短距離走に関する研究：コーチングに役立つ科学的根拠を求めて

伊藤 章

Scientific researches of sprint running: In search of scientific bases for coaching

Akira Ito

Abstract

As sprint running is such a basic movement for humans, it has been frequently used in research. Modern research on sprint running started in the early 1920s, and the neurological and muscular functions associated with sprint running and instinctive movements were the first to be investigated (Mero, 1992). Many studies have been conducted on improving the ability of humans to run sprint races, but as one problem has been solved, others have been raised. As a result, many issues remain to be addressed. These can be broadly categorized as: (1) mechanical efficiency in sprint running, (2) joint torque and power in sprint running, (3) muscular activity in sprint running, (4) the relationship between muscular activity and sprint running movements, (5) 100 m race patterns based on time analyses, and (6) the relationship between sprint running movements and speed.

The results of studies on areas 1-3 are important for improving sprint running ability. Basically, understanding the physiological functions involved in sprinting helps to clarify the associated technical and physical factors. The results of studies on areas 4-6 provide useful information for coaches and athletes. As the level of competition is very high, effective utilization of scientific data can be the key to the success of an athlete.

The present review concludes that the relationship between mechanical efficiency and sprint running cannot yet be clarified because there are no standardized methods for estimating mechanical work, and it is difficult to estimate anaerobic energy consumption during sprint running. In view of the fact that the degree of reutilization of elastic energy clearly influences mechanical efficiency, elastic energy makes less of a contribution to sprint running than it does to sub-maximal running.

Muscular activity is predominantly assessed using electromyography, but to ascertain the effects of muscular activity on sprint running, it is necessary to determine changes in the length of muscle-tendon complexes and joint torque. Baba et al. (2000) solved many of these problems and the organized complex factors involved in sprint running.

In recent years, many studies have been conducted to ascertain the relationships between

sprint running movement and speed based on movement analyses of numerous athletes during competitions. These studies have identified characteristic movements in good sprinters and their significance. It appears that almost no correlation exists between sprint running speed and leg movement during the recovery phase, although a significant correlation between leg movement during the foot contact phase and sprint running speed has been identified. This type of information is extremely useful for coaches and sprinters.

Key words : leg movement, joint torque, muscular activity, mechanical efficiency

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 355-367, July, 2003)

キーワード：下肢動作，関節トルク，筋活動，機械的効率

はじめに

2歳前後に走の基本的な動作パターンが形成され，5歳では短距離競走ができるようになる（宮丸，2001）．このように短距離走は人にとって最も基本的な運動の一つであり，最も早くから行われる自然で単純な運動である．そのため，人の運動能力を競うための代表的な方法として古代より短距離競走が実施され，それぞれの時代の短距離走チャンピオンは人類究極の記録の具現者として尊敬されてきた．しかし，いつの時代も記録は伸びつづけ，現在も走路や用具の改善も含め，人類究極の100m記録への挑戦が続いている．前述のように，短距離走は人にとって最も基本的で単純な運動であるため，研究材料として頻繁に用いられてきた．短距離走に関する研究は1920年代初頭より始まり，短距離走技術や本能的な運動としての神経・筋機能が調査されてきた（Mero, 1992）．また，生理的機能を知るための負荷方法としても用いられてきた．研究によって問題が解決すると新たな課題が生まれ，現在も取り組むべき課題は多い．本稿では以下のような項目についてふれたが，今後の研究課題設定の一助となることができれば幸いである．

- I 短距離走の機械的効率
- II 短距離走の関節トルク・パワー
- III 短距離走の筋活動
- IV 筋活動と疾走動作との関係

V タイム分析による100mレースパターン

VI 疾走動作と疾走速度との関係

IからIIIに関する研究は短距離走能力を高めるために必要な基礎的な情報を与えてくれる．つまり短距離走がどのような生理機能によってなされているのかを知ることは，疾走技術や体力的な課題を明らかにするために多くのヒントを与えてくれるからである．IVからVIの研究成果は，現場の指導者や選手にとって直接役立つ有益な情報となる．とくに記録のレベルが高くなった現在は，こういった科学的情報を上手に利用することが成功を収めるために大切となる．なお，本稿で体力に関する項目と疾走能力の発達に関する項目については扱わなかったが，これらは大変重要であり，今後それ自体が題目となった総説が期待される．

I 短距離走の機械的効率

機械的効率は筋がなした仕事を消費エネルギーで除して求めるが，古くからその見積もりが試みられてきた．しかし，その計算方法は研究者によって異なっており（伊藤，1982），厳密には絶対値の比較は慎重であるべきだろう．Furusawa et al. (1927b) は，全力疾走時の機械的仕事を推進力と走行距離の積によって算出し，消費エネルギーを疾走後の酸素負債量から求めている．そして，得られた25.0—41.0%という値はカエルやカメの値と比較してあり得る数値であるとした．Fenn (1930) は，四肢の運動（内的仕事）と身体重心の移動（外的仕事）から疾走中の機械的仕事量を算出し，消費エネルギーはSargent (1926) の報

