

昭和60年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

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—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和60年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

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—

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 跡 見 順 子³⁾ 浅 野 勝 巳²⁾ 小 林 寛 道⁴⁾
担当研究員 伊 藤 静 夫

はじめに

石 井 喜 八

この“まえがき”はスポーツ選手をあざかるコチやトレーナーと、この研究班との両者の仕事の橋渡しをするために記したものである。これにより、この研究班が手掛けている問題の所在を互いに理解し、意見の交換の素地を固めたいと考えたからである。

a) “有酸素的”と“無酸素的”

からだが運動を起こすには筋肉が収縮することから始まるとはいうまでもない。筋肉の収縮は動きだすためのエネルギーと、それを補給する材料・物質が必要である。自動車のエンジンでいえば、発火装置と燃料であるガソリンということになる。筋肉の中の発火装置は大脳からの指令であり、さらに収縮という運動の力源となるアデノシン三磷酸とクレアチニン磷酸 (ATP-CP) である。この力源の動員はきわめて短時間で行われる。この段階はからだの中に貯えられている物質だけで行える運動であるので、激しい全身運動であれば、数秒間の運動（投げきや重量あげ運動）しか行うことのできない。

上述の激しい、短時間の運動は酸素が殆んど関

係しないので、“無酸素”運動である。ここで燃料といわれる物質はグリコーゲン（糖質）といわれ、“酸素”と出会ってアデノシン三磷酸 (ATP) に変形して力源となる。この燃料の補給は血液中の糖分（血糖）を通して行われる。

酸素の補給は、まず鼻口からの空気のとり込み（呼吸）によって始まり、呼吸・循環器系を通して筋肉にまで運ばれるが、これらの臓器が運動の状態になれるまでに数分の時間がかかる。一般に酸素摂取量といわれる酸素のとり込み能力をあらわす量は、一定の運動強度が行える状態（定常状態）に達したときのものである。

運動の開始時に酸素が間に合わないとき、からだの中では、乳酸が発生して酸素がやってくるのを待っている。運動の強さが激しいと酸素の動員が間に合わず、乳酸だけが溜ってしまって、筋肉が動かなくなる。スポーツ場面では100m・200m疾走などにみられる状態である。これまで、このような状態を“無酸素”と呼び、酸素負債量で必要量を推定してきた。

b) 有酸素性のパワー

よく、ハイ・パワーとか、ロー・パワーとかいわれる。“高度のパワー”“低度のパワー”という

1)日本体育大学 2)筑波大学 3)東京大学 4)名古屋大学

意味である。パワーとは“一定時間の中で発揮された仕事量”であるから、運動の激しさをあらわすことになる。

酸素摂取量は一分間あたりの酸素のとり込み量の意味であるので、その単位はパワーであらわされている。したがって、決められた時間内で酸素が沢山使われることは運動が激しいということをあらわすことになる。

先にも述べたように、運動が開始されてから数分間以上たってから、からだは運動状態になれてくる。酸素の消費ととり込みがバランスのとれた状態（定常状態）に入ったからである。酸素のとり込みとバランスのとれた状態で運動の激しさをあらわし易いことがわかる。このようなレース型の競技では誠に都合がよい。

c) 競技の中にみられるパワー

スポーツ競技は2～3秒間で終了する投てき運動や重量あげ競技から、陸上競技や自転車競技の短距離競走でみられる十数秒の競技、体操競技のように跳馬から床運動のように数秒から1分数秒間の演技、また、レスリング、ボクシング、柔道といったような格技では3～5分間、そして、多くの球技の種目にみられる數十分間の動きは単に競技時間内を単調なリズムで動きまわり、走りまわればよいというものではない。陸上競技でも30分間を越える競走では、マラソン競走でさえも、ユサブリをかける。いいかえれば、動きまわり、走って有利な位置取りをして、“勝負をかける”全力運動・動作に備える。したがって、有利な位置取りの運動は競技時間中続けられるが、決して全力運動ではなく、余裕ある運動強度の水準であることが望まれよう。勝負をかけるときに全力発揮したいからである。球技においては、全力発揮して走り回るといつても長くて30mくらいであろうか。格技であれば、一瞬の技ということになるのであろう。

位置どりのために動く運動は有酸素的パワーの状態ということができる。30mを走りぬく運動は無酸素的パワーの状態といえよう。そして、格技における一瞬の技のときに発揮されるパワーは筋パワーということになろう。筋パワーといつても無酸素的パワーである。

d) 無酸素的パワー

“無酸素的”といわれるよう、運動中は酸素のとり込みを殆んど行わなくとも運動後に酸素の不足分をとり込んで補うパワーのことである。これまで、運動後にとり込む酸素の量（酸素負債量）を調べることによって、筋肉内で使われたエネルギー量を推定してきた。

ところが数秒間の激しい運動は酸素負債量でとらえることはできない。これをあらわす方法があらわれた。特殊な自転車エルゴメーターを使って大きな負荷をかけ、できるだけ素速く自転車漕ぎ運動を行ったときの機械（自転車）に出力されたパワーを調べるというものである。このときの運動時間を競技中の全力発揮の時間に近づけようというものである。

このような運動時間を一動作ということまで短くしていけば、跳躍動作時における筋出力パワーとしてとらえられることになる。このような運動時間では、もはや酸素とは違ったあらわし方が必要となる。

e) パワー・トレーニング

有酸素的・無酸素的パワートレーニングの中で、最大酸素摂取量をトレーニングによって増大させることは確かに認められてきた。しかしながら、無酸素的パワートレーニングについての研究は少ない。

スポーツ競技の場面では有酸素的パワーと無酸素的パワーの組み合わせによって展開されている。マラソン競走においても最後の勝負は競技場まで戻り、どこでラストスパートをかけるかというところまでできている。

球技における位置どりの運動も相手チームが強いときには余分に動きまわらねばならないだろう。

“スタミナ切れ”とか“走り負け”ということが原因で全力運動（ハイパワー）を発揮する勝負場面が消えてしまうのであろうか。

こうして見ると、有酸素的運動と無酸素的運動のどちらを先にトレーニングの運動として実施したらよいかも不確かなのである。ここに、われわれ研究班が取り組んでいく問題の所在があるといえる。

| 無酸素性パワーと有酸素性パワーの関係 —無酸素性パワーと運動種目—

執筆者 石井喜八¹⁾

研究協力者 伊坂忠夫¹⁾ 滝沢宏人¹⁾

天野勝弘¹⁾ 高橋勝美¹⁾

緒言

一般に3分間以上続く運動では、有酸素的解糖がエネルギー供給のために動員されると言われている。球技や格技など多くの競技では、3分間以上の試合時間で展開されている。しかしながら、試合時間中における競技者の動き（身体運動）を観察すると、短時間に全力を発揮するような動きが断続的に繰り返され、それらの運動と運動の間は、軽い強度の運動が行われている。この運動は、全力運動の準備または回復をはかっているようにさえみえる。試合中に展開される競技者の動きは、不規則性をもった無酸素的運動と有酸素的運動の繰り返しと捉えることができる。

これまで有酸素的能力の指標として最大酸素摂取量が用いられてきている。これは、Aerobic Power（有酸素性パワー）とも呼ばれている。

無酸素的能力の測定は、一回の筋収縮で行われる垂直跳び⁸⁾、Margaria の階段かけのぼり²⁰⁾、自転車エルゴメーターを用いた短時間全力ペダリングなどがある。これらの測定は、Anaerobic Power Test（無酸素性パワーテスト）とも言われている。しかしながら、3分間以上継続する各競技種目選手らの無酸素性パワー（Anaerobic Power）を測定、比較した研究は少ない¹⁸⁾。

また、短時間・激運動である100m疾走は、エネルギー供給面からみれば無酸素性の運動であり、しかも performance test として一般的に行われている。実験室内で測定される無酸素性パワーと100m疾走の関係を明らかにすることは、無酸素性

パワーと実際の performance との結びつきを評価する上で重要だと考えられる。

そこで本研究では、1) 最大無酸素性パワーの競技種目別の比較、2) 無酸素性パワーと performance の検討、3) ボールゲームを想定し、一定強度の aerobic stage を設けて断続的に全力自転車漕ぎ運動を行わせた時のパワー変化、について検討する。

方法

この研究は、いくつかの方法から成り立っている。

1) 最大無酸素性パワーと各競技選手

最大無酸素性パワーとして、自転車漕ぎ運動による機械的出力パワーを測定した。測定には、竹井機器社製ハイパワーエルゴメーターを使用し、10秒間全力ペダリングを行わせた。測定に用いた負荷(kg·m)は、各被検者の体重1kgあたり0.095 kg·mとした。サドルの高さおよびハンドルの位置を各被検者ごとに調整した。各被検者は、toe clip つきペダルの位置が水平位より上方45度のところから全力漕ぎ運動を行った。このとき、腰をサドルから離さず、最初から全力で漕ぐよう指示した。

10秒間全力運動中に発揮されたパワー値の推移は、0.05秒のサンプリングタイムでコンピューター(NEC9801m)に取り込まれ、演算処理ののちディスプレイ(NEC PC8853n)に表示された。

10秒間全力運動を行う前に各被検者の脚筋骨量および体重が測定された。脚筋骨量は、Jones と Pearson の方法¹⁴⁾から大腿部および下腿部の選ばれた各計測点における周径囲、高さおよび皮脂厚

1) 日本体育大学

を測定し算出した。

被検者は、日本体育大学体育学部に在籍する各運動競技部選手男女105名であった。男女被検者の所属する運動競技は、柔道10名、アメリカンフットボール（以下アメフトと略す）11名、相撲5名、体操競技7名、野球9名、水泳13名、投てき6名、短距離5名、長距離5名の計71名であった。女子は、ハンドボール10名、体操競技9名、競泳15名の計34名であった。各被検者は大学選手権大会出場選手もしくはそれに準ずる選手であった。

2) 100m疾走記録と自転車漕ぎ運動による無酸素性パワー

100m疾走は、全天候型400mトラックの直線走路で実施された。スタートは、スタートティングブロックを使用し、全員クラウチングスタートから開始した。スタートーおよび計時員は、日本陸連の公認審判員の資格を有する測定補助者により行われ、100mの計時は手動式で行われた。

100m疾走を測定した4日後に、自転車エルゴメーターによる機械的出力パワーの測定が行われた。測定に用いた自転車エルゴメーターは、コンビ社製パワーマックスVであり、7秒間の全力ペダリングを行わせた。負荷(kp)は、体重1kgあたり0.1kpとした。7秒間全力運動時の平均パワーは、エルゴメーターにそなえ付けられたディスプレイに表示された。Peak Power値については、ディスプレイに表示された最高回転数と各被検者の負荷から算出した。

100m疾走および7秒間全力ペダリング後の血中乳酸値が測定された。被検者は、男子8名、女子7名が抽出され、両運動終了後3分、6分、9分目に肘前静脈から採血が行われた。血液サンプルは直ちにラクテートアナライザー(東洋紡社製)により、血液乳酸値が分析された。回復期中最も高い乳酸値を各被検者の最高血中乳酸値とした。

被検者は、日本体育大学体育学部に在籍し、日常規則的に活動している運動競技部男子18名、女子20名であった。男子の年齢、身長、体重の平均値および標準偏差は、それぞれ19.8(0.7)歳、173.1(7.4)cm、76.9(12.5)kgであった。同様に、女子については19.1(0.7)歳、158.9(5.3)cm、58.1(6.8)kgであった。

3) 有酸素的運動中のくり返し無酸素性パワー発揮

くり返し無酸素性パワー運動とは、10秒間の全力自転車漕ぎ運動（以下全力運動）を1分間隔で10回行わせるものであった。激運動と激運動の間の1分間は、最初から55秒間を60rpmのテンポに合わせて軽水準の負荷でペダリング運動を行わせた（以下有酸素的水準の運動）。その後5秒間は、フライホイールの回転を静止するためにペダリング休止期をおいた。これはコンピューター制御のためである。10秒間全力運動時の負荷は、最大無酸素性パワー測定時と同様に体重1kgあたり0.095kg·mの負荷を用いた。使用した自転車エルゴメーターは、竹井機器社製ハイパワーエルゴメーターであった。

a) ローパワー水準の運動とくり返し無酸素性パワー発揮

2 kpの負荷を設定し、60rpmの運動を有酸素的水準の運動として課した。この運動強度は720kpm/minとなるので、酸素摂取量はおよそ1.78l/min [Astrandら(1970)]¹⁾であり、歩・走の組み合わせ運動の有酸素性運動に相当する。被検者は、各運動競技部に所属する選手男子28名であった。彼らは、日常的にトレーニングを積んでいる健康な成人男性であった。彼らの所属する運動競技は、陸上競技の投てき4名、短距離5名、長距離4名、柔道5名、バスケットボール5名、バレーボール5名であった。

b) ミドルパワー水準の運動と繰り返し無酸素性パワー

ミドルパワーの水準の負荷を、60% $\dot{V}O_{2max}$ と設定した。この実験に参加した被検者は、アメフトバックス5名、ライン4名、陸上競技の投てき4名、短距離5名、長距離4名の計22名の運動競技選手であった。

また、安静時および10回目の全力運動終了直後、4分後、8分後、12分後の血中乳酸値が測定された。血液サンプルは、肘前静脈から採血され、血中乳酸濃度分析には前述同様の機器・方式により分析が行なわれた。回復期中に得られた最も高い乳酸値を各被検者の最高血中乳酸値とした。

結 果

1) 最大無酸素性パワーと各競技選手

各競技種目ごとの最大無酸素性パワーの平均値、標準偏差を表1に示した。男子の最大無酸素性パ

ワー値は、相撲部員が最も高く、柔道、投てきと続いた。長距離選手は最も低い値を示した。体重あたりの値で比べてみると、野球、体操、短距離の順で大きな値を示したが、無酸素性パワー値の場合よりも各競技ごとの差は小さくなっている。

表-1 各競技種目別の体重、脚筋骨量、最大無酸素性パワーの平均および標準偏差

	体 重 (kg)	脚筋骨量 (cc)	最大無酸素性パワー (w)	／ 体 重 (w/kg)	／脚筋骨量 (w/1)
男 子					
相 摂	99.2 (11.7)	9522 (1100)	1422 (133)	14.37 (0.86)	149.8 (9.7)
柔 道	93.1 (20.6)	9430 (2217)	1220 (248)	13.17 (0.86)	130.5 (9.3)
95kg 超	109.1 (12.5)	10988 (1665)	1398 (162)	12.85 (1.17)	128.1 (11.0)
95kg 以下	77.2 (12.6)	7871 (1488)	1042 (181)	13.49 (0.18)	133.0 (7.7)
投 て き	83.8 (13.4)	9166 (1049)	1165 (113)	14.00 (1.00)	128.0 (14.0)
ア メ リ カン フ ッ ツ ボ ル	76.5 (14.2)	8441 (1113)	1061 (168)	13.94 (0.89)	125.5 (9.0)
ラ イ ン	92.0 (6.8)	9630 (747)	1246 (94)	13.58 (0.91)	129.4 (9.8)
バ ッ ク	67.7 (6.8)	7762 (747)	955 (94)	14.14 (0.91)	123.4 (9.8)
野 球	70.7 (5.5)	8346 (784)	1052 (122)	14.80 (1.41)	126.5 (14.4)
水 球	73.7 (4.2)	7423 (694)	1018 (69)	13.83 (0.79)	137.9 (12.1)
短 距 離	64.1 (2.8)	7431 (549)	928 (85)	14.50 (1.20)	125.0 (10.6)
体 操 競 技	56.7 (4.9)	6347 (902)	843 (110)	14.84 (1.10)	133.5 (12.8)
長 距 離	59.5 (2.6)	6711 (457)	690 (102)	11.60 (1.60)	102.9 (14.4)
女 子					
ハ ン ド ボ ル	57.6 (6.4)	5814 (765)	583 (105)	10.09 (1.30)	100.1 (10.6)
競 泳	57.0 (6.1)	5469 (683)	538 (87)	9.45 (1.24)	98.7 (12.6)
体 操 競 技	48.6 (4.6)	5256 (456)	515 (69)	10.60 (1.01)	97.9 (9.9)

