

発育発達期における自転車エルゴメータに よる最大無酸素パワーの研究

筑波大学附属駒場中・高等学校

小沢 治夫・深野 明・入江 友生

岡崎 勝博・合田 浩二

富原 正二・土屋 悦子・阿部 健之

大川 信夫（日本大学医学部）

発育発達期における自転車エルゴメータによる 最大無酸素パワーの研究

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・土屋 悦子・阿部 健之
大川 信夫（日本大学医学部）

I. 緒 言

体力の一因子としてのパワーは、運動遂行のうえで重要なもののひとつであり、スポーツテストの中ではこれを表現するものとして簡便な垂直跳びが採用されている。しかし、垂直跳の値は被検者の体重を負荷として測定されたもので、必ずしも絶対的なパワーとは言い難い。従来はこれを測定する方法としては、階段を全力で駆け上った時の垂直方向のスピードから換算する方法¹⁾、短距離ダッシュ時のスピードから換算する方法²⁾なども試みられたが、最近ではこれらよりは簡便でより正確にパワーを測る自転車エルゴメータ法によってその機械的パワーが測定されており、この測定法や競技者を対象とした研究は多く報告されている。^{3) 4) 5)}

しかし、発育発達に伴う変化や体力との関連でとらえたものは少なく、その様相については明らかではない。そこで、これらを明らかにし、中等教育の中で本法が応用できるや否やについて検討を加えた。

II. 方 法

被検者は筑波大学附属駒場中・高等学校の中学1年生（12歳）から高校2年生（16歳）の健康な男子生徒各10名と高校3年生（17歳）の29名の計79名で、50m走・走幅跳・背筋力・垂直跳・サイドステップ運動・1500m走等は文部省体力・運動能力テスト実施要項により実施した。また脚伸展力は背筋力計を用いて測定した。形態項目の測定は身長・体重・大腿囲・皮脂厚等で、被検者の身体特性は表1に示した。自転車エルゴメータ駆動時パワーの測定は生田等⁶⁾の方法に準じ、動輪の回転速度をフォトセンサーを用いて検出し、この時の回転速度と負荷強度からパワーを算出した。その考え方は次の通りである。

$$P = k_p \times 6 \times 14/52 \times N \quad (1)$$

P : パワー (kgm/sec)

kp : 運動負荷 (kilopond)

6 : ペダルが1回転した時に車輪が動く距離 (m)

14/52 : 車輪とペダルのギヤ比

N : 車輪の1秒間の回転数

(1)式によってパワーは求められるが、運動負荷 (kp) は予め設定されるのでNを求めればよい。Nは車輪に取りつけたチョッパーがフォトセンサーを横切る時出される信号によって求められるが、この信号はインターフェイスを介してマイクロコンピュータ (NEC, PC8001) に取り込まれるため、パワーはオンラインにて計算される。図1は得られたパワーのデータからプリントアウトされたパワー曲線を示した。

表1. 各年齢における形態・脚筋力および最大パワー

Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	L B M (kg)	Thigh Girth (cm)	Leg Strength (kg)	Max Power (kgm/sec)	P-max/wt (kgm/kg/sec)	P-max/LBM (kgm/kg/sec)
12	151.37	40.67	35.42	44.03	86.20	36.73	0.887	1.015
	5.70	6.10	4.63	3.90	15.50	6.62	0.092	0.100
13	161.25	49.95	43.15	47.70	115.20	48.35	0.968	1.118
	4.72	6.55	5.15	3.71	14.50	7.20	0.083	0.078
14	166.94	54.68	47.52	49.35	138.64	61.47	1.121	1.286
	6.15	5.93	4.60	3.79	17.83	11.07	0.134	0.139
15	167.87	58.05	49.77	50.85	177.00	67.75	1.158	1.349
	6.47	9.05	7.17	4.22	38.67	14.75	0.097	0.129
16	172.00	61.10	53.61	51.82	174.56	74.85	1.228	1.399
	4.90	4.46	3.73	2.60	23.52	4.93	0.076	0.080
17	169.81	61.83	52.57	52.86	187.83	74.83	1.240	1.422
	5.18	8.37	5.82	4.02	33.66	11.68	0.146	0.162