告などを参考に13馬力であると見積り、機械的効率率は22.7%であると報告している。Cavagna and Kaneko (1977) は、Fenn (1930) と同じ方法で機械的仕事を見積もり、Margaria et al. (1963) の平地走行におけるエネルギー消費量は走速度に関係なく $1\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ とした値を用いたところ、機械的効率が疾走速度とともに直線的に高まり、20km/hでは60%以上になると報告している。そしてこの効率の高まりは、Margaria et al. (1963) と同様に、伸張性筋収縮時に筋に蓄えられた弾性エネルギーを、つづく短縮性筋収縮時に再利用したためであると論じている。すなわち、走行中にSSC (Stretch Shortening Cycle: 伸張性筋活動が直ちに短縮性筋活動へ移行する筋活動様式) による筋活動が積極的におこなわれたことを示唆している。しかし、Kaneko et al. (1983) は短距離選手と長距離選手について、3.6m/sから全力走までの機械的効率をFenn (1930) の方法による機械的仕事と、それぞれの被験者についてのエネルギー消費量を酸素消費量と走行後の血中乳酸値から見積もり、走速度の増加とともに低下するという逆の傾向を報告した。この違いはエネルギー消費量の見積もりの違いによるものであり、特に無酸素的な運動に

おける消費エネルギーの測定の難しさを示すものである。Ito et al. (1983) は、機械的効率に影響を与えると考えられている弾性エネルギーに着目し、下肢の見かけ上のばね定数をもとにした蓄積弾性エネルギー量の見積もりを試み、走速度の増加とともにその量が増すことや弾性エネルギーが蓄積される動作局面を指摘している。また、Ito et al. (1985) は、Fenn (1930) の方法による機械的仕事をエネルギー消費量の指標としての筋電図の積分値で除してElectro-Mechanical Efficiency (EME) を算出し、接地期とスイング期に分けて比較している。そして、接地期のEMEはスイング期より高い傾向を観察し、接地期においては弾性エネルギーの再利用によって機械的効率が高まるのではないかと推察している。機械的仕事を関節トルクから求める方法が現在推奨されているが、その方法を用いて短距離走の機械的効率を研究したものは見当たらない。なお、図1 (伊藤, 1982) は走速度と機械的効率との関係をいくつかの研究結果をもとにしてまとめたものであるが、短距離走の機械的効率は長距離走に比べて高くないという示唆を与えるものである。

図1 走速度と機械的効率との関係 (伊藤, 1982)

II 短距離走の関節トルク・パワー

短距離走における下肢関節トルクやパワーについては, Elftman (1940), Mann (1981), Sprague and Mann (1983), Simonsen et al. (1985), Ae et al. (1985), 阿江ほか (1986), Robertson (1987), Ito et al. (1991), 伊藤章ほか (1997), 馬場ほか (2000) など数多く報告されている。そして報告されている関節トルクやパワーの発揮パターンは, どの研究においてもほとんど同じである。その中で, 発揮トルク・パワーを量的に扱い, 疾走速度との関係から検討しているのは, 伊藤章ほか (1997) のスタートダッシュから中間疾走までのピークトルクとピークパワーについての報告だけである。そこで, 彼らの結果

をもとに関節トルクとパワーの発揮パターンや量的な分析結果を概説する。

関節トルク・パワーの発揮パターンは, スタートから中間疾走まではほとんど変化しない。すなわち, 関節トルク (図2左) については, 股関節ではスイング期前半は屈曲トルクを, その後から接地期中間までは伸展トルクを発揮し, 接地期後半は屈曲トルクを発揮した。膝関節ではスイング期前半は伸展トルク, 後半は屈曲トルクを発揮し, 接地期は伸展トルクを発揮した。足関節では接地期に伸展トルクを発揮した。

関節パワー (図2右) に関しては, 股関節では接地期開始時点から接地期中間時点まではほとんど正パワーだけを, そして接地期後半は負パワーを発揮した。膝関節ではスイング期全体と接地期前半にかけてはほとんど負パワーを発揮し, その

図2 関節トルク・パワーパターン (伊藤ほか, 1997)

後に正パワーを発揮した。足関節では接地期前半に負のパワーを、後半に正のパワーを発揮した。これらの関節パワーは、関節トルクに関節の角速度を乗じて求めるが、厳密に言えば正が筋の短縮性活動を、負が伸張性活動を表すものではない。Simonsen et al. (1985) や馬場ほか (2000) が報告しているように、筋・腱複合体の長さ変化を求めることによって筋活動の状態がわかる。しかし、その方法を用いても筋の長さ変化と腱の長さ変化が一致するとは限らないので、それによって得られた結果は筋活動様式を示すものであり筋収縮様式とは区別している。