脚筋骨量あたりの最大無酸素性パワーは、相撲が最も高く、長距離を除く他の群間には大きな差はみられなかった。

女子の最大無酸素性パワーについては、ハンドボールが最も高い値を示し、競泳、体操競技と続いた。体重あたりの値は、体操競技が最も高い値を示した。脚筋骨量あたりでは群間に差はみられなかった。

最大無酸素性パワー、体重、脚筋骨量の間の関係について調べてみた(表2)。男子では、最大無酸素性パワーと体重および脚筋骨量の相関係数はそれぞれ極めて高い相関が認められ、いずれも0.1%水準で有意であった。また、体重と脚筋骨量についても同様であった。

2) 100m疾走と自転車漕ぎ運動によるパワー

100m疾走のタイム、自転車エルゴメーターによる機械的出力パワーおよび両運動後の最高乳酸値を表3に示した。

100m疾走のタイムと7秒間全力自転車漕ぎ運動時のMean PowerおよびPeak Powerとの間には、男女とも有意な相関は認められなかった。

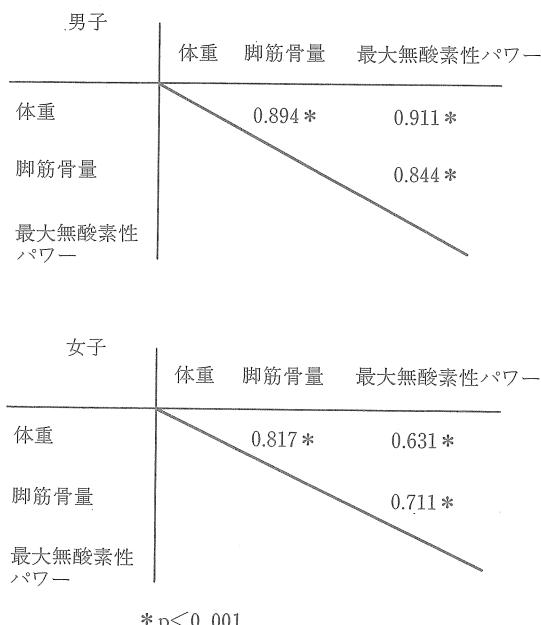


表2. 体重、脚筋骨量、最大無酸素性パワーにおける男女別の相関

しかしながら、100m疾走のタイムと体重あたりのMean PowerおよびPeak Powerとの間には、有意な相関関係があった(表4)。

100m疾走のタイムと100m疾走後の最高乳酸値との間には、2%水準で有意な負の相関関係が認められた。また、7秒間全力自転車漕ぎ運動時のMean Powerと運動後の最高乳酸値との間には、0.1%水準で有意な相関が認められた。体重あたりのMean Powerと運動後の最高乳酸値との間にも0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた。

3) 有酸素運動中のくり返し無酸素性パワー発揮

a) ローパワー運動中のくり返し無酸素性パワー発揮

各競技種目ごとの全力運動時のMean Power値を表5に示した。1回目のMean Powerを100%として2回目以降のMean Power変化をみてみると、長距離選手はほとんど1回目の値を維持しており、逆に柔道、短距離、投げき群は、全力運動の回数が進むに従って低下する傾向がみられた。球技であるバスケットボールおよびバレーボール群は、長距離と短距離との中間の傾向を示した(図1)。

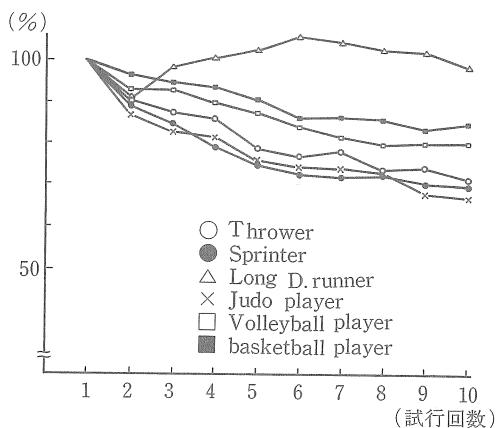


図1. 1回目のMean Power値を基準(100%)としてみた各試行のMean Powerの変化。(ローパワーのインターバル負荷を課した時)

表-3 100m疾走タイム、自転車エルゴメーターによる機械的出力パワーおよび両運動後の最高乳酸値について男女別の平均および標準偏差

	100m 疾走 タイム	100m 疾走後の最高乳酸値 (mg/dl)	PEAK POWER (w)	MEAN POWER (w)	自転車漕ぎ運動後の最高乳酸値 (mg/dl)
男子	13.8 (0.7)	73.1 (23.1)	1007 (152)	940 (141)	25.8 (4.7)
女子	16.5 (1.0)	49.3 (5.9)	549 (93)	517 (87)	15.5 (3.2)

平均
(標準偏差)

表-4 100m疾走タイムと機械的出力パワーおよび各運動と運動後の最高乳酸値との相関

	男子	女子	最高乳酸値 (n=15)	
	100m タイム	100m タイム	自転車漕 ぎ運動後	100m 疾走後
Mean Power	0.081ns	0.241ns	0.849***	—
Peak Power	0.110ns	0.237ns	0.849***	—
Mean Power/BW	0.705**	0.596**	0.806***	—
Peak Power/BW	0.678**	0.594**	0.815***	—
100m タイム	—	—	—	0.634*

*p<0.02、 **p<0.01、 ***p<0.001
ns : not significant

表-5 ローパワー運動中、規則的に発揮された無酸素性パワー (Mean Power) 値

	1回目 (w)	2回目 (w)	3回目 (w)	4回目 (w)	5回目 (w)	6回目 (w)	7回目 (w)	8回目 (w)	9回目 (w)	10回目 (w)
投てき	1014 (140)	914 (98)	883 (116)	869 (73)	798 (102)	776 (87)	789 (92)	745 (81)	750 (75)	723 (35)
長距離	551 (59)	498 (74)	543 (53)	554 (35)	564 (29)	581 (23)	573 (23)	562 (29)	561 (40)	541 (44)
柔道	901 (73)	781 (24)	733 (7)	729 (56)	679 (82)	666 (77)	660 (56)	653 (96)	610 (64)	604 (87)
バスケットボール	748 (130)	724 (131)	706 (119)	699 (99)	675 (90)	643 (86)	647 (80)	640 (89)	621 (98)	632 (100)
バレーボール	903 (42)	837 (69)	836 (50)	810 (79)	788 (59)	757 (46)	733 (41)	714 (53)	718 (42)	721 (57)
短距離	812 (62)	723 (68)	687 (55)	640 (30)	608 (27)	590 (60)	581 (78)	588 (51)	571 (35)	564 (54)

平均
(標準偏差)

表-6 ミドルパワー運動中、規則的に発揮された無酸素パワー (Mean Power) 値および回復期中の最高乳酸値

	1回目 (w)	2回目 (w)	3回目 (w)	4回目 (w)	5回目 (w)	6回目 (w)	7回目 (w)	8回目 (w)	9回目 (w)	10回目 (w)	回復期中の最高乳酸値 (mg/dl)
アメフト バックス	825 (89)	701 (75)	675 (64)	594 (89)	585 (76)	566 (101)	536 (69)	569 (95)	563 (76)	639 (119)	74.6 (10.0)
アメフト ライン	890 (89)	681 (129)	693 (116)	715 (63)	665 (63)	651 (87)	667 (87)	612 (61)	584 (64)	597 (37)	85.1 (21.4)
投てき	1091 (84)	902 (54)	846 (41)	780 (39)	709 (83)	688 (77)	680 (72)	626 (88)	595 (91)	638 (85)	71.2 (6.4)
短距離	889 (54)	774 (39)	717 (46)	648 (67)	598 (79)	592 (105)	526 (115)	547 (108)	533 (104)	552 (93)	100.9 (13.1)
長距離	687 (59)	616 (30)	616 (30)	585 (50)	578 (53)	572 (49)	569 (51)	574 (55)	576 (56)	583 (66)	85.8 (15.4)

平均
(標準偏差)

b) ミドルパワー運動中のくり返し無酸素性パワー発揮

各競技種目ごとの全力運動時の Mean Power を表 6 に示した。1 回目の Mean Power 値を基準として、2 回目以降の Mean Power 変化をみてみると、長距離はローパワー運動中と異なって低下傾向にあり、短距離、投げきは回数が進むごとに遞減している（図 2）。

また、1 回目の Mean Power と $\dot{V}O_{2\max}/BW$ の間には 1 % 水準で有意な負の相関関係があった（図 3）。

考 索

無酸素性パワー能力を表す一つの指標として機械的出力パワーを取り上げた。スポーツ場面でよく見られるときには相手をかわす、瞬間にダッシュするという動作は、酸素の供給なしに行われる激しい運動と言える。

これまで、運動強度を表現するのに、運動中に摂取された酸素量あるいは運動後に取り込まれた酸素量が使用されてきた。しかしながら、わずか数秒間の運動（筋中に蓄えられたエネルギーでまかなわれる運動）に必要とされたエネルギーを酸素摂取量ならびに負債量で表すことは困難である。そこで無酸素的な運動能力を表すには、入力されるエネルギー量（ $\dot{V}O_2$ 量）で行わず、出力される機械的パワーで表す方法が用いられている。最大無酸素性パワー能力は、これまで階段をかけ上がる方法、急速度のトレッドミルを走る方法²¹⁾や一定負荷に対して最大努力で自転車を漕ぐ方法などにより測定してきた。一般的に測定条件が規定しやすいため、自転車エルゴメーターによる測定が広く用いられている。

最大無酸素性パワーを自転車漕ぎの方法で行うとき負荷および時間の設定が重要になってくる。Katch¹⁶⁾および Katch と Weltman¹⁷⁾は、全ての被検者に同一の負荷を課し 2 分間全力で漕がせた。生田と猪飼¹¹⁾および Crielaard と Pirnay⁴⁾は、數種類の異なる負荷を用い数秒間漕がせ、各々の負荷で得られたパワー値を二次近似させ、その極大値を最大無酸素性パワーとしている。Wingate Anaerobic Test (WAnT)²⁾は、体重あたり 0.075 kp の負荷で 30 秒間全力で漕がせその出力パワーを比較しようとするものである。このように、自転車エルゴメーターを用いた最大無酸素性パワー測定の条件である負荷強度と運動時間の組合せは、研究者間に違いがみられる。しかしながら短時間の激しい全身運動という点では共通点がある。

今回、我々は最大無酸素性パワーを自転車エルゴメーターを用いて測定し、機械的最大出力パワーで表した。ここでは、各被検者ごとに体重あたりの負荷を用いた。これは各競技が自己の体重を運ぶ運動であると想定したからである。先に述べ

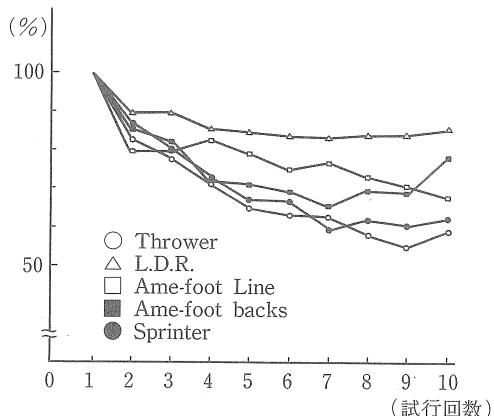


図 2. 1 回目の Mean Power 値を基準(100%)としてみた各 Mean Power の変化。
(ミドルパワーのインターバル負荷を課した時)

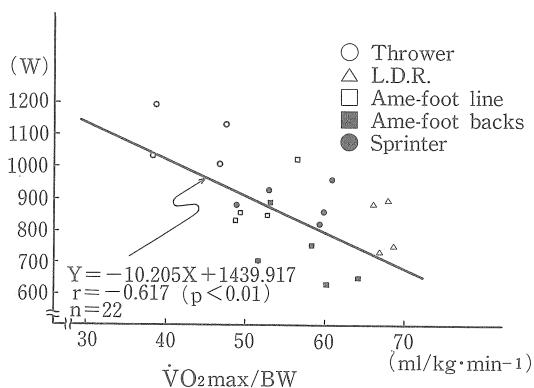


図 3. 体重 1 kgあたりの最大酸素摂取量と Mean Power(1 回目)との関係。

た WAnT は体重あたり 0.075kp で 30 秒間の激運動である。WAnT の至適負荷を検討した Datan と Bar-Or⁶⁾ は成人男子の至適負荷は体重あたり 0.0872kp であると修正意見を述べている。Vandewalle ら²³⁾ は、体重あたりおよそ 1 ニュートン (N) で 30 秒間の激運動を行わせている。Simoneau ら²²⁾ は、体重あたり 0.09kp で 10 秒間の最大努力運動をさせた。Evans と Quinney⁷⁾ は脚容量と体重から負荷を算出しているが、実際に用いた負荷を体重あたりにするとおよそ 0.096kp であり、運動時間は 30 秒間の激運動である。また、彼らの負荷算出式を用いて行った Dallaire ら⁵⁾ は、課した負荷の平均が体重あたり 0.099kp であったと報告した。ここでも運動時間は同一である。

本研究の自転車エルゴメーターによる短時間激運動時の機械的最大出力パワー測定に用いた負荷は体重あたり 0.095kp·m である。そして運動時間は 10 秒の全力運動であった。負荷重量をモナーク社製エルゴメーターの負荷に換算すると体重あたり 0.099kp となった。また、コンビ社製パワーマックス V によるパワー測定に用いた負荷は、体重あたり 0.1kp の負荷とした。このように、本研究で用いた 2 つの負荷は、Evans と Quinney, Dallaire ら、Simoneau らが用いた負荷と類似した値であるといえる。また、機械的最大出力パワーが発現する時間は 3-6 秒¹⁶⁾ と考えられるので運動時間は 10 秒とした。

パワー表示値の扱い

この種の自転車エルゴメーターの機械的最大出力パワー測定時には Peak Power 値と Mean Power 値を求めることができる。Peak Power 値とは運動時間中に発揮された最高パワー値であり、Mean Power 値とは運動時間中に発揮された出力パワーの平均値である。

ところで両者の間にはどの様な関係が見られるかをみてみると $r = 0.971$ ($p < 0.001$) と極めて高い相関関係を示した。このことは運動中ある特定の瞬間だけ不規則にパワーが発揮されるのではなく、規定された時間内において最大パワーが連続的に発揮されているということになる。