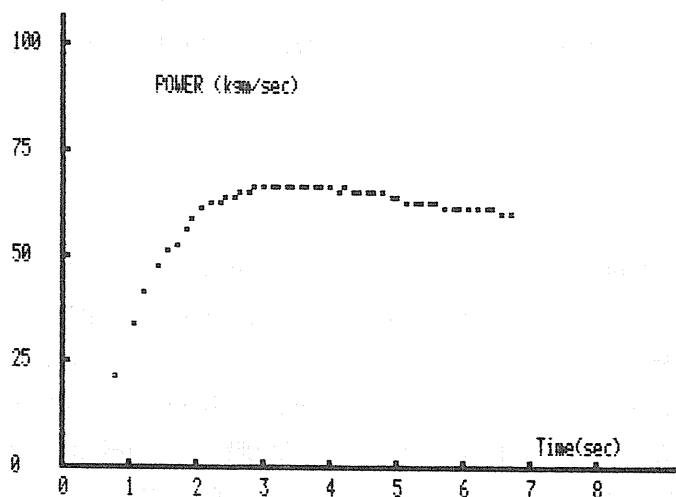


図1. 自転車エルゴメータによるパワー発揮の記録図

負荷は 2.0kp, 4.0kp, 6.0kp の 3 種類で, 各負荷で得られたピークパワーのうち最も大きい値を各個人の最大パワーとした。試行回数は各負荷で 1 回ずつであるが, 試行間には約 15 分間の休憩を入れた。また試行は, モナーク社製自転車エルゴメータに乗った被検者の足部をペダリング時に力のロスがないようにストラップにて固定し, 開始の合図と同時に最大努力で約 10 秒間運動を行わせた。なお, 運動開始から動輪のタイミングパルス発生までに time lag がないようにするために, フォトセンサーとチャッパーの位置は一致させた。

Ⅲ. 結 果

1. 表 2 に示すようにペダリング開始よりピークパワー発揮に至るまでに要した時間は各負荷とも平均 4 ~ 5 秒であったが, 12・13 歳では 3 ~ 6 秒とバラツキがみられた。

表 2. 各年齢・各負荷におけるピーク・パワー・タイム

	Peak Power Time (sec)		
	2kp	4kp	6kp
12	6.39±1.03	5.26±1.19	3.68±1.42
13	5.94±0.81	4.43±1.47	5.63±1.31
14	4.91±0.81	4.90±1.24	4.90±1.61
15	4.27±0.77	4.36±0.60	4.26±1.35
16	4.42±1.35	4.73±0.98	4.96±1.06
17	4.42±1.26	5.07±0.64	4.52±0.90

Values are Mean with standard deviation

2. 図 2 は 2kp・4kp・6kp の各負荷におけるピークパワーの年齢による変化を示したものであるが, 各負荷とも加齢とともにその値は大きくなる傾向にあるが, 2kp では 12 歳で 29.1 ± 2.6 kgm/sec が 17 歳では 35.8 ± 2.8 kgm/sec に, 4kp では 12 歳で 36.7 ± 6.8 kgm/sec が 17 歳で 62.5 ± 6.3 kgm/sec に, 6kp では 12 歳で 28.8 ± 5.1 kgm/sec が 17 歳で 74.4 ± 12.4 kgm/sec にと, その増加量は負荷が重くなるほど大きく, 負荷の軽い 2kp ではわずかな漸増にとどまっている。また図 3 に示す如く, 12・13 歳時の最大パワー発揮は 4kp であったが, 14 歳以降ではこれは 6kp であった。また各負荷でのピークパワーの最大値, 即ち最大パワー (Max Power ; kgm/sec) は表 1 に示すように, 12 歳の 36.73 ± 6.62 kgm/sec から 17 歳 74.83 ± 11.68 kgm/sec と加齢とともに増加した。
3. 体重当り最大パワー (Max Power/wt) および除脂肪体重当り最大パワー (Max Power/LBM) の変化は図 4 に示す通りであるが, 加齢とともに次第に増加し, 体重当り最大パワーは 12 歳の 1.887 ± 0.029 kgm/kg/sec から 17 歳の 1.240 ± 0.146 kgm/kg/sec に, 除脂肪体重当り最大パワーは 12 歳の 1.015 ± 0.100 kgm/kg/sec から 1.422 ± 0.162 kgm/kg/sec にそれぞれ 1.40 倍に増加した。

