

発育発達における自転車エルゴメーターによる 最大無酸素パワーの研究（第2報）

小沢 治夫・深野 明・入江 友生

岡崎 勝博・合田 浩二

（筑波大学附属駒場中・高等学校）

富原 正二・大川 信夫

（日本大学医学部）

発育発達における自転車エルゴメーターによる 最大無酸素パワーの研究 (第2報)

小沢 治夫・深野 明・入江 友生
岡崎 勝博・合田 浩二
(筑波大学附属駒場中・高等学校)

富原 正二・大川 信夫
(日本大学医学部)

I. 緒言

体力科学の分野では、最大酸素摂取量などの測定から有酸素的作業能の加齢に伴う変化やトレーニング効果などについて多くの報告があり、運動処方も確立されてきているが、パワーの発現や最大酸素負債量さらには乳酸性エネルギー・非乳酸性エネルギーなど無酸素的作業能の問題については未だ明らかにされていない部分も多く、特に発育発達段階にある生徒についてこの種の研究は極めて少なく、従来報告されているものとしては生田ら(1971)の10秒間のパワー発揮についてのもの、バーオールら(1984)の30秒間のパワー発揮のものがあるのみである。そのため中学生・高校生の時期において、どのようなトレーニングをどのくらい行なったら生徒たちの発育発達を有効に促すことができるのか、それらについての処方或いはトレーニング・プログラムは十分に用意されてはいないのが現状である。

そこで今回、男子中学生・高校生を対象として、自転車エルゴメーターを用いたパワー測定器によってパワーの発現を経時的に算出し、これが加齢にともなってどのような変化を示すか調査し、さらにこれが垂直跳び・50メートル走・背筋力・脚筋力などの体力・運動能力やローレル指数・除脂肪体重(LBM)などの形態といかなる関係にあるかについても明らかにし、中学生・高校生の時期におけるパワー向上のための基礎的資料を作成するために本研究を行った。

II. 方法

パワーの測定には種々の方法があるが、最近では自転車エルゴメーターを用いる方法が一般的となっている。今回我々が行った測定も、自転車エルゴメーターを用いたが、その方法は図1の如くである。即ち、A. 従来から最も広く用いられているモナーク社製自転車エルゴメーターにフォトセンサーを取り付け、その回転数と負荷値とからパワーを算出する方法、B. コンビ社製

パワーマックスVを用いる方法, C. 竹井器機社製ハイパワーエルゴメーターを用いた方法, の以上3種類である。今回は, これら3種類の測定装置を用い, また, それぞれに異なった方式での測定を行ったが, それらの方法は以下のとおりである。

A. 既に, 前回報告した方法であり, モナーク社製自転車エルゴメーターを用いて2・4・6kpの各負荷におけるパワーのうち最も大きい値を最大パワー (Pmax) として求めた。

B. 3段階の負荷を与える方法であるが, まず性別および体重により第1段階の負荷を設定し, 次に10秒間行われた第1段階の全力ペダリング運動から得られたその時の最大回転速度に応じて第2段階の負荷を設定し, 同様に第3段階も設定し (表1), 各負荷値ごとにスピード (回転速度; R) が算出される。3段階の測定における負荷値 (L) とその時の回転速度の値 (R) から, 最小二乗法で一次回帰させて $R = aL + b$ を算出し, P (パワー) $= 0.98 \times L \times R$ に代入すれば, $P = 0.98 \times b^2 / 4a$ となり最大パワーが求められる。用いた装置はコンビ社製パワーマックスVである。

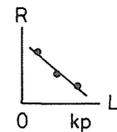
C. イスラエルのウィングート研究所で考案された無酸素的パワーを測定する方法で, ウィングートテストと呼ばれる方法である。まず心拍数が約130拍/分になるように1~2kpの負荷で5分間自転車をこがせてウォーム・アップさせた後5分間休ませ, 続いて被験者の体重に0.872の係数を掛けた値の負荷で, 30秒間の全力ペダリングを行わせた。用いた測定装置は竹

Method

test

A. $\left. \begin{matrix} 2 \text{ kp} \\ 4 \text{ kp} \\ 6 \text{ kp} \end{matrix} \right\} P_{\max}$

B. $2 \sim 11 \text{ kp}$
 $P = 0.98 \times L \times R$
 $R = -aL + b$



$$P = 0.98 \times b^2 / 4a$$

C. Wingate Anaerobic Test

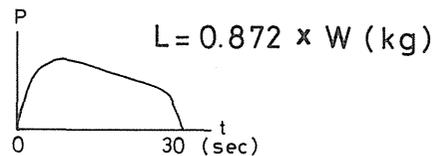


図1. 最大パワー測定のための方法

表1 最大無酸素パワー測定の際の負荷の決定基準

体 重 [kg]		第1 負荷 [kp]	第1負荷 での最大 回転速度 [回転/分]	第2負荷 [kp]	第2負荷 での最大 回転速度 [回転/分]	第3負荷 [kp]
男 性	女 性					
80~	—	5	180~	+3	150~	+3
60~79	70~	4	150~179	+2	130~149	+2
~59	50~69	3	~149	+1	~129	+1
—	~49	2				

氏名 : MAJIMA 6.2KP
 年齢 : 16 歳
 性別 : 男性
 体重 : 71 kg

測定時間 : 31.5 (sec)
 最大パワー : 938 (watt)
 最大パワー出現までの時間 : 5.9 (sec)
 全仕事量 : 20851 (J)
 平均パワー : 661 (watt)
 最大パワー出現までの勾配 : 160.34 (w/s)