図3に、ピークトルクとピークパワーがスタート後の疾走速度（最高疾走速度を1.0で示した相対値）の増加に対してどのように変化するかについて示した。図中の記号は図2で示した局面に対応したものである。スタート後の疾走速度とともに増加したピークトルクは、スイング期の股関節および膝関節の屈曲と伸展において発揮された

すべてのトルクと、接地期の足関節の伸展トルクだけであった。また、スタートから最高疾走速度まで高いピークトルクを示したのは、接地期前半の股関節の伸展トルクであった。スタート後の疾走速度とともに増加したピークパワーは、スイング期前半の股関節の正パワーとスイング期前半と後半の膝関節の負パワー、および接地期前半と後半の足関節のそれぞれ負と正のパワーであった。また、スタートから最高疾走速度まで高いピークパワーを示したのは接地期前半の股関節の正パワーであった。

III 短距離走の筋活動

短距離走のスタートダッシュにおける筋活動を筋電図によって調べたものには、松下ほか(1974)、Mero et al. (1987)、Mero and Komi (1990)、伊藤 (1990)、伊藤章 (1997)、馬場ほか (2000) などの報告があるが、共通する放電パターンは以下

図3 スタートからの疾走速度（中間疾走速度に対する相対値）と関節ピークトルクとの関係（伊藤ほか，1997）

のとおりである。大殿筋はスイング期後半から接地期前半にかけて強く放電したが、スタート後徐々に低下する傾向を示した。外側広筋はスタート後のどの歩数においても常にスイング期後半と接地期前半に放電が見られたが、スイング期前半と接地期前半に放電が見られた大腿直筋は、接地期前半の放電についてはスタート後歩数の増加とともに低下する傾向を示した。大腿二頭筋はスイング期中間から接地期終了時点まで強い放電が見られ、その傾向はスタート後のどの歩数でも同じであった。腓腹筋はスタート後のどの歩数でもスイング期後半から接地期全体にわたり強い放電が見られた。

中間疾走に関する筋電図は、松下ほか (1974)、金子・北村 (1975)、後藤ほか (1983)、Simon-

sen et al. (1985), Mann et al. (1986), Mero and Komi (1987), 伊藤 (1990), Nummela et al. (1994), 伊藤章ほか (1997), 馬場ほか (2000) など、スタートダッシュに比べ数多く報告されている。そのうち、Simonsen et al. (1985) と馬場ほか (2000) は筋電図とともに筋の起始から停止までの筋・腱複合体の長さ変化を関節角度変化から算出しているが、馬場ほか (2000) は5名の短距離選手の平均値で筋電図と筋・腱複合体の長さ変化を報告しており、個人について報告している Simonsen et al. (1985) より一般性が高い。そこで、ここでは馬場ほか (2000) の結果 (図4) をもとにその特徴を概説する。大殿筋はスイング期後半から接地期前半にかけて短縮性筋活動を行った。大腿二頭筋はスイング期中間時点から伸張性

図4 疾走中の筋・腱複合体の長さ変化とEMG活動 (馬場ほか, 2000)

筋活動を開始し、スイング期後半の中間時点から短縮性筋活動に切り替わり、接地期終了時点までその活動を継続した。腸腰筋は離地前から伸張性筋活動を開始し、離地直後から短縮性筋活動に切り替わり、スイング期中間時点までその活動を継続した。大腿直筋は離地前から伸張性筋活動を開始し、スイング期前半の中間時点で伸張性筋活動に切り替わり、スイング期中間時点まで継続した。外側広筋はスイング期中間時点から短縮性筋活動を開始し、接地直後に伸張性筋活動に切り替わり、その筋活動は接地期中間時点まで継続した。前脛骨筋はスイング期前半は短縮性筋活動を、後半は伸張性筋活動を行った。腓腹筋とヒラメ筋は接地直前からほぼ等尺性の筋活動を開始し、その後接地開始時点から伸張性筋活動に移行し、接地中間時点から短縮性筋活動に切り替わった。

