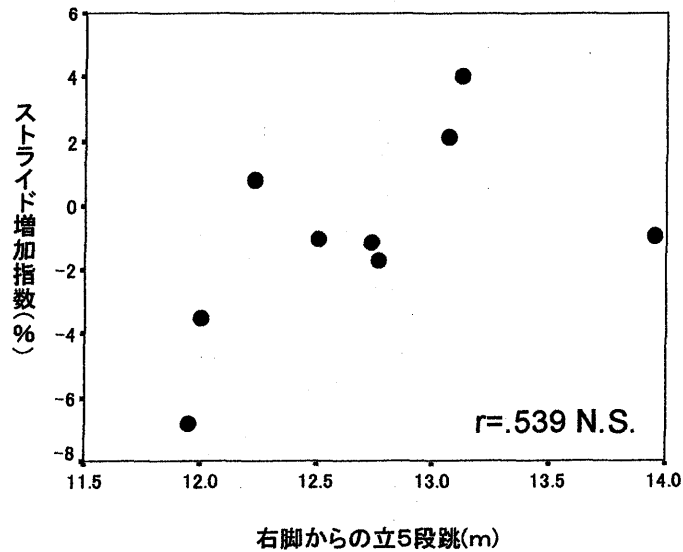


図8-1 立5段跳(右)とストライド増加指数との相関関係

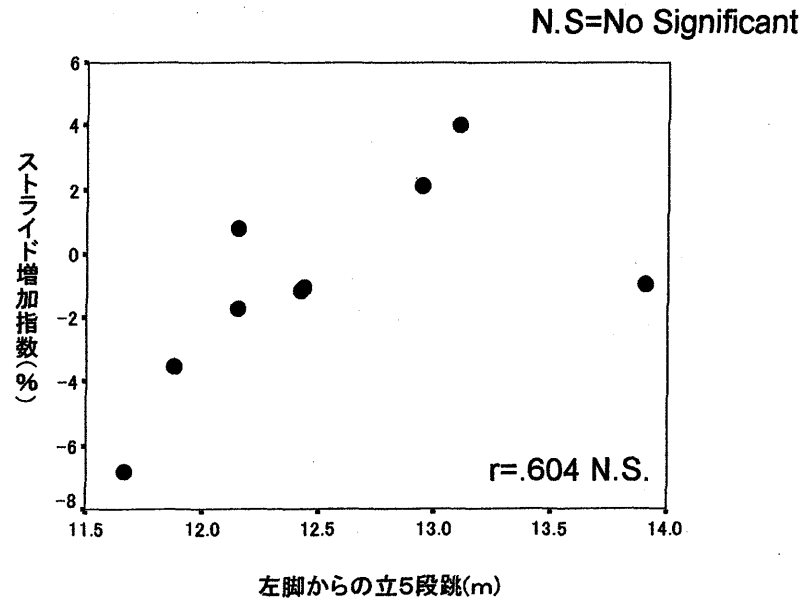


図8-2 立5段跳(左)とストライド増加指数との相関関係

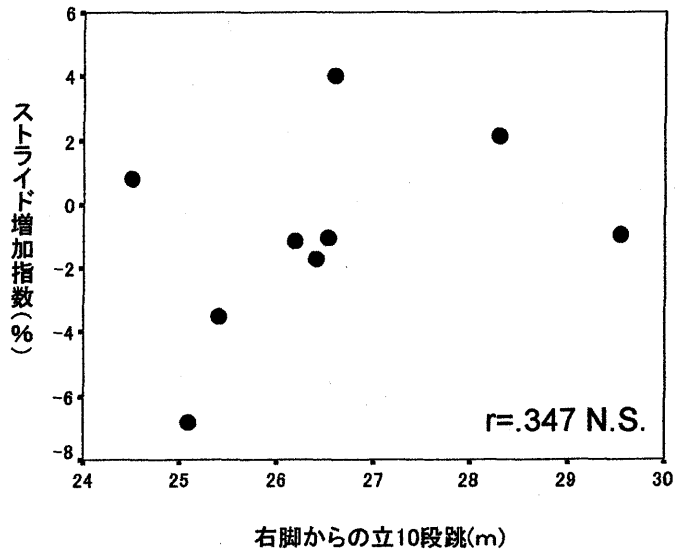


図8-3 立10段跳(左)とストライド増加指数との相関関係

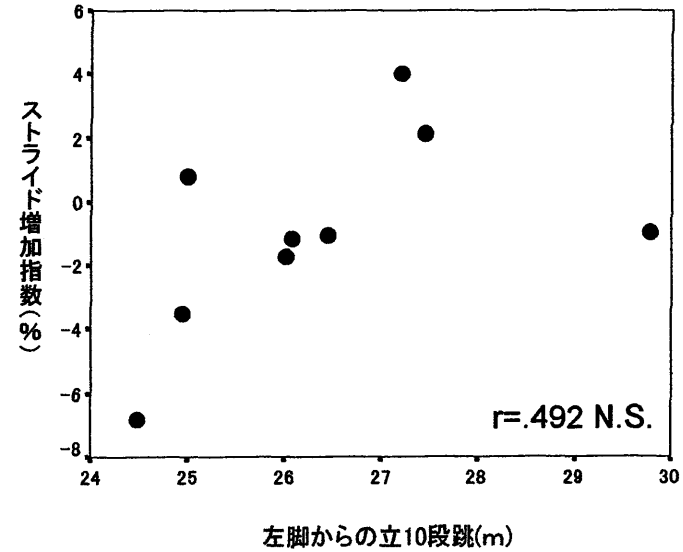
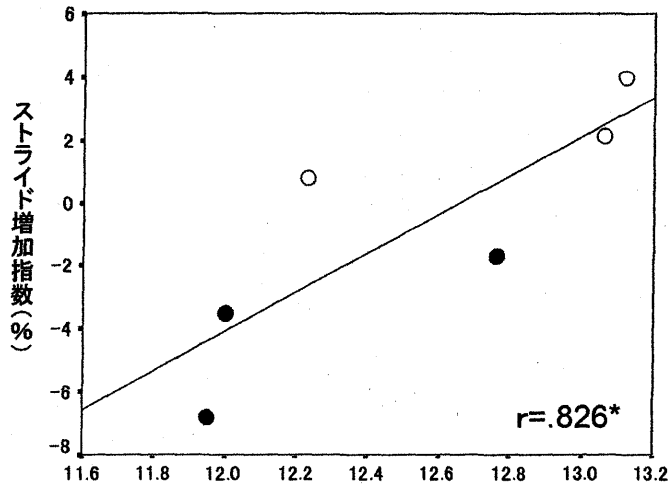
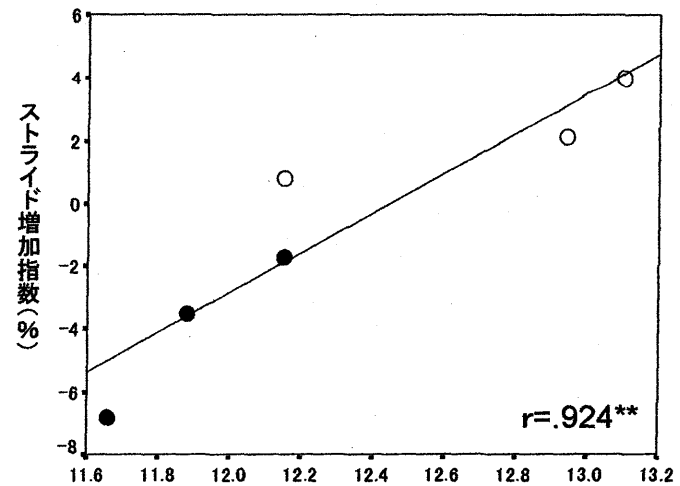


図8-4 立10段跳(左)とストライド増加指数との相関関係



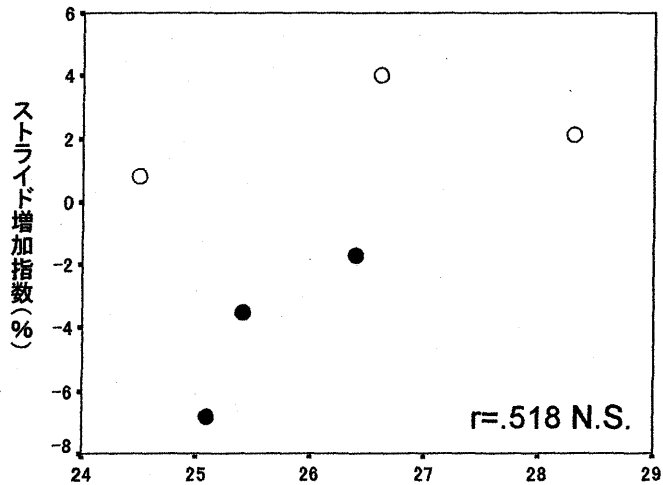
右脚からの立5段跳(m)

