

上肢の無氣的作業能が400m走タイムおよび走速度逡減に及ぼす影響

尾縣 貢¹⁾ 高本 恵美^{2,3)} 伊藤新太郎⁴⁾

Influence of anaerobic work capacity of upper limbs on 400m running time and decrease in running speed

Mitsugi Ogata¹, Megumi Takamoto^{2,3} and Shintaro Ito⁴

Abstract

A study was conducted to investigate the influence of anaerobic work capacity of the upper limbs on the decrease in running speed during 400 m running. Ten track and field athletes were used to obtain data on change during 400 m running and anaerobic work capacity of the upper and lower limbs. Maximal power, mean power and power decreasing ratio during thirty seconds cranking and pedaling were measured. Lactate concentrations after running, cranking and pedaling were also measured. There was a significant relationship between 400 m running time and the value obtained by dividing lactate concentration after cranking by that after 400 m running ($r=-0.761$, $p<0.01$). Running speed over a distance of 400 m began to decrease after 80 m, and kept on decreasing until the finish. The change in running speed after 80 m was expressed as a linear regression equation, and the regression gradient was interpreted to be an index of the decrease in running speed. Subjects who showed a smaller decrease of running speed tended to record a shorter time for the 400m run. No variables related to anaerobic power had a significant relationship with the index. However, significant relationships were shown between the power decreasing ratio of cranking and pedaling, and the decrease in speed from the 320–360 m to the 360–400 m portion, respectively ($r=0.766$, $p<0.01$; $r=0.709$, $p<0.05$). These results suggest that the anaerobic work capacity of the upper limbs influences 400 m running performance indirectly.

-
- 1) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
- 2) 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
- 3) 大阪体育大学
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1
- 4) 恵庭南高等学校
〒061-1412 北海道恵庭市白樺町4-1-1
- 連絡先 尾縣 貢

1. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
3. *Osaka University of Health and Sport Sciences*
1-1 Asashirodai, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0496
4. *Eniwa-Minami High School*
4-1-1 Shirakaba-cho, Eniwa, Shirakaba 061-1412
- Corresponding author mitsugu@taiiku.tsukuba.ac.jp

Key words : arm swing, pedaling, cranking, power, lactate acid

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 573-583, September, 2003)

キーワード：腕振り、ペダリング、クランキング、
パワー、乳酸

目 的

スプリントランニングにおける推進力は、直接的には下肢のキック動作によって得られる。そのため、スプリントのバイオメカニクスの研究は、下肢の動作に注目したものが多く (Chapman and Caldwell, 1983; Chapman et al., 1984; Simonsen et al., 1985; 宮下ほか, 1986; Robertson, 1987; 阿江ほか, 1986; 阿江ほか, 1988; 伊藤ほか, 1992; 伊藤ほか, 1997b; 伊藤ほか, 1998; Paradisis and Cooke, 2001), それらの研究成果として、高い疾走速度を生み出すための合理的な疾走動作が明確にされてきた。その一方で、報告数は多くはないが、スプリント中の上肢の動作 (腕振り動作) についても研究が進められ、スプリントにおける腕振りの効果についての検討がなされてきた (岡野・渡部, 1979; Hinrichs et al., 1983; 山田ほか, 1986; Bhowmick and Bhattacharyya, 1988; 伊藤, 1991; 小木曾・阿江, 1992)。これらの報告から腕振りの効果を要約すると、下肢の動きにより生じるねじれを解消しバランスを取る (Hinrichs et al., 1983; 山田ほか, 1986), 膝の上がりが高くストライドを伸ばす (岡野・渡部, 1979), ピッチやストライドを調整する (伊藤, 1991), スタートダッシュ時の脚の運動を調節し、ストライドを増加させるとともに強い推進力を得ることを促進する (Bhowmick and Bhattacharyya, 1988) などとなる。このように腕振りの効果については統一した見解は得られていないが、疾走速度を高めることに間接的に貢献していることには疑う余地はない。

スプリントに関する研究は、バイオメカニクスの見地からだけでなく、生理学的見地 (体力的見地) から数多くなされ、スプリントにおける

筋力、パワー、筋持久力の重要性が明らかにされてきた。これらの報告でも下肢を対象としているものが圧倒的に多く (石井ほか, 1987; Alexander, 1989; 尾縣ほか, 1990; 杉田ほか, 1992; 高木・田口, 1992; 山本ほか, 1992; Young et al., 1995; 狩野ほか, 1997; Dowson et al., 1998; 尾縣ほか, 1998a; 尾縣ほか, 1998b; Kukolj et al., 1999; 尾縣ほか, 2000; 渡邊ほか, 2000; Chelly and Denis, 2001), 上肢を取り上げたものは、榎本ほか (1996) の上肢の無氣的作業能と 100m, 200m 走のタイムとの関係を検討したものしか見当たらない。そのために、スプリントにおける上肢の筋力やパワーの重要性は明確にされているとはいいがたい。しかしながら、バルセロナ・オリンピック 400m で決勝進出を果たした高野進氏が 400m 走後半で速度を維持するために腕振りの持久性を高めるトレーニングを多く取り入れたり (高野, 1993), 指導書において上肢の筋力やパワーを高めるトレーニングの必要性が説かれていること (宮丸, 1976) を考えると、上肢の作業能はスプリントパフォーマンスに影響を及ぼす要因の一つだと考えることができよう。