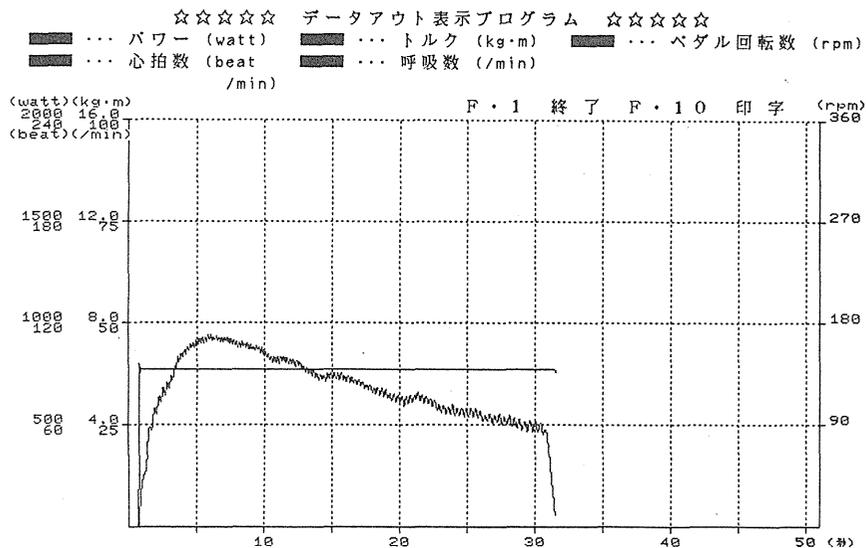


図2. ウィンゲートテストによる記録図と分析例

表2 テストA・B・Cにおける被験者の身体特性

		Height (cm)			Weight (kg)			L B M (kg)		
		Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
中	1	151.4	156.4	151.7	40.7	42.6	40.0	35.4	37.2	35.2
	2	161.3	162.6	161.5	50.0	48.8	50.1	43.2	42.7	41.8
	3	166.9	163.1	165.7	54.7	55.4	51.9	47.5	46.5	44.0
高	1	167.9	169.0	170.6	58.1	56.9	60.0	49.5	48.9	50.5
	2	172.0	168.5	170.5	61.1	58.6	61.4	53.6	50.4	51.6
	3	169.8	171.4	171.8	61.8	59.3	61.8	52.6	52.6	53.3

井器機社製のハイパワーエルゴメーターで、信号はNEC-P C9800 v m21に取り込まれて処理され、図2のように分析・表示された。

なお、いずれの測定においても、被験者の体格に合わせてサドルとペダルおよびハンドルの距離と位置を設定し、また被験者の足はトゥ・クリップで固定して座らせ、ペダリング運動では、

サドルから腰を浮かせないよう（立ちこぎしないよう）にして、全力でできる限り速くこぐよう
予め指示をした。

対象は、筑波大学附属駒場中高等学校の男子生徒，中学1年生から高校3年生で，測定Aでは
79名，測定Bでは70名，測定Cでは65名である。各測定における被験者の身体特性は表2のと
おりである。

Ⅲ. 結果

1) 測定A・B・Cにおける最大パワーは中学生でそれぞれ，360.1ワット，417.9ワット，
450.0ワットであったが，高校3年生では733.6ワット，718.2ワット，849.7ワットと，いずれ
の測定でも加齢とともに最大パワーは漸増を示した。（図3）

また，体重当たり最大パワーも同様に加齢とともに漸増し，中学1年生でそれぞれ8.7ワッ
ト/kg，9.7ワット/kg，11.1ワット/kg，中学3年生でそれぞれ12.2ワット/kg，12.1ワッ
ト/kg，14.0ワット/kg，であった。（図4）

除脂肪体重（LBM）当たり最大パワーでも，中学1年生でそれぞれ10.0ワット/kg，11.2
ワット/kg，12.7ワット/kg，であったものが，中学3年生ではそれぞれ13.9ワット/kg，
13.7ワット/kg，16.0ワット/kg，とやはり加齢とともに漸増を示した。（図5）

2) パワーマックスVを用いたテストBから得られた最大パワー発揮時の負荷値は，図6のと
おりであるが，中学1年生で 4.0 ± 1.0 k p，2年生 4.8 ± 0.7 k p，3年生 5.4 ± 1.0 k p，高校1
年生で 5.7 ± 0.6 k p，2年生 6.2 ± 0.9 k p，3年生 6.2 ± 0.8 k pと加齢とともに漸増を示した。

3) ウィンゲートテスト（テストC）による30秒間全力ペダリング運動時のパワーの平均は，中
学1年生 329.8 ± 68.9 ワット，2年生 408.4 ± 68.9 ワット，3年生 485.1 ± 74.1 ワット，高校1
年生 540.3 ± 83.5 ワット，2年生 571.8 ± 70.9 ワット，3年生 616.6 ± 49.9 ワットと，加齢とと
もに漸増傾向を示した。（図7）

また，除脂肪体重当たりおよび体重当たり平均パワーも加齢とともに漸増傾向を示したが，
その増加率は絶対値（最大パワー）に比べると小さかった。（図8）

図9は体重当たりおよび除脂肪体重当たりの全仕事量を示したものであるが，やはり同様に
加齢とともに増加傾向を示したものの，その増加率は小さかった。

4) 加速勾配，即ち最大パワーをスタートから最大パワー発揮までの時間で除した値は図10の如
くであり，高校生ではテストAとテストC（Wingate test）でやや差があるものの，加齢と
ともに漸増傾向を示した。

加速勾配と最大パワー，ピークタイム，50m走，走り幅跳び，サイドステップ，1500m走，
背筋力，LBM，LBM当たり最大パワーなどの相関は表4のとおりであるが，最大パワー，
ピークタイム，背筋力，LBMなどにおいて有意な相関がみられた。