脚筋骨量と機械的最大出力パワー

本研究に参加した各競技種目別選手の Peak Power 値は、結果の表 1 に示すように体重および脚筋骨量の大きい者ほど高い値を示す傾向がみられた。脚筋骨量は下肢筋群の筋肉量を代表するものであり、筋の横断面積と筋長の積に近似することができる。筋力は筋の横断面積に比例し¹⁰⁾ 筋の収縮速度は筋長に比例する¹⁵⁾ といわれている。つまり、脚筋骨量はパワーのディメンジョンとして考えられよう。そこで、Peak Power 値と高い相関が認められたと言える。あるいは、ATP-PC 量が筋肉量に比例する¹⁹⁾ と考えるならば、脚筋骨量は下肢筋群の高エネルギー構成物質の量を反映しているためと推察される。

体重と最大無酸素性パワーとの高い相関は、体重と脚筋骨量との間に極めて高い相関関係が存在することから、脚筋骨量 (ATP-PC 量) と最大無酸素性パワーとの関係を間接的に表現したものと考える。

競技種目別選手の機械的最大出力パワー

各競技種目別の最大無酸素性パワー能力を比較してみると、相撲、柔道、投げ競技が他の競技よりも高い値を示した。彼らの種目は、自らの身体で生み出したパワーを対象物（対人競技者や投射物体）に作用させる競技である。体重あたりの最大無酸素性パワーは、長距離を除く群間には大きな差はみられなかったが、野球、体操競技、短距離が高い値を示した。

野球は、バッティング、フィールディング、ベーススティーリング（盗塁）などの瞬発的な体重移動が要求される運動を多く含んでいる。同様に、体操競技は、床のタンブリングや各種ジャンプのように、自分の身体を大きく持ち上げる動きが大半を占める。短距離走は、定められた距離をいかに短い時間で走り切るかという競技であり、それは自分の身体を最大速度で移動させる競技ということになる。

以上のことから考えると、競技種目と最大無酸素性パワーの関係を捉えようとするとき、発揮された機械的最大出力パワー値をそのまま用いた方

が、適切にその競技の無酸素性パワー能力を表す場合と、体重あたりの値でみた方がその競技の無酸素性パワー能力を表す場合があることを考慮する必要がある。

本研究に参加した運動部の各競技時間には、投げきの数秒から30分以上行われる球技まで大きな隔たりがある。ATP-PC系および乳酸系のエネルギー供給の競技は、数十秒間の競技時間といわれ、3分以上継続する競技では有酸素的能力が必要であると言われている。

本実験の結果は、長距離を除く各競技が、長距離群よりも高い体重あたりの最大無酸素性パワー値を示した。しかし、長距離群を含めた各競技がこれまで報告されてきている中・長距離とマラソン選手および一般学生の値⁴⁾よりも高い値であった。このことは、実験に参加した長距離群を含めて各競技種目に無酸素性パワーが不可欠であることを示唆する。例えば最近のマラソン競技はゴール近くまで混戦が続き、トラックに入ってからラストスパートがかけられ、最後のスピード能力の有無が勝敗を決している。またバスケットボールやハンドボールのように、比較的狭いコートで行われる競技とサッカーやラグビーのように、大きい競技場で行われる競技においても単調に走り回るのではなく、スピードの変化が要求されている。この変化の範囲は、一方で無酸素性パワーの最大値であることに間違いはない。

100m疾走記録と自転車漕ぎ運動による無酸素性パワー

100m疾走時の記録および自転車漕ぎ運動による機械的最大出力パワーは、短時間激運動のスポーツ能力の推定に用いられている。本研究では、100m疾走の記録を実際に遂行された performanceとして取り上げた。

目的に沿って100m疾走の記録と自転車エルゴメーターにより発揮された機械的最大出力パワーとの間には結果の表4でみられるように相関はみられなかった。一方、これまでの研究をみると50m疾走の記録と3kpの負荷をかけ最大努力で自転車エルゴメーターを漕がせたときの機械的最大出力パワーとの関係についての報告がある。それ

によると50m疾走の記録と体重あたりの機械的パワーとの間には男子で $r = -0.72$ ($p < 0.001$) 女子で $r = -0.88$ ($p < 0.01$) の高い相関がある¹²⁾という。そこで、本研究で得られた100m疾走の記録と体重あたりのPeak Power値およびMean Power値の間の関係をみてみると、男女とも有意な相関が認められた。

100m疾走および全力ペダリング後の血中乳酸濃度についても測定した。猪飼⁹⁾によれば、3kpの負荷で5秒間の全力ペダリングをさせたとき、約15mg/dlの過剰乳酸が蓄積されたという。Boobisら³⁾は体重あたり0.075kpの負荷を課して最大努力で6秒間自転車を漕がせたとき、筋中乳酸濃度が 28.40 ± 7.73 mmol/kg dry weight (安静時 9.29 ± 1.82 mmol/kg dry weight) であったと報告している。また、Jacobsら¹³⁾はWAnTを10秒間行わせたとき、筋中乳酸値が男子 46.1 ± 15.2 mmol/kg dry weight, 女子 25.2 ± 9.6 mmol/kg dry weight であったと報告している。

この研究で得られた資料は、100m疾走後に男子で 73.1 ± 23.1 mg/dl, 女子で 49.3 ± 5.9 mg/dlの血中乳酸濃度が測定された。全力自転車漕ぎ運動後の血中乳酸濃度は男子で 25.8 ± 4.7 mg/dl, 女子 15.5 ± 3.2 mg/dl であった。100m疾走後の血中乳酸値と自転車漕ぎ運動後の血中乳酸値には大きな差が認められる。その差は両者の運動が短時間激運動とはいえ、一方は全身体の移動運動であり他方はサドルに座しての運動であるので、循環器系に及ぼす影響に差異を生じたためと思われる。

100m疾走の記録と100m疾走後の最高乳酸値および自転車漕ぎ運動時の各機械的パワーのパラメーターとその運動後の最高乳酸値との間には正の相関関係が認められた。このことは、100m疾走で良い記録を出す者や全力自転車漕ぎ運動で大きな機械的最大出力パワーを出す者は、疾走中最高速度をむかえてからの速度の低下が少なく、Peak Power値に達してからもその値を維持する傾向を示すものである。従って、最高速度維持やPeak Power値を維持する者ほど耐乳酸能力が高いといえる。

一定軽運動中の繰り返し

無酸素性パワー発揮

ローパワー運動中の繰り返し機械的最大出力パワーの変化をみてみると、自らが発揮したパワーを対象物に作用させる柔道や投てき競技、それと短距離競技群は、試行回数とともに Mean Power 値が低下する傾向を示した。逆に、ある一定レベルの有酸素性パワーを持続的に発揮する長距離群は、繰り返しのたびごとに発揮されるパワーが相対的に低いけれども、1 回目の Mean Power 値を持続する傾向にあった。断続的に全力発揮することを要求されるバレー・ボールやバスケットボール群では、各試行ごとの Mean Power 値は、長距離群よりも高い値を示したが、1 回目の Mean Power を維持する傾向は長距離よりも劣り、柔道、投てき、短距離よりも優れるという両者の中間に位置した。

ミドルパワー運動中の繰り返し無酸素性パワーの低下傾向は、ローパワー運動中と同様投てき、短距離群が著しかった。長距離は、ローパワー運動中に比べて各試行ごとの Mean Power の値が 1 回目と比べて低下する傾向を示し、他の群よりは維持する傾向がみられた。

両方の一定軽運動中の繰り返し無酸素性パワー運動に参加した投てき、短距離、長距離種目について 10 回の全力運動時の Mean Power 値について検討した。Mean Power 値の低下傾向を 1 回目の Mean Power から 10 回中最小の Mean Power 値を減じた値、つまり減少量 (w) で表した。

ローパワー中における減少量は、投てきが 291w と最も高く短距離 248w であり長距離が最も小さく 53w であった。ミドルパワー運動中の Mean Power 減少量も同様な傾向を示した。投てき、短距離、長距離の各々の値は、496w、363w、118w であった。投てきは、両方の一定負荷運動において、著しい Mean Power の減少量を示した。逆に長距離は両方の運動で最も少ない減少量を示した。

一定軽負荷運動時の負荷がローパワーレベルの場合とミドルパワーレベルの場合の Mean Power 減少量についてみると、無酸素性パワー能力が高い投てきは、一定負荷が高い有酸素性レベルになるにしたがって大きな Mean Power 減少

量を示した。それとは逆に、有酸素性レベルが高い長距離は、一定負荷のレベルが高くなても大きな減少量の変化はないと思われる。

有酸素性能力と無酸素性能力

有酸素性能力と無酸素性能力に関して検討するために、最大酸素摂取量を測定したミドルパワー運動と繰り返し無酸素性パワーを行った被検者の $\dot{V}O_{2max}/BW$ と 1 回目の Mean Power の絶対値との関係について調べてみた。その結果、両者の間には $r = -0.617$ ($p < 0.01$) の負の相關が認められた。このデーターの被検者は、有酸素性パワーの高い長距離競技者と無酸素性パワーの高い投てき、短距離選手ならびに有酸素性および無酸素性パワーの両者を必要とするアメフト競技者というように、エネルギー獲得機構からみてうまくグレーディングさせていたためと思われる。

まとめ

1. 自転車エルゴメーターによる無酸素性パワーを各運動種目間について比較、検討するためには、以下の 3 つの観点から実験を行った。
2. a) 10 秒間全力ペダリングによる最大無酸素性パワー
b) performance としての 100m 疾走記録と 7 秒間全力ペダリングによる無酸素性パワー
c) 異なる強度の有酸素運動を含むくり返し無酸素性パワー
3. 最大無酸素性パワー値は、相撲、柔道、投てき競技が高い値を示したが、体重あたりでは各種目間に大きな差はみられなかった。このことは、競技特性を最大無酸素性パワーから捉える場合、絶対値で比較する場合と相対値で比較する場合を考慮する必要があると考えられる。
4. 100m 疾走記録と機械的出力パワーとの間には相関はみられなかった。しかし、体重あたりの Mean Power と Peak Power との間には相関が認められた。
5. くり返し運動中にローパワーレベルの負荷を用いた場合、長距離は 1 回目の Mean Power

値を維持する傾向を示した。それに対し投げ、柔道、短距離は試行回数が進むごとに、Mean Power 値の顕著な低下がみられた。ミドルノーパワーレベルの負荷を用いた場合、ローパワーレベルの負荷を用いた場合より各運動種目群の低下傾向は大きくなることを示した。

参考文献

- 1) Åstrand, P.-O. and K. Rodahl : Textbook of Work Physiology, 1970, オストランドの運動生理学(朝比奈、浅野訳) 1976.
- 2) Bar-Or, O., R. Dotan, O. Inber, A. Rothstein, J. Karlsson, and P. Tesch : Anaerobic capacity and muscle fiber type distribution in man. Int. J. Sports Med., 1 : 82—85, 1980.
- 3) Boobis, L., C. Williams, and S. A. Wootton : Human muscle metabolism during brief maximal exercise. J. Physiol. (London), 338 : 219, 1983.
- 4) Crielaard, J. M., and F. Pirnay : Anaerobic and aerobic power of top athletes. Eur. J. Appl. Physiol., 47 : 295—300, 1981.
- 5) Dallaire, J., S. Brayne, and D. Barrett : Anaerobic testing using the Wingate and Evans-Quinney protocols with and without toe stirrups. Can. J. Appl. Spt. Sci. 9 : 1—5, 1984.
- 6) Dotan, R., and O. Bar-Or : Load optimization for the Wingate anaerobic test. Eur. J. Appl. Physiol., 51 : 409—417, 1983.
- 7) Evans, J. A., and H. A. Quinney : Determination of resistance settings for anaerobic power testing. Can. J. Appl. Spt. Sci., 6 : 53—56, 1981.
- 8) Gray, R. K., K. B. Start, and D. J. Glencross : A test of leg power. Res. Quart., 33(1) : 44—50, 1962.
- 9) 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研究報告, 1969.
- 10) Ikai, M., and T. Fukunaga : Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. Int. Z. angew. Physiol. einschl Arbeitsphysiol., 26 : 26—32, 1968.
- 11) 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.
- 12) 生田香明, 渡部和彦, 大築立志 : 50m疾走におけるパワーの研究。体育学研究, 17(2) : 61—67, 1972.
- 13) 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.
- 14) Jones, P.R. M., and J. Pearson : Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone volume in young male and female adults. J. Physiol., 204 : 63—66, 1969.
- 15) 金子公宥 : 筋力と筋パワー, 猪飼道夫編 身体運動の生理学(第1版)。pp. 9—53, 杏林書院 : 東京, 1973.
- 16) Katch, V. L. : Body weight, leg volume, leg weight and leg density as determinants of short duration work performance on the bicycle ergometer. Med. Sci. Sports, 6 : 267—270, 1974.
- 17) Katch, V. L., and A. Weltman : Interrelationship between anaerobic power output, anaerobic capacity and aerobic power. Ergonomics, 22 : 325—332, 1979.
- 18) Komi, P. V., H. Rusko, J. Vos, and V. Vihko : Anaerobic performance capacity in athletes. Acta Physiol. Scand., 100 : 107—114, 1977.
- 19) Marugaria, R. 著, 金子公宥訳 : 身体運動のエネルギー。ベースボールマガジン社, 1978.
- 20) Marugaria, R., Z. Aghemo, and E. Rovelli : Measurement of muscular power (anaerobic) in man. J. Appl. Physiol., 21 : 1662—1664, 1966.
- 21) Schnabel, A. and W. Kindermann : Assessment of anaerobic capacity in runners. Eur. J. Appl. Physiol., 52 : 42—46, 1983.
- 22) Simoneau, J. A., G. Lortie, M. R. Boulay, and C. Bouchard : Tests of anaerobic alactacid and lactacid capacities : Description and reliability. Can. J. Appl. Spt. Sci., 8(4) : 266—270, 1983.
- 23) Vandewalle, H., G. Peres, J. Heller, and H. Monod : All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers. A comparative study on men and women. Eur. J. Appl. Physiol., 54 : 222—229, 1985.