短距離走種目の中でも本研究で取り上げた 400m 走においては上肢の働きが特に重要になってくると考える。なぜなら、400m レース中には乳酸の蓄積と筋のアシドーシスが進行していき (Hirvonen et al., 1992), レース後半には下肢動作は変容するため (Sprague and Mann, 1983; 伊藤ほか, 1997; 羽田ほか, 2001; 安井ほか, 1998), 上肢の動作により、変容した下肢動作とのバランスを取ったり、ピッチやストライドの低下を最小限に抑える必要性が生じてくると推察するからである。そこで、上肢の作業能は 400m 走のパフォーマンスや走速度変化に影響を及ぼすという仮説を立てた。

この仮説を検証するために、本研究では上肢の作業能と 400m 走のパフォーマンスおよび速度遞減との関係について検討した。Hill (1999) は、

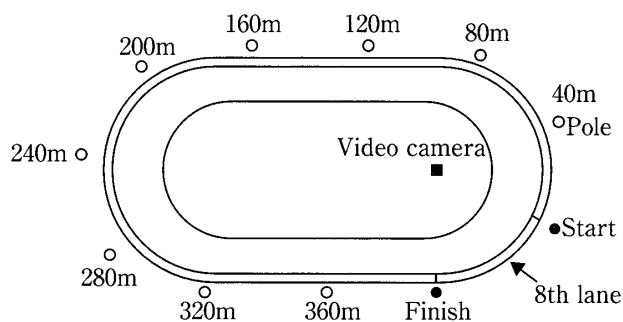


Fig. 1 Measurement set up for 400m running trial

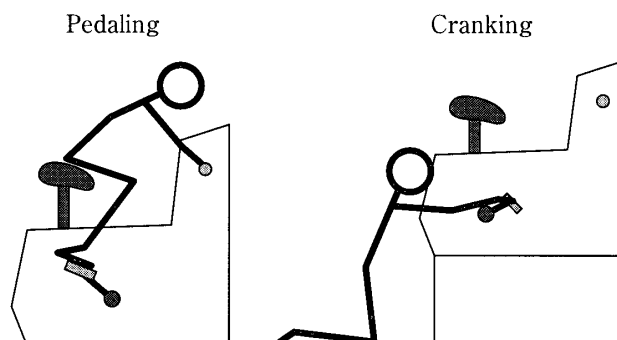


Fig. 2 Posture of pedaling and cranking

400mレース中の必要エネルギーの68%を, Lacour et al. (1993) は, 72%を無氣的エネルギー供給系から受けていると報告していることから, 400m走に必要なエネルギーの2/3以上は無氣的エネルギー供給系に依存していることが分かる. そこで, 400m走に最も強い影響を及ぼすと考えられる無氣的作業能に焦点を当て, 30秒間のクランキングとペダリングを測定項目として選択した.

II 研究方法

400m走中の走速度変化, 下肢の無氣的作業能の測定および上肢の無氣的作業能の測定は, 疲労を考慮して, それぞれ別の日に実施した.

1. 被検者

被検者は, 陸上競技の十種競技を専門種目とする男子学生10名であった. 400m走ベスト記録(公認記録)は 50.70 ± 1.38 秒(平均 \pm 標準偏差), 年齢は 21.0 ± 1.2 yrs, 身長は 1.778 ± 0.046 m, 体重は 73.5 ± 8.0 kgであった.

被検者には, 本研究の趣旨, 内容および苦痛についても説明し, 参加の同意を得た.

2. 400m走中の走速度変化の測定

十分なウォーミングアップを行わせた後, 400m走を実施した. 400m走は, 400mトラックの8レーンを用い, レースを想定して, 1人ずつクラウチングスタートからピストルの合図で行った. このときペース配分に関する指示は行わな

った.

40m毎の所要タイムを測定するために, フィールド内に1台のビデオカメラ(Sony社製DCR LVX1000, 60fps)を設置し, スタートからゴールまでを毎秒60コマでパニング撮影した. それぞれの地点の通過が分かるように, カメラとレーン上の40m間隔のポイント(内側のラインから20cmの地点)を結んだ線上にポールを立てた. 測定での器具設置は, Fig. 1の通りであった.

3. 上肢および下肢の無氣的作業能の測定

無氣的作業能を測定するために自転車エルゴメータ(竹井機器社製TKK1254a)を用いた. 下肢の無氣的作業能は, Wingate Anaerobic Test (Dotan and Bar-or, 1983)にならう体重の7.5%の負荷で30秒間の全力ペダリング運動により測定した. サドルの高さは, 被検者自身が運動を行いやすい高さに調節し, 測定中はサドルから腰を上げないように指示した. 上肢の無氣的作業能の測定に際しては, ペダル部分をクランキング用に交換し, 30秒間の全力クランキング運動を実施した. 本研究では, クランキング運動の負荷は, 先行研究(Dotan and Bar-or, 1983; 榎本ほか, 1996)と予備実験を参考に体重の3.7%とした. エルゴメータは被検者の肩関節が回転軸の高さになるように調節し, 運動中は他の身体部位の影響を小さくするために, 腕だけで漕ぐように指示した. ペダリング運動およびクランキング運動の各実験試技に関して, 被検者には最初から最後まで常に全力を出しきるよう指示し, ペース配分およ