ウィンゲートテストにおける最大パワーおよび，ペダリング運動終了の30秒時のパワー（P

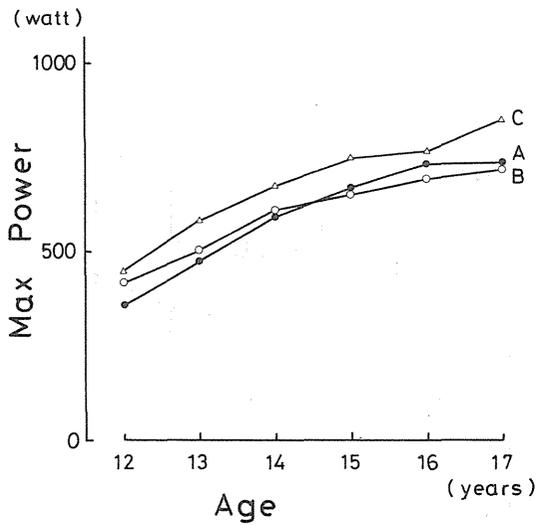


図3. 年齢別最大パワー

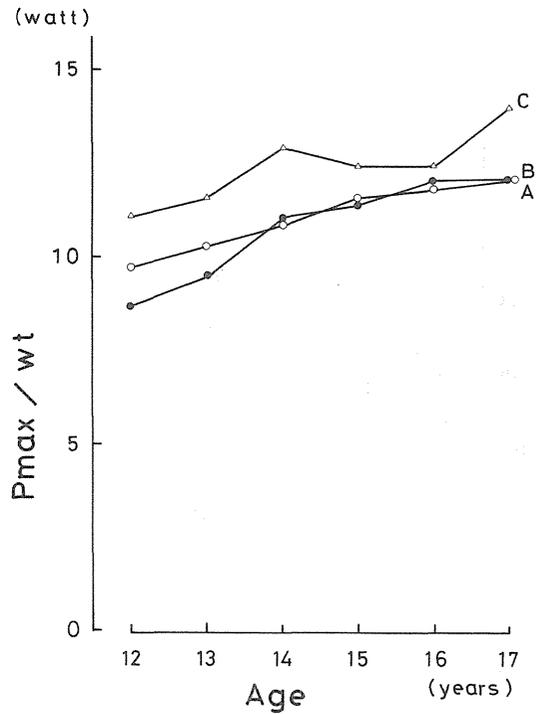


図4. 年齢別体重当り最大パワー

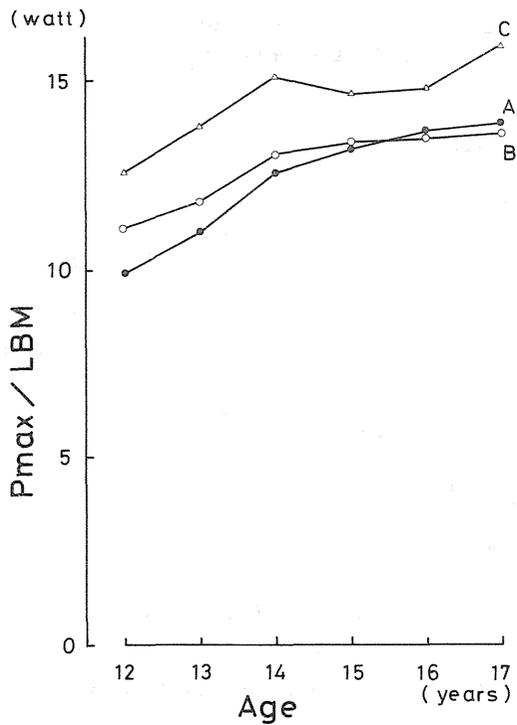


図5. 年齢別除脂肪体重当り最大パワー

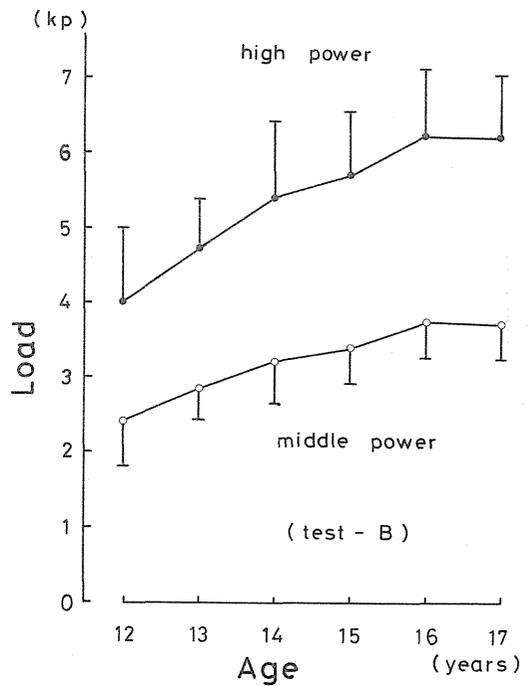


図6. テストBにおけるハイパワー値, ミドルパワー値

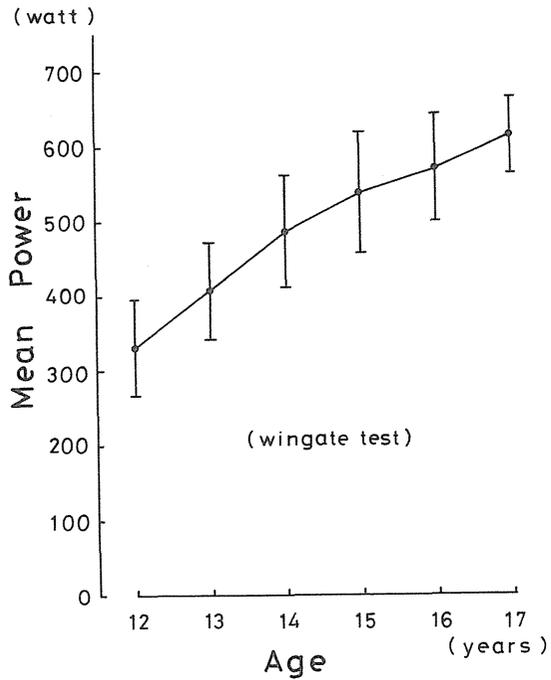


図7. ウィンゲートテストにおける年齢別平均パワー

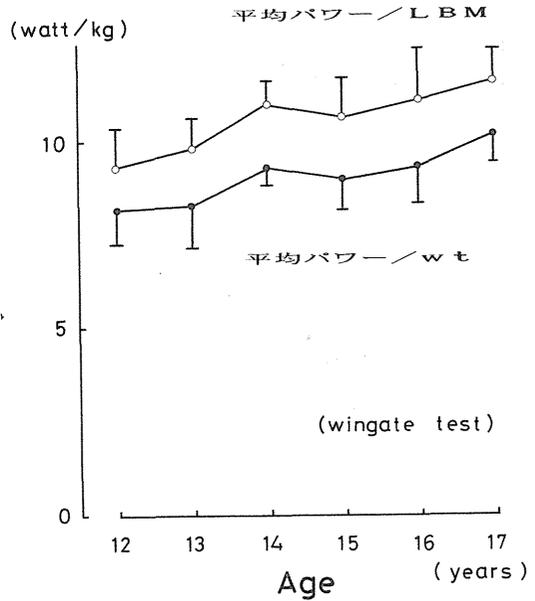


図8. ウィンゲートテストにおける体重当り, 除脂肪体重当り平均パワー

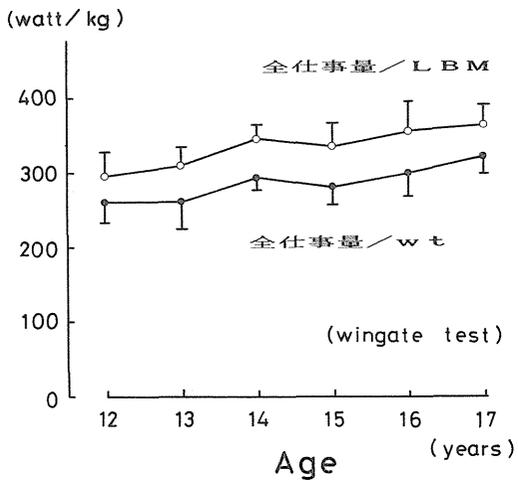


図9. ウィンゲートテストにおける体重当り, 除脂肪体重当り全仕事量

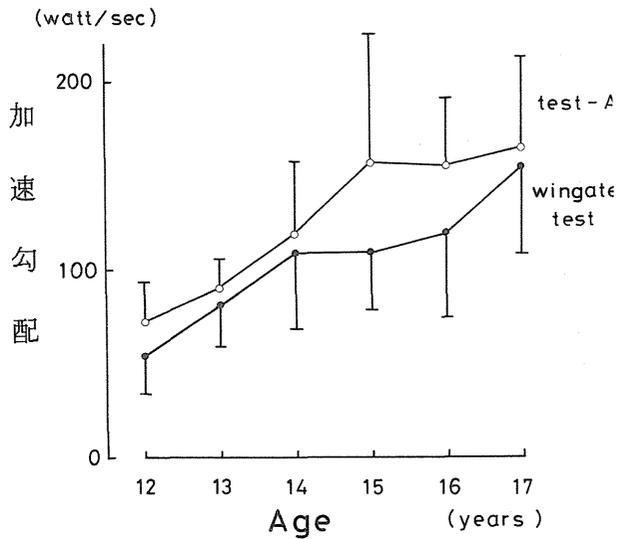


図10. テストA, ウィンゲートテストにおける年齢別加速勾配

表3 テストA・B・Cにおける最大パワーおよび体重当り, 除脂肪体重当り最大パワー

	Pmax / wt (watt)			Pmax / LBM (watt)			Pmax (watt)		
	① モナーク	② Pmax V	③ Wingate	①	②	③	①	②	③
中1	8.7	9.74	11.13	10.0	11.15	12.66	360.1	417.9	450.0
	0.9	1.40	1.28	1.0	1.47	1.49	64.9	84.1	100.6
2	9.5	10.32	11.61	11.0	11.79	13.84	474.0	506.0	578.8
	0.8	1.24	1.10	0.8	1.34	1.30	70.6	89.1	107.4