II 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

執筆者 浅野勝己¹⁾ 千葉智則¹⁾

I 緒言

ラグビー競技は、一試合が80分間にもおよぶ長時間の激しいスポーツである。菊地ら⁵⁾の報告では、ラグビー競技時の運動強度は、最大酸素摂取能の約55~80%を示す比較的高い水準で継続されているとし、当競技者の有気的パワーの高いことが必要であろうと指摘している。一方、ラグビー競技中の個々のプレーは、その大部分が20秒以内の無気的な運動の連続であり、いわゆる「高エネルギーの爆発的な動き」³⁾といわれる高い無気的パワーを必要としている。

したがって、ラグビー競技者の競技力を高めるためには、有気的パワーおよび無気的パワーの両能力を効果的に向上させる必要がある。従来、有気的および無気的トレーニングのそれぞれの効果に関する研究は、比較的多くなされているが、本競技のように有気的および無気的パワーの両面を共に高めるトレーニングに関する研究は、未だ十分に明らかにされていない。

そこで本研究は、ラグビー競技者の有気的および無気的パワー特性を明らかにすると共に、有気的および無気的パワートレーニングの相互作用に関する基礎的検討を行いたい。

II 方 法

1. 被検者：

筑波大学ラグビーチームに所属するバックスの選手14人（18~21才、平均20才）を対象とした。この被検者を無作為に3群に分類した。すなわち毎月の練習の後に、無気的トレーニングとしてスprint走を実施するS群（sprint training group）5人、有気的トレーニングとして持久走を実施するE群（endurance training group）5人、およ

び両者のトレーニングを交互に隔日的に実施するS·E群（sprint and endurance training group）4人の3群に分け、これら被検者の身体的特性および最大有気的、無気的パワーと脚伸展パワーをTab. 1に示した。

2. トレーニング方法：

年間計画の中では、試合期に相当する10月中旬より12月上旬に至る約8週間にわたり、週3~5回（平均3.6±0.3回/週）の頻度で、練習終了後に約12~60分間トレーニングを実施した。各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の全力走をそれぞれ6~10本、6~10本、1~3本12分間以上の完全休息をはさんで実施し、一回毎のタイムをストップウォッチにて記録した。またE群では、12分間以上の持久走または3,000m以上の長距離走を全力で行わせた。さらにS·E群では、S群とE群の各トレーニングを交互に隔日的に実施した。

3. 測定項目および方法：

各トレーニング群ともトレーニング前後に、有気的パワー、無気的パワーおよびラグビー競技を模擬した間欠的サイクリングパワー出力の3項目について測定を行い、各測定内容はTab. 3に示した。

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25°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160m/minの速度で5分間の最大下走行テストを行い、5分間の起座位休息の後に、100m/minの速度より2分毎に20m/minずつ走行速度を漸増して、疲労困憊に至らしめた（Fig. 1）。

(1) O₂摂取量 (VO₂)：ダグラスバッグ法により、安静時5分間および最大下走行時は4分より1分間採気した。また最大走行時には、心拍数

1) 筑波大学体育科学系運動生理学研究室

Table 1. Physical characteristics, aerobic and anaerobic power of subjects.

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	% Fat (%)	Thigh* (cm)	VO ₂ max		M.A.P** (watt)	Leg Extension Power (N.m)		
						(l/min)	(ml/kg/min)		(60°/sec)	(180°/sec)	(300°/sec)
Sprint T.G											
Y. T.	21	164.2	61.3	10.9	51.2	4.28	69.7	700	192.5	112.7	69.3
K. T.	21	169.5	63.1	12.7	53.5	4.13	65.5	754	189.1	128.2	71.3
K. M.	20	166.0	65.0	10.0	56.6	4.30	66.1	632	137.1	91.2	52.1
A. T.	19	178.3	75.3	12.5	57.5	4.87	64.6	831	168.5	106.6	60.3
J. M.	19	173.0	71.7	12.7	59.2	4.06	56.6	731	168.8	98.9	62.3
(mean)	20	170.2	67.3	11.8	55.6	4.33	64.5	730	171.2	107.5	63.1
(S. D.)	1	5.6	6.0	1.2	2.9	0.32	4.8	65	22.1	14.1	7.7
Endurance T.G											
J. S.	20	175.3	68.0	11.8	54.7	4.18	61.5	698	187.5	105.2	63.6
A. T.	21	164.8	64.3	13.7	54.6	3.92	60.1	589	123.2	82.2	48.4
T. O.	20	170.9	73.5	15.5	59.7	4.24	56.7	842	154.8	112.6	55.9
Y. H.	19	170.5	71.1	12.3	57.8	4.30	60.5	776	154.8	97.6	55.9
H. N.	19	177.0	74.0	15.5	56.3	4.76	65.3	754	250.1	142.8	86.3
(mean)	20	171.7	70.2	13.8	56.6	4.28	60.8	732	174.1	108.1	62.0
(S. D.)	1	4.8	4.1	1.7	1.9	0.30	3.1	85	48.1	22.4	14.6
S & E T.G											
I. O.	21	168.3	66.3	12.0	57.7	4.42	66.7	731	162.5	115.9	72.9
N. M.	19	185.4	73.2	9.5	55.6	4.76	65.0	656	180.5	90.2	51.9
K. I.	18	180.1	75.2	10.2	58.6	4.84	63.0	953	224.8	133.2	60.6
S. O.	19	168.4	61.2	11.6	51.9	4.08	66.5	599	166.4	119.4	74.6
(mean)	19	175.6	69.3	10.8	56.0	4.53	65.3	735	183.6	114.7	65.0
(S. D.)	1	8.6	6.8	1.2	2.6	0.35	1.7	134	28.6	17.6	10.7
Total (mean)	20	172.3	68.8	12.2	56.1	4.37	63.4	732	175.8	109.8	63.2
(S.D.)	1	6.2	5.2	1.8	2.6	0.30	3.7	96	32.9	17.3	10.6

* Circumference of Thigh

** Maximum Anaerobic Power

Table 2. トレーニングプログラム

S 群：スプリント走 (22m×6~10、50m×6~10、100m×1~3)
E 群：長距離走 (3,000m 以上) 又は持久走 (12分間走)
S.E群：S群とE群のトレーニングを隔日的に交互に実施

Table 3 Parameters for measurement of this study

1 Aerobic Power : VO₂max (SV , STI , HLa , Blood Composition) Total Running Distance

2 Anaerobic Power : Maximum Anaerobic Power Leg Extension Power

3 Simulation of Intermittent Work Rugby Game (10" pedalling + 50" rest) × 40

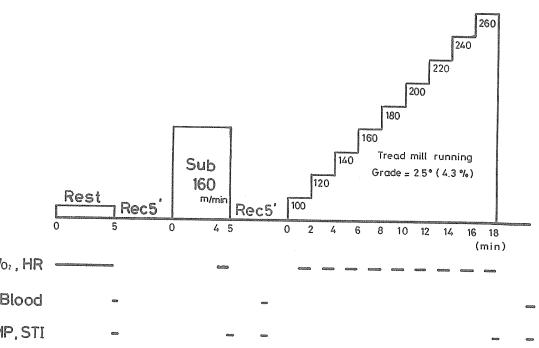


Fig. 1 Protocol of the experiment

(HR) が180拍以上に達した時点より疲労困憊に至るまで一分毎に連続して採氣した。 $\dot{V}O_2$ 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) 一回拍出量 (SV) および左室収縮時相 (STI) :

SVの測定には、IMF社製 Impedance Cardiograph Model 400を用い、安静時および運動終了直後と回復3分後に計測し、Kubicekら⁶⁾の公式により算出した。STIは、SV測定時に同期して心収縮期(QS_2)、駆出期(LVET)、前駆出期(PEP)およびPEP/LVETを計測した。

(3) 血中乳酸濃度 (HL_a) および血液性状 :

HL_a 、RBC、WBC、HbおよびHt測定のため、安静時および最大下、最大運動終了3分後に肘正中静脈より採血した。 HL_a 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、5 kp、6 kpおよび7 kp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²⁾により最大無気的パワーを求めた。

(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および上体を動かないようにし、さらに右足頭部を測定用レバーアームで固定した。測定速度は300°、240°、180°、120°、60°、30°/secの6段階とし、各速度における最大筋出力をピークトルク (N·m) として表示した。さらに180°/secでの最大努力での筋出力発揮を50回連続して行い、筋出力発揮の持久力（低減率）を算出した。

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秒間の休息をはさみ40回継続して行った (Fig. 3)。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トータルパワーとした。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 HL_a を安静時、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。

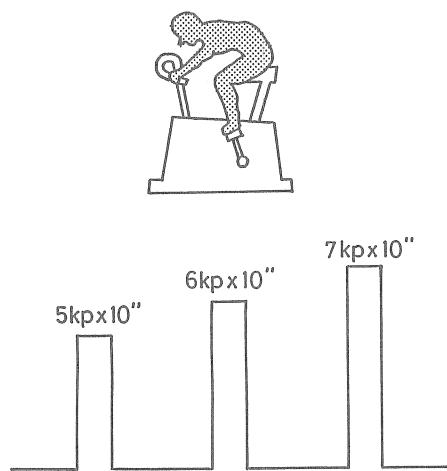


Fig. 2 Protocol for measurement of maximum anaerobic power

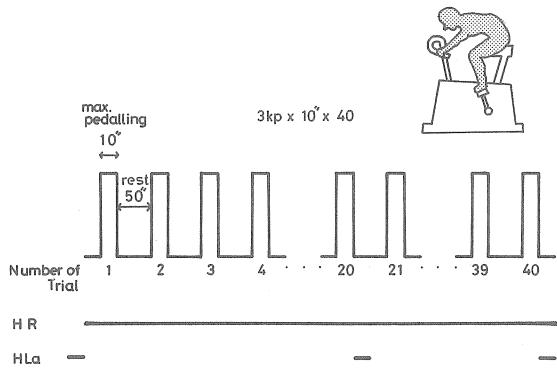


Fig. 3 Protocol for intermittent work simulating rugby game

III 結 果

約8週間のトレーニングの有気的パワー、無気的パワーおよび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、E群およびS+E群の各群を比較検討した。

1) 有気的パワーに及ぼす影響：

1) $\dot{V}O_{2\max}$ ：絶対値ではE群のみ4.28 l/minより4.33 l/minと増加傾向を示したが、S群で4.33 l/minより4.13 l/min、S+E群で4.53 l/minより4.26 l/minとそれぞれ低減傾向にあった。また体重当りの値でも、E群のみ60.8ml/kg/minより61.6ml/kg/minと増加傾向にあったが、S群で64.5ml/kg/minより60.3ml/kg/min、S+E群で65.3ml/kg/minより61.8ml/kg/minとそれぞれ低減傾向を示した（Fig. 4）。

2) Exhaustion test 時のトレッドミル走行距離：

Fig. 5はトレーニング前後のトレッドミル走行距離を、各群について比較したものである。すなわちE群のみが平均2,556mより2,792mと9%の増加傾向を示したが、S群で3,011mより2,768mと減少傾向にあり、またS+E群では、2,910mより2,960mとほぼ同等の傾向にあった。

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、各トレーニング群について比較したのがFig. 6である。WBCは各群ともトレーニング後に増加する傾向にあり、とくにS群では7.5%の増大傾向を示した。RBCも各群共にトレーニング後増加する傾向にあるが、とくにE群では $479 \times 10^4/\text{mm}^3$ より $512 \times 10^4/\text{mm}^3$ へ約7%の有意増（ $p < 0.05$ ）を示した。Hbも同様に各群とも増加傾向を示したが、とくにE群は、14.8g/dlより15.5g/dlと約8%の増加傾向を示している。HtはS群でやや減少傾向にあったが、E群とS+E群で増加傾向を示した。とくにE群では45.9%より47.1%と、約3%の増加傾向が認められた。

4) 血中乳酸濃度（ HL_a ）：

最大下走行時 HL_a は、E群でトレーニング前後とも2.58 mMol/lとほぼ同値を示したのに対し、

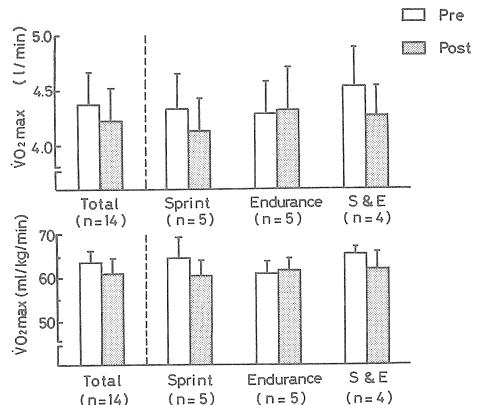


Fig. 4 Changes in maximal oxygen uptake before and after training

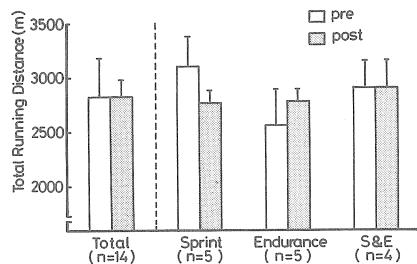


Fig. 5 Comparison of the total running distance before and after training

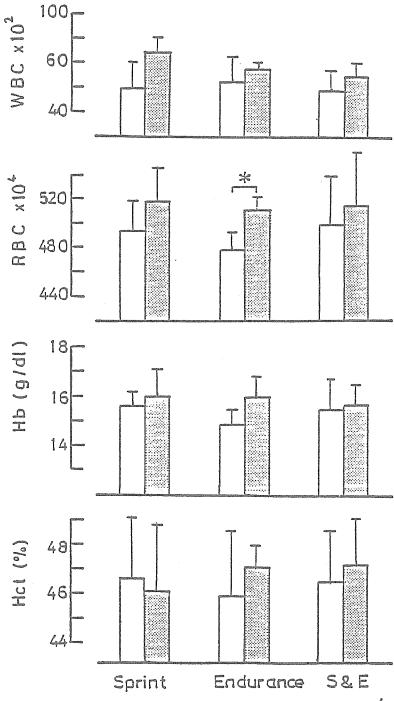


Fig. 6 Changes in blood compositions at resting condition before and after training
(* $p < 0.05$)

S群では2.71 mMol / lより2.96 mMol / lと約9%の増加傾向を示し、S・E群も2.00 mMol / lより2.53 mMol / lへ約25%の増加傾向にあった。

5) 一回拍出量 (SV) :

最大下走行運動後のSVは、トレーニング後E群ではほぼ同等であるが、S群、S・E群とも減少傾向にあった。最大運動後では、E群のみに約15%の増加傾向(94mlより108ml)が認められたが、S群、S・E群ともに減少傾向にあった。

6) 左室収縮時相 (STI) :

心機能評価の一指標とされるPEP/LVET比を安静時についてみると、トレーニングによりE群では0.445より0.447とほぼ同等であったが、S群(0.433より0.510)、S・E群(0.476より0.525)ともに増加傾向を示した。

2 無気的パワーに及ぼす影響:

1) 最大無気的パワー :

各群ともトレーニング後に最大無気的パワーは増加傾向を示した(Fig. 7)。すなわちS群では平均730 wattより782 watt、E群で732 wattより799 watt、さらにS・E群で735 wattより801 wattと、それぞれ約7%，9%および9%の増加傾向が認められた。

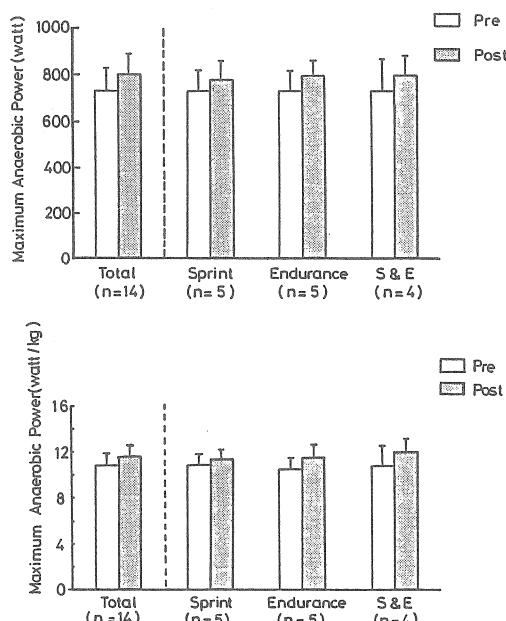


Fig. 7 Changes in the maximal anaerobic power before and after training

2) 脚伸展時筋出力パワー :

トレーニング後、各群ともすべての角速度において低減する傾向にあった(Fig. 8)。このうちS群のみは、他の群に比べて減少幅が小さい傾向にあり、とくに低角速度での傾向が認められた。E群は他群に比べ、すべての角速度で減少幅が大きい傾向にあった。