びラストスパートを行わないよう注意した。なお、測定姿勢については Fig. 2 に示した。

自転車エルゴメータから出力されたデータをコンピュータに取り込み記録した。得られたデータから1秒ごとのパワーを算出し、30秒間における最大パワー、最小パワー、30秒間の平均パワー、運動中のパワー低下率(①式)を算出した。このパワー低下率を、上肢および下肢の無氣的持久性の指標とした。パワー低下率は低いほど、無氣的持久力が優れていることを示す。なお、最大パワー、最小パワーについては、体重比を用いた。

パワー低下率 = (最大パワー - 最小パワー) / (最小パワー出現時間 - 最大パワー出現時間) ……①

4. 乳酸値の測定

Hirvonen et al. (1992) は、400m 走における速度逡減の原因は、CP が枯渇し、乳酸の蓄積が最大になることであると指摘している。そこで、乳酸の蓄積は、400m 走中の速度逡減の原因の一つであると考え、本研究でも400m 走後の乳酸値を測定し、速度逡減との関係を検討することにした。また、ペダリング、クランキングの遂行能力と血中乳酸濃度との関係を検討するため、それぞれの運動5分後の乳酸値を測定した。採血は、尾縣ほか(1998)の報告にならい運動終了5分後に手指先から採血した。血液は、自動乳酸分析器(YSI社製、Model 23L Lactate analyzer)により

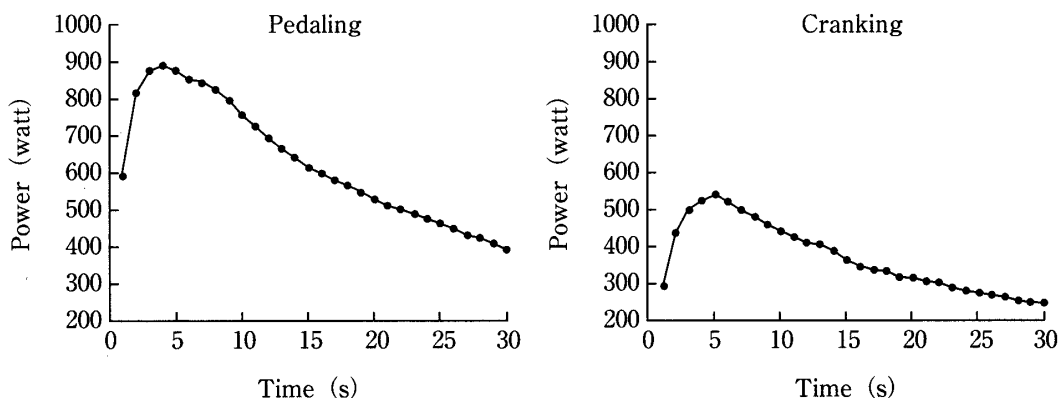


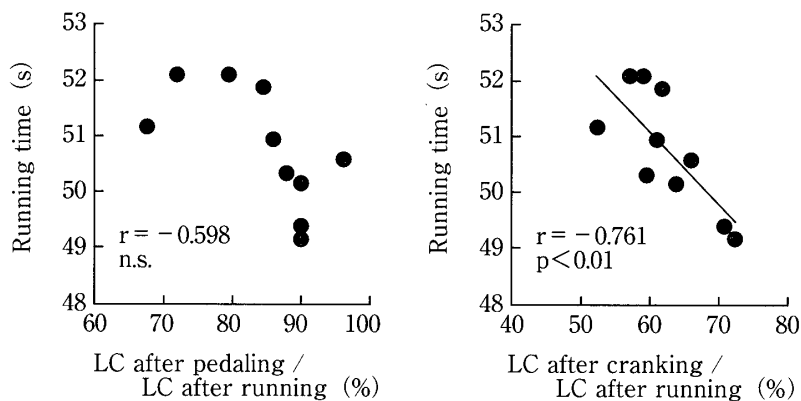
Fig. 3 Changes of power during 30s pedaling and cranking

Table 1 Results of measurements, and relationship with 400m running time

Variables	Mean	S.D.	R with 400m running time
400m running			
400m running time (s)	50.77	1.07	—
Lactate concentration (mmol/l)	13.3	1.1	0.608
Pedaling			
Max. power/BW (Watt/kg)	12.51	0.77	- 0.311
Mean power/BW (Watt/kg)	8.85	0.50	0.124
Decreasing ratio of power	20.5	3.0	- 0.334
Lactate concentration (mmol/l)	11.2	1	- 0.152
Cranking			
Max. power/BW (Watt/kg)	6.18	0.46	- 0.227
Mean power/BW (Watt/kg)	4.65	0.34	- 0.347
Decreasing ratio of power	12.8	1.1	0.083
Lactate concentration (mmol/l)	8.3	0.8	- 0.203

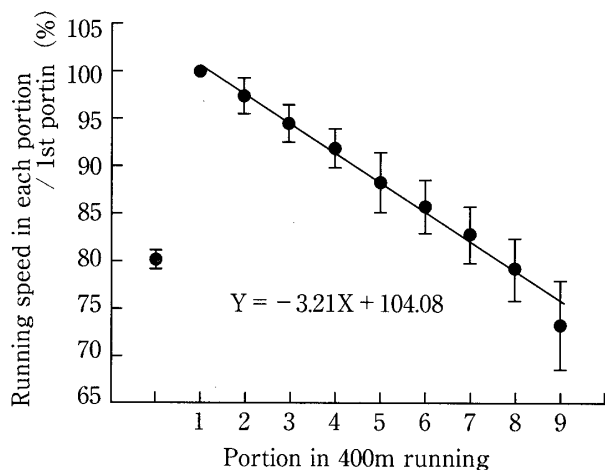
S.D.: standard deviation R: coefficient of correlation

* $p < 0.05$



LC: Lactate Concentration

Fig. 4 Relationship between the values dividing lactate concentration after pedaling and cranking by that after 400m running, and 400m running time.