3	11.0	10.94	12.93	12.6	13.04	15.26	602.6	607.2	674.4
	1.3	1.48	0.93	1.4	1.79	1.16	108.5	130.1	121.0
高1	11.4	11.41	12.45	13.2	13.29	14.72	664.2	651.2	745.2
	1.0	1.27	1.17	1.3	1.33	1.10	144.6	95.4	95.9
2	12.0	11.85	12.44	13.7	13.54	14.84	733.8	695.2	764.3
	0.8	1.15	1.25	0.8	1.02	1.78	48.3	91.9	96.4
3	12.2	12.11	13.99	13.9	13.65	15.98	733.6	718.2	849.7 (x̄)
	1.4	0.80	0.89	1.6	0.78	1.06	114.5	75.0	68.0 (S.D)

表4 加速勾配に対する相関係数

	高 3 h=29	中 1	2	3	高 1	2	3
Power max	0.808	0.878	0.729	0.941	0.759	0.461	0.815
Peak Time	-0.861	-0.749	-0.727	0.544	-0.892	-0.815	-0.903
50m dash	-0.370	-0.741	0.131	-0.292	0.096	-0.702	-0.165
Broad Jump	0.268						
Vertical Jump	0.400	0.766	0.417	0.447	0.014	0.493	0.269
Side Step	0.372						
1500m run	0.061						
Back Strength	0.522	0.251	0.547	0.585	0.469	0.885	0.176
L B M	0.637	0.772	0.577	0.792	0.473	0.493	0.514
P-max/LBM	0.530	0.829	0.572	0.854	0.870	0.215	0.462
	テスト A	wingate test					