図9-1 立5段跳(右)とストライド増加指数との相関関係
ストライド増加指数上位群と下位群を比較して



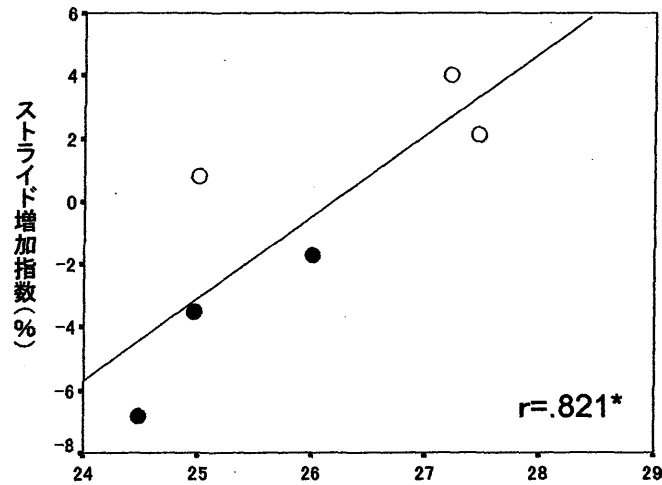
左脚からの立5段跳(m)

図9-2 立5段跳(左)とストライド増加指数との相関関係
ストライド増加指数上位群と下位群を比較して



右脚からの立10段跳(m)

図9-3 立10段跳(右)とストライド増加指数との相関関係
ストライド増加指数上位群と下位群を比較して



左脚からの立10段跳(m)