- 1: 40-80m portion
- 2: 80-120m portion
- 3: 120-160m portion
- 4: 160-200m portion
- 5: 200-240m portion
- 6: 240-280m portion
- 7: 280-320m portion
- 8: 320-360m portion
- 9: 360-400m portion

Fig. 5 Change of relative running speed from the 80m point to the finish during 400m running. (mean ± standard deviation)

Relative running speed: ratios of the speed in each portion to the speed in 40-80m portion.

Table 2 Relationships of measurement variables with regression gradients which show the decrease on running speed during 400m running

Variables	R with regression gradient
400m running	
Lactate concentration (mmol/l)	0.684*
Pedaling	
Max. power/BW (Watt/kg)	- 0.006
Mean power/BW (Watt/kg)	- 0.038
Decreasing ratio of power	0.049
Lactate concentration (mmol/l)	0.374
Cranking	
Max. power/BW (Watt/kg)	0.164
Mean power/BW (Watt/kg)	- 0.029
Decreasing ratio of power	0.454
Lactate concentration (mmol/l)	0.284

S.D.: standard deviation R: coefficient of correlation

* p < 0.05

III 結 果

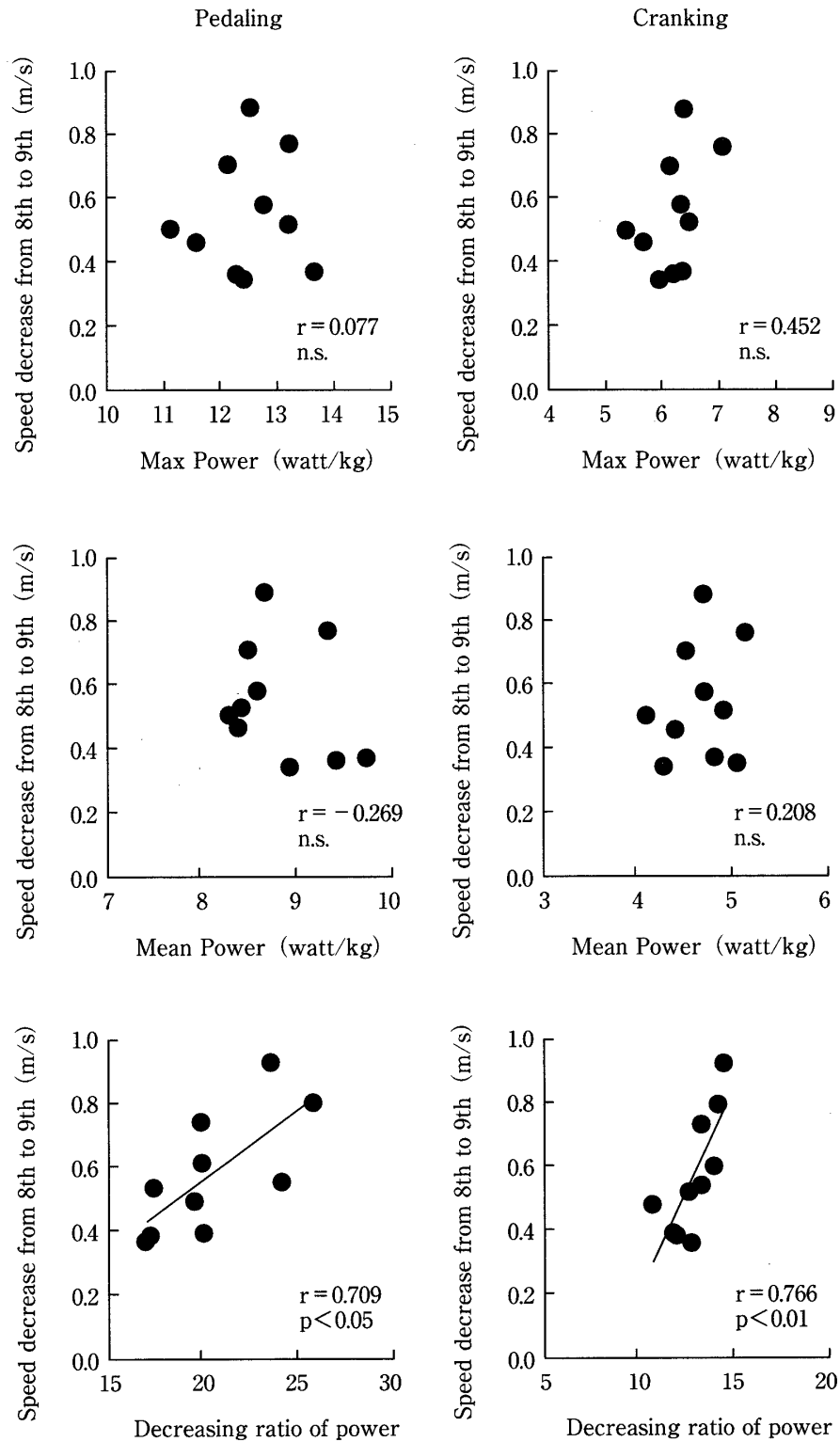
1. 400m走タイムと諸要因との関係

Fig. 3は、1名の被検者の30秒間ペダリングおよびクランキング中のパワーの変化を表したものである。Table 1は、400m走測定タイム(以後、400m走タイムとする)、ペダリングとクランキングにおける最大パワー、平均パワー、パワー低下率および400m走、ペダリング、クランキング

分析を行った。

5. 統計処理

各測定値は、平均値±標準偏差で表した。測定値間の関係は、ピアソンの相関分析を用いて検討した。統計的有意水準は、すべて5% (p < 0.05) とした。



8th: 320-360m portion
9th: 360-400m portion

Fig. 6 Relationships between anaerobic work capacity of lower and upper limbs, and change of speed from 320—360m to 360—400m portion.

の終了後の血中乳酸値などの測定項目値を平均値と標準偏差で示し、400m走タイムとの相関係数を付記したものである。400m走タイムは、いずれの測定項目との間にも有意な相関関係は認められなかった。

Fig. 4は、ペダリング後とクランキング後の乳酸値をそれぞれ400m走後の乳酸値で除し、400m走タイムとの関係を示したものである。クランキング乳酸値/400m走後乳酸値と400m走タイムの間には、 $r = -0.761$ ($p < 0.01$)の相関関係が認められた。

