

昭和61年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告
No. VIII 無酸素的パワートレーニングと有酸素的パワー
トレーニングの相互作用に関する研究
——第2報——

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和61年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.VIII 無酸素的パワートレーニングと有酸素的パワー トレーニングの相互作用に関する研究—第2報—

報 告 者 (財) 日本体育協会研究プロジェクト・チーム

無酸素的パワートレーニングと有酸素的パワートレーニングの相互作用に関する研究

班 長 石 井 喜 八¹⁾

班 員 浅 野 勝 巳²⁾ 跡 見 順 子³⁾ 小 林 寛 道³⁾

担当研究員 伊 藤 静 夫

本プロジェクトのまとめ

日本体育大学体育研究所

石 井 喜 八

1. まえがき

このプロジェクトは2ヶ年をもって終了する。終りにあたって、まとめをしておきたい。本プロジェクトが発足したとき、われわれの班の成果はコーチやトレーナーに利用されることを望んだ。また、コーチやトレーナーが関りを持つ競技種目のとらえ方は妥当であるかの視点もあった。

60年度の本研究班の報告書の“はじめに”には、「スポーツ選手をあざかるコーチやトレーナーと、この研究班との仕事の橋渡しをするために記した」とある。さらに「競技中にみられるパワー」の項では、極短時間（2～3秒間）の激運動から、長時間運動のマラソン競技にも、有酸素的パワーと無酸素的パワーの両者の発現の機会があることに触れた。しかし、これはあくまでも、われわれの推測であった。われわれ研究班の仕事は、競技の多くは有酸素的パワーと無酸素的パワーの両者が介在していることを前提としていた。これに関連する研究報告があらわれたので紹介してみたい。

われわれの前提是全くの間違いではないことになるからである。この論文(Extent of Lactic Anaerobic Metabolism in Handballers ; Delamarche, P., et al, Int. J. Sports Med. 8 (1987) : 57-59)は無酸素性状態がハンドボールの試合中にどの程度あらわれるかを調べたものである。無酸素性状態は血液中の乳酸の量から決定している。フランスのジュニアチーム（被検者7名）を対象として実験室内測定と試合中の測定を行っている。

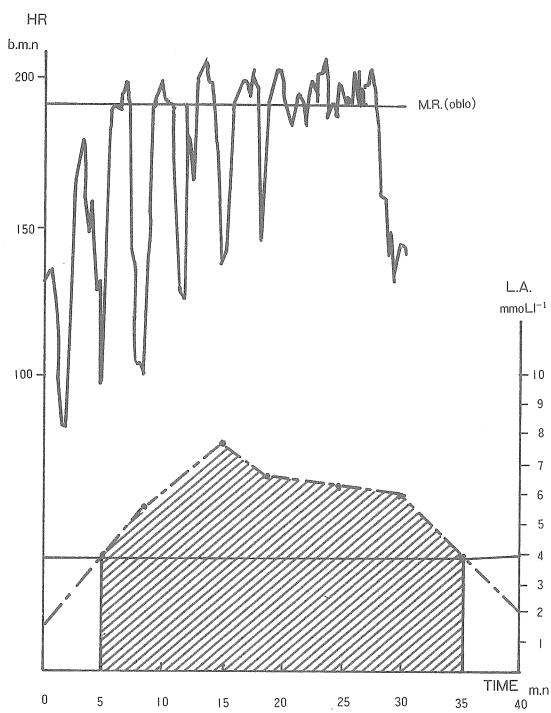
実験室実験は段階的に漸増負荷を与えて、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\text{max}}$)、最大心拍数 (HRmax)、と運動後にあらわれる乳酸の最大値 (LAm_{ax}) を測定した。最大有酸素的パワーをとらえるためである。負荷を段階・漸増的に与え、疲労困憊に至る過程で、酸素摂取量、心拍数それに、静脈血乳酸を測定していく。楽な運動（有酸素的運動）から、きつい運動（無酸素的運動）に移行していくとき、区切りとして乳酸が4ミリモル/lを規準とした。この値は、乳酸からみた無酸素閾値の基準値となっているものである。これを OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) という。

この被検者たちの平均年齢は19.7±1.1歳、身長

1) 日本体育大学

2) 筑波大学

3) 東京大学



180±6.7cm, 体重77.3±7.5kg, $\dot{V}o_{2\text{max}}$ 4.47±0.36 $\ell/\text{分}$ (体重あたり 58.3±5.3 $\text{ml}/(\text{体重}/\text{分})$), HRmax 194±12拍/分, LAm_{ax} 9.08±1.99ミリモル/ ℓ である。また, OBLA のときの酸素摂取量は 3.53±0.22 ($79.5\pm7.3\% \dot{V}o_{2\text{max}}$) でそのときの心拍数は 176±13 拍/分である。

一方, 測定の対象となった試合は, 体育館で 20~22 時の間に行われている。気温は 18°C~20°C である。測定した試合範囲は前半 30 分間とハーフタイム 10 分間の 40 分間である。選手たちはその間, 水を自由に飲んでいる。試合中の HRmax は 185~208 拍/分にあり実験室で行った自転車エルゴメーターテストのときのものよりも高い。ハンドボール選手が自転車漕ぎ運動に慣れていないこと, 腕の運動が入っていないからだろうと推論している。また, 試合中の LAm_{ax} は 4.0~9.3 ミリモル/ ℓ の範囲にあり, 動きまわった選手が高い値を示したという。動きまわったという活動指数は, 走行距離, 歩数, 腕の動きの回数, シュートとジャンプの数から求めている。

試合中にあらわれた OBLA (無酸素性閾値) 以上の時間は, ハーフタイム 30 分のうち, 25 分間以

上が 3 名, 10 分以上が 2 名, 8 分間が 1 名で, 残りの 1 名は試合中 OBLA 以上の状態はあらわれていない。さらに, 前半終了時の直腸温を調べてみるとすべての選手が 39°C 以上を示した。

図はこのチームで一番動きまわった選手の測定結果である。横軸は測定時間全体の 40 分間をあらわし, 縦軸は, 左側が心拍数(変化は実線), 右側は乳酸値 (破線とその範囲を斜線) を示す。

心拍数は採血のために競技場を 1 分間離れたとき, 急激に低下する。この心拍数の低下は 7 名の選手の平均は 35 拍/分であり, 最も大きく低下した選手は 56 拍/分にも達した。しかし, 試合の後半になるとこのような著しい低下がなくなる。試合中, 採血というような特別な事態がなければ, 試合開始から 20 分間にみられた激しい上下動の曲線はあらわれないはずである。心拍数の変化を示す曲線に対し横線が引いてあるが, これは乳酸が 4 ミリモル/ ℓ あらわれる OBLA の心拍数水準をあらわしている。これは実験室テストによって求められたものであるが, 試合中の乳酸測定値 (下段の斜線) の範囲と近似している。

この論文のまとめは次のようにある。

(1) 実験室実験の測定値は HRmax が試合中のそれを推定できなかったが乳酸値 (OBLA) はほぼ一致する。

(2) $\dot{V}o_{2\text{max}}$ はジュニア選手であったので, ナショナル選手よりも 0.5 $\ell/\text{分}$ 小さい。それにしても, ハンドボール選手の体重あたりの $\dot{V}o_{2\text{max}}$ は長距離選手や自転車競技の選手たちよりも小さい。

理由は体重が大きいからである。身体接触の多い競技は, 体重も重要な身体要素だからである。

(3) OBLA によって有酸素性パワー発揮の場面と, 無酸素性パワー発揮の場面を区分すると, 無酸素性パワーを発揮する場面は, はるかに多い。

(4) 10 分間のハーフタイムの休憩は乳酸消去に役立つ。

(5) 静脈血中の乳酸を測定したが, これは運動に関係しない部位からの血液が混合しているので, 活動している筋肉では, もう少し高い値であることが予測される。

(6) 被検者たちはジュニア選手であったので, ナショナル選手では, 運動量も多いことから, さ

らに高い水準の無酸素性パワーの発揮の場面があることが予測される。

(7) ナショナル選手といえども、選手権のかかった国際試合では、さらに高い水準（7～10ミリモル／l；訳者注 この水準は $\dot{V}O_{2\text{max}}$ があらわれる水準である）が予測される。

(8) 特に、試合の最終段階が、明らかに無酸素性パワー発揮の状態が予測される。

(9) 以上のことから、ハンドボール競技は無酸素性パワーを要求する球技ということができる。

2. 本研究班のまとめ

この研究班の課題は“無酸素性パワートレーニングと有酸素性パワートレーニングの相互作用に関する研究”であったが、まず、無酸素的パワーの測定を実験室実験と、フィールドテストを通して、競技場面に利用することをねらったといえる。

実験室実験では、電気制動式自転車エルゴメーターを用いて、短時間激運動を行わせ、そのときに発揮された機械的パワーを測定した。激運動とは各人の意志的努力によってきまるが、短時間といわれる運動の長さが問題となる。

無酸素性パワーの測定は、運動中の酸素摂取量が少いことから、運動後に運動中に要したであろう酸素量の補充（酸素負債量）の測定することから始まる。しかしこれとても運動の時間はスポーツの多くの場面にみられるような数秒という短時間ではない。

これまでにみられたパワーテストには垂直とびによるテスト（1921）がある。筋群の單一性収縮時に発揮されるパワーである。また、階段の駆け登りテスト（1966）がある。17.5cmの高さの階段を12段、2段ごとに6歩で駆け上り、所要時間を計測する。この時間は1.0～1.5秒である。

世界に先駆けて、日本体育協会のスポーツ科学研究はこの課題に取組んだ（猪飼、1969）。短距離疾走のとき、最高速度へ達するに要する時間が数秒であることからの発展であった。現在、猪飼の研究のように自転車エルゴメーターを使って機械的出力パワーを無酸素性パワーとし、乳酸との関係で測定・研究をしている世界の情勢は、運動時間が、猪飼がいう5秒間というところになってき

た（Nadeau, M ら1983）。

石井班は10秒間の自転車漕ぎの全力運動をくり返し行わせ、その機械的出力パワーの持続と乳酸の関係から、無酸素性パワーの検討をしてきた。

小林班は短距離選手と長距離選手を対象にトレーニング実験を展開した。体験にもとづいた、遅筋線維を比較的多く所要する長距離選手と、速筋線維を比較的多く所有する短距離選手のトレーニング効果をみたということができる。それぞれの素質を持つ選手を使って、最大パワーのトレーニング群と、最大パワーの99%だが、最強度で低ペダリング運動の群と、低強度で高ペダリング運動の群という6群のトレーニング効果を比較した。

8週間のトレーニングの効果・各群とも無酸素性パワーは向上した。なかでも、前半の伸び率が大きかったという。一方、短距離選手群では、高強度低ペダリング運動が、長距離選手群では、低強度高ペダリング運動でのトレーニング効果も大きかったという。

浅野班は規則的練習をしているラグビー選手たちに、日課の練習後さらに、実験のためのトレーニング運動を課した。被検者は無気的パワートレーニング群と、有気的パワートレーニング群である。

その結果、無気的パワートレーニングでは、無酸素的パワーが向上する。また、ラグビー競技を類似化させたテストでは、全運動量と耐乳酸能、それに心臓機能が顕著に改善された。また、有気的パワートレーニングは、有酸素性パワーを向上させるのみであった。

このように、小林班と浅野班によるトレーニング効果は無酸素性トレーニングは、無酸素性パワーのみならず、有酸素性パワーにも影響を及ぼし、有酸素性トレーニングは有酸素性パワーのみを向上させるということが明らかになった。

それにしても、実験を進める側からいうと、与えたトレーニングの様式に対する効果あるいは、無酸素的パワーといわれる概念の具体化が問題であった。因果関係を明らかにすることと、概念を数量化してとらえるということが、研究のための重要な手続きだからである。

毎日、取組んでいるスポーツの生理学的特性は、

単に、競技時間だけでは推測できないことが明らかになってきた。コーチやトレーナーの方々は、短距離走や長距離走などを組合せて、競技力向上をめざしていると思われる。そのとき、選手たちは同一が有酸素性パワーおよび無酸素性パワートレーニングに取り組むことになろう。このようであると、短時間激運動と長時間の中程度の強度の運動どちらを先に運動したらよいかという問題

も本研究班の課題の中に入っていたと思われる。これこそが、両トレーニングの相互作用といえるのではないかと考えている。

この課題に対する研究は始まったばかりといえる。この課題の2ヶ年間は、実に、短い月日であった。再び、機会を求めて、この課題に接近したいと班員一同考えているところである。

I. インターバル・パワー発揮トレーニングにおける至適負荷条件とトレーニング効果

報告者 小林 寛道¹⁾

共同研究者 天野 義裕²⁾

研究目的

スポーツには、間欠的なパワー発揮が繰り返される種目と、持続的なパワー発揮がなされる種目とがある。

多くの球技スポーツでは、間欠的なパワー発揮が要求され、陸上競技の走種目では持続的なパワー発揮が必要である。

前年度の研究では、陸上競技選手を対象として、最大運動時間が7秒から10分間において、持続的なパワー発揮が行われる場合のパワー発揮能力、およびエネルギー需要量について、無酸素性エネルギー由来と有酸素性エネルギー由來のパワーの割合を検討した。

その結果、長距離選手では短距離選手と比較して、短時間の運動においても有酸素性エネルギー由來のパワーを発揮する割合が多く、パワーの発揮容量は小さいが、2分間を超える運動では、パワーの持続的発揮能力に優れていることが明らかになった。

これまで、有酸素性パワーを高める持久的トレーニングについては数多くの研究結果が報告されてきているが、無酸素性パワーを高めるトレーニングについては、筋力トレーニングを除けば報告例が少ない。すなわち、有酸素性トレーニングの方法に比較して、無酸素性トレーニングについての具体的方法やトレーニング効果には明らかでない部分が多い。

本年度の研究では、無酸素性パワー発揮能力に

焦点をあて、インターバル形式で間欠的なパワートレーニングを行った場合、トレーニングに用いる負荷条件の違いが最大無酸素性パワーの大きさ、および間欠的パワー発揮能力にどのような影響を与えるかについて検討することを目的とした。また、これらのパワートレーニングが、短距離走のパフォーマンスに与える影響についても比較検討することにした。

研究方法

1) 被検者

大学陸上部男子学生24名を本研究の被検者とし、トレーニング群16名、コントロール群8名とした。トレーニング群の内訳は、短距離選手8名、長距離選手8名、コントロール群の内訳は、短距離選手3名、長距離選手5名とした。

被検者は、トレーニング群、コントロール群とともに陸上部の部活動を通常に行うが、これに加えてトレーニング群では本研究のトレーニングを実施した。

2) 最大アネロビックパワーの測定

各被検者について、竹井式ハイパワー、エルゴメーター（竹井機器製）を用い、10秒間の全力ペダリングによる方法によって最大アネロビックパワー（MAnP：Maximum Anaerobic Power）を測定した。

最大アネロビックパワーの測定は、トレーニング前、トレーニング4週間目、および8週間目に実施した。

3) トレーニング内容と負荷条件

1) 東京大学教養学部

2) 愛知教育大学

パワートレーニングは、週3回（1日おきを原則）、8週間継続した。

トレーニングには、竹井式ハイパワー・エルゴメーターを用い、(7秒間の全力ペダリング+53秒間の無負荷ペダリング)を1セットとして、連続的に10セット行った。

トレーニングの負荷条件は、各被検者の最大アネロビックパワー (MAnP) が発揮された時のペダルの回転数 (rpm) とトルク (kp) との組み合わせにもとづいて、次の3つの場合に分けた。

なお、図①に負荷設定にあたっての条件を図示した。

①最大パワー群 (M群)

100% MAnP一定パワー発揮条件；MAnPが発揮されたときのトルク値 (kp) とペダル回転条件 (rpm) をトレーニング負荷とする。

②高トルク群 (T群)

99% MAnP一定パワー発揮条件；MAnPが発揮された時より10%大きなトルク値(110%トルク値)と相対的に低いペダル回転条件

③高ペダル回転群 (R群)

99% MAnP一定パワー発揮条件；MAnPが発揮された時より10%小さなトルク値(90%トルク値)と相対的に高いペダル回転条件

トレーニングの3つの場合は、発揮されるパワーは、99~100% MAnP ほぼ等しいが、T群では脚筋力の要素を強調したトレーニング、R群は筋収縮スピードの要素を強調したトレーニング、M群は双方の要素を含めたトレーニングを意図してデザインしたものである。

トレーニング群の短距離選手と長距離選手をそれぞれM群、T群、R群に組み分けした。

4) トレーニング経過のチェック

トレーニングにおける1回1回のパワー発揮において、トルク値を一定に設定するとともに、ペダリングの回転数を記録した。

5) 100m 全力疾走によるパフォーマンステスト

トレーニング開始前および4週間に100m全力疾走によるパフォーマンステストを実施した。このテストでは、100mのタイムを計測するとともに、光電管を用いて50mから60mの区間、および90m

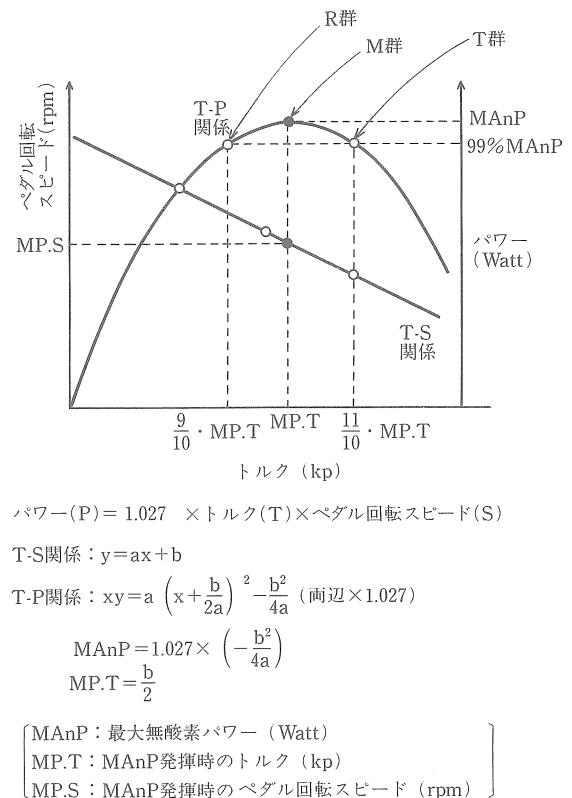


図1 トレーニング負荷設定の方法

から100mの区間における疾走速度を計測した。また、スライドを実測し、50~60m区間、90~100m区間の通過時間で除して単位時間あたりのステップ数(ピッチ；歩/sec)をもとめた。