図9-4 立10段跳(左)とストライド増加指数との相関関係
ストライド増加指数上位群と下位群を比較して

* : p<0.05
** : p<0.01

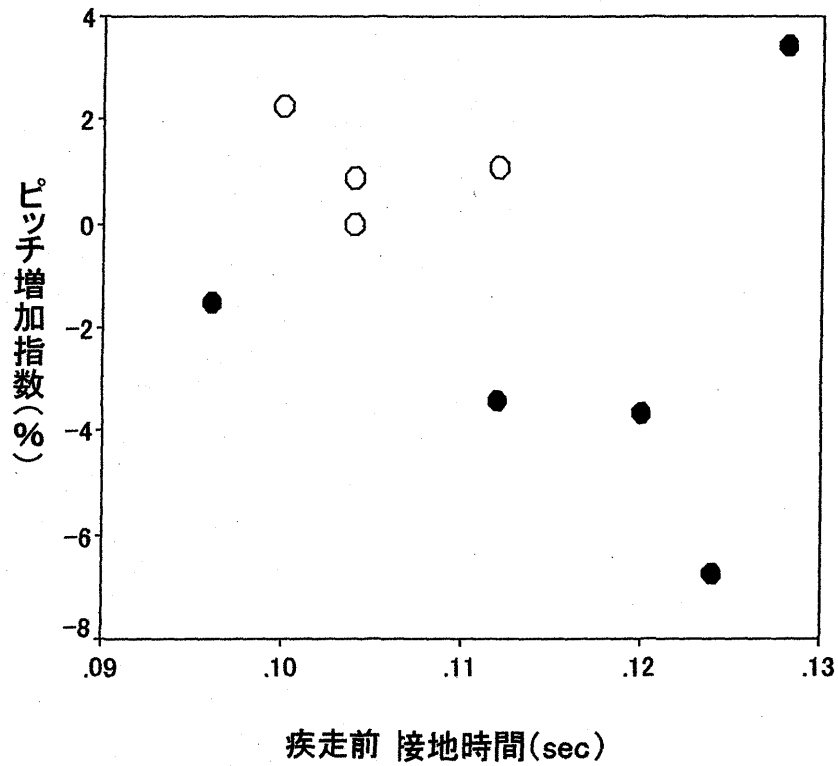


図10-1 600m疾走前における接地時間と