2. 400m走中の速度逓減と諸要因との関係

Fig. 5は、400m走中の最高速度を示した40—80m区間を第1区間とし、80—120mを第2区間……360—400mを第9区間とし、第2区間以降の走速度を400m走中最高速度（第1区間速度）との割合（百分率）で示したものである。ここでは独立変数を1から9までの区間を表す数字、従属変数を区間速度/400m走中最高速度（第1区間速度）を百分率で示した値とする直線回帰式と、両変数間の相関係数を算出した。その結果、回帰式の傾きは、 -2.56 から -4.30 の範囲（ -3.21 ± 0.62 ）、その相関係数は、 -0.973 から -0.993 で、全ての被検者が0.1%水準で有意な相関関係を示した。この図には10名の平均走速度変化から算出した回帰直線も付記している。このことから、400m走中の速度逓減を、この直線回帰式の傾きで示すことが妥当であると解釈できる。本研究では、この傾きを絶対値で表し、速度逓減指標とした。速度低減指標と400m走タイムの間には $r = 0.658$ ($p < 0.05$)の有意な相関関係が認められた。

Table 2は、速度逓減指標とペダリングとクランキングにおける最大パワー、平均パワー、パワー低下率および400m走、ペダリング、クランキング終了後の血中乳酸値などの測定項目値との間の相関係数を示している。速度逓減指標と400m走後の乳酸値との間に $r = 0.684$ ($p < 0.05$)の有意な相関関係が認められた。

Fig. 6は、ペダリングおよびクランキングにお

ける最大パワー、平均パワーおよびパワー低下率と、第8区間から第9区間への速度減少値との関係を示している。減少値とペダリングのパワー低下率との間に $r = 0.709$ ($p < 0.05$)、クランキングのパワー低下率との間に $r = 0.766$ ($p < 0.01$)の有意な相関関係があった。

IV 考 察

本研究の400m走タイムは、 50.77 ± 1.07 秒であり、公認の400m走タイム 50.70 ± 1.38 秒に対して、達成率は99.8%であった。測定では10名の被験者のうち、3名が公認タイムを上回る高いパフォーマンスを示した。これは、400mランナーを対象に全力疾走を課したHirvonen et al. (1992)の研究における達成率93.8%、Rusko et al. (1993)の94.8%、Nummela et al. (1994)の93.8%、尾縣ほか(1998a)の95.7%と比較しても極めて高い値であった。このことから、本研究では実際の400m走レースに近いペースで測定試技が行えたものと推測できる。

Fig. 5に示された400m走中の走速度変化およびFig. 3に示されたペダリング、クランキング中のパワー変化を比較すると、全ての値が運動開始後急激に上昇し、最大値に達し、その後運動終了に向けて徐々に低下するという類似した変化パターンを示したことが分かる。本研究では、無氣的作業能を400m走に最も強い影響を及ぼす体力的要因と考え、30秒間のペダリングとクランキングを測定項目として選んだが、上述のように変化パターンが類似していることから、測定項目の選択は妥当であったと考えられる。

1. 400m走タイムと諸要因との関係

Hill (1999)は、400mレース中の必要エネルギーの68%を、Lacour et al. (1993)は、72%を無氣的エネルギー供給系から受けていると報告している。このことから、無氣的作業能に優れることが400m走のパフォーマンスを高めるうえで重要であるものと考えられる。実際に、尾縣ほか(1998a)は、トレッドミルでの50秒程