結果と考察

1. 最大アネロビックパワー (MAnP) の推移

トレーニング開始前、4週目、8週目に測定したMAnPの値を表1に示した。

MAnP (watt) の推移では、トレーニング群全体平均が、トレーニング前の1167.4wattから4週目で1278.0wattと9.5%増大し、8週目では、9.8%増大して1282.0wattとなった。

コントロール群は、トレーニング前1062.0watt、4週目1044.6watt、8週目1063.9wattという値で変化がみられなかった。

体重あたり MAnP (watt/kg) のトレーニングによる変化については表1および図2に示した。

表1 最大アネロビックパワーのトレーニング期間の変化

被 檢 者 群			人数 (人)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	最大アネロビック パワー (watt)			体重 1 kgあたり最大アネロ ビックパワー (watt/kg)		
							トレ ニ ン グ 群	4週目	8週目	トレ ニ ン グ 群	4週目	8週目
ト レ ー ニ ン グ 群	短 距 離	M 群	2	19.0 (0.0)	174.0 (2.0)	63.0 (1.0)	1273.5 (32.0)	1348.8 (29.5)	1372.1 (15.5)	20.21 (0.19)	21.24 (0.13)	21.19 (0.32)
		T 群	3	20.7 (0.9)	178.8 (2.0)	68.5 (3.2)	1367.0 (58.9)	1519.3 (100.0)	1509.6 (111.4)	20.06 (0.06)	21.97 (0.59)	21.66 (0.78)
		R 群	3	20.0 (0.8)	172.8 (2.5)	64.7 (4.4)	1268.8 (61.6)	1359.4 (80.8)	1351.1 (98.6)	19.70 (1.54)	20.47 (1.83)	20.22 (0.39)
		M+T+R 群	8	20.0 (1.0)	175.4 (3.5)	65.7 (4.0)	1306.8 (71.8)	1416.7 (112.9)	1415.8 (117.1)	19.97 (0.97)	21.23 (1.35)	21.00 (0.85)
ト レ ー ニ ン グ 群	長 距 離	M 群	3	20.7 (0.9)	168.0 (1.4)	58.3 (1.2)	1016.5 (68.6)	1098.4 (96.2)	1089.1 (123.1)	17.41 (1.46)	18.55 (1.81)	18.71 (2.26)
		T 群	2	19.5 (0.5)	172.3 (0.8)	60.8 (3.3)	1028.5 (26.3)	1094.2 (63.2)	1166.4 (80.8)	17.01 (0.42)	18.15 (0.22)	18.96 (0.24)
		R 群	3	19.3 (0.5)	167.7 (2.1)	64.5 (3.5)	1039.4 (68.8)	1210.0 (123.5)	1195.5 (122.4)	16.12 (0.22)	18.76 (0.82)	18.42 (1.02)
		M+T+R 群	8	19.9 (0.9)	168.9 (2.5)	61.3 (3.9)	1028.1 (61.7)	1139.2 (114.9)	1148.3 (123.1)	16.83 (1.09)	18.53 (1.25)	18.66 (1.54)
トレーニング群全体			16	19.9 (1.0)	172.2 (4.4)	63.5 (4.5)	1167.4 (154.6)	1278.0 (179.5)	1282.0 (179.8)	18.40 (1.88)	19.88 (1.87)	19.83 (1.70)
コ ン ト ロ ー ル 群	短 距 離		3	21.0 (0.8)	174.2 (5.7)	66.0 (7.8)	1225.5 (78.7)	1204.3 (90.2)	1248.4 (86.6)	18.68 (0.99)	18.38 (1.06)	18.92 (0.10)
	長 距 離		5	21.6 (1.2)	167.3 (4.9)	57.1 (4.3)	963.9 (72.1)	948.3 (92.3)	953.3 (107.3)	17.01 (1.91)	16.73 (2.24)	16.88 (2.48)
	コントロール群全体		8	21.4 (1.1)	169.9 (6.2)	60.4 (7.3)	1062.0 (147.0)	1044.6 (153.8)	1063.9 (174.4)	17.64 (1.81)	17.35 (2.04)	17.65 (2.20)

平均 (標準偏差)

トレーニング群の短距離選手の平均では、4週目に6.3%，8週目に5.2%の増大がみられた（表1参照）が、群別にみると、T群でのトレーニング効果が9.5%（4週）と著しく、M群5.1%（4週）、R群3.9%（4週）の順で増大がみられた。

コントロール群の短距離選手の値は、トレーニング期間の前後で±1.4%の範囲の変化にとどまった。

トレーニング群の長距離選手の平均では、4週目に10.1%，8週目に10.9%の増大がみられたが、

群別にみると、R群でのトレーニング効果が16.4%（4週）と著しく、T群11.5%（8週）、M群7.5%（8週）の順で増大がみられた。

図2に示されてあるように、R群については初期レベルが低いことから、トレーニングによる増大率が高くなつたことが考えられる。

しかし、体重あたりMANPの値そのものを比較しても、4週目ではR群が18.76watt/kgと最も高く、8週目ではT群が18.96watt/kgと最も高い値を示している。

コントロール群の長距離選手の値は、トレーニング期間の前後で増加がみられなかった。

これらの結果から、本研究で実施したパワートレーニングでは、短距離選手にとっても、長距離選手にとっても、MAnPを高めるという点で有効であったと考えられる。

MAnPは、トルク値(kp)とペダリングの速度(rpm)の積によってもとめられる。そこで、この2つの要因がトレーニング方法の違いによって影響された否かについて検討してみることにした。

2. 最大パワー発揮時の負荷(kp)とペダリングの回転数(rpm)との関係

表2にMAnPが発揮された時のトルク(kp)とペダルの回転数(rpm)との関係を示した。

トレーニング群の短距離選手の場合をみると、MAnPの出現条件でトレーニングしたM群では、4週目および8週目ともペダルの回転数が123rpmと、トレーニング前よりも5 rpm少ないが、より大きなトルク値(10.4~12.1%)でトレーニング後のMAnPが出現している。

T群は、高トルク、低回転でのトレーニングを実施した群であるが、トレーニング前のペダルの回転数130rpmが、トレーニング4週目で123rpm、8週目で122rpmと減少している。逆にトルク値は、4週目で17.8%、8週目で16.7%増大している。

R群は、低トルク、高回転でトレーニングした群であるが、トレーニング前のペダル回転数124rpmに対して、4週目126rpm、8週目130rpmと、トレーニング後で高い値となっている。しかし、ト

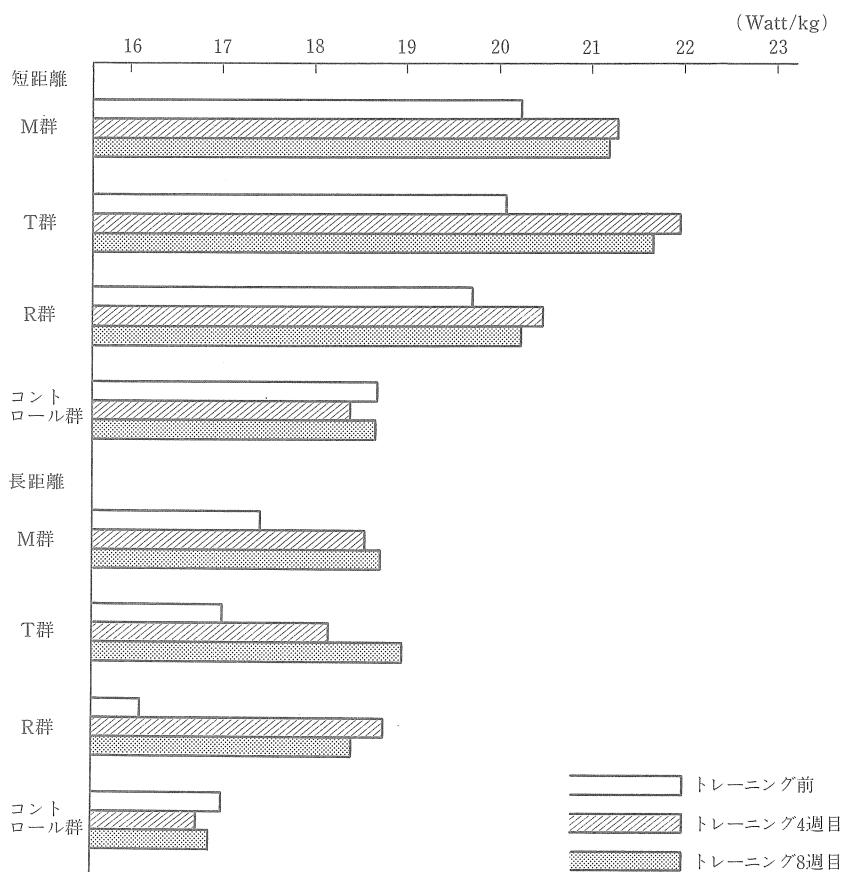


図2 体重あたり最大アネロビックパワーのトレーニングによる変化

表2 最大パワー発揮時の負荷 (kp)とペダル回転数(rpm)の推移

	被 檢 者 群	人數	最大パワー発揮時のトルク (kp)			最大パワー発揮時のペダル 回転数 (rpm)		
			トレーニング前	4週目	8週目	トレーニング前	4週目	8週目
トレーニング群	短距離	M群	2	9.67 (0.05)	10.68 (0.38)	10.84 (0.12)	128.3 (3.90)	123.1 (1.60)
		T群	3	10.32 (0.94)	12.16 (1.43)	12.04 (0.39)	130.1 (14.0)	122.5 (7.50)
		R群	3	10.01 (0.84)	10.53 (0.95)	10.10 (0.53)	124.1 (10.3)	126.1 (6.80)
		M+T+R群	8	10.09 (0.86)	11.18 (1.31)	11.01 (0.94)	127.4 (11.2)	124.0 (6.50)
	長距離	M群	3	8.37 (1.15)	9.54 (0.66)	9.26 (0.81)	120.1 (15.8)	112.2 (6.40)
		T群	2	8.20 (0.07)	8.60 (0.05)	9.51 (0.39)	122.2 (4.10)	124.0 (7.90)
		R群	3	9.31 (0.99)	10.07 (2.08)	9.65 (1.66)	109.1 (4.10)	120.6 (19.5)
		M+T+R群	8	8.68 (1.05)	9.50 (1.45)	9.47 (1.16)	116.5 (11.7)	118.3 (14.1)
コントロール群	トレーニング群 全体		16	9.36 (1.16)	10.34 (1.62)	10.24 (1.31)	121.9 (12.7)	121.1 (11.3)
	短距離		3	10.14 (0.24)	9.39 (0.23)	9.62 (0.93)	122.0 (7.90)	125.1 (9.40)
	長距離		5	8.02 (1.21)	7.77 (1.01)	7.71 (1.38)	121.9 (13.2)	118.2 (7.50)
コントロール群 全体			8	8.74 (1.36)	8.38 (1.13)	8.43 (1.53)	122.0 (11.5)	120.8 (8.93)

平均 (標準偏差)

トルク値の増大は、4週目5.2%，8週目0.8%と、トレーニング群の中では最も低い増大率となっている。このため、トレーニング後のMAnPの増大の割合も小さいものとなっている。

すなわち、短距離選手を対象としてMAnPを高めるためのトレーニングを行う場合には、MAnPが出現したトルク (kp) か、それを上まわるトルク (kp) を用いたトレーニングが、軽い負荷で高回転のペダリングを行う場合より有効であることが推察される。

これは、高速度での筋力発揮を重視したトレーニングが、筋の収縮速度を高める要素を意図したトレーニングよりも有効であることを意味している。

長距離選手の場合については、短距離選手の場合のように、明らかな傾向がみられていない。このことは、長距離選手では、高速度で筋力発揮することも、軽い負荷で筋の収縮速度を高める要素をもつトレーニングも、双方ともMAnPを高めることに有効であることを意味している。

長距離選手においても MAnP を高めておくことは、実際の競技におけるパフォーマンスを高めることに有利であると考えられるが、一般に長距離選手の MAnP は充分トレーニングされていない状態にあり、トレーニングの余地が大きいと考えられる。

3. パワートレーニングにおけるトレーニング経過

パワートレーニングの効果について MAnP のトレーニング前後の比較とは別に、各回毎のパワー発揮の様子について示したものが、図 3 および図 4 である。

図 3 は、1日のトレーニングにおける10回のパワー発揮の推移を、T 群の 2 例について示してある。

上段の図は、短距離選手 ST₂の場合で、トレーニング前に比較して、4週目、8週目とトレーニングが進行するうちに、10回のパワー発揮能力が高まってきた様子を示している。この場合には、パワー発揮の繰り返しに関する持久的能力が高まつたということができる。

このような、パワー発揮の繰り返しに関する持久的能力は、特にダッシュの繰り返しを必要とする球技などにおける競技能力を高めることに必要なものであろう。

下段の図は、長距離選手 DT₂の場合で、トレーニング前に比較して、4週目、および8週目で、より高い水準のパワーを繰り返し発揮できる能力が高まつた様子を示している。

長距離選手の場合は、10回繰り返されるパワー発揮の場合にも、後半での発揮パワーの低下があまりみられないことに特徴がある。トレーニング 8 週目になると、後半ほど高いパワーが発揮される様子がみられている。

従って、MAnP の発揮形態においても、短距離選手と長距離選手では異なったトレーニング効果を示すことに留意することが必要であろう。

図 4 は、8週間のトレーニング期間における各回毎のトレーニングの様子を、ペダルの回転数の推移によって示したものである。トレーニングでは、あらかじめトレーニング負荷 (kp) が各被

者ごとに一定値にセットされるため、被検者は目標とされるペダリング回数でペダリングを行うことが要求されている。ペダリングの目標値は、トレーニング前に MAnP が出現した時のペダル回転数に対して、M 群では 100% 値、T 群では約 90% 値、R 群では約 110% 値となっている。

図では、M 群、T 群、R 群に属する被検者それぞれ 1 名ずつの例を示したもので、1 日のトレーニングにおける 10 回のパワー発揮の平均値と標準偏差の推移を示している。

トレーニング条件を設定した場合でも、被検者の体調の変動によって、必ずしも条件通りのトレーニングが行われるとは限らず、目標値に対する変動がみられている。特に最大能力を発揮するトレーニング内容の場合は、こうした体調の変動による要因をさけることは極めて困難なことであるといえよう。しかし、トレーニングを継続することによって、全体的な向上と、変動の様子をとらえることができる。

トレーニングの継続にともなう体調の変動に関する課題は、トレーニング実験における 1 つの課題として、今後の機会に研究されるべきものであろう。

4. 100m 全力疾走におけるパフォーマンステストについて

スポーツ競技におけるパワートレーニングは、究極的にはスポーツパフォーマンスの向上を目的として行われるものであろう。

本研究で実施したパワートレーニングが、実際のパフォーマンスにどのような影響をもたらすかについて、100m 走テストの結果から検討してみた。

パワートレーニング開始前および 4 週後に実施した 100m 走の成績を表 3 に示した。

100m 走のタイムは、トレーニング群では短距離選手が 12 秒 36 から 11 秒 99 に向上し、長距離選手が 13 秒 32 から 13 秒 02 に向上した。また、コントロール群の短距離選手 1 名も 12 秒 35 から 12 秒 21 に、長距離選手 4 名の平均も 13 秒 50 から 13 秒 34 に向上した。

今回の被検者は、すべて大学陸上部に所属してトレーニングしているため、コントロール群にお

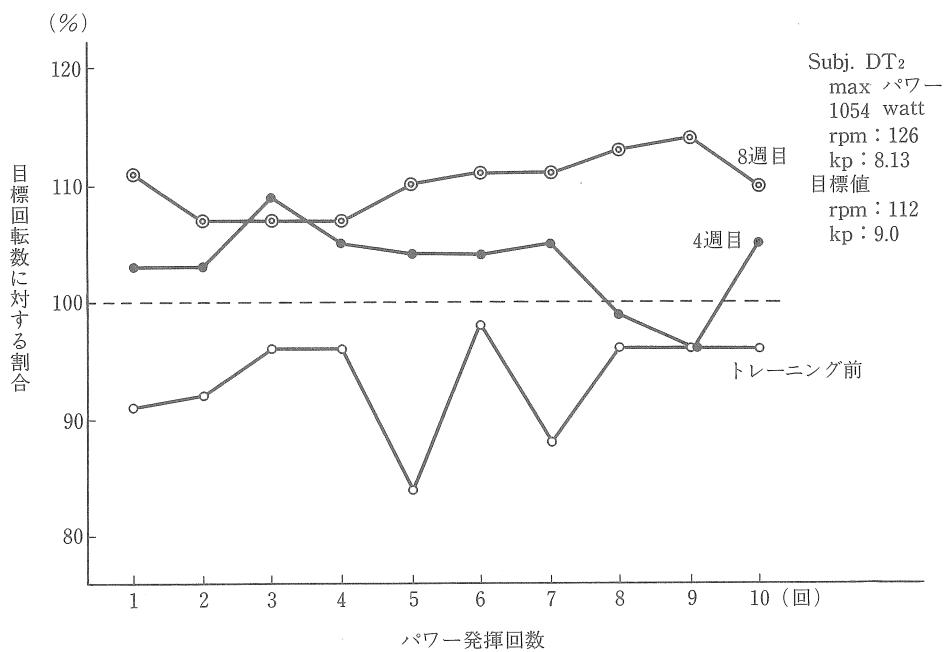
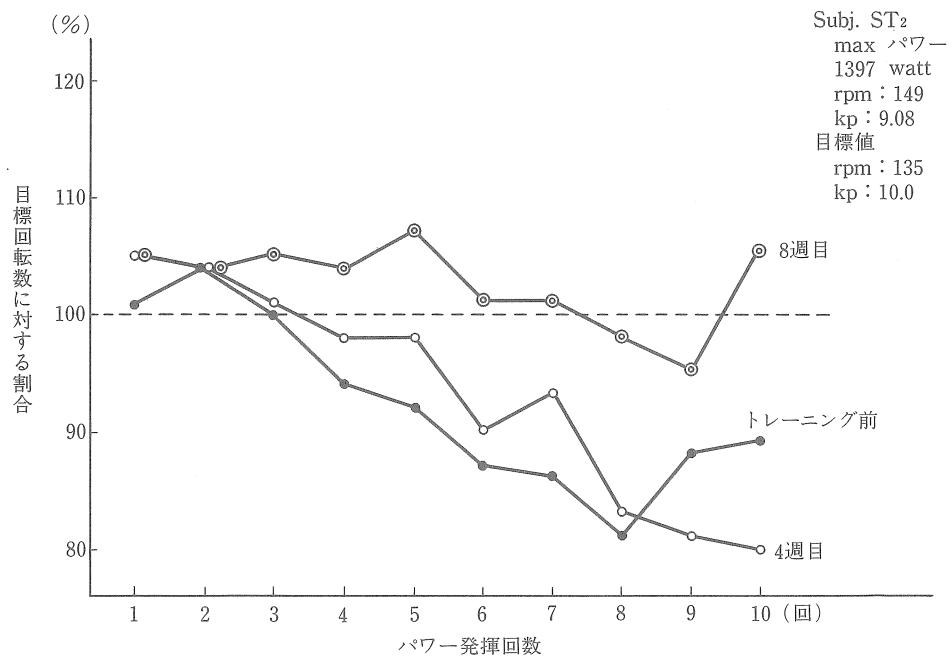