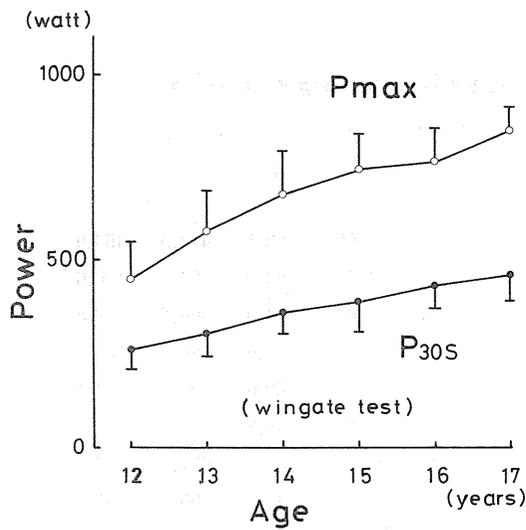


図11. ウィンゲートテストにおける最大パワー及び30秒時パワー

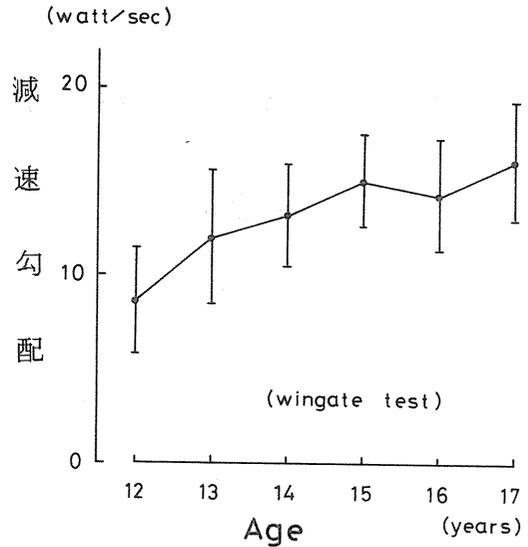


図12. ウィンゲートテストにおける年齢別減速勾配

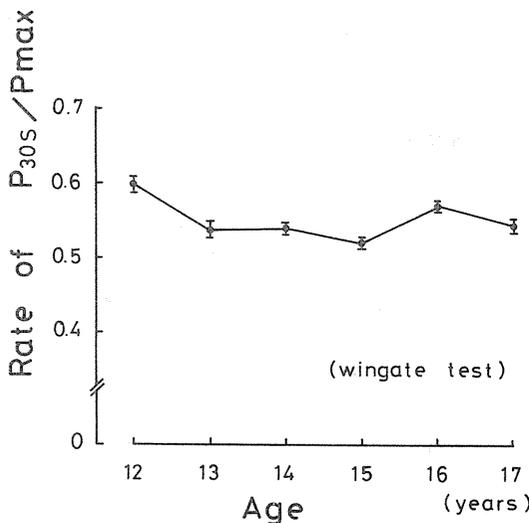


図13. ウィンゲートテストにおける最大パワーに対する30秒時パワーの比

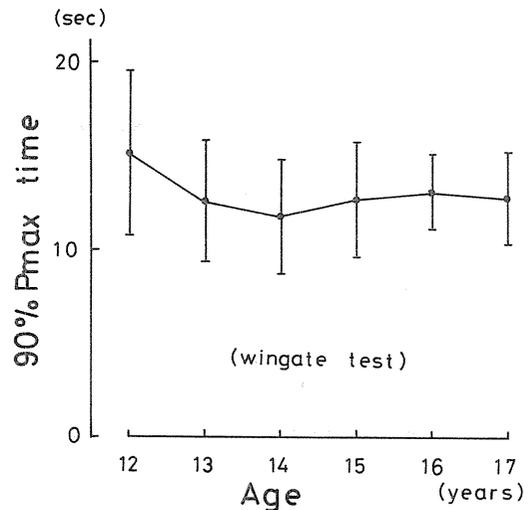


図14. ウィンゲートテストにおける最大パワーの90%パワー維持時間

30 s) を示したものが図11であるが、最大パワーほどの差は無いものの加齢とともに漸増傾向を示した。

また、最大パワーに達してからの運動終了の30秒時のパワー差を最大パワー発揮時から30秒時の時間で除したもの $(P_{max} - P_{30s}) / (30s - P_{max} \text{ タイム})$ を減速勾配とすると、中学1年生で8.60±2.84ワット/秒、2年生12.02±3.68ワット/秒、3年生13.26±2.77ワット/秒、高校1年生で15.17±2.35ワット/秒、2年生14.34±3.05ワット/秒、3年生16.11±3.24ワット/秒と加齢とともにその値は漸増傾向を示した。(図12)

表5 ウィンゲートテストにおける Pmax, P30sec, Pmax/P30sec, 減速勾配

	P max (ワット)	P30sec (ワット)	Pmax/P30sec	減速勾配 (ワット/秒)	
中 1	450.0	264.0	0.598	8.60	(x̄) (S.D)
	100.6	47.5	0.081	2.84	
2	578.8	307.4	0.538	12.02	
	107.4	63.0	0.088	3.68	
3	674.4	362.8	0.543	13.26	
	121.0	54.0	0.045	2.77	
高 1	745.2	388.6	0.522	15.17	
	95.9	78.1	0.067	2.35	
2	764.3	435.6	0.572	14.34	
	96.4	60.9	0.056	3.05	
3	849.7	459.2	0.544	16.11	
	68.0	67.9	0.087	3.24	

また、30秒時パワーを最大で除した値 (P30s / Pmax) , 即ち最大パワー発揮から運動終了時までにはパワーはどのくらいの比率で落ちるのかは、表5の如くで、最小値が高校1年生の0.522±0.067, 最高値が中学1年生の0.598±0.081で、いずれの学年においても0.5~0.6の範囲にあった。(図13)

最大パワーの90%のパワーを維持できる時間は(90% Pmax-time) , 中学1年生15.07±4.56秒, 2年生が12.60±3.11秒, 3年生が11.86±3.17秒, 高校1年生12.70±3.11秒, 2年生が13.14±1.88秒, 3年生が12.84±2.50秒と、有意差は認められなかったが、中学1年生が最も長く、他学年ではほぼ12~13秒の間であった。(図14)

また、体重当たり加速勾配は、中学1年生よりそれぞれ1.40, 1.62, 2.09, 1.81, 1.94, 2.50ワット/秒/kgと高校3年生に至るまでに漸増傾向を示したが、体重当たり減速勾配は、中学1年生よりそれぞれ0.215, 0.240, 0.255, 0.253, 0.235, 0.261ワット/秒kgと高校3年生に至るまでにほとんど差がみられなかった。

IV. 考察

従来より行われている最大パワー測定法のひとつとして自転車エルゴメーターを用いた測定を行ったところ、テストA・B・Cともに加齢とともに次第に増大傾向を示したが、これはこれまで我々が得てきた結果や生田らのものとほぼ一致した。また、その増加の伸びをみると、高校生より中学生の時期の方がやや急であり、筋力は筋断面積に比例することは既にわかっているが、男性ホルモンや成長ホルモンによって筋線維がより肥大すると考えられている高校生の時期より

中学生の時期の方が伸び率が高いのは、日本人男子の平均値で見ても大腿囲（中学1年42.0→中学3年45.0cm，高校1年46.8cm→高校3年生48.9cm）においても，体重（中学1年41.0kg→中学3年51.5kg，高校1年55.7kg→高校3年59.2kg）においても，この時期の伸びが著しいため，あるいは豊富な運動経験によって神経・筋の協同性が高まり筋力の発揮が向上するためなどが考えられる。このことがすなわち中学生にもパワーアップのトレーニングをすべきであるとは結論できないが，障害の問題なども考慮した上で，運動様式・強度・時間などについて中学生にあったトレーニングプログラムがもっと検討されるべきと考えられる。