IV 筋活動と疾走動作との関係

疾走動作がどのような筋活動によって始動・調整されているのかは、筋活動様式と筋電図、関節トルクなどを同時に測定しなければ明らかにできない。馬場ほか（2000）はそれに関して詳細に報告しており、特に興味深い点について概説する（図4参照）。大腿二頭筋はSSCの筋活動によってスイング期後半から接地期にかけて強い股関節伸展トルクを発揮していた。大腿二頭筋は二関節筋であるため、この活動は副次的に膝関節の屈曲トルクを発揮する。したがって、そのままにしておくと、スイング期後半に膝関節は屈曲してしまうことになる。この局面ではそのとおり膝関節の屈曲トルクが発揮されているが、外側広筋の活動が同時に観察されている。この筋活動は外部に関節トルクとしては現れないが、前述の大腿二頭筋によって副次的に発揮されてしまう膝関節の屈曲トルクに対抗するもので、膝関節が屈曲しすぎずに接地できるように調整するために働いた。接地期には膝関節の伸展トルクが発揮されるが、外側広筋は積極的に働き、共同筋である大腿直筋の活動は抑制的であった。この大腿直筋は二関節筋であり、その筋活動は股関節の屈曲トルクを発揮する

ことになる。つまり、接地中に大腿直筋が活動するとキック動作である股関節の伸展を妨げることになるため、抑制されたのである。

V タイム分析による100mレースパターン

100m走では、走者はスタートからゴールまでほぼ全力で走り抜けるが、疾走速度はスタート後すぐに最高速度には達しない。このようなスタート後の加速の状況をもとに、筋機能や100mレースのペースについて研究されている。Furusawa et al. (1927a) は筋出力について調査するために、スタート後の疾走速度変化を次のような方法で測定している。コイルを巻いた支柱を走路に平行に立て、走者は胸に磁石を付けて走り、磁石がコイルに近づくと生じる電流を検出して支柱を通過する時間を求めている。彼らは走者が加速のために発揮する筋出力はスタートから最高速度に達するまで一定であるとし、その筋出力と粘性抵抗との差が外部に現れた推進力であると考え、運動方程式を立て推進力係数や粘性抵抗による速度の立ち上がりの遅れをあらわす係数を算出している。Henry and Trafton (1951) は走路に突き出た竹の棒を走者が体ではねることで電流回路を開閉させることにより通過時間を測定し、猪飼（1965）は光電管を使いFurusawa et al. (1927a) と同様の測定を行っている。

100m走のパフォーマンスに結びつけて疾走速度を分析したGundlach (1963) は、走者の靴のスパイクが地面に接すると電流が流れるようにし、スタートから100mまでの1歩毎の速度、歩幅、歩数の変化を測定した。それによると、疾走速度はスタート後30m—40mで最高速度に達し、その後ゴールに近づくにしたがいやや低下することを見出している。また、疾走速度の低下に伴い歩数も減少することや、記録の良いグループのほうが歩幅が長く歩数も多いことを報告している。猪飼（1965）は、小学生（男子160名、女子151名）については50m走、中学生から大学生（男子200名、女子167名）については100m走の疾走速度曲線を光電管を用いて測定している。それ

によると、小学生の50m走では年齢の増加とともに速度の立ち上がりには変化がないが最高速度が増加すること、それ以上の年齢の100m走ではGundlach (1963)と同様に30m—40mで最高速度に達し、50mから速度の低下が見られることを報告している。猪飼 (1965) は日本のオリンピック候補選手 (東京オリンピック) を含む陸上競技選手についても測定しており、スタート後60m—70m付近から速度の低下が開始する点の改善を指摘している。これらの研究が日本の短距離走に関する実践的な科学的取り組みの始まりであろう。

映画やビデオ分析を用い、世界規模の大会における100mレースの疾走速度変化が測定されている。International Athletic Foundationによる第2回世界陸上競技選手権大会 (ローマ, 1987) の科学報告書 (1988) によると、男・女選手ともに30mまでの加速時間がパフォーマンスに大いに関係し、優勝者は女子が4.15秒、男子が3.80秒であった。最高速度は30m—60mにおいて出現したが、中にはそれより後で最高速度が出現する選

手もいた。決勝進出者の最高疾走速度は男子が11.00m/s以上、女子が10.50m/s以上であり、優勝者は男子が11.76m/s、女子が10.75m/sであった。また、男子について30m—50mのタイムと80m—100mまでのタイムを比較すると、1名を除き決勝進出者は後半のタイムのほうが短かった。この傾向は決勝進出者以外ではほとんど観察されなかった。International Athletic Foundationによる科学報告書 (1990) は第14回ソウルオリンピック (1988) についても出版されている。東京で開催された第3回世界陸上競技大会では日本の研究者たち (阿江ほか, 1994) が独自に測定し、選手個人によって疾走速度曲線のパターンが異なることを明らかにしている。また、彼らは100mをいくつかの区間に分け、区間タイムから100mの記録を推定することができる回帰式を明らかにした (表1)。この回帰式を使えば、短距離選手の練習の目標を明確に設定できるので、指導現場において役立つと思われる。

表1 目標記録による標準区間タイムの推定 (阿江ほか, 1994)