図3 1日のトレーニングにおける10回のパワー発揮の推移例。
(上図：短距離T群の1例、下図：長距離T群の1例)

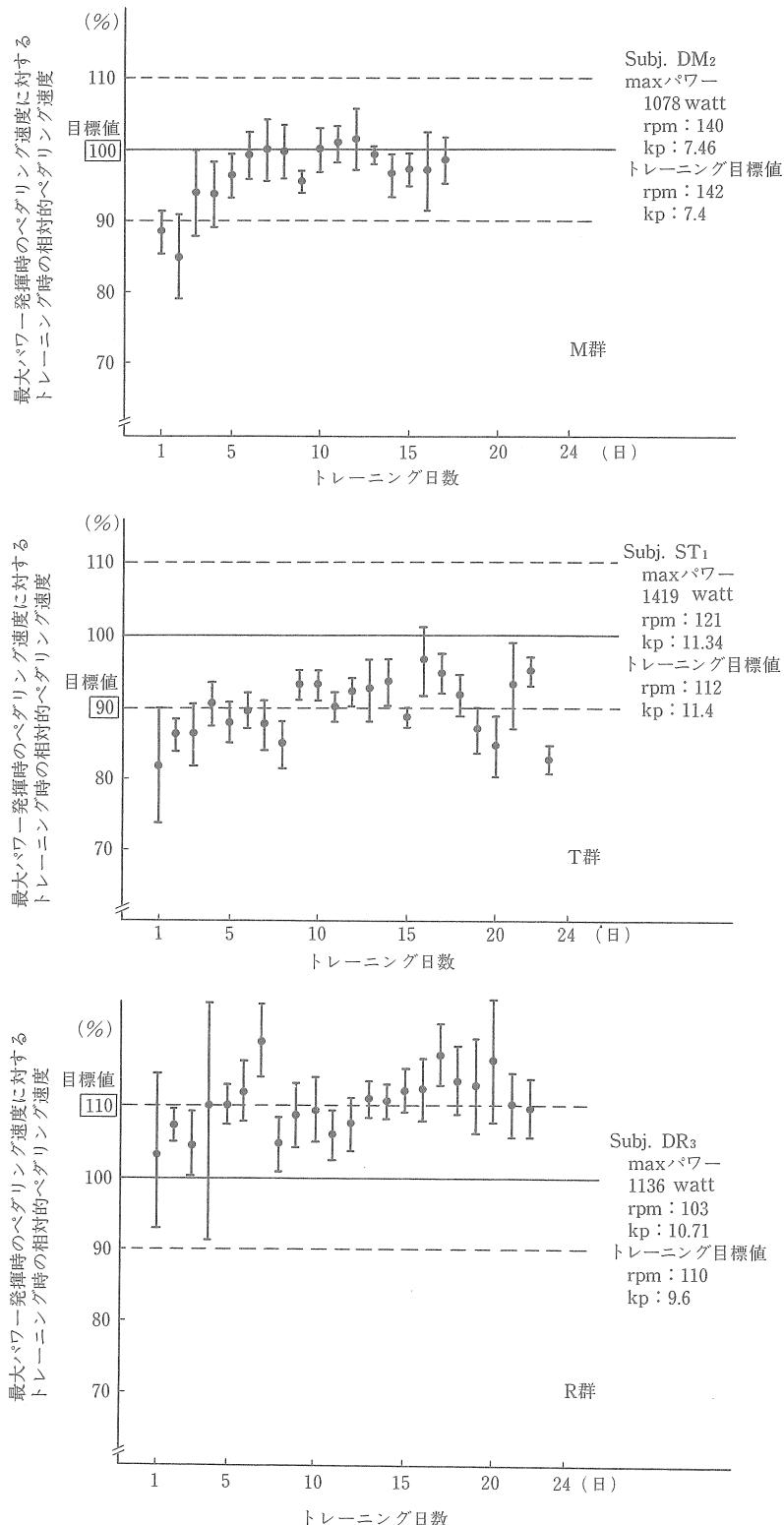


図4 各トレーニング負荷条件 (M群、T群、R群) におけるトレーニング各回ごとの平均値と標準偏差の推移。
M群、T群、R群についての個人例。

表3 パワートレーニング開始前と開始4週間目の100m走走能力の変化

		100m走記録 (sec)		途中速度 (m/sec)		50~60m区間		90~100m区間		50~60m区間		90~100m区間		50~60m区間		90~100m区間		ビックラッシュ	
		トレーニング前	トレーニング後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後
ト レ 一 二 ン グ 群 短距離	M群	2	12.50 (0.14)	12.05 (0.32)	8.63 (0.04)	9.51 (0.28)	8.14 (0.05)	8.64 (0.40)	1.98 (0.08)	2.05 (0.04)	2.02 (0.07)	2.04 (0.06)	4.38 (0.15)	4.65 (0.23)	4.03 (0.17)	4.25 (0.33)	ト レ 前	ト レ 後	
	T群	3	12.31 (0.39)	11.96 (0.22)	8.79 (0.67)	9.21 (0.45)	8.30 (0.71)	8.84 (0.14)	2.06 (0.02)	2.11 (0.10)	2.17 (0.10)	2.15 (0.10)	4.27 (0.30)	4.37 (0.21)	3.82 (0.36)	4.11 (0.19)	ト レ 前	ト レ 後	
	R群	3	12.32 (0.24)	12.03 (0.07)	8.75 (0.24)	9.18 (0.16)	8.14 (0.22)	8.25 (0.71)	2.03 (0.06)	2.07 (0.07)	2.01 (0.02)	2.03 (0.09)	4.31 (0.18)	4.44 (0.10)	4.05 (0.15)	4.23 (0.22)	ト レ 前	ト レ 後	
	M.T.R 群合同	8	12.36 (0.26)	11.99 (0.18)	8.74 (0.39)	9.28 (0.31)	8.20 (0.41)	8.69 (0.22)	2.03 (0.06)	2.08 (0.07)	2.08 (0.10)	2.09 (0.09)	4.31 (0.20)	4.46 (0.23)	3.95 (0.25)	4.17 (0.24)	ト レ 前	ト レ 後	
	M群	1	13.04	12.91	8.27	8.79	8.12	8.08	1.97	2.01	1.96	2.01	4.20	4.35	4.14	4.02	ト レ 前	ト レ 後	
	T群	2	12.66 (0.43)	12.36 (0.46)	8.39 (0.49)	9.24 (0.65)	8.20 (0.71)	8.58 (0.11)	2.02 (0.06)	2.08 (0.10)	2.03 (0.04)	2.10 (0.10)	4.15 (0.13)	4.44 (0.10)	4.04 (0.26)	4.09 (0.14)	ト レ 前	ト レ 後	
	R群	2	14.12 (0.33)	13.74 (0.11)	7.47 (0.23)	8.03 (0.25)	7.40 (0.02)	7.82 (0.04)	1.79 (0.01)	1.86 (0.02)	1.86 (0.06)	1.82 (0.06)	4.18 (0.09)	4.33 (0.18)	3.98 (0.11)	4.38 (0.07)	ト レ 前	ト レ 後	
	M.T.R 群合同	5	13.32 (0.71)	13.02 (0.65)	8.00 (0.50)	8.66 (0.63)	7.86 (0.50)	8.17 (0.35)	1.92 (0.11)	1.98 (0.08)	1.95 (0.11)	1.97 (0.14)	4.17 (0.07)	4.38 (0.11)	4.03 (0.14)	4.19 (0.17)	ト レ 前	ト レ 後	
コ ント ロ ル 群	短距離	1	12.35	12.21	8.79	9.23	8.21	8.53	2.01	2.10	2.05	2.16	4.37	4.40	4.00	3.95	ト レ 前	ト レ 後	
	長距離	4	13.50 (0.66)	13.34 (0.60)	7.88 (0.43)	8.40 (0.51)	7.35 (0.48)	7.75 (0.59)	1.88 (0.07)	1.91 (0.07)	2.02 (0.13)	1.99 (0.11)	4.19 (0.19)	4.45 (0.16)	3.64 (0.18)	3.90 (0.18)	ト レ 前	ト レ 後	

いても記録の向上がみられている。

トレーニング群について、100m走記録の向上率を比較してみると、短距離選手ではM群が最も高くて3.6%の向上、T群2.8%、R群2.4%の順となった。M・T・R3群の平均向上率は3.0%であった。

長距離選手では、R群の向上率が2.7%と最も高く、T群2.4%、M群0.9%の順となった。M・T・R3群の平均は2.3%であり、長距離のコントロール群では1.2%であった（図5A）。

50-60m区間の速度上昇率では、トレーニング群の短距離選手では、M群が10.2%の向上を示し、T群、R群では4.8および4.9%であった。

トレーニング群の長距離選手では、T群が10.1%の向上を示し、R群7.5%、M群6.3%であった（図5B）。

90-100m区間の速度上昇率では、トレーニング群の短距離選手でT群とM群がそれぞれ6.5%，6.1%であり、R群では1.4%にすぎなかった。

トレーニング群の長距離選手では、R群の向上が5.7%と最も大きく、T群が4.6%，M群では、逆に-0.5%となった（図5C）。

すなわち、短距離選手では、各区間のスピードアップが寄与しているが、特にM群、およびR群では、前半のスピードアップが顕著である。T群では、全区間を通してのスピードアップがはかられている。

長距離選手では、M、T、R3群とも前半で顕著な向上がみられ、特にT群ではその様子が顕著である。

これらの走速度向上に寄与するストライドとピッチの向上率を、区間別に図6に示した。

50-60m区間では、短距離選手、長距離選手とともにストライドが2.0~3.9%増大しているが、90-100m区間では、その様子はまちまちである。長距離のM群、T群に2.6%および3.4%の増大がみられた他は、1.0%以下か減少がみられた。

ピッチについては、50-60m区間で各群とも2.3~7.0%の増大を示した。特に短距離M群では6.2%，長距離T群では7.0%の増大がみられた。90-100m区間では、短距離の各群では4.4~7.6%の増大がみられ、長距離R群では10.1%，T群1.2

%、M群ではマイナス2.9%とその様子はまちまちであった。

これらの結果とパワートレーニングとの関係を考察してみると、パワートレーニングの効果は、短距離選手では、主として100m走前半のスピードアップおよびスピードの持続能力の向上によって特徴づけられ、長距離選手では、全体的なスピードアップに加え、特に前半のスピードアップにあらわれていると推察することができよう。

また、短距離選手では、100m走前半のストライドの増大と、後半のピッチの増加が特徴的であり、長距離選手では、全体としてのストライドの増大と前半のピッチの増加が挙げられよう。また、長距離R群では、後半のストライドを短縮させる結果を導くほどにピッチの増加が著しくなっている。

これらは、パワートレーニングによってもたらされ脚のパワー発揮能力の向上とトレーニング内容との密接な関係をあらわしていると考えられる。

5. 総括的考察

アネロビック・パワーテストとして自転車エルゴメーターを用いる方法が広く普及しつつあり、我国では、生田たち¹⁾、中村たち⁴⁾、宮下³⁾、山本たち⁵⁾をはじめ多くの研究者によって、アネロビックパワーの測定値が報告されている。

アネロビックパワーを高めるトレーニング方法については、筋力トレーニング、短距離の全力疾走、自転車エルゴメーターの全力駆動などが行われてきている。しかし、自転車エルゴメーターを用いたパワートレーニングの方法とその効果の検討は、これまで充分に行われてきたとはいえない状況にある。

本研究は、自転車エルゴメーターを用いて負荷(kp)とペダルの回転数(rpm)の組み合せの相違が、ほぼ100%のアネロビックパワー発揮トレーニングを実施した場合でも異なるトレーニング効果をもたらすことを明らかにした点に意義があると考えられる。

本研究に用いたパワートレーニングは、1回のトレーニングに要する時間が10分間であり、多くの競技スポーツの体力トレーニングの1項目として、通常のトレーニング内容の中に取り込まれる