Fig. 9は、トレーニング前後の50回連続脚伸展パワーの初期値および終末値の低下率を、各群について比較したものである。S群ではトレーニング後平均で初期値110.4 N·mより92.4 N·m、終末値52.3 N·mより42.4 N·mとそれぞれ減少したが、減少率では52.1%から51.7%とほぼ同等であった。一方、E群ではトレーニング後平均で初期値112.2 N·mより92.7 N·m、終末値66.5 N·m

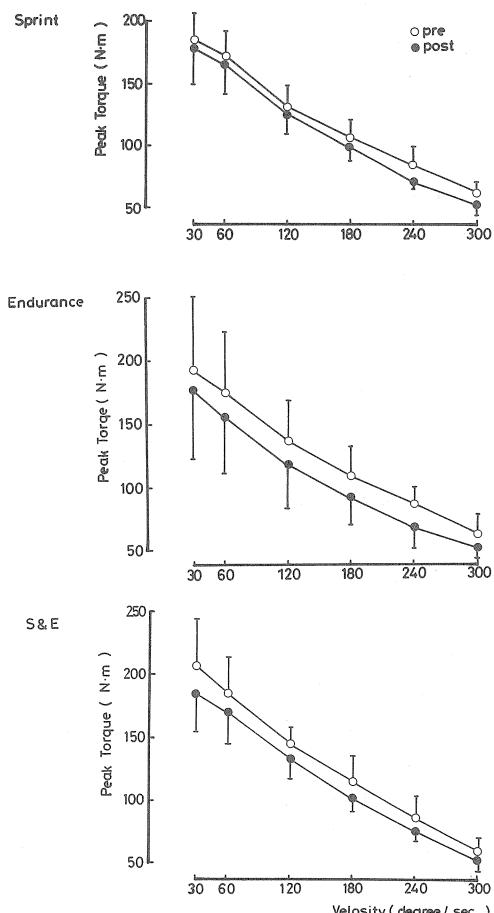


Fig. 8 Comparison of the peak torque and velocity before and after training in the three groups

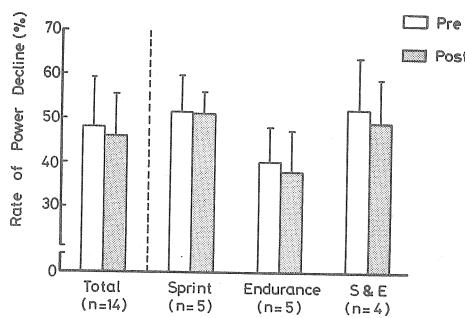


Fig. 9 Changes in the decline rate of power during 50 times repeated contraction at the speed of 30%sec before and after training

より56.9 N·mと低減し、減少率は、40.2%より37.9%と約6%低減している。またS・E群では初期値111.7 N·mより106.5 N·mと減少し、終末値53.8 N·mより54.6 N·mとやや増加した。減少率では52.1%より49.2%と、E群同様に約6%の低減が認められた。

3) 最高血中乳酸濃度 ($HL_a \max$) :

Exhaustion test の3分後の $HL_a \max$ は、トレーニング後、S群では平均11.21 mMol / lより12.01 mMol / lへ増加傾向を示したが、E群では11.23 mMol / lより9.44 mMol / l、S・E群では12.23 mMol / lより11.06 mMol / lへ両群とも減少する傾向にあった。

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：

40分間ペダリング時のトータルパワー値は、S群、E群で各1%，2%の増加傾向が認められたが、S・E群では約5%の減少傾向にあった。また体重当たりでは、S群では263 watt / kgより260 watt / kgとほぼ同等であるが、E群では256 watt / kgより263 watt / kgと約3%の増加傾向を示した。またS・E群では279 watt / kgより268 watt / kgと約4%の減少傾向にあった (Fig.10)。

40分間の平均HRは、S群で平均159拍/分より161拍/分、E群で161拍/分より162拍/分、さらにS・E群で162拍/分より165拍/分と、各群ともほぼ同等の傾向にあり、トレーニングによる明らかな変化は認められなかった。

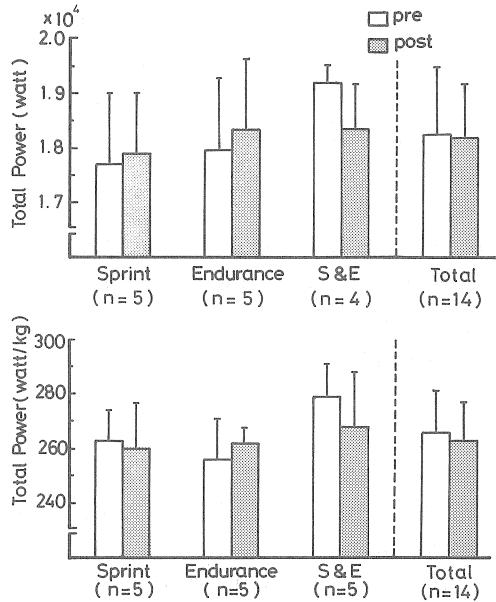


Fig. 10 Changes in total power before and after training in the intermittent work simulating rugby game

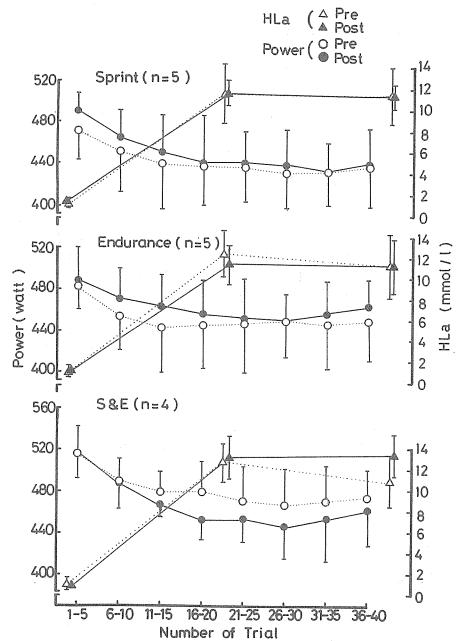


Fig. 11 Comparisons of the power output and HLa during intermittent work simulating rugby game before and after training

Fig.11は、5回毎の出力パワーを、40分間運動中の8点についてその推移を、各群間で比較し、さらに運動開始前、20分目および40分目の HL_a 値の変化を示したのがFig.11である。

すなわち S 群では、トレーニング後に運動前半のパワーの向上が認められたが、後半では、トレーニング前値に近似した。また S・E 群では、トレーニング後、全体的にパワーの低減する傾向であった。一方、E 群では全体的にパワーの向上が認められ、とくに後半でのパワー改善が、他群に比較して明らかであった。また HL_a は、運動中各群とも平均で $11 \sim 12 \text{ mMol/l}$ とほぼ最高値に近似する値であった。トレーニング前後の比較では、E 群のみにトレーニング後にやや減少する傾向が認められた。

IV 考 察

$\dot{V}O_{2\max}$ と SV_{max} は、E 群のみに増加傾向が認められ、他の群ではトレーニング後に減少傾向を示した点については、本トレーニングがチームスキルを中心とする試合期に実施され、10月までの鍛錬期に比べて練習強度の低減があった為と思われる (Tab. 4)。また S 群、S・E 群の $\dot{V}O_{2\max}$ は、 65 ml/kg/min と比較的高い水準にあるために、有意な改善が認められなかつたものと考えられる。

いずれにせよ、有気的パワーは E 群において改善傾向が認められたのは、 SV_{max} の上昇および RBC の約 7 % の有意増と Hb の約 8 % の増加傾向などに起因していると考えられる。Lamb ら⁷ は有気的トレーニングにより、安静時および最大運動時に RBC および Hb の増加をもたらし、血液濃縮の生じることを報告している。本研究の E 群でも Ht の約 3 % の増加傾向が示され、やや減少傾向にある S 群と対象的である。これらの physical resources におけるトレーニング効果が、per-

Table 4. ラグビー競技者の年間スケジュールと本研究のトレーニング期間

4月	10月	1月	4月
←→	←→	←→	←→
鍛錬期 個人的スキル ユニットスキル 体力トレーニング	試合期 チームスキル	準備期 休 息 個人的スキル 体力トレーニング	
↓	↓	↑	↓

←→
10/15~12/5
トレーニング期間

formance に明らかに反映している。すなわちトレッドミル走行距離は、E 群のみに 9 % の増加傾向、S・E 群ではほぼ同等、そして S 群での減少傾向として示されている。

すなわち週 3 ~ 5 回の 50m 走を中心とする無気的パワートレーニングでは、呼吸循環血液系の O_2 運搬能に影響を及ぼし得ないことを示している。

一方、最大無気的パワーは、トレーニング後、各群ともに 7 ~ 9 % の増加傾向を示した。Fox ら¹ はスプリントトレーニングにより、ATP-CP 貯蔵量の増加がもたらされると共に、有気的トレーニングにおいても同様に ATP-CP 貯蔵量の増加が示され、無気的パワー改善の可能性が示唆されるという。また Karlsson ら⁴ も、有気的トレーニングにより筋中 CP 量には変化が認められなかつたが、ATP 量には有意な増加が示されたと報じている。

脚伸展パワーは、トレーニング後各群ともに、全ての角速度で低減傾向にあった。しかし S 群は E 群および S・E 群に比べて、パワーの減少幅が少なく、とくに比較的大きいパワー発揮を要する低角速度 ($30^\circ/\text{sec}, 60^\circ/\text{sec}$) では、トレーニング後もほぼ同値を示している。一方、E 群ではトレーニング後全ての角速度でパワーの減少幅が、他の群に比べ大きい傾向を示し、S・E 群の減少幅は S 群と E 群のほぼ中間値を示した。また $30^\circ/\text{sec}$ での 50 回連続の脚伸展パワー発揮におけるパワーの低下率では、トレーニング後に S 群では明らかな変化は認められなかつたのに対し、E 群と S・E 群で

Table 5 Summary of influences of various training methods on aerobic, anaerobic power

	Sprint	Endurance	S & E
1. Aerobic Power			
$\dot{V}O_{2\max}$	↓	↑	↓
Total Running Distance	↓	↑	→
2. Anaerobic Power			
Max. Anaerobic Power	↑	↑	↑
/ Leg Extension Power			
Force-Velocity Curve	→	↓	↓
Rate of Power Decline	→	↑	↑
3. Intermittent Work			
Simulating Rugby Game	→	↑	↓

は低下率が約6%減少し、筋の抗疲労性の向上が示唆された。

ラグビー競技では、全プレイの約60%が10秒以内に終了し、90%が20秒以内に終了すると報告⁹されている。またRay Williams⁸は、20秒運動、40秒休息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秒間の休息をはさみ、40分間断続的に実施する作業を、トレーニング前後で行い各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、有気的トレーニングのみを実施したE群では増加傾向を示したが、S群、S-E群では不変あるいは減少傾向にあった。

10秒間の短時間の激しい運動のエネルギー源は、主にATP-CP系に依存しているが、断続的に長時間継続するさいには、解糖系および有酸素系の供給が要求されるようになる¹⁰。したがってこのような長時間にわたり断続的に高いパワーを発揮するさいには、有気的パワーの高いことが要求されるものと考えられる。すなわちトータルパワーと $\dot{V}O_{2\max}$ の相関が、トレーニング前で $r = 0.84$ ($p < 0.001$)、トレーニング後で、 $r = 0.74$ ($p < 0.001$)と有意に高く、最大無気的パワーとの相関がそれぞれ $r = 0.58$ ($p < 0.05$)、 $r = 0.44$ (ns)よりも高いことからも推察される。とくにE群の31分以後のパワー出力が、他の群では同等が減少を示すのに対し、トレーニング後に増大を示した点は、注目されよう。

V 要 約

健常男子ラグビー競技者（18~21才）14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トレーニングを実施し、他の5人を有気的パワートレーニング群として持久性トレーニングを実施し、残りの4人を両者のパワートレーニングを交互に実施する3群に分けた。

各群は約8週間にわたり週3~5回のトレーニングを行い、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比較検討を行った。その結果はTab.5に要約して示している。

- 1) 無気的トレーニングは、無気的パワーを改善するが、有気的パワーへの改善は明らかではない。
- 2) 有気的トレーニングは、無気的パワーおよび有気的パワーを共に改善する可能性がある。
- 3) ラグビー競技をモデル化した無気的運動を断続的に継続する間欠運動では、有気的トレーニングの方が無気的トレーニングよりも効果が大きく、 O_2 運搬能の向上がこの間欠的運動能改善に貢献しているものと考えられる。

VI 文 献

- 1) Fox, E. L (1979): Sports Physiology. Holt-Saunders International Edition
- 2) 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.
- 3) Greenwood, J (1980): Total Rugby, Leps books: 270
- 4) 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.
- 5) 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。
- 6) Kubicek, W. G (1970): Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. Ann. N. Y. Acad. Sci, 170: 724-732.
- 7) Lamb, D. R (1978): Physiology of exercise. Response and adaptation. Macmillan Pub. Co., 197-226.
- 8) Ray Williams (1976): Skilful Rugby, 151-153. Souvenir Press, London.
- 9) Rugby Football Union (1978): Fitness training for rugby. 7-10.

III 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

報告者 小林 寛道¹⁾

共同研究者 天野 義裕²⁾

研究目的

多くの競技スポーツでは、無酸素性パワー（アネロビック・パワー）と有酸素性パワー（エアロビック・パワー）の双方のエネルギー発揮が必要とされる。

中・長距離走種目でのラストスパートにみられるように、有酸素性能力が主体となる場合においても、アネロビック・パワーの発揮が競技成績を競う場合には、大きな役割をもっている。

これまで運動強度をあらわす場合には、最大酸素摂取量に対する相対強度 (% $\dot{V}O_{2max}$) による有酸素的運動負荷表示法が多く用いられてきている。しかし、最大アネロビックパワーを指標とした無酸素的運動負荷表示法を用いて、各運動負荷での運動を行った場合の生理学的な身体的対応を検討することも必要であろう。

本研究では、最大アネロビックパワーに対する相対強度 (% MAnP) の概念をとり入れながら、パワー発揮能力と時間的要因、およびアネロビック・パワーとエアロビック・パワーの複合的なエネルギー発揮能力の様態を、運動生理学的にとらえることを目的とした。

1960年に Wilkie⁶⁾は、運動持続時間とその運動中に発揮できるパワーとの関連を、いくつかの文献資料にもとづいて図示している。Wilkie の示した曲線は、発揮パワーと運動時間との関係を良くあらわしているが、発揮されたパワーが、各運動時間において、どの程度アネロビック・パワー、またはエアロビック・パワーに由来するのか、そ

の割合が明らかにされていない。

また、これらのパワー発揮能力と運動時間との関係が、個人差やスポーツ種目の特性によってどのように影響されるか、またトレーニングを行うことによってどのように変化するのかについて検討されるべき余地が残されている。

本研究では、発揮パワーを一定にコントロールすることができるエルゴメーター装置を用いることによって、一定パワー発揮持続能力と、その時のアネロビック・パワーとエアロビック・パワーとの割合、およびスポーツ種目の特性をとらえることを目的とした。

方 法

被検者は、大学陸上競技選手14名である。(内訳短距離9名、平均身長172.0cm、体重62.7kg；中長距離5名、平均身長169.3cm、体重58.2kg)

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。また、同エルゴメーターを用い、漸増負荷法によって、最大エアロビック・パワー ($\dot{V}O_{2max}$: Maximum Oxygen Intake) を測定した。呼気ガスの採集にはダグラスバックを用い、ガスサンプルの O_2 濃度、 CO_2 濃度を分析し、酸素摂取量を算出した。