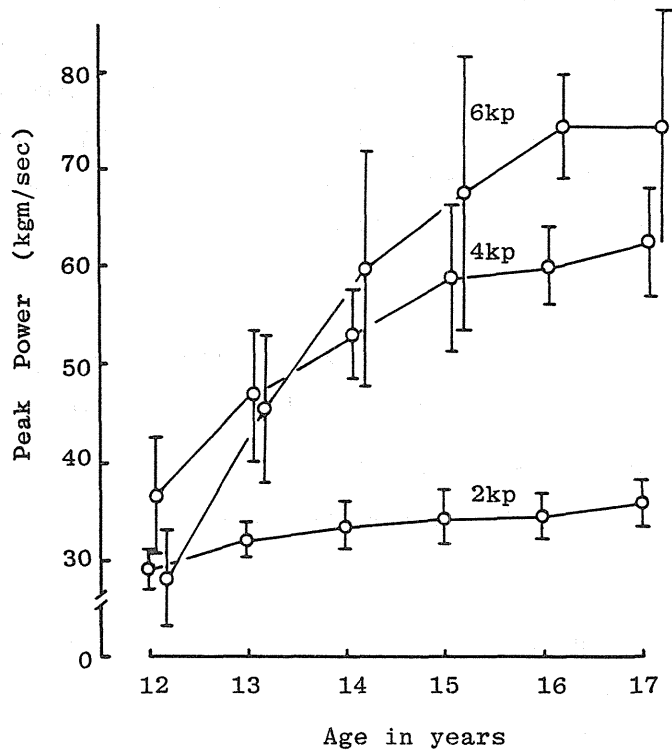


図2. 各負荷におけるピークパワーの年齢による変化

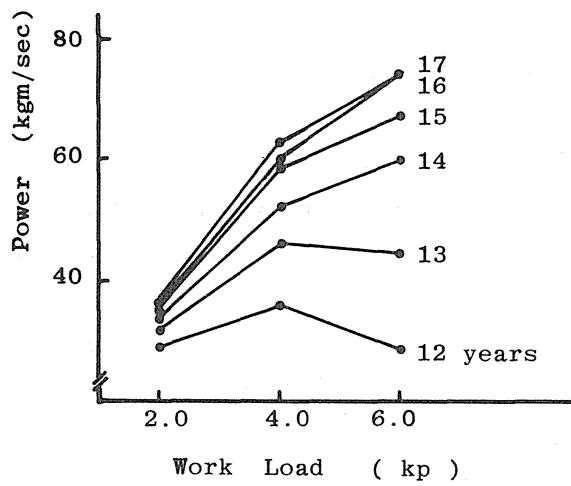


図3. 各年齢における各負荷ごとのピークパワー

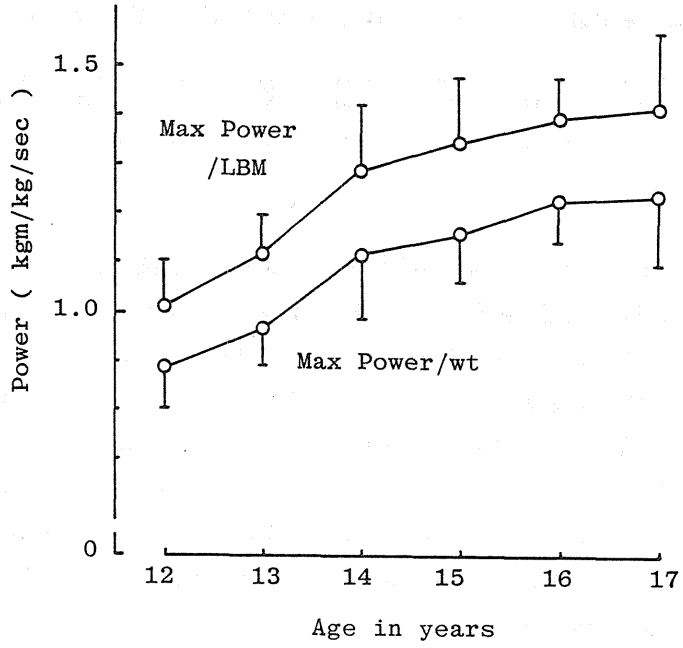


図4. 各年齢における体重および除脂肪体重当り最大パワー

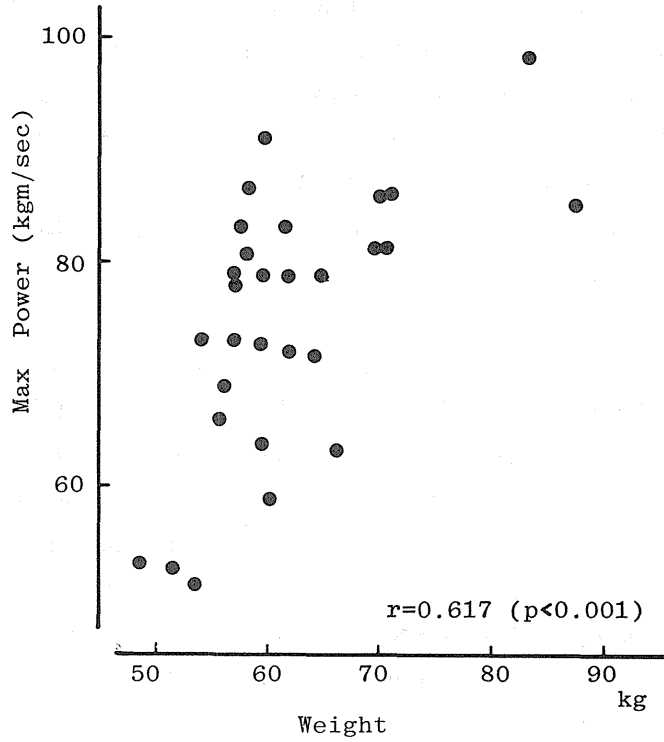


図5. 最大パワーと体重との相関

表 3. 最大無酸素パワーと形態及び体力運動能力項目との相関係数 (N = 29)

	Height	Weight	Thigh G.	50m Dush	Vertical Jump	Side step	LBM	M.P./wt	M.P./LBM
Max Power	0.385	0.617	0.612	-0.551	0.564	0.510	0.717	0.638	0.742
Max Power /weight	0.005	-0.207	-0.128	-0.472	0.397	0.443	0.068	-----	0.995
Max Power /LBM	-0.003	-0.022	0.085	-0.437	0.352	0.409	0.068	0.955	-----

4. 図5は17歳男子を対象とした場合の最大パワーと体重との相関を示したものであるが、 $V = 0.617$ ($P < 0.001$) で有意な値を示した。また、最大パワーと身長では $V = 0.385$ ($P < 0.05$) で、やはり有意な相関が得られ、身長・体重ともに大きい者ほど最大パワーが大きい傾向にあった。また図6は同様に最大パワーと大腿屈との関係をみたものであるが、上腕背部と肩甲骨部の二カ所の皮下脂肪厚から算出した除脂肪体重との間には図7に示すように $r = 0.717$ と更に有意な高い相関がみられた。また最大パワーと最も相関の高いパラメータも除脂肪体重であった(表3)。図8は最大パワーと50m走タイム、図9は最大パワーと垂直跳びとの相関を示したものであるが、相関係数はそれぞれ -0.551 、 0.564 とともに1%の危険率で有意な値であったが、除脂肪体重との相関よりは低くなっている。