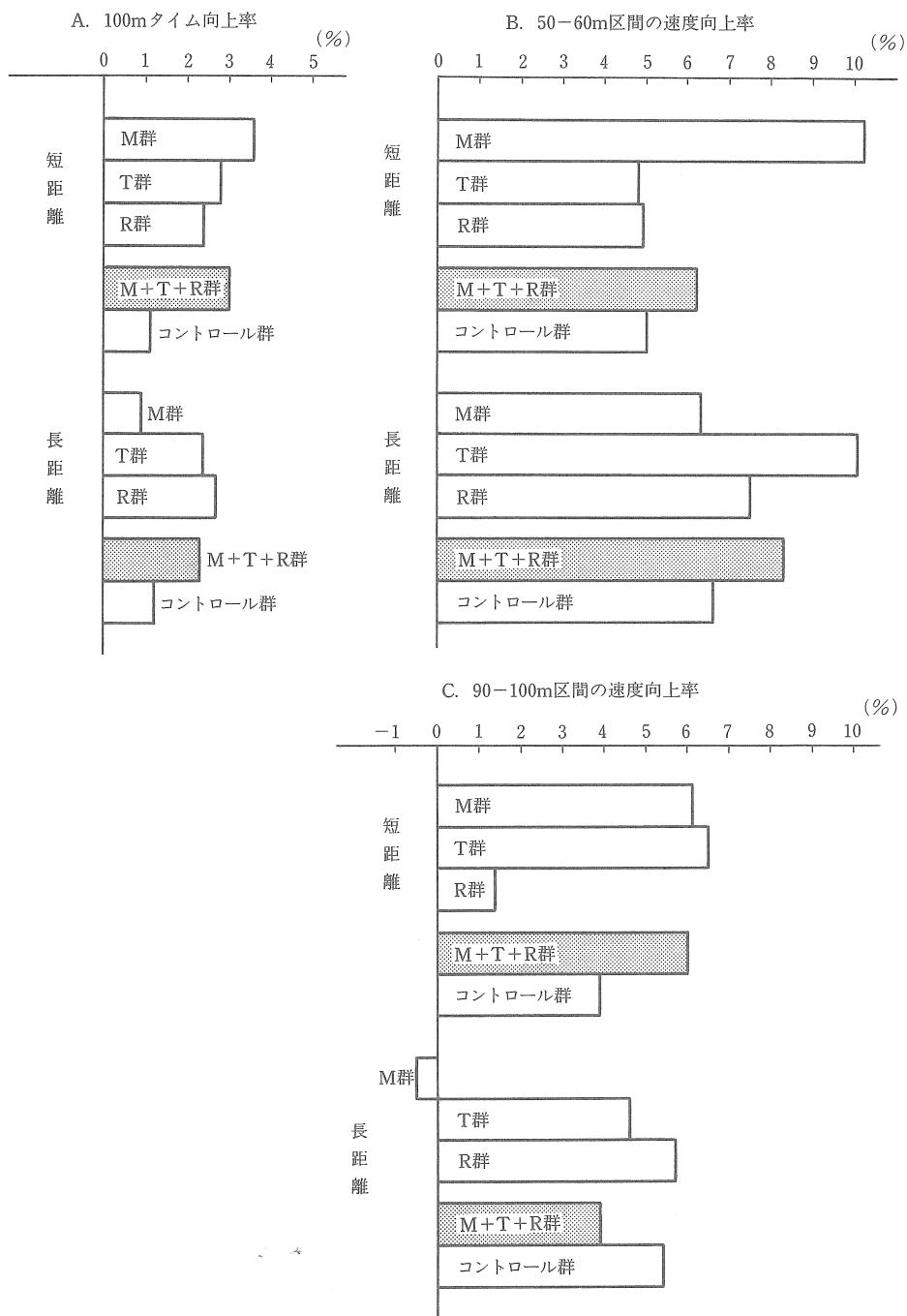


図5 パワートレーニング開始4週目における100m走記録と、50-60m区間および90-100m区間速度のトレーニング前との比較

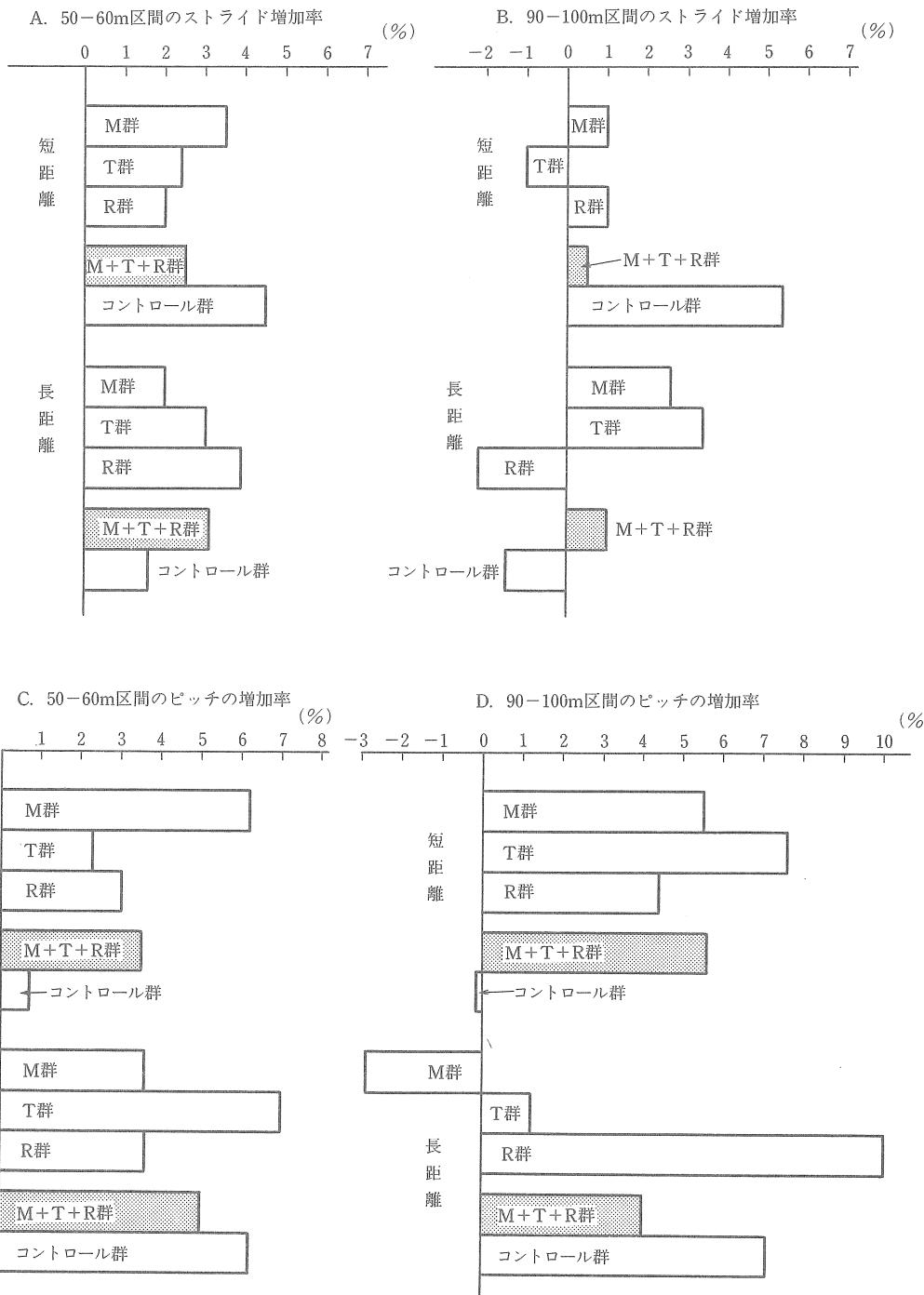


図 6 パワートレーニング開始4週目における100m走の50–60m区間、90–100m区間のストライドおよびピッチのトレーニング前との比較

ことが望ましいと考えられる。

この場合の、パワーアップそのものを目的とする時には、本研究のT群およびM群に用いた高い負荷(kp)のトレーニングが有効であり、長距離選手の場合のように、すばやい筋収縮に対する刺激を高めたい時には、R群に用いた高回転(rpm)のトレーニングが有効であろう。

但し、高回転といえども、無負荷でのペダリングではパワーアップ効果は期待できないので、本研究のR群では、99%のMAnP発揮条件でのペダルの高回転条件を設定している。

前年度の研究²⁾では、10秒間から10分間の範囲における一定のパワー発揮能力について、無酸素性エネルギー由来のパワーと有酸素性エネルギー由来のパワーの割合について検討したが、短距離選手では、無酸素性エネルギーに対する依存度が高く、長距離選手では、有酸素性エネルギーに対する依存度が高いことが明らかになった。

本年度の研究において、短距離選手が最大パワーを繰り返し発揮するトレーニングで、繰り返しによるパワー発揮において低下の割合が少なくなる傾向がみられた。これは、長距離選手がパワー発揮を繰り返しても、パワー値に低下があまりみられないというパターンと類似のものである。

これは、短距離選手では、パワー発揮のインターバル時間内の回復能力が高まったことを示している。回復期には、有酸素的エネルギー機構も有效地に作用することから、反復されるパワー発揮トレーニングでは、回復期の有酸素的エネルギー機構の改善をもたらすことを裏づけているといえよう。

本研究では、無酸素的パワートレーニングと有酸素的パワートレーニングの相互作用に関するプロジェクト研究の一環として、最大パワーの発揮能力に焦点をあてて研究を進めてきた。しかし、無酸素的パワートレーニングと有酸素的パワートレーニング効果に関する相互作用は、反復されるパワー発揮の回復能力において、より密接に関連している可能性も考えられ、新たな研究課題が提供されたものといえよう。

まとめ

1. 大学陸上部員24名の対象者のうち、短距離選手8名、長距離選手8名について、アイソパワーエルゴメーター(竹井機器製)を用いて、週3回、8週間のパワートレーニングを実施した。

2. トレーニングは、7秒間の全力ペダリングと53秒間の無負荷ペダリングを1セットとし、連続的に10セット実施する方法とした。MAnPが出現した時の負荷(kp)とペダルの回転数(rpm)の組み合わせによって、トレーニング群をM群(100% MAnP発揮条件)、T群(99% MAnP発揮条件:高いkpと低い回転数)、R群(99% MAnP発揮条件:低いkpと高い回転数)の3群に分けた。

3. 4週間のパワートレーニングによって、各トレーニング群にMAnPの増大がみられた。増大率は、短距離M群5.1%、T群9.5%、R群3.9%であり、長距離M群6.5%、T群6.7%、R群16.4%であった。4週目から8週目にかけての増大率は小さかった。

4. 短距離選手では、MAnPが出現したペダルの負荷(kp)か、+10%の負荷(kp)でパワートレーニングすることの効果が大きく、長距離選手では、ペダルの回転数を高めたトレーニングの効果も大きかった。

5. 短距離選手では、パワートレーニングによって発揮パワーの増大とともに繰り返しのパワー発揮能力が高まる例が多かった。長距離選手では、発揮パワーの水準が向上する例が多かった。

6. パワートレーニングによって、100m疾走速度にも向上がみられ、40-50m区間、および90-100m区間で計測した速度、ストライド、ピッチの変化については、特に40-50m区間での向上が顕著であった。

文 献

- 1) 生田香明、猪飼道夫：自転車エルゴメーターによるMaximum Anaerobic Powerの発達の研究、体育学研究、17：151-157、1972.
- 2) 小林寛道、天野義裕：無酸素性および有酸素性パワー発揮能力の相互作用に関する研究昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告、No.VII 無酸素的パワートレーニングと有酸素パワートレーニングの相互作用に関する

- する研究—第1報— 日本体育協会スポーツ
科学委員会, 21-30, 1986.
- 3) 宮下充正: カナダのスポーツ選手の体力を測
る。Jap. J. Sports Sci. 4 (8) : 591-597, 1985.
- 4) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正: 最大無酸素
パワーの自転車エルゴメーターによる測定法,
Jap. J. Sports Sci. 3 (10) : 834-839, 1984.
- 5) 山本正喜, 宮村充正: 90秒間連続の最大努力
作業時に発揮されるパワーに関する研究—最
大無酸素性パワーおよび最大有酸素性パワー
との関連から— Jap. J. Sports Sci. 4 (4) :
308-313, 1985.

II. 無酸素性パワーへの接近

執筆者 石井喜八¹⁾

研究協力者 伊坂忠夫¹⁾ 高橋勝美¹⁾

緒言

短時間激運動に発揮される運動能力は酸素摂取量ではあらわせない。多くの競技は試合時間が3分間以上で行われていても短時間に全力を発揮する運動が繰り返されている。全力運動の時間は競技により違いがみられる。また、全力運動と次の全力運動との間にはある強度水準の運動が行われている。この運動の強度は競技場の広さ、相手とのかけひき、規則などにより異なると考えられる。

そこで本研究では、1) 数秒から数分間続く激運動後の乳酸値を測定し乳酸系関与の度合いを検討すること、2) いく種類かの有酸素運動中に繰り返し全力発揮運動をさせた時のパワーについて検討すること、さらに3) これまで自転車エルゴメーターにより測定されてきた無酸素性パワーが、日常の練習あるいはトレーニング効果の指標として利用できるかどうかについて調べてみることにした。

方 法

1) 激運動と運動後の乳酸値

各被検者に運動時間を7から120秒まで9段階に分け、持続可能な負荷強度を設定し激運動を行わせた。そして運動後の乳酸値を測定した。各激運動は、自転車漕ぎ運動で竹井機器社製ハイパワーエルゴメーターを用いた。運動時間と課した負荷は表1に示す通りである。各被検者は、toe-clipつきペダルの位置が水平よりも上方45度のところから全力漕ぎ運動を行った。運動中は腰をサドルか

ら離さず最初から全力で漕ぐように指示した。

運動終了後、被検者を仰臥姿勢にさせ、回復1分目より1分ごとに肘前静脈から採血し血中乳酸値を測定した。血中乳酸の分析にはHER-100(東洋紡社製)を用いた。採血は乳酸値が最高値に達してから低下しはじめるまで続けた。

被検者は運動部に所属し、日常規則的にトレーニングを積んでいる男子大学生16名(18~22歳)であった。

2) 最大下有酸素運動と繰り返し無酸素性パワー発揮

本実験で用いた最大下有酸素レベルの運動は、 $0 \text{ kg} \cdot \text{m} \times 60 \text{ rpm}$, $40\% \dot{V}_{O_2\text{max}}$, および $60\% \dot{V}_{O_2\text{max}}$ であった。あらかじめ負荷漸増法により、各被検者の最大酸素摂取量($\dot{V}_{O_2\text{max}}$)を測定して、各負荷強度と酸素摂取量の関係図から回帰式を求め、相対負荷強度を決定した。

繰り返し運動は、10秒間の自転車漕ぎ激運動(パワー運動)を1分間隔で10回行わせるものである。負荷強度は体重1kgあたり $0.095 \text{ kg} \cdot \text{m}$ である。パワー運動とパワー運動の間には、最初55秒間を最大下有酸素レベルの負荷でペダリング運動を行わ

表1 激運動時間と負荷

	負荷 ($\text{kg} \cdot \text{m}$)
激運動時間 (秒)	
5, 7, 10, 15	B. W. × 0.095
30	B. W. × 0.0872
60	B. W. × 0.075
90, 100, 120	B. W. × 0.05

1) 日本体育大学

B. W. : 体重

せた。その後の5秒間はフライホイールの回転を静止させるための休止期である。各回とも最初に踏み込む方のペダルを水平位より上方45度に位置させた。この実験に使用したエルゴメーターは、同様のものと同一のハイパワーエルゴメーターであった。

健康な成人男性31名が被検者として参加した。全被検者のうち6名について運動中および回復期中の血中乳酸値を連続的に測定した。運動中の採血は、各パワー運動終了後1分目に行い、回復期中の採血は全運動終了1分目は椅子座位姿勢で、以後2分目からは仰臥位姿勢で1分ごとに実行した。血液標本の分析は、HER-100(東洋紡社製)を用い、測定値が素早く知れるので採血は回復期中の最高乳酸値が確認されるまで続けた。採血部位は橈側皮靜脈であった。

3) シーズン中の水泳選手の最大無酸素性パワー

本学水泳部に所属する男子選手18名(年齢18-22才、平均19.4才)が測定の対象となった。彼らは日本代表選手、若しくはそれに準ずる選手である。

各被検者の身長、体重、脚筋骨量、脚伸展筋力及び10秒間全力自転車駆動時の最大無酸素性パワーをシーズン中の6月と9月に測定した。

脚筋骨量は、JonesとPearson⁸⁾の方法から大腿部及び下腿部の選ばれた各計測点における周径囲、高さ及び皮脂厚を測定し、算出した。

脚伸展筋力の測定には筋力測定装置を用いた。被検者に椅子座位姿勢をとらせ、膝関節90度の状態から膝関節伸展時に発揮する力を測定した。そのとき、被検者の体幹は3本のベルトで固定した。左右の脚に対して2回ずつ測定し、その最大値を脚伸展筋力とした。

自転車エルゴメーターによる機械的出力パワーの測定を行った。竹井機器社製ハイパワーエルゴメーターを用い、10秒間の全力自転車漕ぎ運動を行わせ、そのときのピークパワーを最大無酸素性パワーとした。負荷は被検者の体重1kgあたり0.095kg·mであった。サドル及びハンドルの高さは各被検者ごとに調節した。

6月と9月に測定した値の有意差検定にはT-

検定を用いた。

6月から9月に及ぶトレーニングスケジュールは表2に示す通りである。その運動強度はわが国の中では最高のものといえよう。

結 果

1) 激運動後の乳酸値

各激運動前の安静時乳酸値、運動後に測定した最高乳酸値、最高乳酸値から安静時乳酸値を減じた過剰乳酸値及び最高乳酸値出現時間を表3に示す。

5秒間全力運動後の最高乳酸値は $25.7 \pm 6.7 \text{ mg/dl}$ あり、過剰乳酸値は $17.8 \pm 5.7 \text{ mg/dl}$ を示した。激運動時間が延長するにつれて運動後の最高乳酸値も増大するが、激運動時間が90秒を越えるころから一定値を示した。

最高乳酸値出現時間はいずれの激運動においても運動後1分目には観察されず、運動後4分目から8分目に現われた。

2) 最大下有酸素運動中のくり返し無酸素性パワー発揮

(1)一定有酸素運動の強度と全力運動時のパワー 各回のパワー運動時に発揮された平均出力パワーの体重あたりの値を図1に示した。運動開始時

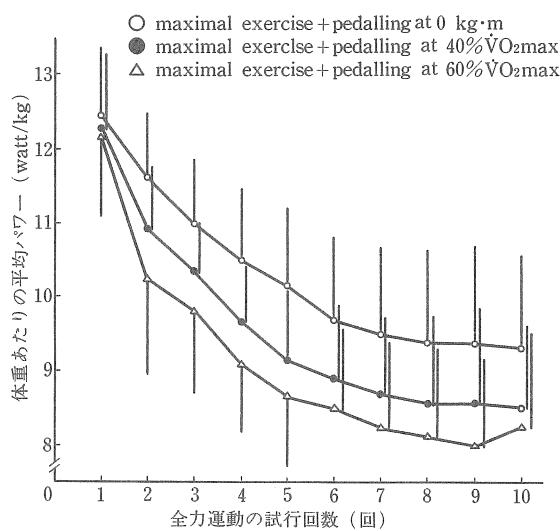


図1 全力運動の試行回数とともに功率値の変化(n=31)

表2 水球シーズン中のトレーニング日程

月	練習時間	内 容	備 考
6	6:00 - 8:00	スプリント泳を中心としたインターバルトレーニング (2500 - 3500 m)	毎週土、日曜日試合
	17:00 - 21:00	パス、ドリブルシュート練習、6-6の攻防練習、試合 (7 min x 2)	
7	10:00 - 13:00	20 - 30mのスプリントダッシュ (水球で要求される動作を入れる) の繰り返し	21 - 30日
	17:30 - 20:30	3、6人のパス - シュート練習、ワンサイドの攻防練習、試合 (7 min x 4)	強化合宿
8	9:00 - 12:00	25mのドリブルダッシュ (飛び付き動作、ジグザグ泳を入れる) の繰り返し。	4 - 10日
	18:00 - 21:00	4人のパス、ドリブルシュート、6-6の攻防練習	20 - 31日 強化合宿
9	6:00 - 8:00	ウェイトトレーニング(上体の強化)、ランニング (8000 m走、50 mダッシュのインターバルトレーニング)	1 - 5日 試合
	17:30 - 20:30	フリーシュート、6-6の攻防練習、試合 (7 min x 8)	

表3 各激運動後の最高乳酸値、最高乳酸値出現時間および安静乳酸値、過剰乳酸値

	激 運 動 時 間 (秒)								
	5 (n=5)	7 (n=5)	10 (n=5)	15 (n=5)	30 (n=5)	60 (n=5)	90 (n=5)	100 (n=5)	120 (n=5)
安 静 時 乳 酸 値 (mg/dl)	7.8 (1.6)	8.4 (1.7)	8.2 (2.6)	7.5 (1.1)	8.6 (2.3)	9.0 (2.9)	10.9 (4.2)	7.9 (0.8)	8.1 (1.6)
最 高 乳 酸 値 (mg/dl)	25.7 (6.7)	32.7 (9.3)	36.0 (7.0)	55.1 (17.9)	61.4 (6.3)	86.3 (5.3)	97.5 (11.1)	94.7 (11.7)	99.0 (6.4)
過 剰 乳 酸 値 (mg/dl)	17.8 (5.7)	24.2 (9.1)	27.8 (5.9)	47.6 (17.0)	52.8 (5.0)	77.4 (3.7)	86.6 (13.8)	86.8 (11.0)	90.9 (5.6)
最 高 乳 酸 値 出 現 時 間 (分)	5 (1)	5 (2)	5 (3)	4 (1)	6 (4)	5 (2)	8 (2)	8 (3)	6 (1)

平均 値
(標準偏差)

表4 パワー運動時に発揮された体重あたりの平均パワーについて
3つの異なるインターバル負荷条件間の差の比較(t検定)

	試行回数(回)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
no load -40% $\dot{V}O_2$ max	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
no load -60% $\dot{V}O_2$ max	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	**
40% $\dot{V}O_2$ max -60% $\dot{V}O_2$ max	ns	**	**	**	*	ns	*	*	**	ns

* : $P \leq 0.05$

** : $P \leq 0.01$

ns: not significant

表5 くり返しパワー運動中および回復期中の乳酸値

	no-load	40% $\dot{V}O_2$ max	60% $\dot{V}O_2$ max
安 静 時			
くり返し運動	9.4 (2.5)	9.3 (2.1)	8.4 (1.3)
1	16.3 (4.7)	14.9 (1.4)	15.1 (2.2)
2	30.6 (10.0)	27.4 (4.2)	25.6 (8.9)
3	37.5 (8.7)	36.2 (5.9)	35.9 (8.9)
4	47.1 (10.9)	45.0 (8.6)	44.1 (11.9)
5	57.4 (15.0)	54.5 (9.7)	48.2 (12.7)
6	62.2 (17.4)	57.4 (7.6)	55.2 (13.6)
7	67.6 (17.2)	63.7 (9.7)	58.8 (12.0)
8	68.2 (18.1)	70.3 (11.8)	63.1 (14.7)
9	76.3 (17.9)	72.5 (6.1)	68.7 (12.8)
回 復 期			
1	77.0 (13.2)	77.6 (12.7)	73.6 (12.6)
2	80.5 (8.2)	83.2 (6.3)	79.9 (6.7)
3	82.0 (7.1)	82.7 (6.0)	81.6 (4.6)
4	82.3 (6.3)	82.6 (5.1)	83.6 (4.8)
5	81.3 (6.2)	81.8 (5.9)	82.3 (6.5)
6	82.2 (6.4)	81.5 (4.7)	81.4 (5.7)
7	79.3 (8.9)	81.2 (5.7)	82.5 (5.3)
最 高 乳 酸 値	85.0 (6.7)	84.1 (6.2)	83.6 (6.1)