度でオールアウトに至る全身運動後15分の酸素負荷量と400m走タイムとの間には、有意な相関関係 ($r = -0.558$, $p < 0.05$, $n = 15$) があったことを報告している。しかし、本研究では、下肢の無氣的作業能と400m走タイムとの間には有意な関係は認められなかった。同じように30秒のペダリング中のパワー発揮能力と400m走のパフォーマンスとの間に有意な関係が認められるという指摘は、これまでにも見当たらない。尾縣ほか(2000)は、日本一流400mランナー3名(最高タイム; 45.53秒, 45.57秒, 46.03秒)の30秒間のペダリング中の発揮パワーを測定しているが、これら3名の平均パワーを計算すると $9.38 \pm 0.17 \text{ Watt/kg}$ となり、本研究の被検者10名の $8.85 \pm 0.50 \text{ Watt/kg}$ との間に有意な差は認められない ($p = 0.0985$)。このことから、30秒間のペダリング中の平均パワーは、トレーニングを積んだ競技者グループのレベルにおいてはパフォーマンスを直接的に影響を及ぼす要因にはなり得ないと考えられる。

また上肢の無氣的作業能と400m走タイムとの間にも有意な関係が認められなかったが、それぞれの運動後の乳酸値から興味深い知見が得られている。クランキング後乳酸値/400m走後乳酸値と400m走タイムとの間には、負の有意な相関関係が存在するのである。このうちの400m走後乳酸値は、速度逓減指標と有意な正の相関関係にあることから、400m走では乳酸濃度を高めないことが走速度を維持するうえで有利に働くと考えることができる。しかし、クランキング後乳酸値とクランキングパワー低下率との間には有意な関係が認められなかったことから ($r = 0.308$, $p = 0.400$)、乳酸の蓄積をクランキングパワー低下の直接的な原因としてあげることにはできない。征矢ほか(1992)の、脚筋群主体のトレーニングを行っている競技者ではクランキング中に中枢応答が最大に達する前に上肢の局所疲労が生じ、運動継続が困難になる可能性があるという指摘を参考にすると、本研究の被検者においても、乳酸蓄積が発揮パワー低下の原因になるほど迄には、クランキングが強度の高い無氣的運動にはなりえなかった可

能性が考えられる。このような被検者のなかには、クランキングで相対的に(400m走後乳酸値に対して)多くの乳酸を産出できた者、すなわち上肢の無氣的運動を遂行する能力が高かった者の方が400m走タイムは優れていたと解釈することができる。Bergh et al. (1976)は、約5分の最大強度のペダリング運動に4種類の強度のクランキングを腕への負荷として与えていく実験から、腕の疲労の影響によって脚の運動が制限される可能性を見出している。この指摘と本研究の結果を合わせ考えると、上肢、下肢ともが同時に高強度の無氣的運動を遂行するような400m走では、上肢の無氣的運動の遂行能力が400m走パフォーマンスに影響を及ぼす要因の一つになると推察できる。

2. 400m走中の速度逓減と諸要因との関係

10名全員が40—80m区間で最高速度を示し、その後、ゴールに向かって走速度は逓減し続けた。この逓減の度合いを示す速度逓減指標と400m走タイムの間には、有意な関係が認められ、400m走中の速度逓減を抑えることが400m走タイムを短縮することにつながるということが明らかになった。そして、速度逓減は、400m走後の乳酸値が高い者ほど著しいという関係が認められた。400m走後の乳酸値と400m走タイムの間には有意な相関関係が認められていないが、乳酸の蓄積は400m走のタイムに間接的に影響を及ぼす要因であるものと解釈することができる。

この速度逓減指標は、上肢および下肢の無氣的作業能との間に有意な相関関係は認められなかった。これまでにも、400m走中の80m以降の速度逓減は全身の無氣的作業能を示す酸素負荷量との間には有意な関係が認められなかったという報告(尾縣ほか, 1998a)、400m走後半での速度維持に影響を及ぼす股関節伸展・屈曲筋群の持久性と酸素負荷量との間には有意な関係が認められなかったという報告(尾縣ほか, 1998b)がある。本研究の結果とこれら2つの報告から、継続的にトレーニングを行なっている陸上競技者においては、スタート後80mからゴールまで続く速度逓

減の大きさは、上肢、下肢および全身の無氣的作業能に影響を受けないものと推測される。

上肢の無氣的作業能は400m走タイムおよび速度逓減に直接的には影響を及ぼしていないという結果が得られたが、400m走中の最後の局面において重要な影響を及ぼしていることが明らかになった。それは、第8区間（320—360m区間）から第9区間（360—400m区間）への速度低下に対する影響であった。Fig. 5から分かるように、第8区間から第9区間への速度低下は、他の部分に比較して、かなり大きなものになっている。そして、第9区間の走速度の標準偏差は、他の区間に比べて大きいことから、この区間は、ゴールタイムに強い影響を及ぼすものと考えられる。実際に、第9区間の走速度とゴールタイムとの間には、 $r = -0.798$ ($p < 0.01$) の相関関係が認められており、第8—9区間で速度低下を小さく抑えることは重要であると考えられる。第8—9区間で速度減少と上肢のパワー低下率との間に $r = 0.766$ ($p < 0.01$)、下肢のパワー低下率との間に $r = 0.709$ ($p < 0.05$) の有意な関係があった (Fig. 6)。このことから最後の40mで速度を維持する能力は、上肢と下肢の発揮パワーを持続する能力と関係があるものと考えられる。なかでも疾走での推進力を直接的に産み出す下肢よりも、間接的な関与をしている上肢との間に、より強い相関関係が認められたことは興味深いことである。上肢のパワー発揮の持続能力に優れているランナーは、400m走終盤でも合理的な腕振り動作により、下肢とのバランスを取ることができたり、下肢動作の急激な変容をくい止めることができ、ラストでの速度低下を小さく抑えることができたものと推測できる。