今回行った測定は，test A：モナーク社製自転車エルゴメーター，test B：コンビ社製パワーマックスV，test C：ハイパワーエルゴメーターの3種類であったが，それぞれ機械特性も測定の方法も対象も異なるために，これらから得られた値を互いに比較することは妥当ではないが，いくつかの相違点を挙げるならば次の如くなる。まず機械特性では，モナークのエルゴメーターは伝達系に摩擦があり7～9%ぐらい重くなり，値が低めにでることが知られている。パワーマックスVとハイパワーエルゴメーターは電気的な負荷であるので基本的には同構造と考えられているが，今回のウィングテストで用いた係数0.872を体重に掛けた負荷で最大パワーを測ったところ（N=13，年齢17才），パワーマックスVでは791.75±81.91ワットであったのに対してハイパワーエルゴメーターでは849.7±68.0ワットで約7%ほどハイパワーエルゴメーターの方が高めに出了。従ってこれらにも構造的な差はあるかも知れない。また，測定の方法について考えてみると，test Aは2・4・6 k pの負荷（各試行間の休息は約5分）で最大の値であり，最適な負荷であるかはわからない。test Bは体重とその時の回転数によって負荷が決り1・2・3の試行が完全に全力で行われたかどうか，10秒間行ったか，ピーク値が出て7秒ぐらいで行ったかどうかで疲労が関わり10～15%ぐらいの差が出る可能性がある。また，test Bはベタリング運動開始から終了までの平均パワーを最大パワーとしている。test Cは体重に0.872を掛けた負荷で行っているが，30秒間の試行であり，この長さが被験者に心理的な影響を与えている可能性がある。また，3種ともにウォームアップの行い方が異なるなど，データに差が生ずる因子はこのように多くあり，今回の3種のtestによる値は簡単には比較できない。機械特性・測定方法・測定対象などについてはさらに詳細なデータによって検討すべきであるので，今回はここまで言及をとどめておく。

パワーマックスVを用いた方法では，被験者の体重から第一段階の負荷値が設定され，その時発揮されたパワーから第二・第三段階の負荷が設定され，これらの数値から算定式によって最大パワーおよびその時の負荷値が求められるが，中学生では4 k p台，高校生では6 k p台であったことから，自転車エルゴメーターを用いて最大パワーを向上させるトレーニングを行おうとした場合，一般的には中学生には4 k p，高校生には6 k pの負荷が適当と思われる。Bar-Orらによって開発されたウィングテストは性・年齢によってその負荷のかけかたは異なり，体重1 kg当たり，13～14才男子では，0.0703，成人男子では0.0750であったが最近はこの修正して

表6 パワーマックスVによるパワー発揮

	身長	体重	%Fat	LBM	50M走	垂直跳び	背筋力
中学1年生 (n=11)	156.36 5.14	42.64 3.60	12.7 1.66	37.21 3.39	8.44 0.47	49.00 7.37	71.60 17.99
中学2年生 (n=11)	162.64 4.81	48.82 4.55	12.46 1.96	42.72 3.92	7.91 0.55	50.18 7.93	92.91 24.31
中学3年生 (n=12)	163.08 3.20	55.42 8.46	16.02 4.12	46.51 7.31	7.82 0.52	57.67 5.96	131.92 41.72
高校1年生 (n=10)	172.20 4.14	61.00 4.17	12.59 1.98	53.42 3.83	7.22 0.33	61.10 4.87	121.50 20.47
高校2年生 (n=13)	168.54 5.18	58.62 4.70	14.01 2.72	50.36 3.87	7.38 0.36	68.92 5.84	146.31 18.72
高校3年生 (n=13)	170.56 4.52	56.54 3.46	11.91 2.23	49.80 3.31	7.35 0.26	62.23 5.77	137.62 22.63
	(cm)	(kg)	(%)	(kg)	(秒)	(cm)	(kg)

	Pmax	ハイパワー負荷	ミドルパワー負荷	Pmax/wt	Pmax/LBM
中学1年生 (n=11)	417.9 84.1	4.03 0.95	2.42 0.57	9.74 1.40	11.15 1.47
中学2年生 (n=11)	506.0 89.1	4.75 0.65	2.86 0.39	10.32 1.24	11.79 1.34
中学3年生 (n=12)	607.2 130.1	5.39 1.01	3.23 0.61	10.94 1.48	13.04 1.79
高校1年生 (n=10)	736.30 50.93	5.68 0.58	3.41 0.36	12.10 0.86	13.83 1.03
高校2年生 (n=13)	695.23 91.88	6.22 0.85	3.73 0.51	11.85 1.15	13.54 1.02
高校3年生 (n=13)	635.0 75.10	6.18 0.80	3.71 0.48	11.23 1.11	11.05 1.45
	(w)	(kp)	(kp)	(w)	(w)

(x̄)
(S.D)

表7 ウィンゲートテストによるパワー発揮

	身長	体重	%Fat	LBM	50m走	垂直跳び	背筋力	Pmax	Pmax/wt
中学1年生 (n=12)	151.67 7.34	40.03 5.13	12.06 1.40	35.20 4.42	8.59 0.47	47.50 5.62	66.25 18.91	450.0 100.6	11.13 1.28
中学2年生 (n=10)	161.54 5.62	50.10 9.51	15.69 7.94	41.75 6.20	8.10 0.51	51.10 6.58	85.60 18.90	578.8 107.4	11.61 1.10
中学3年生 (n=11)	165.66 8.48	51.91 6.94	15.18 2.55	43.97 5.60	7.72 0.43	58.18 4.91	119.82 20.64	674.36 121.0	12.93 0.93
高校1年生 (n=10)	170.64 5.68	59.95 6.89	15.43 4.51	50.45 3.77	7.40 0.35	58.10 7.29	122.80 25.20	745.20 95.86	12.45 1.17
高校2年生 (n=10)	170.45 4.83	61.35 3.46	15.89 4.38	51.56 3.18	7.52 0.38	67.50 7.33	154.40 34.71	764.30 96.40	12.44 1.25
高校3年生 (n=12)	171.82 5.23	61.80 4.32	12.33 2.20	53.25 3.53	6.92 0.20	65.83 8.07	159.92 23.52	849.67 68.03	13.99 0.89
	(cm)	(kg)	(%)	(kg)	(sec)	(cm)	(kg)	(W)	(W/kg)