5. 得られた最大パワーを除脂肪体重で除した値、すなわちLBM 1kg 当りの最大パワーは表1に示す通りで、12歳1.015, 13歳1.118, 14歳1.286, 15歳1.349, 16歳1.399, 17歳1.422kgm/kg/secであるが、これをひとつの係数と設定しその値を12歳ではおよそ1.00, 13歳1.10, 14歳1.30, 15歳1.35, 16歳1.40, 17歳1.45と簡略な数にして考え、これを表4のごとく予測最大パワー=LBM×係数という式の中に代入してさらに本人のLBMを代入して最大パワーの予測値を求め、これと実測の最大パワーとの相関を示したものが図10である。 $r = 0.961$ ($P < 0.001$) と高い相関がみられたが、これを同一年齢の17歳の29名でみた場合(図11)、発育発達による因子が取り除かれるので当然その相関係数は低くなるが、それでも $r = 0.717$ ($P < 0.001$) とかなり高い相関が得られた。
6. バスケットボール・サッカー・陸上競技の各運動部に所属して週3回程度の部活動を行っている者と運動部に所属していない者とで体重当り最大パワーについて比較したところ、部経験0年の15歳の生徒では運動部所属群 ($n = 5$) 1.170 ± 0.040 kgm/kg/sec に対して運動部非所属群 ($n = 5$) 1.145 ± 0.128 kgm/kg/sec とその差は 0.025 kgm/kg/sec (N.S) とほとんど差がなかったが、1年経験後の16歳では、($n = 5$) 1.259 ± 0.054 kgm/kg/sec, 非所属群 ($n = 5$) 1.197 ± 0.082 kgm/kg/sec とやや差 (N.S) が大きくなり、17歳では非所属群 ($n = 18$) 1.187 ± 0.145 kgm/kg/sec に対して所属群 ($n = 11$) 1.326 ± 0.098 kgm/kg/sec とその差は 0.139 kgm/kg/sec と有意の差 ($P < 0.05$) がみられるようになった。また、この傾向は、除脂肪体重当り最大パワーでも同様であった。すなわち、運動経験の長い者の方が体重または除脂肪体重当り最大パワーは大きく、約2年間の運動部経験の後には運動部非所属者に比べ約10%ほど大きな値を示した。