	9"80	9"90	10"00	10"10	10"20	10"30	10"40	10"50
0—30m	3.80	3.83	3.86	3.88	3.91	3.93	3.96	3.98
0—60m	6.39	6.44	6.49	6.54	6.59	6.64	6.69	6.74
0—80m	8.07	8.14	8.22	8.29	8.36	8.44	8.51	8.58
30—60m	2.58	2.61	2.63	2.66	2.68	2.71	2.73	2.76
60—80m	1.68	1.71	1.73	1.75	1.77	1.80	1.82	1.84
80—100m	1.73	1.76	1.78	1.81	1.84	1.86	1.89	1.92
60—100m	3.41	3.46	3.51	3.56	3.61	3.66	3.71	3.76

	10"60	10"70	10"80	Estimation error
0—30m	4.01	4.03	4.06	± 0.04
0—60m	6.79	6.84	6.89	± 0.04
0—80m	8.66	8.73	8.80	± 0.02
30—60m	2.79	2.81	2.84	± 0.02
60—80m	1.86	1.89	1.91	± 0.02
80—100m	1.94	1.97	2.00	± 0.02
60—100m	3.81	3.86	3.91	± 0.04

0—30m	$Y=0.251x+1.345$
0—60m	$Y=0.508x+1.408$
0—80m	$Y=0.735x+0.866$
30—60m	$Y=0.257x+0.062$
60—80m	$Y=0.227x-0.542$
80—100m	$Y=0.265x-0.866$
60—100m	$Y=0.492x-1.408$

VI 疾走動作と疾走速度との関係

スタートダッシュの動作に関するものは、Volkov and Lapin (1979), Mero et al. (1983), 伊藤ほか (1994), 斉藤ほか (1997) などがあるが、実際の競技会に出場中の選手たちのクラウチングスタートの姿勢やスタート後の動作を報告しているのは伊藤ほか (1994) と斉藤ほか (1997) である。斉藤ほか (1997) の報告によると、スイング期の動作であるもも上げの高さはスタート後4歩目まで増加しその後一定の値となり、引き付け角度はスタート後中間疾走まで減少する傾向を示し、振り出し角度は逆に増加する。接地期のキック脚の最大伸展速度については、股関節の最大伸展速度はスタート1歩目から中間疾走（最高疾走速度）まで増加し、膝関節の最大伸展速度は逆に低下したが、足関節はスタート直後より中間疾走まで変化しなかった。

中間疾走に関しては、Fenn (1930), 村瀬ほか (1972), 斉藤ほか (1972), Mann and Hagy (1980), 斉藤・伊藤 (1985), Mann and Herman (1985), Mann et al. (1986), 宮下ほか (1986), 伊藤ほか (1986), 佐川ほか (1997), 伊藤道郎ほか (1997), 伊藤ほか (1998), 伊藤 (2000), Paradisis (2001) など、数多く報告されている。そして、これらに発育発達に関するものを含めると膨大な数になる。これらの報告のほとんどが、優秀選手だけを分析したり、速い者とそうでない者を比較することによって優秀選手の特徴を明らかにしようとしたものである。最近の傾向として、競技会における実際の100mレースにおける多数の選手たちの動作を分析することによって、疾走動作と疾走速度との相関関係をもとに高い疾走速度を持つ優秀選手の疾走動作の特徴を明らかにしようとしている。伊藤ほか (1998) は大学短距離選手から世界の一流選手までの男女71名を対象に、主に競技大会における100mレース中の中間疾走動作を分析し、疾走速度との相関関係をもとに高い疾走速度を得るための合理的な疾走動作を明らかにした。

それによると、スイング脚の動作では、もも上げの高さ（大腿と鉛直線のなす角度の最大値）や、もも上げ動作後の脚の前方への振り出し角度（くるぶしと大転子を結んだ線と鉛直線のなす角度の最大値）の大きさは疾走速度に関係なくほぼ一定の大きさであった（図5）。そして、もも上げと同時にされる引き付け動作の角度（膝関節の最小角度）は疾走速度が高い選手ほど大きい傾向を示した。これらの結果は、一般的に行われている指導である「ももを高く上げる」「膝関節を屈曲させてももを上げる」「脚を前へ大きく振り出す」などとは異なるものであった。

キック脚の動作では、接地中の足関節の最大伸展速度と疾走速度との以下のような関係を明らかにしている（図6）。股関節の最大伸展速度は疾走速度に関係なくほぼ一定の値を示し、膝関節と足関節の最大伸展速度は疾走速度が高い選手ほど低い値を示した。そして、これらの結果から、図7を用いて合理的なキック動作について解説して

図5 疾走速度とスイング動作との関係 (伊藤ほか, 1998)

図6 疾走速度とキック動作との関係 (伊藤ほか, 1998)