Pmax-time	全仕事量	平均パワー	立ち上り 勾配	全仕事量 /wt	平均パワー /wt	Pmax /LBM	全仕事量 /LBM	平均パワー /LBM
8.61	10488	329.83	56.19	260.51	8.18	12.66	296.25	9.30
2.08	2095	68.90	20.67	27.97	0.92	1.49	32.33	1.06
7.40	12893	408.4	81.15	261.13	8.26	13.84	308.92	9.78
1.23	2126	68.92	22.00	36.69	1.13	1.30	26.24	0.80
6.70	15226	485.09	108.70	293.06	9.33	15.26	345.84	11.01
1.38	2262	74.10	40.21	13.19	0.42	1.16	18.14	0.60
7.32	16957	540.3	108.21	282.70	9.00	14.72	334.55	10.66
1.72	2545	83.5	29.29	28.26	0.87	1.10	30.89	5.99
7.00	18229	571.8	118.93	297.19	9.31	14.84	354.98	11.12
1.76	2084	70.9	44.50	29.95	0.95	1.78	43.96	1.38
5.95	19444	616.58	154.38	320.42	10.16	15.98	365.79	11.59
1.58	1479	49.93	45.34	22.21	0.71	1.06	26.09	0.84
(sec)	(joules)	(watts)	(watts/sec)	(watts/kg)	(watts/kg)	(w/kg)	(w/kg)	(w/kg)

(\bar{x})
(S.D)

0.0872の係数をかけて設定するが、彼らの報告では12才および15・16・17才のデータは見あたらず、不明な点も多いので、今回はすべての学年に0.0872を掛けて負荷を設定した。即ち、体重50kgの被験者であれば4.36kgの負荷ということになる。その結果最大パワーは加齢とともにほぼ直線的に漸増し、また体重当たり、あるいは除脂肪体重当たり最大パワーにおいても同様に漸増傾向を示した。これはこれまでも生田らあるいは我々も指摘してきた如く、加齢による身体の発育、即ち筋線維の肥大によるものがその理由として最大であろうが、除脂肪体重当たりでも増加したことは、ベダリング運動の技術向上、即ち神経・筋支配関係が向上し、パワー発揮における参加筋線維が増加したこと、あるいは筋におけるグリコーゲンなどのエネルギー備蓄量が増加したことなども考えられよう。

加速勾配はtest Aとtest Cでは高校1年生・2年生にやや差があるが、これはテストの方法および対象が異なるので今回はこの差については無視して考えると、加速勾配も加齢とともに漸増すると考えてよい。即ち、ベダリング開始から最大パワー発揮までの時間は年令によって大きな差はないが、パワーは加齢に伴って増大するためである。

これは神経系の発達ほぼ12才以前で完成するのに対して、筋力はホルモンの影響を受けてこれ以後も増大し、その結果単位時間当たりのパワー発揮は増大するからと考えられる。加速勾配と体力項目などとの相関でも、最大パワーや背筋力・除脂肪体重との相関が比較的高いということもこのことを指示し得よう。

30秒間の全力運動では、10秒を越えるとATP-CP系から乳酸系へ依存の出力反応に変わっていくが、最大パワー発揮以後の出力の様相については不明の部分が多く、今回はこれらについてもいくつかのパラメータから分析を行った。そのひとつは30秒時のパワーであり、また、これから求められる最大パワー発揮から30秒時へのパワーの落ち方、即ちこれを減速勾配と名づけてみると、加齢とともにこの勾配は大きくなる傾向がみられた。ところが、最大パワーに対する30秒時のパワー比率、即ち減速の比率をみてみると、中1から高3までその比はおよそ0.5~0.6であった。即ち中学1年生では減速勾配、つまりパワーが落ちていく絶対値は小さく、逆に高校1年生では大きい、その比率でみてみると、最大パワー発揮から運動終了直前の30秒時までにはパワーはおよそ50~60%に落ちていき、その比は年令によって大きな差はないということである。このことは、主として、解糖系の反応メカニズムには中学生から高校生にかけての時期では差がないことを示唆するものとも考えられる。また、同様に、最大パワーの90%のパワーを何秒間維持して発揮できるかをみてみると、中学1年生が比較的長い、中学2年生から3年生ではほとんど差がみられない。このことも、さきに述べた考え方を指示するものとして考えられる。

成人にとって、30秒間の全力ベダリング運動はかなり強い運動であり、これまでも、本テストを試行するにあたってはウォーム・アップを十分に行うことや体調に注意すること、あるいは若年者にはあまり適当ではないなどが言われている。しかし、今回我々がこれを行った結果では、確かに最大パワー発揮の点だけをとってみると中学生などではこれは劣っているが、その後

のパワーの落ち方などは決して高校生などに劣るものではなく、また、運動後の不快感や吐き気あるいは嘔吐する者などは高校生では多く見られたにもかかわらず、中学生ではほとんど見られず、このウィングートテストが決して若年者にとって不適なものではないといえよう。

また本結果をまとめて考えてみると、一般に中学生の時期には持久的な運動を、高校生の時期にはパワーを要する運動を行うことがすすめられているが、我々のこれまでの研究からもこれを否定するものではないが、中学生の時期にもパワーを増大させるような運動、例えば10秒以上のもう少し長い時間でのパワー発揮の運動などについても検討する必要があると考えられる。