ピッチ増加指数との関係

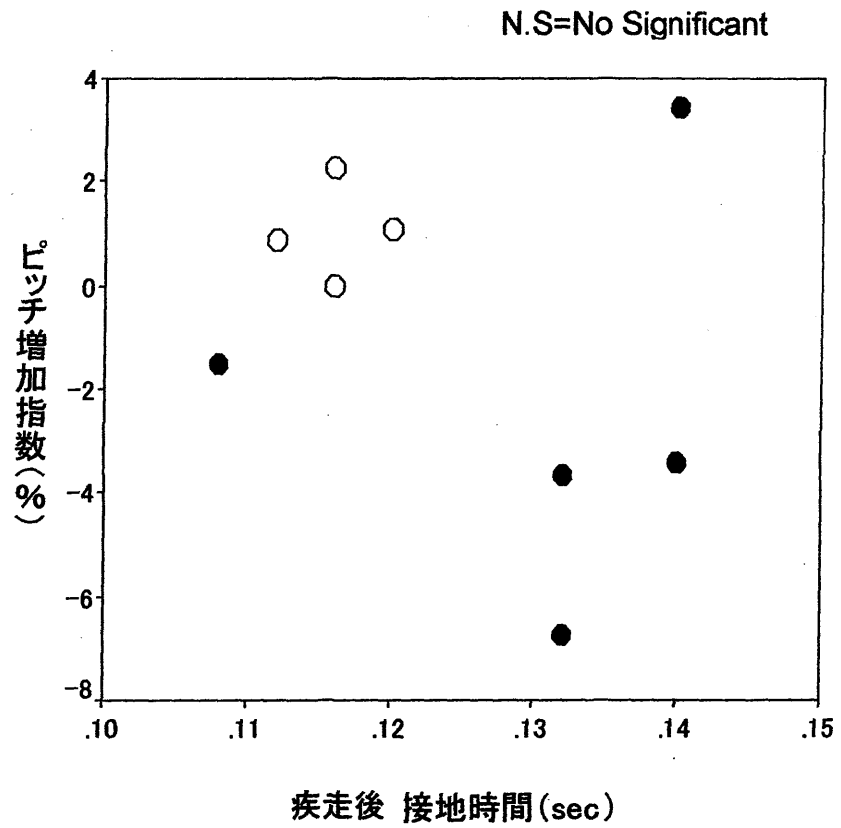


図10-2 600m疾走後における接地時間と
ピッチ増加指数との関係

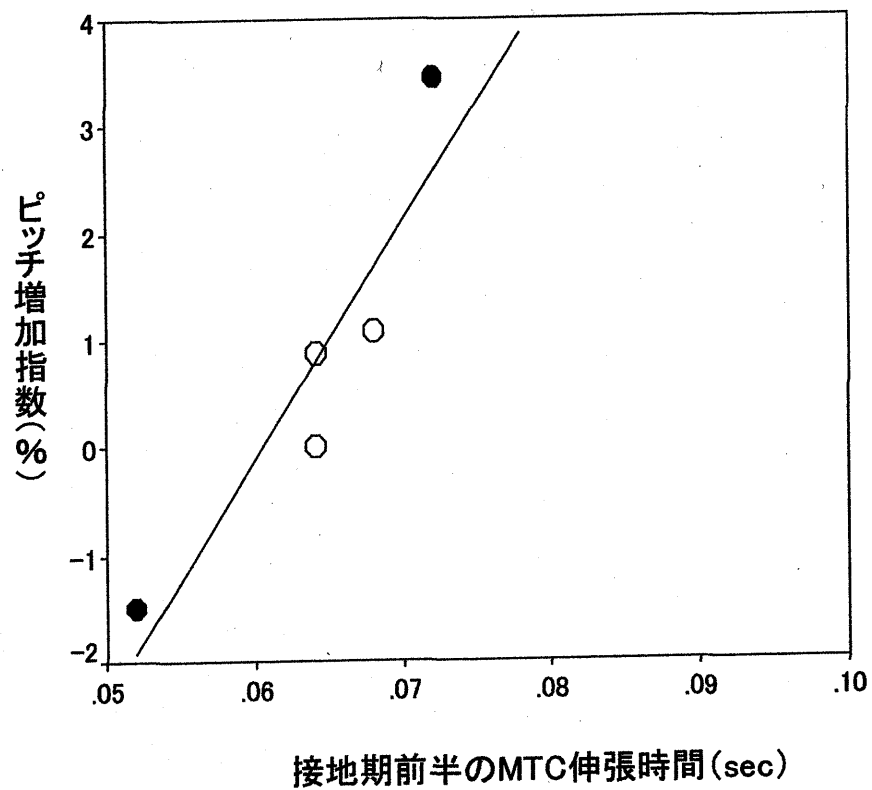


図11-1 600m疾走前における接地期前半の