本研究では、上肢のパワー持続能力がゴール前の速度逓減に影響を及ぼしていることが明らかになった。400mランナーにとって、上肢の無氣的作業能を改善することは、パフォーマンスを高めるうえで有効に働くと考えられる。

V 要 約

本研究の目的は、上肢の無氣的作業能が400m走中の走速度逓減およびパフォーマンスに及ぼす影響を検討することであった。400m走50.70 ± 1.38秒のタイムを持つ十種競技者10名を対象に、400m走中の40m毎の速度変化、ゴールタイム、30秒間のペダリング中およびクランキング中の最大パワー、平均パワー、パワー低下率、それぞれの運動5分後の乳酸値を測定した。

主な結果は次の通りであった。

- 1) クランキング後乳酸値/400m走後乳酸値と400m走タイムとの間には、有意な負の相関関係が認められた。この結果から、高い強度の無氣的運動に耐えうる上肢の能力を高めることが、400m走のパフォーマンスを高めることにつながるものと考えられる。
- 2) 400m走では、10名全員が80m地点通過後に速度逓減を示し、ゴールまで逓減を続けた。80m以降の速度逓減は直線回帰式で表すことができ、その傾き（絶対値）を速度逓減指標とした。この速度逓減が緩やかな者ほど、400m走タイムは短いという関係が認められた。
- 3) 320—360m区間（第8区間）から360—400m区間（第9区間）への速度逓減は、上肢のパワー低下率および下肢のパワー低下率との間に有意な正の相関関係が認められた。これは、上肢のパワー発揮の持続力に優れることがゴール前の速度低下を小さく抑えることにつながることを示唆するものである。

以上のことから、上肢のパワー持続能力がゴール前の速度逓減に影響を及ぼしていることが明らかになった。

文 献

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 9: 229-239.
- 阿江通良・宮下 憲・飯干 明 (1988) 疾走中の下肢における機械的エネルギーの流れ. バイオメカニズム 9: 105-113.
- Alexander, M.J.L. (1989) The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can. J. Sports Sci.* 14: 148-157.
- Bergh, U., Kanstrup, I.L., and Ekblom, B. (1976) Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *J. Appl. Physiol.* 41: 191-196.
- Bhowmick, S. and Bhattacharyya, A.K. (1988) Kinematic analysis of arm movements in sprint start. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 28: 315-323.
- Chapman, A.E. and Caldwell, C.E. (1983) Kinematic limitations of maximal sprinting speed. *J. Biomech.* 16: 79-83.
- Chapman, A.E., Lonergan, R., and Caldwell, C.E. (1984) Kinetic sources of lower-limb angular displacement in the recovery phase of sprinting. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16: 382-388.
- Chelly, S.M. and Denis, C. (2001) Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 605-609.
- Dotan, R. and Bar-or, O. (1983) Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51: 409-417.
- Dowson, M.N., Nevill, M.E., Lakomy, H.K., Nevil, A.M., and Hazeldine, R.J. (1998) Modeling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J. Sports Sci.* 16: 257-265.
- 榎本好孝・狩野 豊・宮下 憲・勝田 茂 (1995) スプリンターにおける上肢, 下肢の無酸素性作業能の評価. 日本体育学会第47回大会号, p. 328.
- 羽田雄一・阿江通良・榎本靖士 (2001) 400m 走における疾走動作の変化. 陸上競技紀要 14: 3-13.
- Hill, D.W. (19992) Energy system contributions in middle-distance running events. *J. Sports Sci.* 17: 477-483.
- Hinrichs, R.N., Cavanagh, P.R., and Williams K.R. (1983) Upper extremity contributions to angular momentum in running. In: Matsui, H. and Kobayashi K. (Eds.) *Biomechanics VIII—B*, Human Kinetics Publishers; Champaign, pp. 641-647.
- Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S. and Härkönen, M. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Spt. Sci.* 17: 141-144.
- 石井喜八・山田 保・高橋勝美・井坂忠夫 (1987) 100m 疾走記録と機械的出力パワー—本学入学選考実技試験の自転車エルゴメーターテストの検証—. 日本体育大学紀要 17: 17-22.
- 伊藤 章・斎藤昌久・佐川和則・加藤謙一 (1992) ルイス, バレルと日本トップ選手のキック・フォーム. *Jpn. J. Sports Sci.* 11: 604-608.
- 伊藤 章・市川博啓・斎藤昌久・伊藤道郎・佐川和則・加藤謙一 (1997a) アジア大会男子 400m の動作分析. アジア一流陸上競技者の技術—第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告—. pp. 65-80.
- 伊藤 章・斎藤昌久・淵本隆文 (1997b) 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・斎藤昌久・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 (1991) 走りにおける腕の役割. *体育の科学* 41: 688-692.
- 狩野 豊・高橋英幸・森丘保典・秋間 広・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (1997) スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係. *体育学研究* 41: 352-359.
- Karlsson, J., Hultèn, B., and Sjödin, B. (1974) Substrate activation and product inhibition of LDH activity in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 92: 21-26.
- Kukulj, M., Ropret, R., Ugarkovic, D., and Jaric, S. (1999) Anthropometric, strength, and power predictors of sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 39: 120-122.
- Lacour, J.R., Bouvat, E., and Bathelem, J.C. (1990) Post competition blood lactate concentration as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup*