単位: mg/dl

平均(標準偏差)

の出力パワーを3種の試行から比較するとやや変動がみられる。この有意差と検定したところ差はみられない。いずれの条件においても出力パワーは漸次低下する。パワー運動とパワー運動との間の運動が無負荷 ($0 \text{ kg} \cdot \text{m} \times 60\text{rpm}$) から40% $\dot{V}O_2$ max, 60% $\dot{V}O_2$ max と強度が増すにしたがい減少傾向は著しい。そこで各最大下有酸素レベルの運

動による差の有無を各パワー運動ごとにt-testで比較した(表4)。2回目以降の値は最大下有酸素レベルの強度が軽くなるにつれパワー運動時のパワーが有意に高い値を示した。

(2)運動中及び回復期中の乳酸値

くり返しパワー運動中及び回復期中の血中乳酸値を表5に示す。一定有酸素運動に無負荷条件を

用いたくり返し運動の最高乳酸値は、 $85.0 \pm 6.7 \text{ mg/dl}$ であり、 $40\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ 条件の場合は $84.1 \pm 6.2 \text{ mg/dl}$ 、 $60\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ の条件を用いた場合は $83.6 \pm 6.1 \text{ mg/dl}$ を示し、最大下有酸素レベルの運動強度には影響されなかった。各有酸素運動下でのくり返しパワー運動中の血中乳酸値は、個体内変動があり有酸素運動の強度との間に明らかな関係を見い出すことはできなかった。

3) シーズン中の水泳選手の最大無酸素性パワー

全力自転車駆動で発揮された最大無酸素性パワーは、平均で9.0%の増加傾向を示した(図2)。これは統計的に有意なものであった。最高で21.1%の増加を示す被検者がいたのに対し、1.2–4.5%の低下傾向を示す者が2名いた。体重あたりの値でも平均で7.8%の有意な増加傾向が認められた。2.2%の低下を示す者が1名いたが、他の被検者は増加を示した。最大無酸素性パワーの絶対値及び体重あたりの値の変化は一様ではなかった。

脚伸展筋力では平均2.9%の低下を示したが、有意ではなかった。また、身長、体重及び脚筋骨量についても有意な変化が認められなかった(図3)。

考 察

1) 激運動後の乳酸値

自転車エルゴメーターによる5秒から120秒間までの9段階について全力ペダリング運動後の血中乳酸値を測定した結果を図示した(図4)。5秒間全力ペダリング運動後の過剰乳酸値は 17.8 mg/dl を示し、これまでに報告されている値と近似するものであった⁵⁾。筋中乳酸値について測定したJacobsら⁷⁾は10秒間の激運動後に $46.1 \text{ mmol/kg dry weight}$ であったという。Boobisら¹⁾は6秒間全力ペダリング後において $28.40 \text{ mmol/kg dry weight}$ (安静時 $9.29 \text{ mmol/kg dry weight}$)という値を報告し、この現象を無酸素的解糖系が関与しているためと説明した。本研究で得られた5秒間全力運動後の乳酸値は、無酸素的解糖系が動員された結果であるといえよう。

激運動の時間が延長するにしたがい血中乳酸値が増加する傾向にある。Diamontら²⁾は3分以内に疲労困憊に達するような走運動後の血中乳酸値が

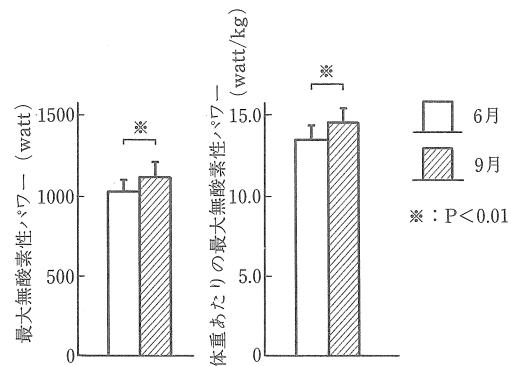


図2 6月および9月に測定された最大無酸素性パワー

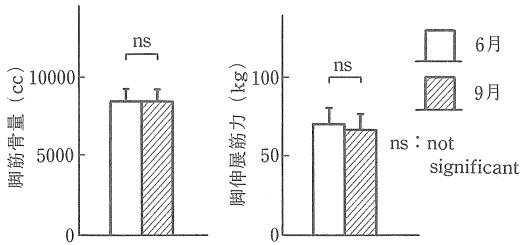
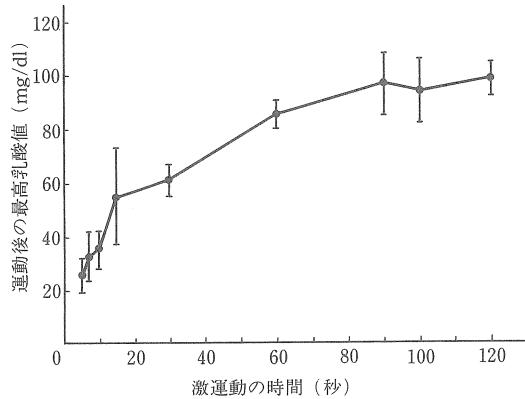


図3 6月および9月に測定された脚筋骨量と脚伸展筋力



11.4 mmol/l であると報告している。本研究の90秒から120秒間激運動後の最高乳酸値は $94.7 \sim 99.0 \text{ mg/dl}$ ($10.5 \sim 11.0 \text{ mmol/l}$)であることから、90秒以上の激運動後の乳酸値は同様な水準にある。

無酸素的解糖によるエネルギー産生は、5秒間の全力ペダリング時にも動員されるとみられる。ここでは体内 O_2 store の関与を考慮しなければならないであろう。激運動時間の延長とともに全エネルギー産生に貢献する無酸素的解糖系の割合が増大し、90秒の激運動時に ATP-CP 系、乳酸系のエネルギー供給が最大となることが予測される。

各激運動後の最高血中乳酸値が出現する時間は、平均値でみると15秒運動後の4分から90秒運動後の8分目までの範囲であった。ここでは静脈血の乳酸値を測定しているため、筋で生じた乳酸が洗い出されて血液中に入り、静脈へ循環するのに時間的遅れを生じるためと考えられる。

2) 最大下有酸素運動とくり返し無酸素性パワー発揮

くり返し発揮されたパワーの値を体重あたりの平均パワーであらわしてみると、その値はパワー運動とパワー運動の間に介入した最大下有酸素運動に影響された。2回目以降のパワー値は有酸素運動の強度水準が無負荷条件、40% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と強くなるにつれ有意に低い値を示した。

各条件下でのパワーの低下の傾向を数量化するために、片対数グラフに試行回数とパワー値をとってみた(図5)。図から明らかなようにいずれの有酸素運動を用いた場合でも7回目を変曲点とする2本の直線になる。

Jacobs ら⁷は CP の筋内貯蔵が10秒以内で消耗し、10秒間の全力運動後に観察された乳酸の顕著な増加は解糖系がすでに活発に動員されているからと解している。Mc Cartney ら¹¹は4分間の安静休息をはさんで30秒間の全力ペダリングをくり返しさせた時のパワー値は3回まで著しく減少したが、3回目と4回目のパワー値には差がないと報告した。彼らはパワー値の変化を筋グリコーゲン減少と筋乳酸蓄積の増加から説明している。

この実験の1回目から7回目までのパワー値の急激な減少は、筋グリコーゲン量の減少と乳酸蓄積の増大と解してよからう。また、7回目以降の減少傾向は乳酸蓄積により無酸素的解糖系が抑制されたためと推察できる。このことはいずれの有酸素運動を用いた場合でも最高乳酸値に差がなか

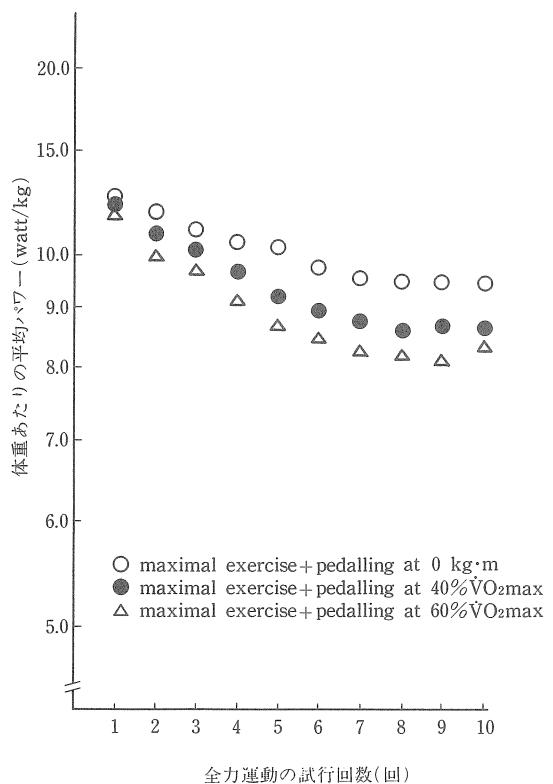


図5 片対数グラフで示した全力運動の試行回数に対する体重あたりの平均パワー値

ったことからも示唆される。

また、パワー運動と次ぐパワー運動の間に用いられた有酸素運動の水準の違いによる1回目から7回目までのパワー減少の差異は、その間のインターバル中に動員された遅筋線維の数あるいは量に差が生じ、筋グリコーゲン減少パターンに相違をもたらしたためと推察できる⁴⁾。

くり返し運動中に測定された血中乳酸値は有酸素運動の強度水準あるいはパワー値との間に定性的な関係を示さなかった。断続的運動中の静脈血中の乳酸値は、筋からの洗い出し効果や循環による時間的遅れが加重されるために、筋中乳酸の確固たる指標とはなり得ないといえよう。

3) 無酸素性パワーに関する水球トレーニングの効果

水球競技は一試合約60分間であり、試合時間から見れば試合中のエネルギー産生は有酸素系が主

心となると考えられる。

最大無酸素性パワーは、増加傾向が認められた。このパワー向上には、力（負荷）と速度の向上、あるいはいずれか一方の向上が考えられる。体重では有意な変化が認められず、体重あたりの最大無酸素性パワーの向上が認められている。その結果は、スピードが向上したといえるであろう。6—9月のトレーニングでは、スプリント泳を主として行い、またシートやパスの動作では短時間に速い下肢の運動をトレーニングの狙いとしているので、この運動スケジュールはスピードの向上に貢献したものと考えられる。脚筋骨量は自転車エルゴメーターによる機械的出力パワーと関係があると報告されている⁶⁾。本研究では最大無酸素性パワーが向上したにもかかわらず脚筋骨量には変化が見られなかった。したがって短時間激運動時の機械的出力パワーの増大の原因は、糖原質及びグリコーゲン貯蔵量の増加と³⁾⁹⁾¹⁰⁾と神経系の動員の強化を考えることができる。

最大無酸素性パワーの増加は、被検者間で一様ではなかった。各被検者のトレーニングの相互作用によるものであろう。

本学水球選手の行っているトレーニングスケジュール及びその実践は、パワーの向上に貢献するといえる。特にスピードを向上させるといってよからう。

まとめ

本研究では、1) 5秒から120秒間の激運動後の乳酸値、2) 3種類の最大下有酸素運動とくり返し無酸素性パワー発揮、3) 無酸素性パワーに関する水球トレーニングの効果について検討した。その結果、以下のことがわかった。

1. 5秒間全力ペダリング運動後の過剰乳酸値は17.8mg/dlを示し、無酸素的解糖（乳酸系）が動員された結果と推察される。

2. 90秒以上の激運動後の乳酸値は近似した水準（94.7～99.0mg/dl）であった。90秒の激運動時にATP-PC系、乳酸系のエネルギー供給が最大となることが予測される。

3. くり返し運動において、2回目以降のパワー値は最大下有酸素運動の強度水準が低いほど高

い値を示した。

4. くり返し運動時のパワー低下は7回目を変曲点とする2相にわかれた。

5. 本学水球選手の最大無酸素性パワーは、シーズン中3ヶ月間に9.0%向上した。

文 献

- 1) Boobis, L., C. Williams, and S. A. Wootton : Human muscle metabolism during brief maximal exercise. *J. Physiol. (London)*, 338 : 219, 1983.
- 2) Diamant, B., J. Karlsson, and B. Saltin : Muscle tissue lactate after maximal exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, 72 : 383—384, 1968.
- 3) Gollnick, P.D., R.B. Armstrong, B. Saltin, C. W. Saubert IV, W.L. Sembrowich, and R.E. Shepherd : Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, 34(1) : 107—111, 1973.
- 4) Green, H.J. : Glycogen depletion patterns during continuous and intermittent ice skating. *Med. Sci. Sports.*, 10(3) : 183—187, 1978.
- 5) 猪飼道夫：血液乳酸からみた無酸素的パワーの研究。日本体育協会スポーツ科学的研究報告, 1969.
- 6) 石井喜八, 伊坂忠夫, 滝沢宏人, 高橋勝美：競技種目別にみた10秒間自転車漕ぎ運動時の最大無酸素性パワー。日本体育大学紀要15(2) : 51—57, 1986.
- 7) Jacobs, I., P.A. Tsch, O. Bar-Or, J. Karlsson, and R. Dotan : Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 55(2) : 365—367, 1983.
- 8) Jones, PR. M., and J. Pearson : Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volume in young male and female adults. *J. Physiology*, 204 : 63—66, 1969.

- 9) Karlsson, J., L. Nordesjo, L. Jorfeldt, and B. Saltin : Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. *J. Appl. Physiol.* 33(2) : 199—203, 1972.
- 10) MacDougall, J.D., G.R. Ward, D.G. Sale, and J.R. Sutton : Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43(4) : 700—703, 1977.
- 11) McCartney, N., L.L. Spriet, G.J.F. Heigenhauser, J.M. Kowalchuk, J.R. Sutton, and N.L. Jones : Muscle power and metabolism in maximal intermittent exercise. *J. Appl. Physiol.*, 60(4) : 1164—1169, 1986.

III. ラグビー競技者の有氣的および無氣的 パワートレーニングに関する研究（第2報）

執筆者 浅野勝己¹⁾

共同研究者 鷺浩貴¹⁾

I. 緒言

前報²⁾において、大学ラグビー競技者14人(18~21才)を対象とし、週3~5回の有氣的パワー、無氣的パワーおよび両パワーの各トレーニングを各3群について、約8週間にわたり継続し、両パワートレーニングの作業能に及ぼす効果の特異性を検討した。この結果、無気的パワートレーニングは、無気的パワーを改善するが、有氣的パワーへの改善は明らかでないこと、および有氣的パワートレーニングは無気的パワーと有氣的パワーを共に改善する傾向をもたらし、ラグビー競技をモデル化した40分間にわたる1分間全力発揮の間欠的ペダリング時作業能を改善する傾向を指摘した。

しかしトレーニング時期が、10~12月の試合期に入っていた為に、それまでの鍛錬期に比して練習量の低減等に起因すると考えられる、トレーニング後の脚筋出力の低下やとくに無気的パワートレーニング群での $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の減少傾向などが認められ、両パワートレーニングの作業能に及ぼす効果の特異性を十分に明らかにできなかった。

そこで本年度は、同一被検者ではないが同じく大学ラグビー競技者について、トレーニング時期を約1ヶ月早めて、9~11月とし鍛錬期内に実施できるように配慮した。またトレーニング群は、有氣的パワーおよび無気的パワーの両群のみとし、さらにトレーニング内容を前報よりも、比較的運動強度の高いインターバル方式やタイヤ牽引による全力走等の方法を用いることにした。

本研究によりラグビー競技に必要な無気的パワ

ーおよび有氣的パワーの両パワー特性の相互関係について、両パワートレーニングの効果の比較から基礎的検討を行いたい。

II. 方 法

1. 被検者：

筑波大学ラグビーパークに所属するバックスの選手9人(18~20才、平均19才)を対象とした。この被検者を無作為に2群に分類し、一方をスプリント全力走(Sprint training)の無気的パワートレーニング群(S群)5人、他方を全力持久走(Endurance training)の有氣的パワートレーニング群(E群)4人とした。これら被検者の身体的特性はTab. 1に示した。

2. トレーニング方法：

トレーニング期間は、9月下旬より11月中旬までの約8週間とし、週2~4回(平均3.0回/週)の頻度で、練習終了後に約12~45分間にわたりトレーニングを実施した。両群のトレーニング内容は、Tab. 2に示した。すなわちS群では、22m、50mおよび100mのゴムタイヤ(約20kg)による牽引全力走を、それぞれ3~9本、2~7本および1~2本、5~10分の休憩をはさみインターバルとレペティション方式で40~45分間にわたり実施した。またE群では、12分間全力走および3000m以上の持久走を、4~5分の休憩をはさみインターバルとレペティション方式で25~30分間にわたり行った。

3. 測定項目および方法：

両トレーニング群ともトレーニング前後に、有

1) 筑波大学体育科学系運動生理学研究室

Table. 1 Physical characteristics in subjects

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	% Fat (%)	Thigh girth (cm)
Sprint T. G					
T. I	20	173.2	71.5	13.2	56.0
K. I	19	181.0	73.4	9.3	58.5
S. K	18	167.1	64.0	12.0	54.1
M. T	20	165.5	61.6	11.8	53.6
R. T	19	166.5	65.5	10.9	53.1
(mean)	19.20	170.7	67.2	11.44	55.06
(S. D)	0.75	5.8	4.5	1.30	1.98
Endurance T. G					
M. I	20	177.1	72.6	11.1	55.0
F. S	20	173.1	64.7	12.0	54.5
H. T	19	179.4	74.5	11.8	57.0
D. T	19	171.7	68.8	12.3	53.3
(mean)	19.50	175.3	70.2	11.80	54.95
(S. D)	0.50	3.1	3.8	0.44	1.36
Total					
(mean)	19.33	172.7	68.5	11.60	55.01
(S. D)	0.67	5.3	4.4	1.03	1.72

Table. 2 Training program in per week

Sprint T. G (exhaustive running)
(1 st day) : 22 m×7 - 9, 50 m×5 - 7, 100 m×1 - 2 40 min. ... interval training (rest - 10 min.)
(2 nd day) : 22 m×3 - 5, 50 m×2 - 4, 100 m×1 - 2 45 min. ... repetition training (rest - 5 - 10 min.)
(3 rd day) : (22 m×4)×2, (50 m×3)×2 45 min. ... interval training (rest - 10 min.)
(1 st day), (2 nd day), (3 rd day) : dragging tire (20 kg)
Endurance T. G (exhaustive running)
(1 st day) : 1000 m×3 25 min. ... interval training (rest - 4 - 5 min.)
(2 nd day) : 3000 m×1, or 12 min. running 12 min. ... repetition training
(3 rd day) : 1000 m+ 2000 m+ 1000 m 30 min. ... interval training (rest - 4 - 5 min.)