次に、発揮パワーとその持続時間との関係をとらえるため、竹井式ハイパワー・エルゴメーターのもつ諸機能のうち、アイソパワー・エルゴメーターとしての機能を利用することにした。

自転車ペダリングによるパワー発揮は、ペダル

1)名古屋大学総合保健体育科学センター 2)愛知教育大学

にかかる負荷 (kp) とペダルの回転数 (rpm) の積によってもとめられる。アイソパワー・エルゴメーターでは、発揮されるべきパワーの大きさをあらかじめセットした場合、被検者が自由なペダリングのリズムでペダルを回転させても、ペダルにかかる負荷が自動的にコントロールされ、一定パワーが発揮されるように設計されている。疲労のためペダルの回転数が低下すると、ペダルにかかる負荷が大きくなり、ペダリングの持続が困難な状態に急速に追い込まれ、短時間のうちに運動の停止が余儀なくさせられる。

こうしたアイソパワー発揮条件にもとづいて、各被検者について、予備テスト（第1次テスト）として、10秒間、30秒間、1分間、2分間、5分間、10分間程度ペダリングが持続できる負荷（アイソパワー）を試行錯誤しながら選択した。第1次テストの結果にもとづき、発揮パワーとペダリング持続時間との関係についての回帰曲線を各被検者ごとにもとめた（図1）。

各被検者についての回帰曲線から、それぞれの被検者が、10秒間、30秒間、1分間、2分間、5分間、10分間ペダリングを持続できる負荷（アイソパワー）をもとめ、これを第2次テストの負荷（アイソパワー）と定めた。

第2次テストでは、被検者に呼気ガス採集用マスクを装置し、ダグラスバッグを用いて運動中および運動後40分間の呼気を採集し、運動中酸素摂取量、酸素負債量、および酸素需要量をもとめた。

また、パワー発揮能力とランニング・パフォー

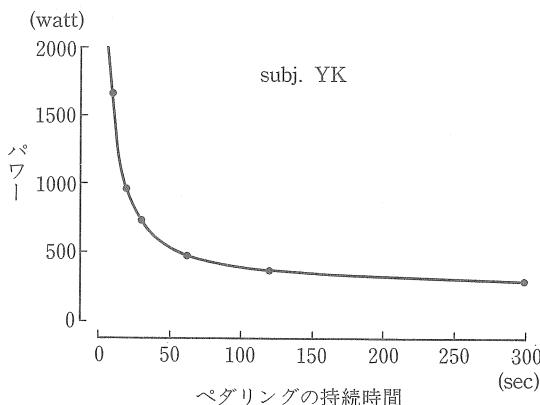


図1. ペダリングの持続時間と発揮パワーとの関係

マンスとの関連をとらえるため、各被検者について、50m走、100m走、400m走、800m走、1500m走、5000m走のタイムトライアルを実施し、ビデオ装置を用いて、走行中の平均歩数と平均歩幅をもとめた。

結果と考察

被検者の身長、体重、最大アネロビック・パワー (MAnP)、および最大エアロビック・パワー ($\dot{V}O_{2max}$) の測定値を表1に示した。

最大アネロビック・パワー (MAnP) の平均値は、短距離1279.7W、中・長距離1059.5Wであり、最大エアロビック・パワー ($\dot{V}O_{2max}$) の平均値は、短距離3.50 l/分 (体重当り量56.0ml/kg/分) 中・長距離3.93 l/分 (体重当り量67.6ml/kg/分) であった。

1 発揮パワーと運動時間との関係

予備テストからもとめられた回帰曲線にもとづいて設定された6種類の負荷（アイソパワー）で、最大努力のペダリングを実施したところ、表2のような結果が得られた。

被検者全員の平均値でみると、それぞれの運動負荷（アイソパワー）での最大運動持続時間は、

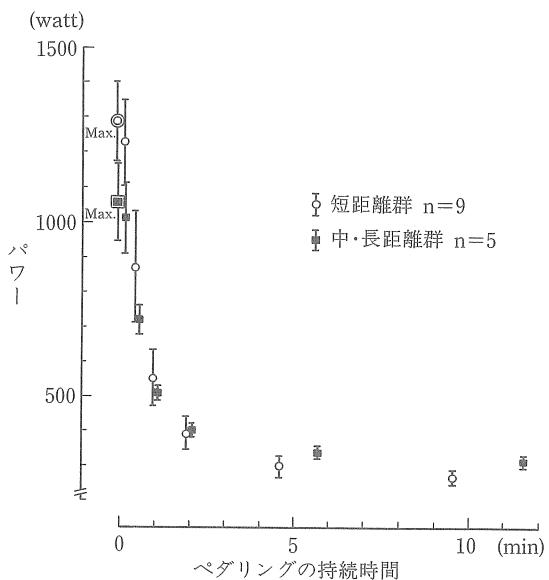


図2. ペダリングの持続時間と発揮パワーとの関係

表-1 被検者の形態、最大アネロビックパワー、および最大エアロビックパワー

	被 検 者	身 長 (cm)	体 重 (kg)	最大アネロ ビックパワー (watt)	$\dot{V}O_2$ max. (l/min)	$\dot{V}O_2$ max/wt. (ml/min/kg)
短距離選手	K. T.	170.0	56.5	1142.9	3.48	61.6
	Y. K.	173.0	60.0	1251.6	3.44	57.3
	S. M.	177.0	61.4	1239.5	4.17	68.0
	K. Fn.	180.0	73.0	1493.2	4.35	60.0
	C. I.	166.0	65.4	1359.8	3.06	46.8
	K. Fj.	166.2	66.3	1230.6	3.33	50.2
	T. O.	170.0	63.5	1302.8	3.26	51.4
	N. M.	170.5	62.2	1376.0	3.29	53.0
	T. S.	175.0	56.0	1120.5	3.14	56.1
中・長距離	T. Hi.	171.0	60.0	1146.6	3.51	58.5
	K. I.	170.8	60.3	941.3	4.01	66.5
	K. M.	167.2	52.5	931.4	3.28	62.4
	H. S.	169.7	56.0	1222.1	4.51	80.5
	T. Ha.	167.9	62.0	1056.1	4.36	70.3
全 体 平 均	平 均 (標準偏差)	171.0 (3.9)	61.1 (5.0)	1201.0 (153.7)	3.66 (0.49)	60.2 (8.7)
短 距 离 群	平 均 (標準偏差)	172.0 (4.5)	62.7 (4.9)	1279.7 (110.9)	3.50 (0.43)	56.0 (6.2)
中・長距離群	平 均 (標準偏差)	169.3 (1.5)	58.2 (3.4)	1059.5 (113.5)	3.93 (0.47)	67.6 (7.5)

ほぼ予測された時間に等しかった。

しかし、短距離群では、予測された時間よりやや短い結果となり、中・長距離群では、5分間、および10分間の予測値に対して、やや長い運動持続時間を見た（図2）。

各運動時間において発揮されたパワー（1分間値）を比較すると、短距離群では、10秒間持続運動（以下10secEXと略す）で1227W、30secEXで806W、60secEXで561Wであり、中・長距離群の10secEX1008W、30secEX688W、60secEX524Wという値を、いずれの運動時間でも上まわっている。しかし、運動時間が2分（2 min EXと略す）では、短距離群の408W、中・長距離群の404Wと両者とも同様な値を示している。これ以上長い運動時間になると、逆に中・長距離群が大きなパワーを発揮しつづけるようになり、短距離群における

5 min EXで301W、10min EXで264Wに対して、中・長距離群では、それぞれ332W、312Wという値を示した。

すなわち、一定パワー発揮持続能力について運動時間の面からとらえてみると、運動時間が2分間あたりでは、短距離型、中・長距離型の区別がみられず、短距離型では2分以内の運動で高いパワー発揮能力を示し、中・長距離型では、2分を越える運動で高いパワー発揮持続能力を示すことがわかる。

2 最大アネロビック・パワー (MAnP) に対する相対的パワー発揮能力

各運動時間に発揮されたパワー発揮が、最大アネロビック・パワー (MAnP) に対してどの程度の割合に相当するものかをとらえるため、% MAnP を算出した。（表2（3項））

表-2 各設定運動時間における発揮パワー、最大持続時間、発揮パワーの最大アネロビックパワーに対する相対値、および運動中酸素摂取量

	設定運動時間	1 (10秒間)	2 (30秒間)	3 (60秒間)	4 (2分間)	5 (5分間)	6 (10分間)
N=9 短距離群	1. 発揮パワー (watt)	1227 (111)	806 (83)	561 (70)	408 (41)	301 (22)	264 (15)
	2. 最大持続時間 (min, sec)	9"7 (1"5)	28"0 (4"7)	56"8 (10"7)	1'47"1 (18"1)	4'36"3 (38"2)	9'34"1 (1'15"9)
	3. $(1 \div \text{MAP} \times 100) \% \text{MAP}$ (%)	95.7 (1.7)	62.9 (3.8)	43.7 (3.0)	31.9 (2.1)	23.6 (1.2)	20.8 (1.7)
	4. $\dot{V}\text{O}_2$ ピーク値 (ml/min)	—	1946 (382)	2513 (324)	2646 (292)	3164 (688)	3152 (312)
	5. $\dot{V}\text{O}_2/\text{wt}$ ピーク値 (ml/min/kg)	—	31.0 (5.5)	40.2 (5.4)	42.3 (4.4)	50.6 (10.4)	50.6 (6.0)
	6. $(4 \div \dot{V}\text{O}_{\text{max}} \times 100) \% \text{VO}_{\text{max}}$ (%)	—	61.5 (12.2)	80.2 (12.5)	83.6 (5.7)	99.6 (17.7)	100.4 (13.4)
中・ 長距離群 N=5	1. 発揮パワー (watt)	1008 (100)	688 (87)	524 (22)	404 (20)	332 (17)	312 (17)
	2. 最大持続時間 (min, sec)	10"7 (1"9)	30"9 (8"4)	61"4 (10"0)	1'58"1 (18"0)	5'46"2 (44"5)	11'36"2 (49"8)
	3. $(1 \div \text{MAP} \times 100) \% \text{MAP}$ (%)	95.2 (0.8)	65.2 (7.4)	49.9 (4.6)	38.4 (3.3)	31.6 (2.6)	29.7 (2.4)
	4. $\dot{V}\text{O}_2$ ピーク値 (ml/min)	—	2177 (422)	2826 (225)	2946 (197)	3877 (557)	3589 (252)
	5. $\dot{V}\text{O}_2/\text{wt}$ ピーク値 (ml/min/kg)	—	37.7 (8.1)	49.1 (2.8)	51.0 (4.1)	66.6 (8.5)	61.9 (5.4)
	6. $(4 \div \dot{V}\text{O}_{\text{max}} \times 100) \% \text{VO}_{\text{max}}$ (%)	—	58.6 (14.6)	76.5 (12.7)	78.9 (11.1)	102.7 (3.2)	95.3 (8.4)
全体平均 N=14	1. 発揮パワー (watt)	1149 (150)	764 (102)	548 (61)	406 (35)	312 (25)	281 (28)
	2. 最大持続時間 (min, sec)	10"0 (1"7)	29"0 (6"4)	58"4 (10"7)	1'51"0 (18"9)	5'01"3 (52"6)	10'17"7 (1'51"2)
	3. $(1 \div \text{MAP} \times 100) \% \text{MAP}$ (%)	95.6 (1.5)	63.7 (5.5)	45.9 (4.7)	34.2 (4.1)	26.4 (4.2)	24.0 (4.7)
	4. $\dot{V}\text{O}_2$ ピーク値 (ml/min)	—	2028 (412)	2625 (329)	2753 (299)	3419 (730)	3308 (359)
	5. $\dot{V}\text{O}_2/\text{wt}$ ピーク値 (ml/min/kg)	—	33.4 (7.3)	43.4 (6.3)	45.4 (5.9)	56.3 (12.4)	54.6 (7.9)
	6. $(4 \div \dot{V}\text{O}_{\text{max}} \times 100) \% \text{VO}_{\text{max}}$ (%)	—	60.5 (13.2)	78.8 (12.7)	82.0 (8.3)	100.7 (14.4)	98.6 (12.1)
平均値 (標準偏差)							

その結果、短距離群では、10secEXで96% MAnP, 30secEXで63%, 60secEXで44%, 2 min EXで32%, 5 min EXで24%, 10min EXで21%という値であった。これに対し、中・長距離群では、10sec EXで95% MAnPと短距離群と同様な値であったが、30秒以上の運動では、いずれも短距離群を上まわる相対値を示し、30sec EXで65% MAnP, 60sec EXで50%, 2 min EXで38%, 5 min EXで32%, 10min EXで30%という値であった。

最大アネロビック・パワーに対する相対値で見る限りでは、10秒間程度の運動では、短距離型、中・長距離型の差はみられないが、両者の差は、すでに30秒程度の運動から生じ始め、2分の運動で6%，10分の運動で9%中・長距離型が高い相対値を示すことが注目される（図3）。

3 最大アロビック・パワー ($\dot{V}O_{2max}$) に対する運動中酸素摂取量の相対値

パワー発揮にともなう運動中の酸素摂取量について、表2（3～6項）に示した。10秒間の運動

(10sec EX) では、酸素摂取量の測定が不可能であったので、測定値は、30sec EXからのものについて示してあり、2 min EX, 5 min EX, 10min EXについては、得られた数値のうちのピーク値を示した。

運動中酸素摂取量（1/分）の最大アロビック・パワー ($\dot{V}O_{2max}$) に対する割合についてみると、短距離群では、30sec EXで62% $\dot{V}O_{2max}$, 60 sec EXで80%, 2 min EXで84%, 5 min EXおよび10min EXで100%となっており、中・長距離群では、30sec EXで59% $\dot{V}O_{2max}$, 60sec EXで77%, 2 min EXで79%, 5 min EXで103%, 10 min EXで95%という値であった。

最大アロビック・パワーは、5分間程度持続する最大運動によって得られるといわれているが、本実験の結果もこのことを事実として裏づけていることができる。最大アロビック・パワー発揮に至る過程では、30秒間で60% $\dot{V}O_{2max}$ 程度、1分間で80% $\dot{V}O_{2max}$ 程度で、短距離群、中・長距離群であり大きな差はみられない。但し、