MTC伸張時間とピッチ増加指数との関係

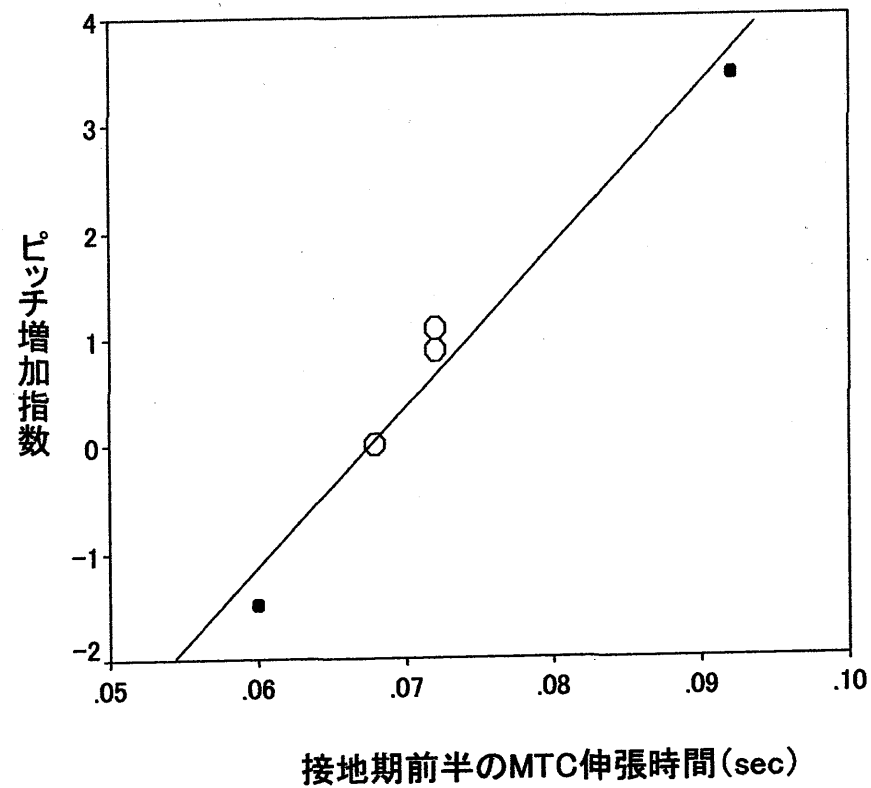
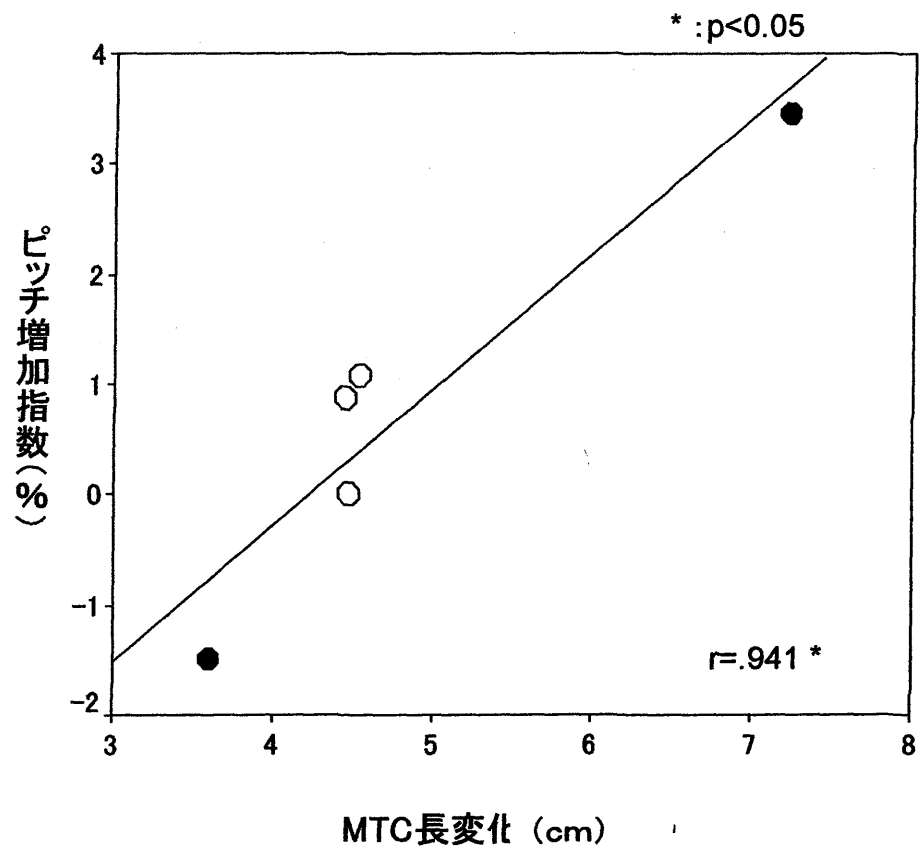
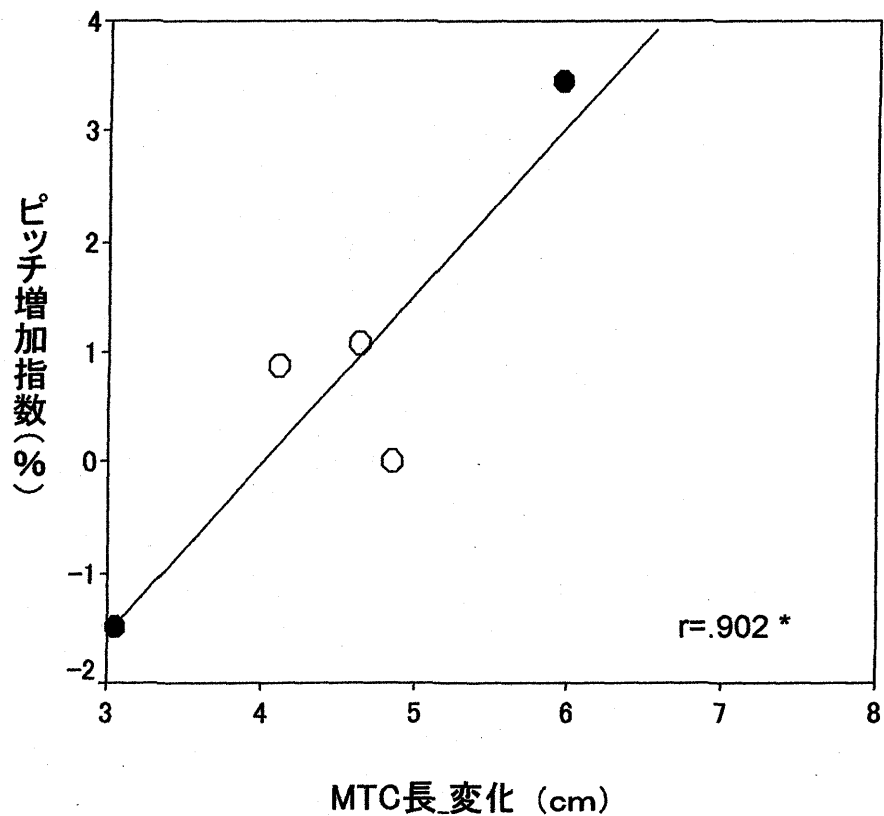