気的パワー、無気的パワーおよびラグビー競技を模擬した間欠的ペダリングパワー出力の3項目について測定を行った。

1) 有気的パワー：

筑波大学体育科学系環境制御装置を用い、温度22°C、相対湿度60%の環境下において測定した。すなわち起座位安静5分後に、勾配2.5%(4.3%)のトレッドミルにより、まず140m/minの速度で2分間、次いで180m/minで1分間の計3分間のウォームアップを行い、5分間の起座位休憩の後に、140m/minの速度より2分毎に20m/minずつ走行速度を増加して、疲労困憊に至らしめた(Fig. 1)。

(1) O_2 摂取量 ($\dot{\text{V}}\text{O}_2$) :

ダグラスバッグ法により、安静時5分間および最大走行時の心拍数(HR)180拍以上に達した時点より疲労困憊に至るまで1分毎に連続して採気した。 $\dot{\text{V}}\text{O}_2$ は標準ガスで較正した質量分析計(Perkin-Elmer製、MGA-1100)により測定した。

(2) 血中乳酸濃度 (HLa) および血液性状：

HLa, RBC, WBC, Hb および Ht 測定のため、安静時および最大走行運動終了3分後に肘正中静脈より採血した。HLaは、採血後直ちに溶血したサンプルを、Roche社製LA-640により分析した。RBC, WBCは自動血球分析計により、HbはHbメーター法、Htは毛細管法により測定した。

2) 無気的パワー：

(1) 最大無気的パワー：

モナーク社製自転車エルゴメーターにより、5kp, 6kp および 7kp の各負荷で、それぞれ10秒間の全力ペダリングを実施した(Fig. 2)。パワー測定は、車輪の片面に投光部の豆電球と受光部の光電管セルを設置し、車輪1回転毎に1回の信号が入力できるようにし、ペンオッショロにより毎秒回転数を記録した。当回転数より生田らの方法⁴⁾により最大無気的パワーを求めた。さらに7kpでの10秒間全力ペダリング終了直後に肘正中静脈より採血し、HLa, Hb および Ht を前述の方法で分析した。

(2) 脚伸展パワー：

ルーメックス社製サイベックスIIを用いて、右脚の伸展パワーを測定した。被検者を座位にて腰

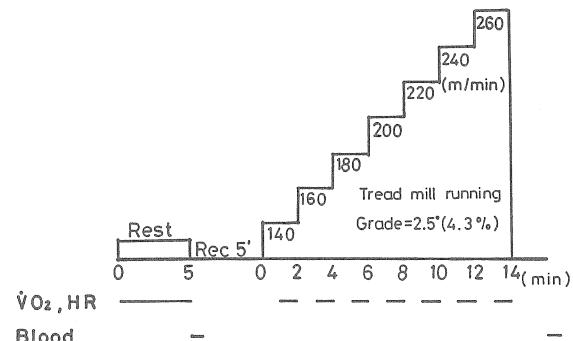


Fig. 1 Protocol for measurement of maximum aerobic power

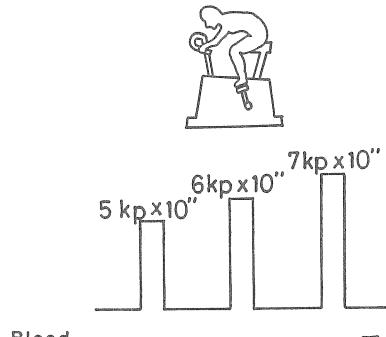


Fig. 2 Protocol for measurement of maximum anaerobic power

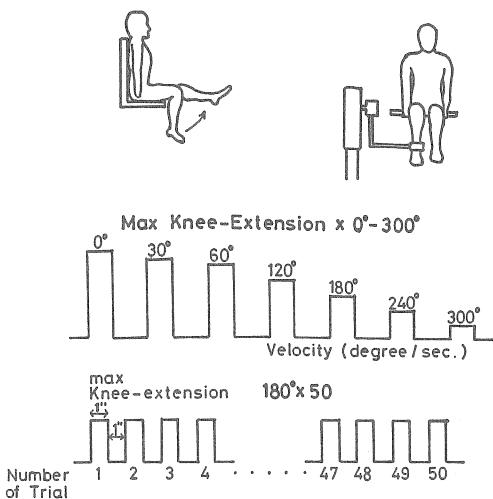


Fig. 3 Protocol for measurement of maximum knee-extension power at various velocities and changes in the decline rate of power during 50 trials at 180° velocity

および上体を動かないようにし、さらに右足頸部を測定用レバーアームで固定した。測定角速度は、 0° , 30° , 60° , 120° , 180° , 240° , $360^\circ/\text{sec}$ の 7 段階とし、膝関節の角度 90° より 180° まで全力で脚伸展させ各角速度における最大筋出力のピークトルク ($\text{N}\cdot\text{m}$) として表示した。さらに $180^\circ/\text{sec}$ の角速度で、最大努力の脚筋出力発揮を 2 秒に 1 回のリズムで 50 回連続して行い、そのさいの連続する 5 回の平均値によるパワー推移と筋出力発揮の持久力（低減率）を算出した。すなわち低減率は次式により求めた (Fig. 3)。

低減率 (%) =

$$\frac{(1 \sim 5 \text{ 回の平均値}) - (46 \sim 50 \text{ 回の平均値})}{(1 \sim 5 \text{ 回の平均値})} \times 100$$

3) ラグビー競技をモデル化した間欠的作業におけるパワー出力

コンビ社製パワーマックス-V を用い、3 kp の負荷で 10 秒間の全力ペダリングを、50 秒間の休憩をはさみ 40 回連続して行った (Fig. 4)。1 回の全力ペダリング運動時パワーは、運動終了後にデジタル表示される 10 秒間の平均パワー (Watt) を記録し、これを 40 回分総和することにより、この間欠的作業時の総パワー値を算出した。また 5 回毎のパワーの平均値を求めて、40 分間のパワーの推移を検討した。また HR を胸部双極誘導法により、連続的にペンオッショ (三栄社製 SK12) を用いて記録した。さらに安静時、ペダリング 20 回目および 40 回目の各運動終了直後に肘正中静脈より採血し、Roche 社製 LA-640 により分析して求めた。

III. 結 果

8 週間の有気的および無気的パワーの各トレーニングが、有気的パワー、無気的パワーさらにラグビー競技時をモデル化した間欠的運動時の脚筋出力パワーに及ぼす影響について、S 群と E 群を比較検討した。

1. 有気的パワーに及ぼす影響：

1) $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$: S 群では絶対値で $4.28 \ell/\text{min}$ から $4.35 \ell/\text{min}$ 、体重当りの値で $63.3 \text{m/kg}/\text{min}$ から $65.0 \text{m/kg}/\text{min}$ へわずかに増加する傾向にあるが

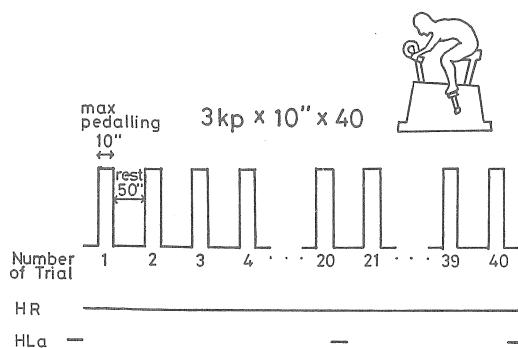


Fig. 4 Protocol for intermittent work simulating rugby game

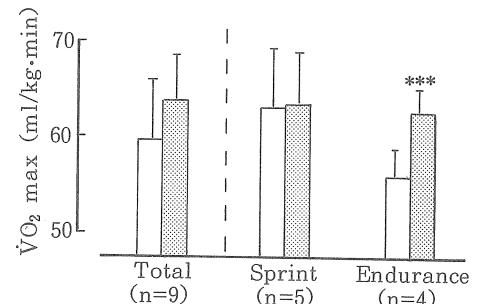
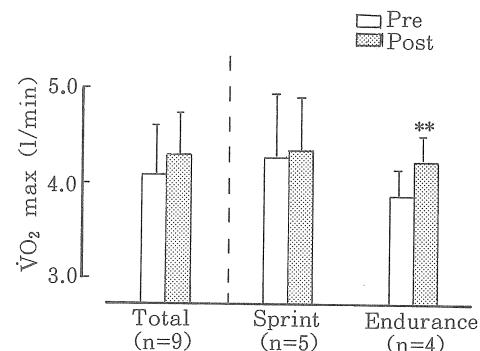


Fig. 5 Changes in maximal oxygen uptake ($\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$) before and after training
(** p<0.01) (***)p<0.001)

有意な増加ではない。一方、E 群では絶対値で $3.88 \ell/\text{min}$ から $4.23 \ell/\text{min}$ へ約 8 % の有意増 ($P < 0.01$) を示し、体重当り値で $55.3 \text{m/kg}/\text{min}$ から $62.5 \text{m/kg}/\text{min}$ へ約 11 % の有意増 ($P < 0.001$) を示している (Fig. 5)。

2) Exhaustion test 時のトレッドミル走行距離：

Fig. 6 はトレーニング前後のトレッドミル走行距

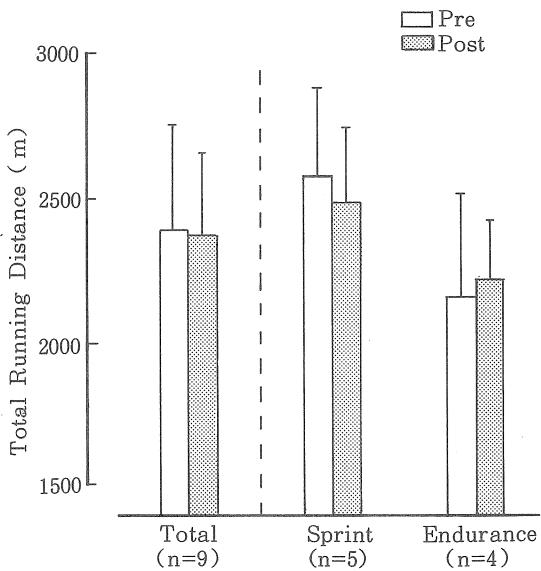


Fig. 6 Comparisons of the total running distance before and after training

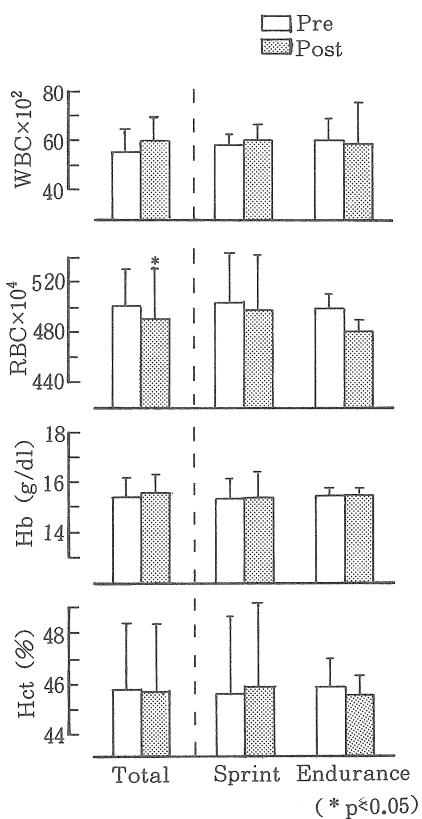


Fig. 7 Changes in blood compositions at resting condition before and after training

離を、両群について比較したものである。すなわち S 群では平均2,580mから2,496mと約3%の減少傾向にあるが、E 群では平均2,160mから2,215mへ約3%の増加傾向を示している。

3) 血液性状：

トレーニング前後の安静時の WBC, RBC, Hb および Ht の変化を、両群について比較したのが Fig. 7 である。WBC は S 群では平均 $5,080/\text{mm}^3$ から $6,040/\text{mm}^3$ と約16%の増加傾向を示したが、E 群では平均 $6,120/\text{mm}^3$ から $5,950/\text{mm}^3$ へ減少傾向にあった。次に、RBC では、S 群では平均 $507 \times 10^4/\text{mm}^3$ から $499 \times 10^4/\text{mm}^3$, E 群では平均 $502 \times 10^4/\text{mm}^3$ から $480 \times 10^4/\text{mm}^3$ へそれぞれ約2%, 4%の減少傾向を示している。一方、Hb は、S 群では平均 15.3g/dl から 15.4g/dl ,

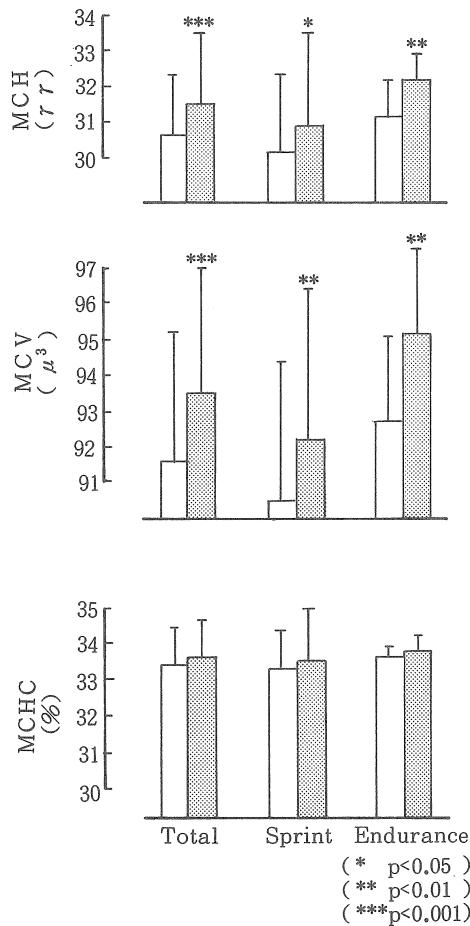


Fig. 8 Changes in MCH, MCV and MCHC at resting conditions before and after training

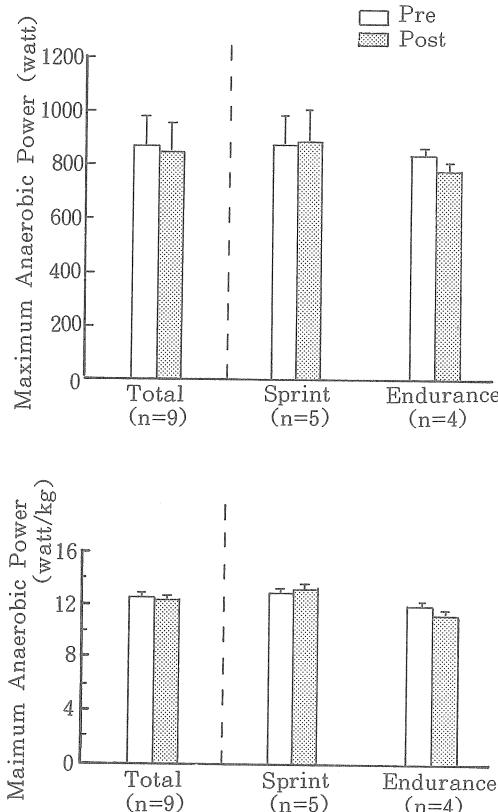


Fig. 9 Changes in the maximal anaerobic power before and after training

E群では平均15.5g/dlから15.5g/dlとほぼ同等の値であった。またHtもS群で平均45.8%から46.0%, E群で平均46.1%から45.7%とほぼ同等であった。

そこでMCH (Hb/BRC×10), MCV (Ht/RBC×10) およびMCHC (Hb/Ht×100) の各指標について、両群のトレーニング前後の値を示したのがFig. 8である。すなわちMCHは、S群では平均30.3rrから31.0rrへ約2%の有意増 ($P < 0.05$), E群では平均31.3rrから32.3rrへ約3%の有意増 ($P < 0.01$) を示した。またRBCがE群でトレーニング後に比較的低減するために、トレーニング後のE群のMCH値は比較的高い値である。またMCVは、S群では平均90.6 μm^3 から92.3 μm^3 へ約2%の有意増 ($P < 0.01$), E群では平均92.8 μm^3 から95.2 μm^3 へ約3%の有意増 ($P < 0.01$) を示している。これもMCHと同様にRBCの低減が比較的大

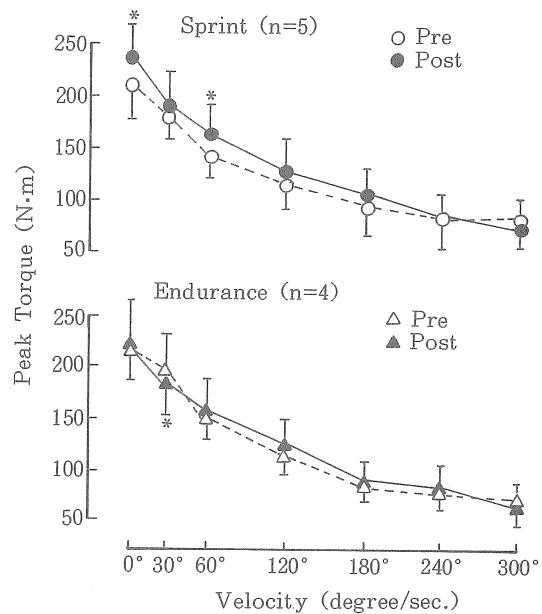


Fig. 10 Maximum knee-extension power at various velocities before and after training
(* $p < 0.05$)