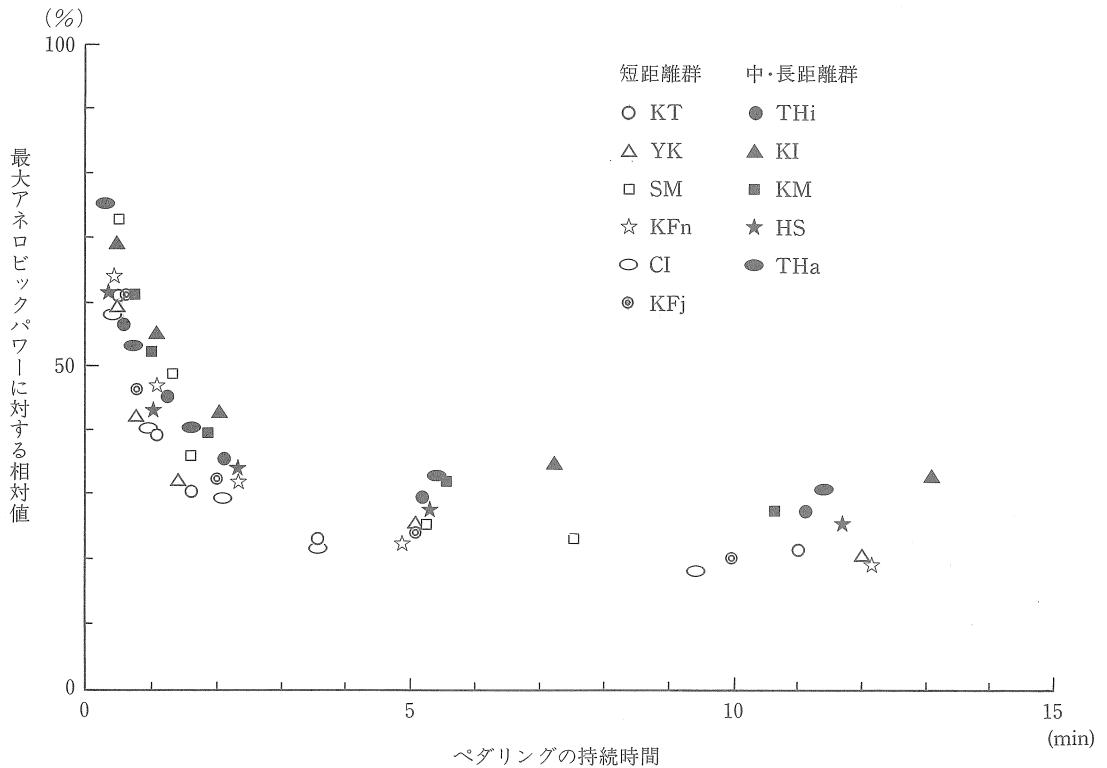


図3. ペダリングの持続時間と発揮パワーの最大アロビックパワーに対する相対値

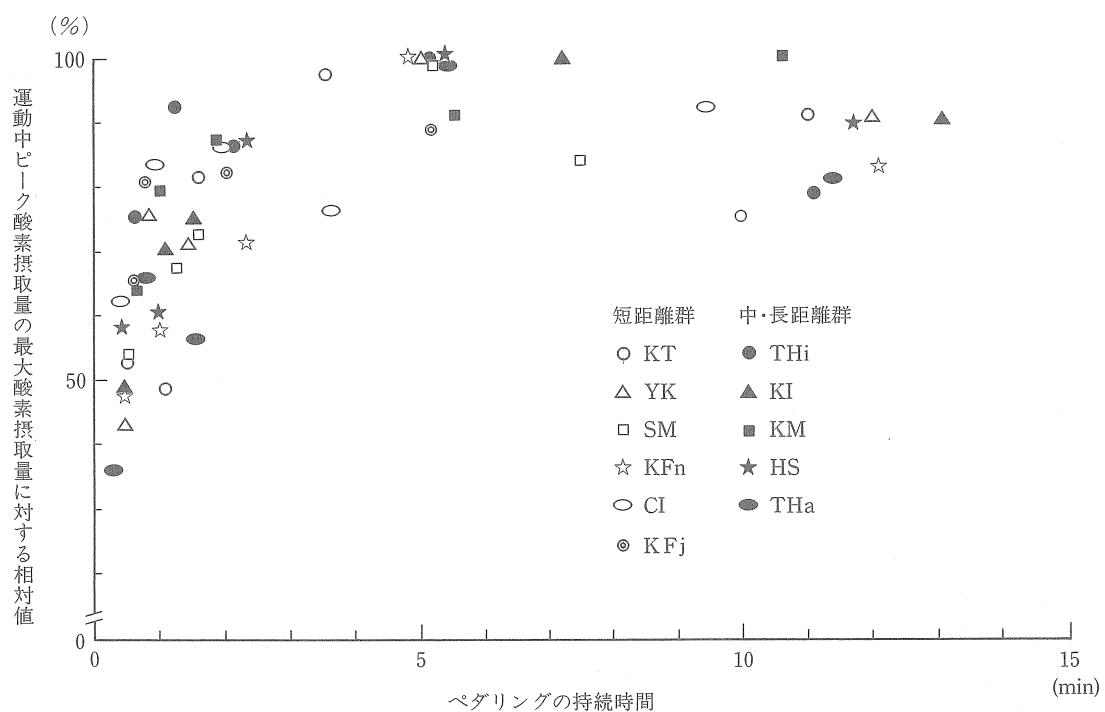


図4. ペダリングの持続時間と運動中ピーケク酸素摂取量の最大酸素摂取量に対する相対値 ($\text{peakO}_2/\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$)

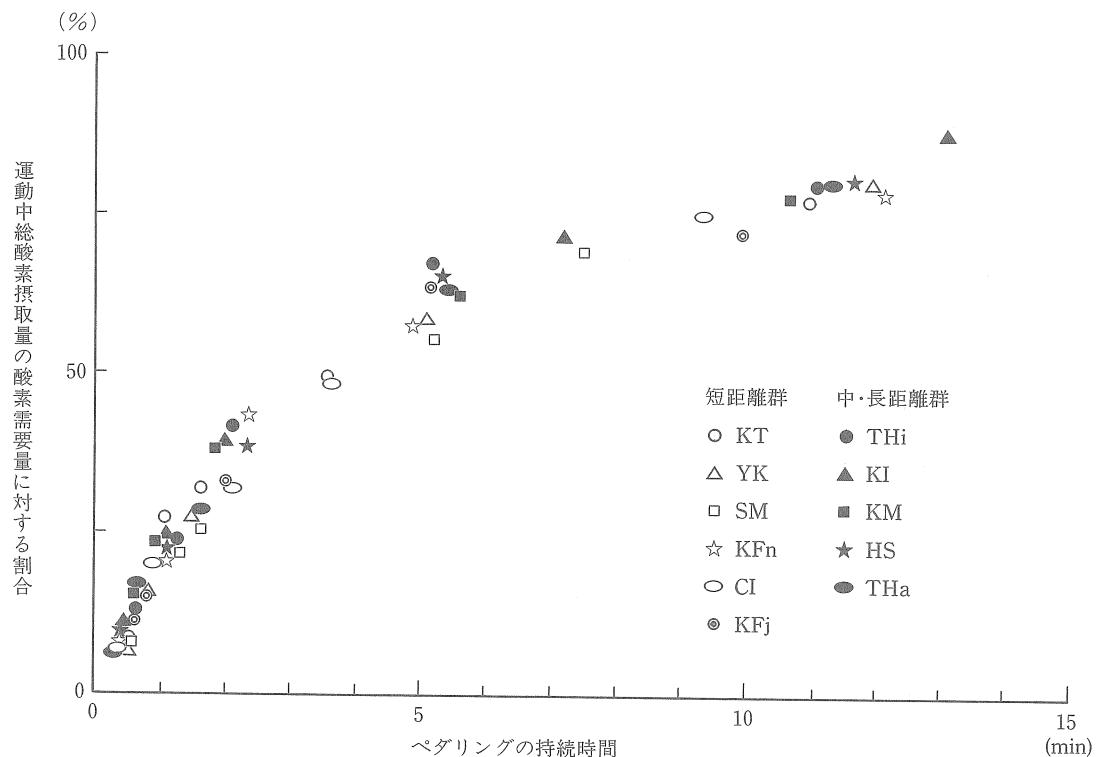


図5. ペダリングの持続時間と運動中総酸素摂取量の酸素需要量に対する割合

中・長距離群では、最大エアロビック・パワーが大きいため、短距離群と同じ相対値であっても、実際の値は、絶対値でも、体重当り量でも短距離群より大きな値である（図4）

4 パワー発揮と酸素需要量との関係

酸素需要量は、運動中の酸素摂取量と運動後の酸素負債を測定することによって得られる。運動中酸素摂取量の総量および酸素負債の測定結果とともに、これらから算出された酸素需要量($O_2 R_{eq}$)を表3に示した。

それぞれのパワー発揮において、運動がどの程度有酸素的に行われているかということをとらえるため、運動中の全酸素摂取量の酸素需要量に対する割合（% $O_2 R_{eq}$ ）を算出した。

短距離群では、30sec EXで9% $O_2 R_{eq}$ であり、60sec EXで19%，2 min EXで32%，5 min EXで57%，10min EXで75%であった。

これに対して、中・長距離群では、30sec EXで11% $O_2 R_{eq}$ ，60sec EXで22%，2 min EXで37%，5 min EXで66%，10min EXで81%と、いずれの運動時間においても、相対値が大きい。

このことは、中・長距離群では、短距離群に比較して、いずれの運動時間におけるパワー発揮においても、有酸素的なエネルギー発生過程に依存する割合が大きいことを示している。しかし、2分までの運動では、短距離群と中・長距離群との差は、3～5%程度であり、5～10分間の運動での差は、6～9%程度である（図5）。

5 ペダリングの回転速度とトルクとの関係

自転車式のエルゴメーターによって発揮されたパワーは、ペダルの回転速度とペダルにかかる負荷の積によってもとめられる。従って、同じパワーを発揮する場合でも、ペダリングのリズムが遅く、負荷が大きい場合と、リズムが速く負荷が小さい場合など、任意の組み合せが成り立ち得る。本実験の場合には、各被検者に任意のペダリングのリズムを選択させたので、ペダリングのリズムと負荷との関係をとらえておく必要がある。

図6は、運動時間と、ペダリングの回転数(rpm)、および負荷(kp)との関係を示したものである。

ペダリングの回転数は、短距離群が10sec EXで

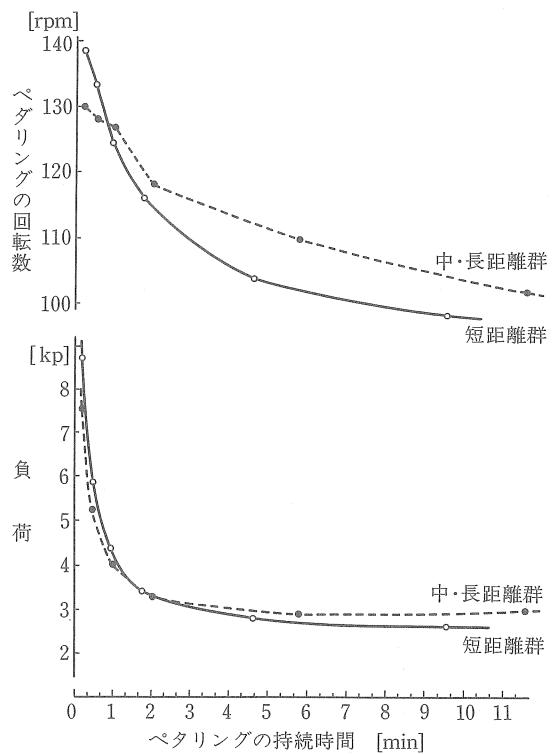


図6. ペダリングの持続時間とペダリングの回転数、負荷の関係

138rpm, 30sec EXで133rpmと高い値を示し、60sec EXでは125rpm, 2 min EXで116rpm, 5 min EXで104rpm, 10min EXで98rpmとなっている。

中・長距離群では、10sec EXで130rpm, 30sec EXで128rpmと短距離群よりも低い回転数であったが、60sec EXで127rpm, 2 min EXで118rpm, 5 min EXで110rpm, 10min EXで102rpmといずれも短距離群よりも高い回転数を示している。

一方、負荷については、短距離群が10sec EXで8.7kp, 10sec EXで5.9kp, 10sec EXで4.4kpと中・長距離群の10sec EX 7.7kp, 30sec EX 5.2kp, 60sec EX 4.0kpを上まわる値を示している。2 min EXおよび5 min EXでは、短距離群と中・長距離群の差がほとんどみられなくなり、10min EXでは、短距離群の2.6kpに対して中・長距離群では3.0kpと大きな負荷での運動が行われている。

一般に短距離選手に対して中・長距離選手では、スプリントでのピッチが遅いと指摘されがちであるが、本実験の結果では、中・長距離群のペダル

表-3 各設定運動時間における総酸素摂取量、酸素負債、酸素需要量、および酸素需要量に対する酸素摂取量の割合

	設定運動時間	1 (10秒間)	2 (30秒間)	3 (60秒間)	4 (2分間)	5 (5分間)	6 (10分間)
短距離群 N=9	① 総酸素摂取量 (ml)	—	926 (271)	2377 (573)	4593 (1021)	12612 (3607)	27844 (5390)
	② 酸素負債量 (ml)	6664 (835)	9809 (1630)	10218 (2372)	9674 (2107)	9319 (2691)	9287 (651)
	③ ((①+②) 酸素需要量 (ml))	—	10736 (1847)	12595 (2786)	14267 (2697)	21931 (5855)	37131 (5585)
	④ ((①÷③)×100) 酸素摂取量占有力率 (%)	—	8.5 (1.7)	19.3 (3.7)	32.3 (4.7)	57.3 (5.7)	74.5 (3.4)
中・長距離群 N=5	① 総酸素摂取量 (ml)	—	1149 (419)	2916 (671)	5218 (856)	19721 (3380)	36896 (5753)
	② 酸素負債量 (ml)	6139 (775)	8895 (1515)	10102 (1588)	8735 (517)	10053 (1277)	8570 (1454)
	③ ((①+②) 酸素需要量 (ml))	—	10044 (1823)	13019 (2127)	13953 (863)	29773 (4152)	45465 (5755)
	④ ((①÷③)×100) 酸素摂取量占有力率 (%)	—	11.2 (3.2)	28.3 (2.9)	37.2 (4.5)	66.0 (3.2)	80.9 (3.7)
全体平均 N=14	① 総酸素摂取量 (ml)	—	1006 (348)	2570 (663)	4816 (1010)	15151 (4904)	31325 (7071)
	② 酸素負債量 (ml)	6477 (853)	9483 (1649)	10177 (2126)	9339 (1776)	9581 (2315)	9011 (1093)
	③ ((①+②) 酸素需要量 (ml))	—	10489 (1868)	12747 (2578)	14155 (2228)	24732 (6505)	40336 (6955)
	④ ((①÷③)×100) 酸素摂取量占有力率 (%)	—	9.4 (2.7)	20.4 (3.7)	34.1 (5.2)	60.4 (6.5)	77.0 (4.7)

平均値 (標準偏差)