いる。図7 (A) のように、疾走速度の高い選手はキックの後半に膝関節を伸展しないため、股関節の伸展速度が脚全体のスイング速度に変換され高い疾走速度が得られる。逆に、図7 (B) のように、疾走速度の低い選手はキック後半に膝関節を伸展するため、股関節の伸展速度が膝関節の伸展動作として吸収されてしまい、脚全体のスイング速度に変換されない。さらに、伊藤 (2000) は、足関節の伸展動作が身体重心の上下動を生む原因となることを示し、疾走速度の高い選手ほど足関節の最大伸展速度が低い理由を明らかにした。

VII おわりに

短距離走のパフォーマンスは、筋出力とそれを走速度へ有効に転換する技術によって決まる。まず、短距離走における筋出力に関しては以下のようにまとめることができる。機械的効率は筋の伸張短縮弾性エネルギーの貢献度を示すと考えられ

図7 キック動作のモデル (伊藤ほか, 1998)

ているが、短距離走のパフォーマンスに筋の弾性エネルギーがどれほど関与しているのかについては、これまでの研究では解明されたとはいえない。しかし、短距離走は長距離走に比べ弾性エネルギーがパフォーマンスに貢献する可能性は少ないと考えたほうが合理的である。なぜなら、多くの研究結果を総合すると、手法はやや異なっているが短距離走のほうが長距離走よりも機械的効率が低い傾向にあり、短距離走の機械的効率の値が摘出筋の単純な筋の短縮時の効率に近いからである。このことは、短距離走においてより高い疾走速度を得るには、SSCの筋活動より単純な筋の短縮力が重要であること示唆している。

上述のように、短距離走ではパワーの発揮が跳躍時のように弾性エネルギーに頼ることができないとなれば、なおさら短縮力の強化が必要となるが、それは高い速度で移動する地面に対して短時間に (疾走速度が高いと接地時間は自ずと短くなってしまふ) 大きな力を発揮できる短縮力である。さらに、筋力・筋パワートレーニングの処方にあたって、疾走動作と筋力発揮のタイミングを十分に考慮する必要がある。動作とそれに関与する筋群と筋活動様式を理解しないで筋力・筋パワートレーニングを処方することはできないからである。

短距離走のパフォーマンスは技術的な要因によっても大きな影響を受ける。合理的な技術を身に付けるには、まず選手や指導者が合理的な疾走動

作を客観的に理解しなければならない。これまでの疾走動作に関する研究結果では、もも上げの高さや引きつけ動作の角度など、キック後の脚を前へ運ぶ動作は疾走速度に関係しないことが報告されている。また、キック動作においては股関節の伸展速度を脚全体のスイング速度に効果的に変換するにはキックの後半に膝関節を伸展しないことが重要であり、足関節の伸展動作（スナップ動作）は身体重心の上下動を少なくするために足関節の伸張動作（スナップ動作）を少なくすることも重要であることなど、これまで一般に行われてきた指導内容と異なった結果も報告されている。つまり、これまでの科学研究の成果がコーチング現場における指導内容の修正の必要性を指摘し、修正の方向をも示唆することができたといえよう。

以上、短距離走のこれまでの研究成果を概観してきたが、今後の研究課題として、以下の点を上げることができよう。1) 追跡研究：すでに得られた知見を利用して体力トレーニングや技術トレーニングを行い、それによってパフォーマンスがどのように変化するかを調べる。あるいはパフォーマンスが向上した（低下した）選手の動作や体力の推移を調べ、研究結果と実践の状況を比較検討する。2) 疾走速度との相関関係：これまで数多くの研究がなされているが、疾走速度との関係を明らかにした研究は少ない。確かにエネルギーが必要な作業となるが、パフォーマンスの異なる多くの選手の測定値（例；EMG，地面反力，関節トルク，動作，体力）と疾走速度との関係を明確に示すことが求められるだろう。3) 競技会での測定：最高のパフォーマンスは実験条件下ではなく、競技会において得られる。これまで競技会においては疾走速度変化や疾走動作などが測定されているが、測定機器の進歩や競技会の主催者などの協力が得られればさらに多くの知見を得ることができる。4) 生化学的な研究：長距離走に比べて、エネルギー産生などに関連した研究が著しく少なく、今後この分野を専門にしている研究者の活動が期待される。5) 研究成果の現場への還元：指導現場に役立つ普遍性をもった研究成果を示すことがこれまでの短距離走の研究者の仕事

であったが、今後はそれをどのように現場で活かすことができるのかについて、アイデアを提供する必要がある。さらに詳しく短距離走を研究するだけでなく、短距離走のパフォーマンス向上に役立つ研究成果を収集し現場に還元することも重要な課題である。