- Physiol. 61: 172-176.
- 宮丸凱史 (1976) 短距離走. 金原 勇編 陸上競技の
コーチング (1). 大修館書店: 東京.
- 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. Jpn. J. Sports Sci. 5: 892-898.
- Nummela, A., Vuorimaa, T., and Rusko, H. (1992)
Changes in force production, blood lactate and
EMG activity in the 400-m sprint. J. Sports Sci. 10:
217-228.
- 小木曾一之・阿江通良 (1992) 全力疾走中の上肢に
おける機械的エネルギーの流れ. 日本バイオメカ
ニクス学会第11回大会論集, pp. 230-234.
- 岡野 進・渡部 誠 (1979) 短距離疾走における
Arm Action 効果に関する実験的研究 (その1). 山
梨県立女子短期大学紀要 13: 1-9.
- 尾縣 貢・関岡康雄・辻井義弘 (1990) 男子スプリ
ンターにおける下肢の動的筋力と疾走中の脚動作
との関係. 陸上競技研究 1: 14-19.
- 尾縣 貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・関岡康
雄 (1998a) 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との
関係. 体力科学 47: 535-542.
- 尾縣 貢・福島洋樹・大山下圭悟・安井年文・鍋倉
賢治・宮下 憲・関岡康雄・永井 純 (1998b) 下
肢の筋持久性と400m走中の疾走速度逡減との関
係. 体育学研究 42: 370-379.
- 尾縣 貢・安井年文・大山下圭悟・山崎一彦・荻部
俊二・高本恵美・伊藤 穰・森田正利・関岡康雄
(2000) 一流400mランナーにおける体力的特性と
レースパターンとの関係. 体育学研究 45: 422-
432.
- Paradisis, G.P. and Cooke, C.B. (2001) Kinematic and
postural characteristics of sprint running on slop-
ing surface. J. Sports Sci. 19: 149-159.
- Robertson, D.G. (1987) Function of the leg muscles
during the stance phase of running. In: Jonsson, B
(Ed.) Biomechanics X-B. Human Kinetics Publish-
ers, Champaign, pp. 1021-1027.
- Rusko, H., Nummela, A., and Mero, A. (1993) A new
method for the evaluation of anaerobic running
power in athletes. Eur. J. Appl. Physiol. Occup
Physiol. 66: 97-101.
- Simonsen, E.B., Yhomsen, L., and Klausen, K. (1985)
Activity of mono- and biarticular leg muscles dur-
ing sprint running. Eur. J. Appl. Physiol. Occup
Physiol. 54: 524-532.
- Sprague, P. and Mann, R.V. (1983) The effects of mus-
cular fatigue on the kinetics of sprint running. Res.
Quart. Exercise and Sport. 54: 60-66.
- 征矢英昭・彦井浩孝・脇田裕久・八木規夫・高木英
樹・富樫健二・西端 泉・浜中健二・野村武男・
生田泰士 (1992) 腕の持久的トレーニング効果の
全身作業能に及ぼす生理的貢献度—脚筋群を主体
とした持久的競技における乳酸性作業閾値 (LT)
からみた腕作業能の評価とトレーナビリティ. デ
サントスポーツ科学 13: 207-217.
- 杉田正明・八木規夫・小林寛道 (1992) 男子学生レ
ベル別100m疾走能力と等速性脚筋力. 日本バイオ
メカニクス学会11回大会論集, pp. 216-224.
- 高木浩信・田口正公 (1992) 短距離走の加速局面と
全速局面における膝関節の動きと下肢筋力につい
て. 陸上競技研究 19: 2-8.
- 高野 進 (1993) 私の400m. スプリント研究 3:
57-69.
- 渡邊信晃・榎本好孝・大山下圭悟・狩野 豊・安井
年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (2000) ス
プリンターの股関節筋力とスプリント走パフォー
マンスとの関係. 体育学研究 45: 520-529.
- 山田憲政・関岡康雄・小林一敏・金子靖仙 (1986)
走速度増加に伴う身体のねじれに関する力学的考
察. 筑波大学体育科学系紀要 9: 247-254.
- 山本利春・山本正嘉・金久博昭 (1992) 陸上競技に
おける一流および二流選手の下肢筋出力の比較—
100m走・走幅跳・三段跳選手を対象として—.
Jpn. J. Sports Sci. 11: 72-76.
- Young, W., Mclean, B., and Ardagna, J. (1995) Rela-
tionship between strength qualities and sprinting
performance. J. Sports Med. Phys. Fitness 35: 13-
19.
- 安井年文・青山清英・尾縣 貢・関岡康雄・永井
純・宮下 憲・福島洋樹・小木曾一之 (1998)
400m走の前・後半における疾走動作の相違につい
て. 陸上競技研究 32: 15-24.

(平成14年4月17日受付)
(平成15年3月27日受理)