図11-2 600m疾走後における接地期前半の
MTC伸張時間とピッチ増加指数との関係



(付表 1)

研究協力(被験者)依頼

順天堂大学大学院 2年 松本 毅
指導教員 澤木 啓祐

この度、私の修士論文『陸上競技中距離選手における走速度の変動に影響をおよぼす体力的要因』の作成にあたり、下記の実験を行うことを予定しています。つきましては、貴殿に被験者として本研究に参加・協力を頂きたく思います。下記実験内容を熟読のうえ、ご理解いただき、参加・協力を同意頂ける場合には、同意書に署名を頂きたく思います。

尚、実験結果を論文等で公表する場合には、個人名を公表せず、データを研究目的以外には使用しないことを十分に配慮いたします。

論文題名：『陸上競技中距離選手における走速度の変動に影響をおよぼす体力的要因』

目的：陸上競技 800m 選手の走速度の変動に影響をおよぼす体力的要因を明らかにし、800m 走のパフォーマンス向上のためのトレーニング手段を検討することを目的とする。

方法：(1)疾走速度計測

600m を 2 本疾走し、走速度、ストライド及びピッチを計測します。

(2)筋腱複合体の弾性能力測定

疾走速度計測時に 2 種類の跳躍を測定します。

(3)最大疾走速度測定

600m 走前後に 80m 走を全力で 2 本走り、動作分析を行います。

(4)脚筋力の測定

脚筋力計を用い、静的な脚の筋力を測定します。

(5)連続跳躍の測定

立 5 段跳および立 10 段跳の測定を行います。

日時・場所：2004 年 8 月～11 月 順天堂大学陸上競技場

同意書

2004 年 ____ 月 ____ 日

私は、貴研究の内容を理解し、被験者として協力することを同意します。

氏名 _____ 印 _____