文 献

- Ae, M., Miyashita, K., Shibukawa, K., Yokoi, T., and Hashihara, Y. (1985) Body segment contributions during the support phase while running at different velocities. In: Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, K.C and Petla, A.E (Eds.) Biomechanics IX-B. Human Kinetics: Champaign, pp. 343-349.
- 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・洪川侃二（1986）機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度．筑波大学体育科学系紀要 9：229-239.
- 阿江通良・鈴木美紗緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬靖（1994）世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析．日本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．ベースボール・マガジン社：東京，pp. 14-28.
- Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscle during exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 92: 537-545.
- 馬場崇豪・和田幸洋・伊藤 章（2000）短距離走の筋活動様式．*体育学研究* 45：186-200.
- Cavagna, G.A., Saibene, F.P., and Margaria, R. (1964) Mechanical work in running. *J. Appl. Physiol.* 19: 249-256.
- Cavagna, G.A. and Kaneko, M. (1977) Mechanical work and efficiency in level walking and running. *J. Physiol.* 268: 467-481.
- Elftman, H. (1940) The work done by muscles in running. *Am. J. Physiol.* 129: 672-684.
- Fenn, W.O. (1930) Frictional and kinetic factors in the work of sprint running. *Am. J. Physiol.* 92: 583-611.
- Furusawa, K., Hill, A.V., and Parkinson, J.L. (1927a) The dynamics of "Sprint running". *Proc. Roy. Soc. B*, 102: 29-42.

- Furusawa, K., Hill, A.V., and Parkinson, J.L. (1927b) The energy used in "Sprint running". *Proc. Roy. Soc. B*, 102: 43-50.
- 後藤幸弘・松下健二・本間聖康・辻野 昭 (1983) 筋電図による走の分析—歩幅・歩数の変化を中心として—. バイオメカニクス学会編 身体運動の科学IV スポーツのバイオメカニクス. 杏林書院: 東京, pp. 15-33.
- Gregor, R.J. and Kirkendall, D. (1978) Performance efficiency of world class female marathon runners. In: Asmussen, E. and Jorgensen, K. (Eds.) *Biomechanics V-B*. University Park Press: Baltimore, pp. 40-45.
- Gundlach, H. (1963) Laufgeschwindigkeit und Schrittgestaltung im 100-m-lauf. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, H3: 254-262, H4: 346-359, H5: 418-425.
- Henry, F.M. and Trafton, I.R. (1951) The velocity curve of sprint running. *Res. Quart.* 22: 409-422.
- 猪飼道夫 (1965) 陸上競技. 東京オリンピックスポーツ科学研究報告. 広研印刷: 東京, pp. 37-110.
- International Athletic Foundation (Ed) (1988) Scientific report on the II world championship in athletics Rome 1987. printed by Marshallarts: England, pp. 1-35.
- International Athletic Foundation (Ed) (1990) Scientific research project at the games of the XXXIV Olympiad-Seoul 1988. printed by Arti Grafiche Danesi: Italy.
- 伊藤 章 (1982) 走運動の効率. *J. J. Sports Sci.* 1: 285-290.
- Ito, A., Komi, P.V., Sjödin, B., Bosco, C., and Karlsson, J. (1983) Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15: 299-308.
- Ito, A., Fuchimoto, T., and Kaneko, M. (1985) Quantitative analysis of EMG during various speeds of running. In: Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, K.C., and Petla, A.E. (Eds.) *Biomechanics IX-B*. Human Kinetics: Champaign, pp. 301-306.
- 伊藤 章・古場敬子・金子公宥・淵本隆文 (1986) 下肢の動作要因と走速度の関係. 第8回日本バイオメカニクス学会大会論集. 一ツ橋印刷: 東京, pp. 135-139.
- 伊藤 章 (1990) 跳および走における下肢筋の筋放電特性. *J. J. Sports Sci.* 9: 137-142.
- Ito, A., Saito, M., Fuchimoto, T., and Kaneko, M. (1991) Progressive changes of joint power in sprint starts. In: Marshall, R.N., Wood, G.A., Elliot, B.C., Ackland, T.R., and McNair, P.J. (Eds) *Proceedings of XIII International Congress on Biomechanics*. The University of Western Australia: Perth, pp. 78-79.
- 伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・加藤謙一・森田正利・小木曾一之 (1994) 世界一流スプリンターの技術分析. 日本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. ベースボール・マガジン社: 東京, pp. 31-49.
- 伊藤 章・斉藤昌久・淵本隆文 (1997) スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー, および筋放電パターンの変化. *体育学研究* 42: 71-83.
- 伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究* 43: 260-273.
- 伊藤 章 (2000) 短距離走におけるスナップの意味. *バイオメカニクス研究* 4: 159-163.
- 伊藤道郎・斉藤昌久・佐川和則・市川博啓・加藤謙一・伊藤 章 (1997) アジア女子トップスプリンターの中間疾走フォーム. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 アジア一流陸上競技者の技術. 創文企画: 東京, pp. 49-63.
- 金子公宥・北村潔和 (1975) 100m 疾走のスピード逓減要因に関するキネシオロジー的分析. 日本体育協会スポーツ研究報告 5: 12-20.
- Kaneko, M., Ito, A., Fuchimoto, T., and Toyooka, J. (1983) Effects of running speed on the mechanical power and efficiency of sprint and distance runners. *J. Physiol. Soc. Japan* 45: 711-713.
- Lloyd, B.B. and Zacks, R.M. (1972) The mechanical efficiency of treadmill running against a horizontal impeding force. *J. Physiol.* 223: 355-363.
- Mann, R.A. and Hagy, J. (1980) Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am. J. Sports Med.* 8: 345-350.
- Mann, R.V. (1981) Kinetic analysis of sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 13: 325-328.
- Mann, R. and Herman, J. (1985) Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Mens 200 meters. *Int.*