表-4 ランニング記録と平均速度、ピッチおよびストライド

	ランニング距離	1) 50m	2) 100m	3) 400m	4) 800m	5) 1500m	6) 5000m
短距離群 N=8	記録 (min, sec)	6" 6 (0" 1)	12' 1 (0" 3)	55" 6 (2" 6)	2' 22" 5 (8" 9)	5' 22" (24")	21' 55" (111")
	平均スピード (m/sec)	7.58 (0.17)	8.29 (0.20)	7.21 (0.33)	5.64 (0.35)	4.68 (0.34)	3.83 (0.32)
	平均ピッチ (回/sec)	4.19 (0.23)	4.28 (0.26)	3.50 (0.10)	3.00 (0.12)	2.85 (0.11)	2.75 (0.09)
	平均ストライド (m)	1.81 (0.08)	1.94 (0.11)	2.06 (0.07)	1.88 (0.12)	1.64 (0.11)	1.40 (0.15)
中・長距離群 N=5	記録 (min, sec)	7" 2 (0" 3)	13" 5 (0" 7)	58" 9 (2" 5)	2' 12" 0 (4" 8)	4' 39" (10")	16' 58" (57")
	平均スピード (m/sec)	6.91 (0.36)	7.42 (0.36)	6.80 (0.28)	6.07 (0.22)	5.39 (0.19)	4.92 (0.27)
	平均ピッチ (回/sec)	4.01 (0.20)	4.06 (0.18)	3.58 (0.16)	3.42 (0.24)	3.23 (0.30)	3.11 (0.05)
	平均ストライド (m)	1.75 (0.08)	1.83 (0.08)	1.90 (0.11)	1.73 (0.12)	1.71 (0.06)	1.59 (0.09)
全体平均 N=13	記録 (min, sec)	6" 8 (0" 3)	12" 6 (0" 8)	56" 9 (3" 0)	2' 18" 5 (9" 1)	5' 06" (29")	20' 01" (172")
	平均スピード (m/sec)	7.32 (0.42)	7.95 (0.50)	7.05 (0.37)	5.80 (0.37)	4.95 (0.45)	4.25 (0.61)
	平均ピッチ (回/sec)	4.12 (0.24)	4.19 (0.26)	3.53 (0.13)	3.16 (0.27)	3.00 (0.27)	2.89 (0.19)
	平均ストライド (m)	1.79 (0.09)	1.90 (0.11)	2.00 (0.12)	1.83 (0.14)	1.67 (0.10)	1.47 (0.16)

平均値 (標準偏差)

回転速度が短距離群に比較して低いのは、30秒程度までの運動の場合で、1分以上の運動では短距離群を上まわる結果を示している。

各運動時間において、パワー発揮を有効に行なうためには、大きな負荷をゆっくり回転させるのではなく、できるだけペダルの回転数を高めてパワー発揮を行なうことが有効であることが示唆される。

6 ランニングにおけるピッチとストライド

被検者全員の50m走、100m走、400m走、800m走、1500m走、5000m走のタイムトライアルの結果を表4に示した。

短距離群では、100m12秒1、400m55秒4、800m2分22秒5、1500m5分22秒、5000m21分55秒であり、中・長距離群では、100m13秒5、400m58秒9、800m2分12秒0、1500m4分39秒、5000m16分58秒であった。

これらの記録から、400mと800mとの中間あたりで短距離群と中・長距離群とがほぼ同じ程度の記録が得られることが予測される。

パワー発揮の経過から、それは2分間程度の運動時間のところであると推察される。

ランニングの平均ピッチ数は、100m走で短距離群が4.28回/秒、中・長距離群が4.06回/秒であるが、400m走では、短距離群3.50回/秒、中・長距離群3.58回/秒と逆転し、5000m走では、短距離群の2.75回/秒に対して中・長距離群は3.11回/秒である。

スライドは、400m走で両群とも最も大きい。短距離群での1500m走、5000m走の記録の低下は、スライドの縮少より、ピッチの低下による影響が著しく大きい。

7 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²⁾、山本たち⁵⁾によって、最大努力のペダリングによる実験が行われている。これらのパワー測定では、あらかじめ設定された負荷(kp)を運動開始とともに全力でペダリングするという方法をとっている。

本実験では、一定のパワー(アイソパワー)を設定し、このパワーを発揮しつづけることに最大

努力するという運動内容となっていることに、従来のパワー測定方法上の違いがある。

永田³⁾は、MonadとScherrer(1965), Monad(1972)たちによるクリティカルパワー(critical power)の概念を紹介している。

クリティカルパワーの概念に従えば、最大仕事量と運動持続時間との間に1次の直線関係があり、パワー発揮と運動持続時間との間は双曲線が描かれる関係にある。クリティカルパワーとは、主として、有酸素的にエネルギーが供給されたもので、疲労状態を引き起こすことのないレベルの最大出力(仕事率)またはエネルギー供給量と考えられる。

本実験結果からクリティカルパワーを算出すると、短距離群では231W(標準偏差13W)、中・長距離群では293W(標準偏差18W)という数値が得られた。

また、最大仕事量と運動持続時間についての1次の直線関係から導き出した筋の予備エネルギー量、すなわち磷酸化合物(クレアチン磷酸等)および無酸素性解糖反応による無酸素的エネルギー供給によるパワーは、短距離群では318W(標準偏差101W)、中・長距離群では、219W(標準偏差24W)という数値が得られた。

まとめ

1 大学陸上選手短距離9名、中・長距離5名を対象に、10秒から10分間の最大運動持続時間における一定パワー(アイソパワー)発揮能力をとらえるとともに、無酸素的および有酸素的エネルギー発生過程の寄与する割合をもとめた。測定には、アイソパワーエルゴメーター(竹井機器製)を用いた。

2 短距離群の発揮パワーは、10秒で1227W、60秒で561W、10分で264Wであり、中・長距離群では、10秒で1008W、60秒524W、10分で312Wであった。2分間のパワー発揮能力は短距離群408W、中・長距離群404Wと差が少なく、2分までの運動では短距離群、2分を超える運動では中・長距離群の発揮パワーが大きい。

3 各運動持続時間において発揮されたパワーの最大アネロビック・パワー(MAnP)に対する

相対値は、短距離群では10秒で96% MAnP, 60秒で44% MAnP, 10分で21% MAnPであり、中・長距離群では、10秒95% MAnP, 60秒50% MAnP, 10分30% MAnPであった。30秒間以上の運動では、中・長距離群の相対値が大きい。

- 4 運動中酸素摂取量の最大エアロビック・パワー($\dot{V}O_{2max}$)に対する相対値は、短距離群では30秒で62% $\dot{V}O_{2max}$, 60秒で80% $\dot{V}O_{3max}$, 5分で100% $\dot{V}O_{2max}$ であり、中・長距離群では、30秒59% $\dot{V}O_{2max}$, 60秒77% $\dot{V}O_{2max}$, 5分103% $\dot{V}O_{2max}$ と、短距離群と差がみられなかった。
- 5 パワー発揮における運動中酸素摂取量の酸素需要量に対する割合（有酸素性エネルギー発生の割合）は、短距離群30秒で9%, 60秒で19%, 2分で32%, 5分で57%, 10分で75%であり、中・長距離群では、30秒11%, 60秒22%, 2分37%, 5分66%, 10分81%であった。
- 6 パワー発揮能力には、ペダルの回転速度が大

きいことが有利であり、ランニングではピッチが速いことが重要性をもっている。

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) 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.
- 3) 永田晟：からだ・運動の科学, 朝倉書店 pp107—114, 1983.
- 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, 中村好男, 宮下充正：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.
- 6) Wilkie, D. R.: Man as a source of mechanical power. Ergonomics. 3: 1—8, 1960.

無酸素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 その1.

ラットにおけるジャンプトレーニングと走トレーニングに
よる骨格筋代謝特性及び筋構成タンパク質の変化の特異性

跡見順子¹⁾ 安部孝¹⁾
山田茂¹⁾ 八田秀雄²⁾

スポーツ競技あるいは身体運動で発揮するパワー（いわゆる無酸素パワー、有酸素パワー）は、その運動を遂行する骨格筋のパワー発揮特性に依存する。本プロジェクトの目的は無酸素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を明らかにすることであるが、もしもこれらのパワートレーニングの効果に相互作用があるならば、その相互作用が生じる主な器官は骨格筋である。その意味でもパワー発揮を担っている骨格筋に焦点をしづり研究をすすめることが必要である。しかし骨格筋のパワー発揮を構成する要素は必ずしも明らかになっていない。そこで本年度はラットを用いて、有酸素パワートレーニングとして持久走トレーニング、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16週間行ない、トレーニングによる骨格筋細胞骨格および細胞内代謝の特異性の変化を生化学的分析手法を用いて明らかにし、各々のパワー発揮のための必須要素を明らかにすることを目的とした。

骨格筋のパワー発揮を高める要因は、まず第一に筋重量の増大、次に各々のパワー発揮に適した筋構造の変化、第3にパワー発揮能（化学的エネルギー・ATPの機械的エネルギーへの変換能力：アクミオシンのATPase活性に依存）、第4にパワー発揮の持続を担うエネルギー供給能力の増大が考えられる。本研究では筋構造の変化を筋構成タンパクの変化としてSDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel

electrophoresis) で展開した。また筋パワー発揮能としてアクミオシン ATPase 活性、ATP 供給能力の指標として PFK 活性（解糖系の律速酸素、phosphofructokinase）、SDH 活性（TCA 回路の活性の指標）を測定し、各トレーニングに伴う変化を明らかにしようとした。

研究方法

6—7週令の Wistar 系雄ラット40匹を次の4群に分けた。①対照群 (C), ②中等度持久走群 ($M : 15m/min$ で 1 日約 1.3 時間), ③高強度持久走群 ($H : 30m/min$ で 1 日約 1 時間), ④ジャンプトレーニング群 (J) の各群10匹を週5日、16週間のトレーニングを行なわせた。ジャンプトレーニングには床を電気刺激板にした $20cm \times 20cm \times$ 高さ $30cm$ の箱を用いた。ジャンプトレーニングは、体重の $\frac{1}{2}$ の重量を胴部に装着させ、1日50回以上、跳躍させた。なお $30cm$ の箱の上端に上肢が達しなかったものは1回に数えなかった（図1）。

アクミオシン Mg-ATPase 活性は筋の homogenate (50mM Tris-HCl Buffer, 150mM NaCl, pH7.5) から Weder-Edhall 液 (0.6 MKCl, 0.04M KHCO₃, 0.01M K₂CO₃) をアクミオシンを粗抽出し、0.02M Tris, 1mM MgCl₂, 1mM ATP 中で10分間反応させた後、20% TCA で反応を停止させ、生成した無機リンを Subbarow 法で比色定量した。SDH 活性は Cooper Stein ら (1950) の方法、PFK 活性は Shonk と Boxer (1967) の方法で測定した。タンパク濃度は Buret 法で測定した。

1) 東京大学教養学部体育研究室

2) " 教養学部 "



図1 ジャンプトレーニングに用いたウェイトジャケット

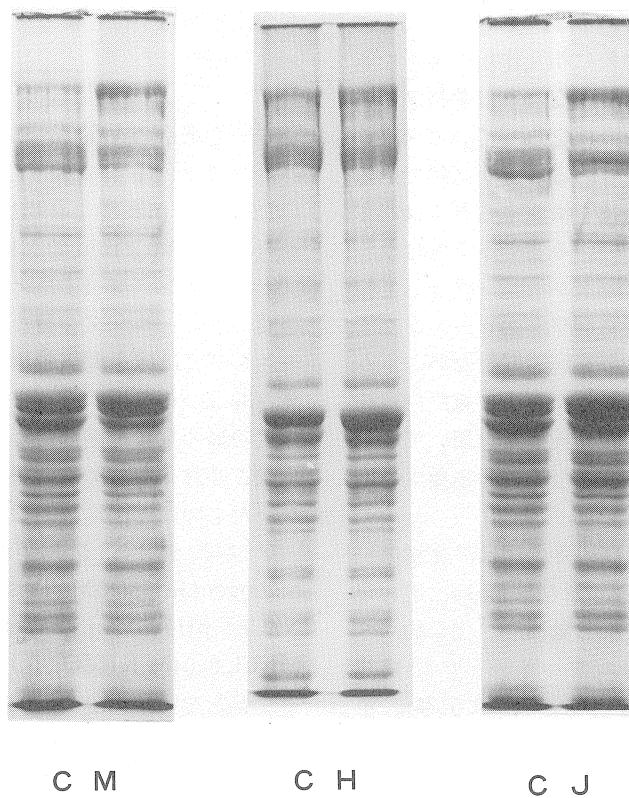


図2 トレーニングによる腓腹筋構成タンパク質の変化
対照群：C, トレーニング群：M (20m/minでのランニング),
H (30m/minでのランニング),
J (ジャンピング)

結 果

トレーニング16週後の各群の体重、筋重量の平均値を表1に示した。トレーニング群の体重はいずれもC群に比べて有意に低かった。しかしその差はJ群で最も小さかった。これはトレーニングの運動内容・量の違いによるものであろう。下肢の筋重量は絶対値ではグループ間に有意差はみられなかったが、体重当り筋重量はJ群のヒラメ筋重量を除いて、トレーニング群はC群に比べて有意に高かった。長指伸筋(EDL)筋1g当りのタンパク濃度は4群間で差がでなかつた。

図2に腓腹筋の筋構成タンパクの電気泳動パターンを示した。トレーニング群、とくにJ群においてミオシンおよびアクチンの分子量に相応するバンドがやや濃く染った。

EDLにおいてH群のSDH活性はJ群に比べ有意に高い活性を示した。PFK活性はH群でやや高い活性を示したが、有意差はみられなかつた。

EDLのアクトミオシン-Mg-ATPase活性を表3に示した。4群間に有意差はみられなかつたが、J群のラットの同酵素活性は1例を除き、全てC群、M群よりも高かった。

考 察

有酸素パワートレーニングは筋の酸化酵素活性を増大させる。本実験でも強度の高い持久走トレーニング群のコハク酸脱水素酸素(SDH)活性はジャンプ群のそれに比べて有意な増加がみられた。それに対しジャンプトレーニングは有意ではなかったがEDLにおいてアクトミオシンのMg-ATPase活性を増大させる傾向を示した。腓腹筋構成タンパクは特にJ群においてアクチン・ミオシンの分子量に相応する電気泳動のバンドに増加傾向がみられた。このことからアクトミオシンATPase活性の増大傾向は収縮タンパクの増大による部分もあるものと考えられる。アクトミオシンATPase活性は速筋よりも速筋で高いので、トレーニングによる筋線維組成の変化の可能性も考えられるので今後さらに分析する予定である。

以上、今回行った走トレーニングとジャンプトレーニングは有酸素パワー、無酸素パワーを増大

させるトレーニングモデルとして適当であると考えられる。さらに詳細な分析を加え各々の特性を明らかにしたい。

表1 各トレーニング後の体重及び筋重量

群	体重 (g)	腓腹筋 (mg)	足底筋 (mg)	ヒラメ筋 (mg)	長指伸筋 (mg)
C	641±35	2714±322	546±47	248±29	245±20
EH	480±25***	2496±232	499±27	220±19	237±12
EM	491±27***	2388±118	512±41	225±20	229±20
J	559±37**	2640±243	548±25	236±32	259±39

表2 体重当りの筋重量の比較(mg·100gBody Wt⁻¹)

	腓腹筋	足底筋	ヒラメ筋	長指伸筋
C	422±38	885±8	38±5	38±3
H	520±35***	104±4***	46±4*	49±3***
M	486±24**	104±7***	45±4*	46±3***
J	472±34*	98±5**	42±4	46±5**

表3 各トレーニング群の長指伸筋のタンパク量の比較 (mg·gmuscle⁻¹)

C	146.3±6.3
H	151.0±2.9
M	150.3±12.3
J	147.9±12.9

表4 EDLのSDH活性及びPFK活性の比較

N	SDH μmole·mg ⁻¹ ·min ⁻¹	PFK μmole·mg ⁻¹ ·min ⁻¹
C	4	5.80±1.55
H	5	7.82±1.56
M	5	6.38±0.95
J	5	5.84±0.55

Mean±SD

* P<0.05

表5 各トレーニング群の長指伸筋のアクトミオシンATPase活性の比較

	μmoles·mg ⁻¹ ·min ⁻¹
C	0.152±0.003
H	0.160±0.009
M	0.146±0.017
J	0.175±0.041