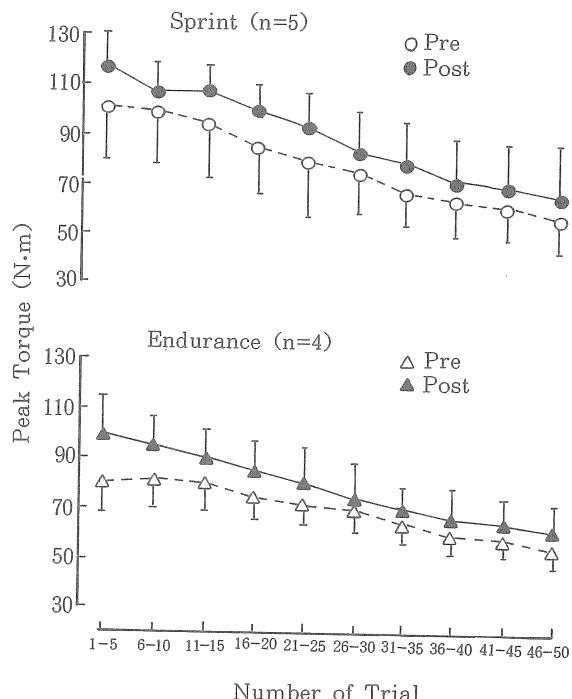


Fig. 11 Changes in the decline rate of power during 50 trials at 180° velocity before and after training

Table. 3 Changes in the power of leg extention during 50 trials repeated contractions at the speed of 180°/sec and the decline rate of power before and after training

Subject	Peak Torque of 180°/sec (Nm)			Rate of power decline (%)	
	1 - 5 (x)	45 - 50 (x)		Pre	Post
Sprint T. G					
T. I	107.5	119.9	60.4	73.9	43.8
K. I	125.2	124.7	67.5	92.3	40.1
S. K	98.2	122.0	46.7	67.7	52.4
M. T	104.6	124.6	48.2	30.9	53.9
R. T	66.8	94.4	50.0	57.5	25.1
(mean)	100.4	117.1*	54.6	64.5*	44.3
(S. D.)	19.1	11.5	8.1	20.3	10.3
Endurance T. G					
M. I	86.9	94.2	61.7	54.1	29.0
F. S	78.1	105.7	46.3	64.8	40.1
H. T	77.0	123.3	57.7	75.8	25.1
D. T	81.4	110.6	56.9	75.8	30.0
(mean)	80.8	103.5**	55.8	62.6	31.1
(S. D.)	3.8	10.4	5.5	9.0	5.5
Total					
(mean)	91.7	113.3	55.1	65.9	38.4
(S. D.)	17.4	11.9	7.1	16.3	10.8

(* p < 0.05)

(** p < 0.01)

きいために、E群のMCHはトレーニング後に比較的高い値を示している。一方、MCHCでは、両群ともトレーニング前後でほぼ同等の傾向にあった。

2. 無気的パワーに及ぼす影響：

1) 最大無気的パワー：

S群ではトレーニング後にわずかな増加傾向を示したのに対し、E群では逆に減少傾向にあった(Fig. 9)。すなわちS群では絶対値で、平均870.6Wattから878.7Wattへ、体重当りの値で、平均12.9Watt/kgから13.1Watt/kgへわずかに増加傾向にあるが、E群では絶対値で、平均851.8Wattから795.7

Wattと約7%の減少傾向にあり、体重当りの値でも平均12.1Watt/kgから11.8Watt/kgと約3%の減少傾向を示している。

2) 脚伸展時筋出力パワー：

トレーニング後、両群ともに300°/secおよびE群の30°/sec以外でピークトルクの増大傾向が認められた(Fig. 10)。S群では0°/secで209N·mから235N·mへ約11%の有意増(P<0.05)を示し、さらに60°/secにおいても142N·mから165N·mへ約14%の有意増(P<0.05)を示した。一方、E群では30°/secおよび300°/sec以外では、わずかな増加傾向を示し、S群に比べその増加率は低い。

次にトレーニング前後の50回連続脚伸展パワー

の経時変化を両群について示したのがFig. 11である。両群ともトレーニング後に、高い筋出力を發揮し、とくにS群は後半にかけても前半とほぼ同様の高いパワー発揮を示すのに対し、E群は後半でS群に比べパワーの低減する傾向が指摘される。

さらに1～5回のピークトルク(初期値)と46～55回(終末値)のトレーニング前後の変化およびそれから算出した低減率をTab. 3に示した。

初期値は、両群とも各約14%、21%の有意な増大を示したが、終末値ではS群で約15%の有意増(P<0.05)を示したのに対し、E群では約11%の増加傾向にとどまり、有意な増大ではなかった。また低減率では、S群では44.3%から、トレーニング後に37.7%と低減率の減少する傾向を示しているが、一方、E群では、31.1%からトレーニング後に36.6%と、低減率の増加傾向を示した。

3) 最高血中乳酸濃度(HLamax) :

トレッドミル走行によるexhaustion test 3分後のHLamaxは、トレーニング後、S群では平均11.6 mM/ℓから8.8mM/ℓへ約24%の有意減(P<0.01)を示した。一方、E群では平均9.9mM/ℓから11.6mM/ℓへ約14%の増加傾向を示している(Tab. 4)。

次に3種の速度での間欠的な10秒間全力ペダリング駆動後のHLamaxでは、トレーニング後、S群では平均6.9mM/ℓから6.8mM/ℓへ約2%の減少傾向を示した。またE群でも平均6.8mM/ℓから6.4mM/ℓへ約6%の減少傾向にあった。

3. ラグビー競技時をモデル化した間欠的運動時の脚筋出力パワーに及ぼす影響:

1) トータルパワー:

40分間の間欠的全力ペダリング時のトータルパワーは、S群で平均18,648Wattからトレーニング後に18,885Wattへ約1%のわずかな増加傾向を示したが、E群では平均18,116Wattから18,119Wattとほぼ同値で変化が認められなかった。

2) ペダリング時心拍数の推移:

40分間の間欠的全力ペダリング時的心拍数を、5回毎の平均値の経時推移を両群のトレーニング前後について比較した(Fig. 12)。

トレーニング前後の総平均心拍数をみると、S群

Table. 4 Changes in HLa of $\dot{V}O_2$ max and maximal Anaerobic power before and after training

Subject	HLa of		HLa of Max.	
	$\dot{V}O_2$ max (mmol/l)	Anaerobic power (mmol/l)	Pre	Post
Sprint T. G				
T. I	11.91	10.56	8.95	7.84
K. I	13.36	9.67	7.98	9.05
S. K	13.74	9.65	8.30	7.41
M. T	7.01	4.70	4.49	4.53
R. T	11.88	9.52	4.87	5.06
(mean)	11.58	8.82**	6.92	6.78
(S. D.)	2.40	2.09	1.86	1.71
Endurance T. G				
M. I	10.22	9.70	8.16	5.43
F. S	10.24	13.06	7.39	9.41
H. T	7.19	11.95	5.96	6.02
D. T	11.93	11.54	5.72	4.74
(mean)	9.90	11.56	6.81	6.40
(S. D.)	1.71	1.21	1.01	1.80
Total				
(mean)	10.83	10.04	6.87	6.61
(S. D.)	2.28	2.22	1.54	1.76

(** p < 0.01)

では平均164.5拍/分から154.6拍/分と約10拍/分で約6%の有意な減少(P<0.001)を示している。一方、E群では平均165.6拍/分から163.6拍/分とわずか2拍/分で有意な低下は認められなかった(Table. 5)。

3) ペダリング時血中乳酸濃度とパワーの推移:

40分間の間欠的全力ペダリング時の20分目および40分目の血中乳酸濃度について、両群のトレーニングによる影響をみたのが、Fig. 13とTab. 5である。すなわちS群では20分目に12.7mM/ℓから12.0mM/ℓへ約6%の減少傾向を示し、また40分目は12.8mM/ℓから12.6mM/ℓとわずかながら低減傾向にあった。一方、E群の20分目では12.9mM/ℓから13.1mM/ℓと逆に約2%の増加傾向を示し、また40分目でも12.4mM/ℓから12.5mM/ℓと

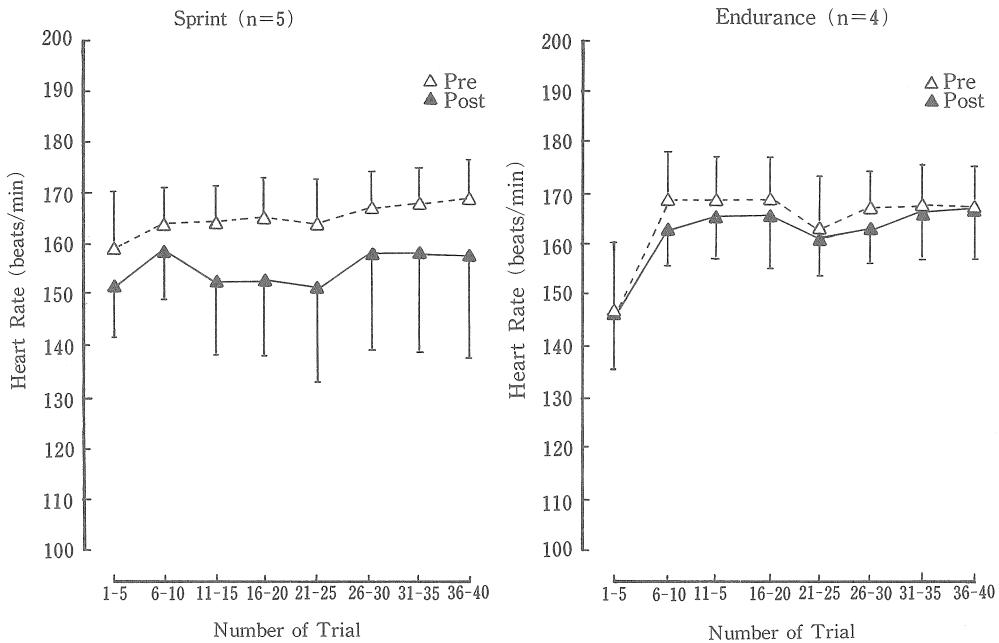


Fig.12 Changes in Heart Rate during intermittent work simulated rugby game before and after training

わずかに増加する傾向にあった。

さらに40分間の間欠的全力ペダリング時の、5回毎のパワー出力値を8点について経時的变化を両群のトレーニング前後で比較した(Fig. 13)。すなわち両群のトレーニング前後とも、運動開始後約20分目まで低減し、21~25分目に一時上昇し、その後再び低減し最終回に増加する傾向を示している。しかもトレーニング後は、S群で全般的に10~15Watt(約3%)の増加傾向を示すのに対し、E群では最初の10分目までは、逆に減少傾向を示し、その後はトレーニング前後ともほぼ同等であった。

IV. 考 察

8週間にわたる無酸素性パワートレーニング(S群)と有酸素性パワートレーニング(E群)により、E群では $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の有意な増加を認めたがS群では有意な改善は示されなかった。すなわちトレッドミル走行距離においても、S群ではトレーニング後に低下傾向を示すのに対し、E群では約3%の増加傾向にあり、有気的パワーの改善を示唆している。これには最高心拍数がトレーニング前後でほぼ一定であることから、1回拍出量の増大による

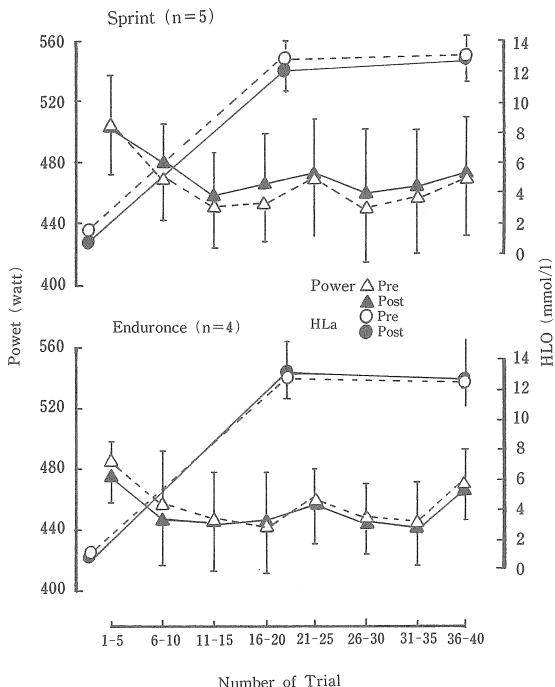


Fig.13 Comparisons of the power output and HLa during intermittent work simulated rugby game before and after training

Table. 5 Changes in HR and HLa during the intermittent work simulated rugby game before and after training

Subject	HR (beats / min)		HLa (mmol/l)			
			20'		40'	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Sprint T.G						
T. I	169.1	161.1	12.67	14.21	13.49	12.34
K. I	166.4	169.2	11.63	11.50	11.73	11.97
S. K	153.1	131.1	14.41	13.72	14.97	14.29
M. T	170.3	155.0	11.35	9.44	11.31	10.36
R. T	164.7	156.9	13.45	11.05	12.37	14.12
(mean)	164.5	154.6***	12.70	11.98	12.77	12.62
(S. D.)	4.4	4.0	1.14	1.76	1.32	1.46
Endurance T. G						
M. I	163.7	160.2	12.64	8.93	11.61	10.23
F. S	171.5	168.0	14.17	18.60	14.38	15.71
H. T	154.0	155.9	10.93	11.06	10.20	9.71
D. T	173.0	170.1	13.65	13.63	13.35	13.94
(mean)	165.6	163.6	12.85	13.10	12.39	12.45
(S. D.)	4.6	4.6	1.24	3.60	1.60	2.50
Total						
(mean)	165.1	158.2***	12.77	12.46	12.60	12.52
(S. D.)	4.4	3.9	1.18	2.79	1.47	2.00

(*** p < 0.001)

心拍出量および動脈 O₂ 較差の拡大が、起因していると考えられる¹⁾。さらに血液性状において、両群ともトレーニング後に血球異化高進によると思われる RBC の 2 ~ 4 % の減少傾向が認められるために、MCH および MCV の上昇傾向がみられる。とくに E 群ではトレーニング後の MCH 及び MCV 値が S 群に比べ高値を示している点は、組織への O₂ 供給に有利に作用するものと推察される¹⁾。

これらの成果は、前報²⁾での E 群の VO_{2max} の増加傾向および S 群の減少傾向と様相を異にしている。本研究ではタイヤ牽引やインターバル方式によりトレーニング強度を高めた結果、VO_{2max} の E 群での有意増さるに S 群でのわずかな増加傾向を示すに至ったものと考えられる。

次に最大無気的パワーは、トレーニング後に S 群

ではわずかに増加傾向にあるが、E 群では 3 ~ 7 % の減少傾向にあった。これは Fox³⁾の指摘するように Sprint training による S 群の脚筋内 ATP-CP 貯蔵量の増加がもたらされた為とも考えられる。前報²⁾では E 群においても 7 ~ 9 % の増加傾向がみられたが、本研究では逆に減少傾向を示し、Karls-son ら⁶⁾の報ずるような有氣的パワートレーニングによる ATP 量増大の可能性は認められなかった。

次に脚伸展パワーはトレーニングにより S 群で比較的低角速度でのパワーに約 11 ~ 14 % の増大が認められたが、E 群では明らかな増大傾向は示されなかった。さらに 30°/sec での 50 回連続の脚伸展パワー発揮では、トレーニング後に S 群が、E 群に比べ有意に増大を示している。また低減率も S 群ではトレーニング後に減少傾向を示すのに対し、

Table. 6 Summary of influences of anaerobic and aerobic power training methods on aerobic, anaerobic power

	Sprint T. G Anaerobic power T. G	Endurance T. G Aerobic power T. G
1. Aerobic power		
VO ₂ max	↗	↑↑
MCH	↑	↑↑
MCV	↑↑	↑↑
Total running distance	↖	↗
2. Anaerobic power		
Max. anaerobic power	↗	↖
Leg extention power		
Force-Velocity Curve	↗	→
Rate of Power Decline	↖	↗
3. Intermittent work simulated rugby game		
Total power	↗	→
HR	↓↓	→
HLa	↖	→

E群では逆に増加する傾向にあった。すなわち本トレーニングによりS群はE群に比し、明らかに筋の抗疲労性の向上を示していると考えられる。これらの成果は、前報²⁾と異なるものであり、トレーニング時期およびその強度の差異増大が相反する本来の結果をもたらしたものと思われる。

ラグビー競技では、全プレーの約60%が10秒以内に終了し、90%が20秒以内に終了すると報告されている。⁵⁾⁷⁾⁹⁾またRay Williams⁸⁾は、20秒運動、40秒休憩がラグビー競技の典型的パターンであるとしている。そこでラグビー競技をモデル化するものとして、10秒間の全力運動を50秒間の休憩をはさみ、40分間断続的に実施する作業を、2種の本パワートレーニングの前後に行い、両群のトレーニング効果を検討した。すなわちトータルパワーでは、S群でのみ増加傾向が認められ、E群では不变であった。また5回毎のパワー出力の経時的变化でも、S群のみに10~15Wattの増加傾向が認められ、E群では不变であった。また血中乳酸濃度では、S群では運動20分目で6%の減少がみられたが、E群では逆に2%の増加傾向を示した。さらに運動時心拍数は、S群で約6%の低減を示したのに対し、E群ではほぼ不变であった。これらの成果は、

前報²⁾と相反するものであり、トレーニング強度の差異に起因していると考えられる。すなわち本研究のS群におけるSprint trainingは、1回のトレーニング時間は40分~45分に達し、この間に20kgのタイヤを牽引しての22m、50mおよび100mの全力走をインターバルやレペティション方式で行ったものである。従って本トレーニングは、心拍数を最高水準(HRmax)に高進させていることが考えられる。一方、E群では1,000~3,000mの全力持久走を12~30分間継続するものであり、S群に比べトレーニング強度が比較的低かったものと考えられる。従ってS群におけるSprint trainingは、筋内ATP-CP貯蔵の増進のみならず、耐乳酸能の向上さらにTCA回路内SDH活性の改善に寄与している可能性が示唆される。

V. 要 約

大学ラグビー競技者(18~20才)男子9人を対象とし、このうち5人を無気的パワートレーニング群としてスプリント全力走(20kgのタイヤ牽引で22m、50mおよび100mのインターバル、レペティション方式)を実施し、他の4人を有気的パワートレーニング群として1,000~3,000m走の持久

走トレーニングを実施した。両群は試合期直前の鍛錬期に約8週間にわたり、週2～4回（平均3回／週）の頻度で練習終了後に約12～45分間実施した。

本トレーニングの後に有気的パワー、無気的パワーおよびラグビー競技をモデル化した間欠的作業に及ぼす影響について検討を行った。その結果は、Table. 6に要約して示している。

1) 有気的パワートレーニングは、有気的パワーを有意に改善するが、無気的パワーの改善は明らかではない。またラグビー競技をモデル化した間欠的作業では、無気的パワートレーニングよりも効果が低く、とくにトータルパワー、耐乳酸能および心機能に対してはトレーニングの影響は明らかではなかった。

2) 無気的パワートレーニングは、無気的パワーを有意に改善し、しかも有気的パワーにもわずかに改善傾向を示している。さらにラグビー競技をモデル化した間欠的作業では、有気的パワートレーニングに比べ明らかな改善傾向を示し、とくにトータルパワー、耐乳酸能および心機能でその改善が著明であった。

VI. 文 献

1) Asano K., Ogawa S., Furuta Y., Yano T. and Tomihara M (1976) : Aerobic work capacity and blood composition in middle and old-aged runners Bulletin of Inst of

Sport Science. Tokyo Univ. of Education 14 : 21-34.