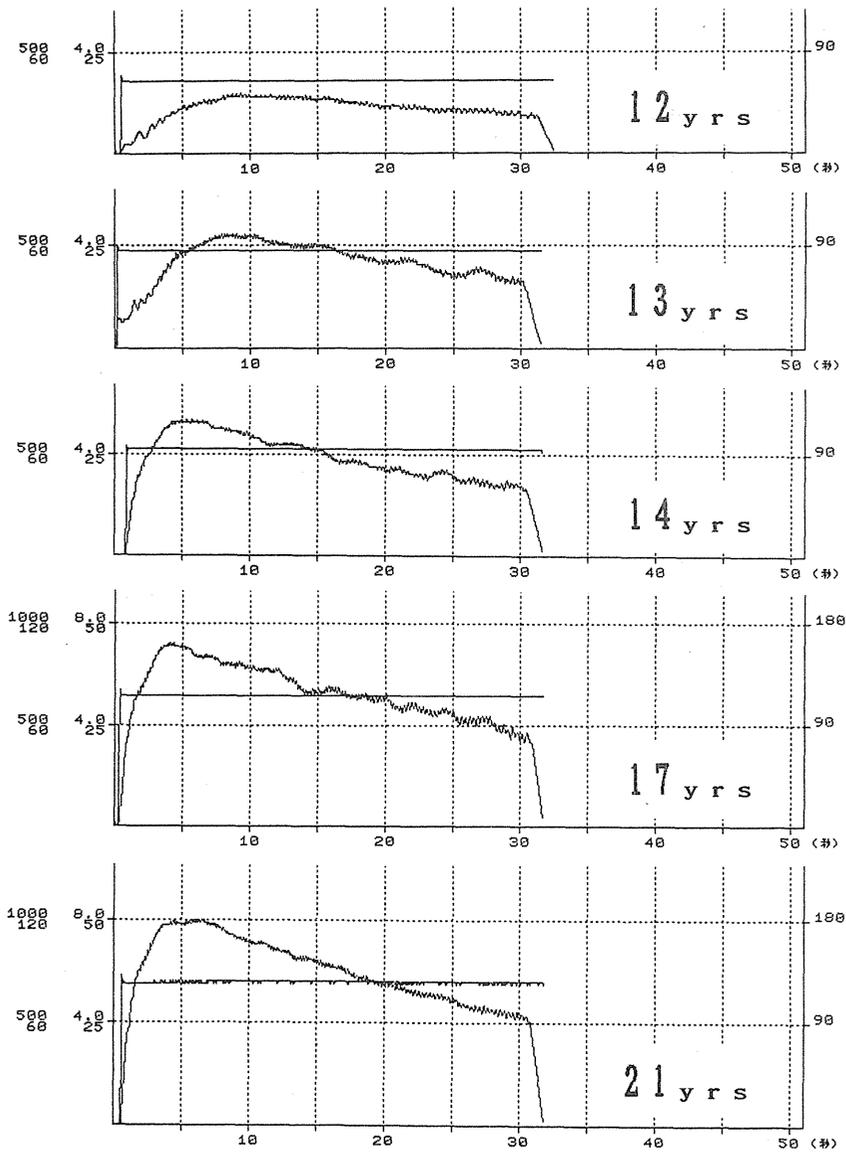


図15. ウィングートテストにおける年齢別定型的記録図

V. 結論

短時間に発揮されるパワーの測定は、一般的には瞬発力として垂直跳びとしてスポーツテストの項目としても行われているが、これは自分の体を負荷として発揮するパワーであり絶対的なパワーとはいえない。そこで、最近ではパワーを測定する優れた方法として自転車エルゴメーターが用いられるようになってきており、さまざまな立場から本法による研究がなされており、運動生理学的あるいはバイオメカニクスから多くの報告がされている。しかしながら、このパワーに関して、発育発達の観点からその様相について報告したものは極めて少ない。そこで今回我々は、この自転車エルゴメーターを用いて、発育発達期にある中学生高校生についてこれを測定したところ、以下の結論を得た。

- 1) 中学生・高校生の時期における自転車エルゴメーターによる最大パワーは、絶対値、体重当たり、除脂肪体重当たりのいずれにおいても加齢とともに増大した。
- 2) 最大パワー発揮のためのトレーニングの至適負荷は、中学生で約4 k p 高校生で約6 k p と考えられた。
- 3) 加速勾配は加齢とともに増加し、10秒以内のパワー発揮における加速能力は加齢とともに高くなる傾向にあった。
- 4) 減速勾配の絶対値では加齢とともに多くなる傾向がみられたが、相対値は加齢による差が小さかった。
- 5) ウィンゲートテストは中学生高校生ともに遂行可能であった。

尚、本研究は、昭和59年度文部省科学研究費補助金を受けた奨励研究B「最大無酸素パワー発揮の発育発達に伴う変化について」（課題番号599921010）の一部として行ったものである。

VI. 参考文献

- 1) Msrgría, R., P. Aghemo, and E. Rovelli : Measurement of muscular power in man., J. Appl. Physiol, 21 (5), 1962~1964, 1966.
- 2) O. Bar-Or, R. Dotan, O. Inbar, A. Rothstein, J. Karlsson, and P. Tesch : Anaerobic Capacity and Muscle Fiber Type Distribution in Man., J. Sports Medicine 1 (1980) 82~85
- 3) I. Jacobs : The Effects of Thermal Dehydration on Performance of the Wingate Anaerobic Test., J. Sports Medicine 1 (1980) 21-24
- 3) J. F. Patton, M. M. Murphy, and F. A. Frederick : Maximal Power Outputs During the Wingate Anaerobic Test., J. Sports Med. 6 (1985) 82-85
- 4) MEIL McCARTNEY, GEORGE J. F. HEIGENHAUSER, AND NORMAN L. JONES : Power output and fatigue of human muscle in maximal cycling exercise.

- 5) R. Dotan and O. Bar-Or : Koad Optimzation for the Wingate Anaerobic Test., Eur J Appl Physiol (1983) 51 : 409-417
- 6) E. A. Froese and M. E. Houston : Performance During the Wingate Anaerobic Test and Muscle Morphology in Males and Females., J. Sports Med.8 (1987) 35-39
- 7) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺一志, 福田隆 : Wingate および Evans-Quinney テストを応用した短時間の自転車作業による最大無酸素性パワー測定法の検定, 体力科学 (1986) 35. 161~167
- 8) 生田香明, 渡辺和彦他 : 50m疾走におけるパワーの研究, 体育学研究, 17(2), 61~67, 1972
- 9) 渋谷侃二, 斉藤慎一, 井田時子 : 自転車エルゴメータの慣性とそれがパワーに及ぼす影響, 東教大体育学部スポーツ研究報, 10, 61~67, 1972
- 10) 川初清典 : 自転車選手の脚筋パワーおよびカー速度関係について, 体育研究, 18 (4), 163 ~172, 1973
- 11) 生田香明ら : スプリンターのパワー発現, 体力科学, 29, 143~151, 1980
- 12) 生田香明, 猪飼道夫 : 自転車エルゴメータによる Maximum Anaerobic Power の発達の研究, 体育学研究, 17 (3), 151~157, 1973
- 13) 金子公有 : 筋収縮の力・スピード・パワー, 体育の科学, 20 (6), 368~373, 1970
- 13) 川初清典, 猪飼道夫 : ヒト脚パワーと力・速度要因 (1) 測定方法とカー速度およびパワーの関係について, 体育学研究, 16 (4), 223~232, 1972
- 14) 大川信夫, 富原正二他 : 自転車エルゴメータ運動の機械的効率, 日本大学医学部雑誌, 45 (2), 155~162, 1987
- 15) 福永哲夫 : 人の絶対筋力, 杏林書院, 1978