- J. Sport Biomech. 1: 151-162.
- Mann, R.V., Moran, G.T., and Dougherty, S.E. (1986) Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running, and sprinting. *Am. J. Sports Med.* 14: 501-510.
- Margaria, R., Cherretelli, P., Aghemo, P., and Sassi, G. (1963) Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18: 367-370.
- 松下健二・後藤幸弘・岡本 勉・辻野 昭・熊本水頼 (1974) 走の筋電図的研究. *体育学研究* 19: 147-156.
- Mero, A., Luhtanen, P., and Komi, P.V. (1983) A biomechanical study of the sprint start. *Scand. J. Sci.* 5: 20-28.
- Mero, A. and Komi, P.V. (1987) Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 266-274.
- Mero, A. and Komi, P.V. (1990) Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61: 73-80.
- Mero, A., Komi, P.V., and Gregor, R.J. (1992) Biomechanics of Sprint Running. *Sports Medicine* 13: 376-392.
- 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *J. J. Sports Sci.* 5: 892-898.
- 宮丸凱史編 (2001) 疾走能力の発達. 杏林書院: 東京.
- Norman, R.W., Sharatt, M.T., Pezzack, J.C., and Noble, E.G. (1976) Re-examination of the mechanical efficiency of horizontal treadmill running. In: Komi (Ed) *Biomechanics V-B*. University Park Press: Baltimore, pp. 87-93.
- Paradisis, G.P. and Cooke, C.B. (2001) Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *J. Sports Sci.* 19: 149-159.
- 村瀬 豊・亀井貞次・星川 保・宮下充正・松井秀治 (1972) 陸上競技選手と非鍛錬者とに見られる走行中の足の動きの速さの違いについて. *体育学研究* 16: 273-279.
- Nummela, A., Heikki, R., and Mero, A. (1994) EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 605-609.
- Pugh, L.G.C. (1971) The influence of wind resistance in running and walking and mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J. Physiol.* 213: 255-276.
- Robertson, D.G. (1987) Function of the leg muscles during the stance phase of running. In: Jonsson, B. (Ed) *Biomechanics X-B. Human Kinetics: Campaign*, pp. 1021-1027.
- 佐川和則・斉藤昌久・伊藤道郎・加藤謙一・市川博啓・伊藤 章 (1997) アジア・トップスプリンターの中間疾走フォーム. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 *アジア一流陸上競技者の技術*. 創文企画: 東京, pp. 33-48.
- 斉藤昌久・伊藤 章 (1985) 2歳児から世界一流短距離選手までの中間疾走能力の変化. *体育学研究* 40: 104-111.
- 斉藤昌久・伊藤 章・佐川和則・伊藤道郎・加藤謙一・市川博啓 (1997) アジア・トップスプリンターのスタートダッシュの動作分析. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 *アジア一流陸上競技者の技術*. 創文企画: 東京, pp. 11-31.
- 斉藤 満・星川 保・宮下充正・松井秀治 (1972) 走速度増加に対応する下肢関節の動きについて. *体育学研究* 16: 265-271.
- Sargent, R.M. (1926) The relation between oxygen requirement and speed in running. *Proc. Roy. Soc. B.* 100: 10-22.
- Simonsen, E.B., Thomsen, L., and Klausen, K. (1985) Activity of mono-and biarticular leg muscles during sprint running. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54: 524-532.
- Sprague, P. and Mann, R.V. (1983) The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Res. Q. Exerc. Sport* 54: 60-66.
- Volkov, N.I. and Lapin, V.I. (1979) Analysis of the velocity curve in sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 11: 332-337.
- Zacks, R.M. (1973) The mechanical efficiency of running and bicycling against a horizontal impeding force. *Int. Z. angew. Physiol.* 31: 249-258.

(平成14年9月20日受付)
(平成15年1月25日受理)