- 2) 浅野勝己・千葉智則 (1986) : ラグビー競技者の有気的および無気的パワートレーニングに関する研究, 昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学報告書, No.VII 無酸素的パワートレーニングと有酸素的パワートレーニングの相互作用に関する研究—第1報— : 13-20.
- 3) Fox, E.L. (1979) : Sports Physiology, Holt Saunders International Edition.
- 4) 生田香明・猪飼道夫 (1972) : 自転車エルゴメーターによる Maximum Anaerobic Power の発達の研究, 体育学研究17(3) : 151-157.
- 5) Greenwood, J. (1980) : Total Rugby, Lep's books : 270.
- 6) Karlsson, J., Nordesjo, L., Jorfeldt, L. and Saltin, B. (1973) : Muscle lactate, ATP and CP levels during exercise after physical training in man. J. Appl. Physiol 33 : 199-203.
- 7) 菊地康太郎・浅野勝己 (1977) : 呼吸循環系機能からみたラグビー選手の体力に関する研究, 日本体育学会第28回大会号
- 8) Ray Williams (1976) : Skilful Rugby, 151-153. Souvenir Press, London.
- 9) Rugby Football Union (1978) : Fitness training for rugby. 7-10.

IV. ジャンプトレーニングと走トレーニング の効果の特異性

跡 見 順 子¹⁾ 八 田 秀 雄²⁾ 山 田 茂¹⁾
安 倍 孝¹⁾ 中 川 善 直³⁾

昨年度はラットを用いて16週間の長期にわたって、無酸素パワートレーニングとしてジャンプトレーニングを、有酸素パワートレーニングとして2段階の速度での走トレーニングを行い、長指伸筋の酵素活性及び筋構成タンパク質の変化について測定した結果、ジャンプトレーニングでは筋パワー発揮を担うと考えられるアクトシオシンATPase活性の増加傾向がみられること、トレーニング群で、アクチン、シオシン等の収縮タンパク質が増加傾向にあることを中間報告した。本研究で行った16週間というトレーニング期間は、かなり長期間のものであり、ヒトで考えれば4~5年間のトレーニングを実施したことに相当すると考えられ、ほぼ成人選手のモデルとして考えられるものと思われる。本年度はこれらのサンプルについて対象筋を増やして分析をすすめさらに昨年度報告した項目につけ加えヒトの場合のトレーニング実験の効果と比較しやすいうように $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 及びランニングパフォーマンス、筋線維面積の変化についても検討した。トレーニングは、6~7週令のWistar系雄ラット40匹を①対照群(C)、②中等度持久走群(M)、③高速度持久走群(H)、④ジャンプ群(J)の各群10匹を週5日、16週間行わせた(詳細については昨年度報告を参照)。

(1) 有酸素パワーとランニングパフォーマンスからみたトレーニング効果

各トレーニング群のトレーニング中の酸素消費量の水準及び強度を知るため、及び有酸素パワー

及びランニングパフォーマンスへのトレーニング効果をみるために、トレーニング前及び5週目で最大下の走速度- $\dot{V}O_2$ 関係及び $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の測定を行った。

< $\dot{V}O_2$, $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の測定方法>

ラットの $\dot{V}O_2$ 測定用に作製した装置及びアニマ社製ガス分析器を用いて、最大下の4速度での速度- $\dot{V}O_2$ 関係及び $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を測定した(測定法の詳細は跡見、八田ら、「ラットのトレッドミル走におけるスピード- $\dot{V}O_2$ 関係及び $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の測定方法の検討」東京大学教養学部体育学紀要19:69~73, 1984を参照)。図1に走速度- $\dot{V}O_2$ 関係を示した。これから求めたH群及びM群の1回のトレーニングの平均消費エネルギーは各々7.9kcal, 7.8kcalではほぼ等しかった。これに対し、J群の1回のトレーニングをジャンプをほぼ25%として計算

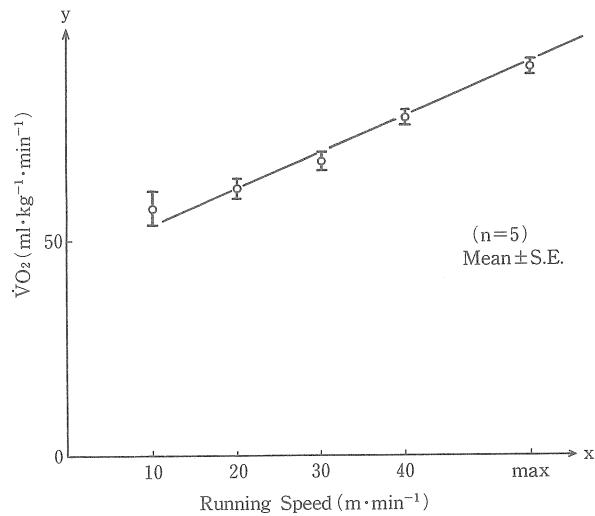


図1 走速度- $\dot{V}O_2$ 関係

1) 東京大教養学部体育研究室

2) " 教養学部

3) 日本体育大学

すると約0.06kcalで、R群の約1/100であった。したがってJ群の場合、今回行ったジャンプトレーニングはほぼ純粋にハイパワートレーニングと考えられた。またH及びM群の消費エネルギーは、ラットの安静時の酸素摂取量からラットの1日あたりの安静代謝エネルギー量を計算すると1日約100kcalで、凡そその8%に相する。持久走群のこの消費エネルギーの比率はヒトの場合と比べても

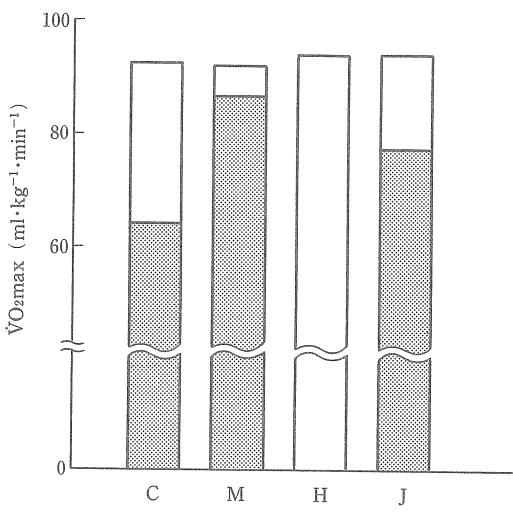
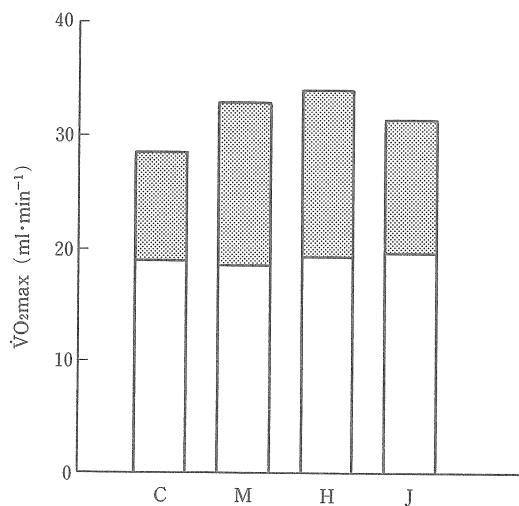


図2 トレーニング前及びトレーニング5週目の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 白い棒グラフにトレーニング前、黒い棒グラフトレーニング5週目

そう高いとはいはず、選手のトレーニング量と一般人のトレーニング量のちょうど中間的な位置付けになるといえよう。

図2はトレーニングの前後で測定した $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を各群で比較したものである。トレーニング後、絶対値でも体重あたりでもともにH群の伸びが最も高く、M群、J群、C群の順であった。体重あたりの $\dot{V}O_{2\text{max}}$ では顕著な差を示し、この差は $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 測定時のランニングタイム(図3)と関連した。J群はハイパワートレーニングのみであったが $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 及びランニングタイムとともにC群に比べ有意な増加がみられた。

これらの結果は、ラットを用いて行った有酸素トレーニングは有酸素パワーの増加を、無酸素パワートレーニングも若干有酸素パワーの増大をもたらすことを示している。

(2) 筋内酵素活性からみたトレーニング効果

有酸素、無酸素パワートレーニングは筋内においてはそれぞれ有酸素系あるいは無酸素系のエネルギー代謝関連酵素活性を変化させる。またパワートレーニングは筋収縮の強度と関連しており、

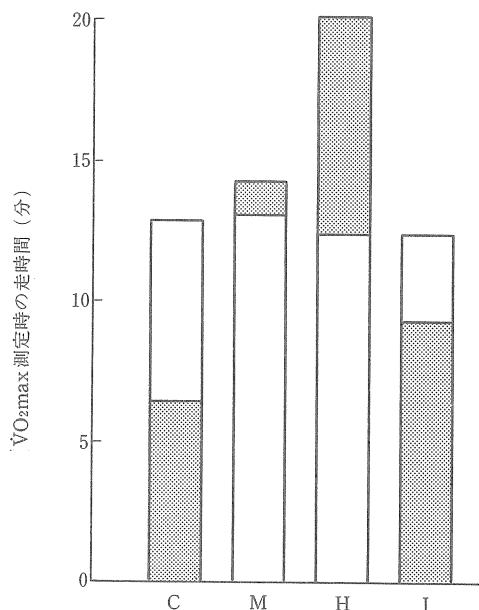


図3 トレーニング前及びトレーニング5週目の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 測定時のランニングタイム

それも又パワー発揮に関わる代謝系の酵素活性の変化を伴うであろう。それぞれの代謝系には鍵酵素があり、有酸素代謝系としてはSDH(ユハク酸脱水素酵素)、無酸素系代謝としてはPFK(フォスフォフルクトキナーゼ)、そしてパワー発揮に関してはアクトシオシンATPase活性の変化を検討した。

図4～図6は各々SDH、PFK、Actomyosin ATPase活性を腓腹筋、EDL、ヒラメ筋について測定したものである。トレーニングの途中で個体数が減少したため有意差はみられないが、腓腹筋、EDLでH群のSDH活性の増加が大きく、PFK活性は、EDL、Soleusでは顕著な変化がみられないもの、腓腹筋ではH群、J群の増加傾向が観察された。また、Actomyosin ATPase活性も腓腹筋ではH群、J群の増加が、EDLではJ群の増加が大きい傾向がみられ、持久性の有酸素パワートレーニングでも高い強度でのトレーニングであれば、全ての系の酵素活性が増大する傾向が観察されること、無酸素ハイパワートレーニングでは無酸素及び、ハイパワーの発揮に必要なActomyosin ATPase活性の上昇傾向がみられることが観察された。これらの結果は $\dot{V}O_{2\text{max}}$ からみたトレーニング効果と対応していること、強度の高い持久性トレーニングではエネルギー産生系の代謝系を有酸素的にも無酸素的に、さらにはパワーの発揮に関する系をも同時に亢進させることを明らかにした。

(3) 筋重量と筋線維組成の変化からみたトレーニング効果

有酸素パワー、無酸素パワーの向上のためにはパワー発揮に必要なエネルギー供給系だけでなく、パワーを発揮する筋肉の量的質的变化が期待される。そこで量的变化を筋重量、質的变化を筋線維組成の变化で検討した。運動のパフォーマンスは体重あたりの筋重量とより深い関係があると思われる。H、M及びJ群とともにトレーニング群は、今回検討を行ったいずれの筋(腓腹筋、ヒラメ筋、足底筋、前経骨筋、EDL)においても対象群に比べて重量が重かった。筋重量を絶対重量でみると、J群はC群といずれの筋においてもほとんど、差が

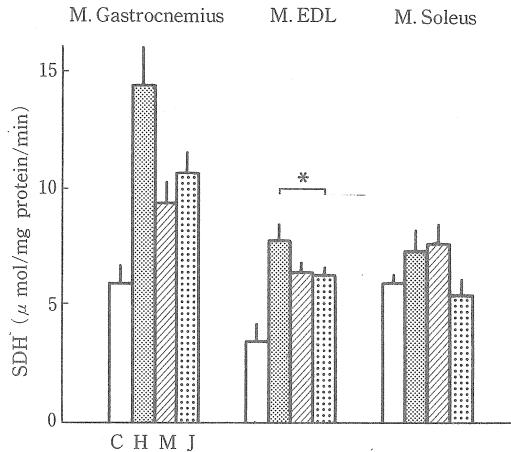


図4 16週間のトレーニング後の筋SDH活性の比較

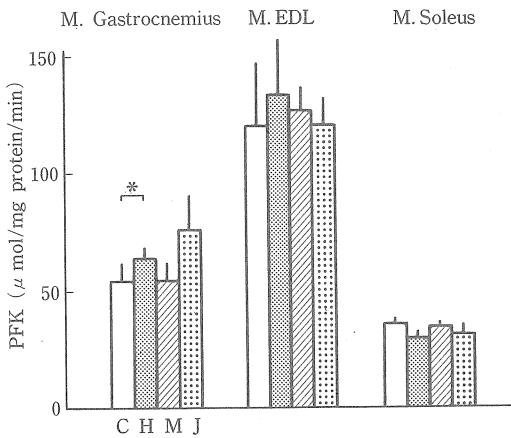


図5 16週間トレーニング後の筋PEK活性の比較

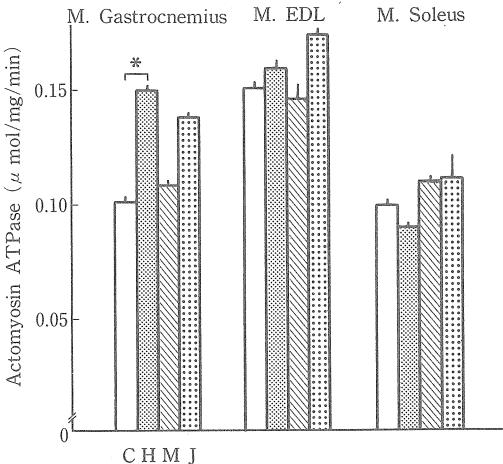


図6 16週間トレーニング後のActomyosin ATPase活性の比較

なかったが、H群では足底筋と前経骨筋で、M群では、足底筋とEDLを除く3筋でC群よりも有意に少ない重量であった。しかし腓腹筋の内側部について、筋線維をミオシンATPase染色法により遅筋線維(ST)と速筋線維に分けてその横断面積を比較すると(図7)、H群、M群ではC群に比べてST, FTともに30%の増加を示しており、J群ではSTは有意ではないがH群、M群とほぼ同程度の増加、FTではさらに高い40%の増加を示した。これらのことから運動トレーニングは筋線維の肥大をもたらすことと、ハイパワートレーニングは特にFT線維の肥大をもたらすことが明らかとなった。本研究の筋重量と筋線維横断面積の変化は併行した変化ではなかった。この点については腓腹筋の全横断面積を測定していないので詳細は不明である。J群とランニング群の間では筋線維の肥大の内容が異っている可能性もある。

以上、有酸素パワー、無酸素パワートレーニングの効果を、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、筋内酵素活性ならびに筋重量、筋線維横断面積から検討した結果、高速度でのランニングトレーニングは無酸素及び有酸素系の代謝系及びパワー発揮のための酸素系の効果をもつこと、中等度の強度でのランニングトレーニングよりも筋の絶対重量の低下を抑制すること、中等度強度での長時間持久性トレーニングは体重

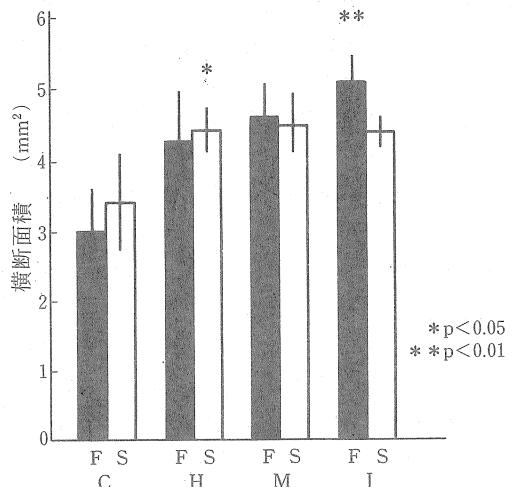


図7 16週間トレーニング後の筋線維横断面積の比較

の減少とともに筋重量の減少を伴いやすいこと、ジャンプトレーニングでは特異なパワー発揮に重要なFT線維の肥大、Actomyosin ATPaseの増大に特異的に働くことが明らかとなった。これらのことから無酸素パワー、有酸素パワーをともに増大させるには、ハイパワー系の運動に高い強度の有酸素パワートレーニングを同時にを行うことが効果的であるように思われた。