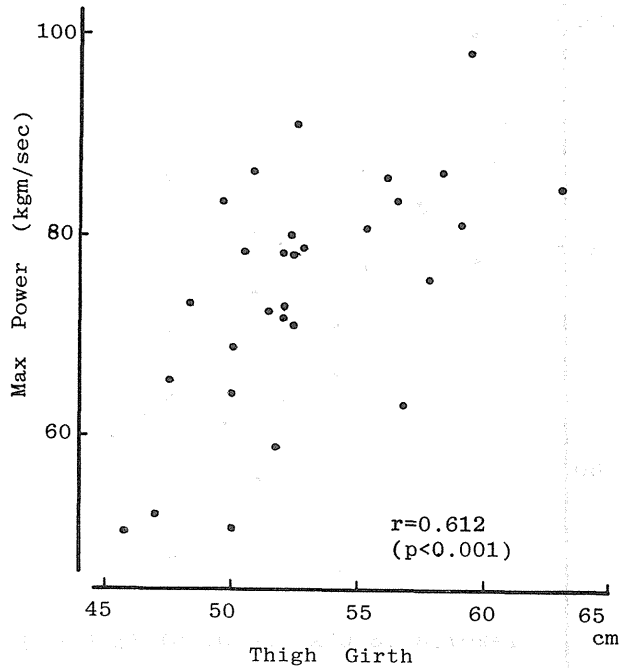


図6. 最大パワーと大腿囲との相関

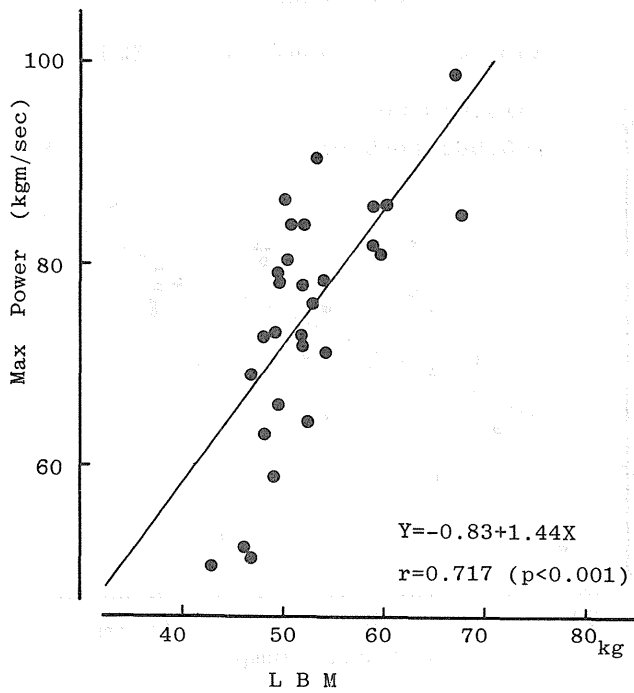


図7. 最大パワーと除脂肪体重 (LBM) との相関

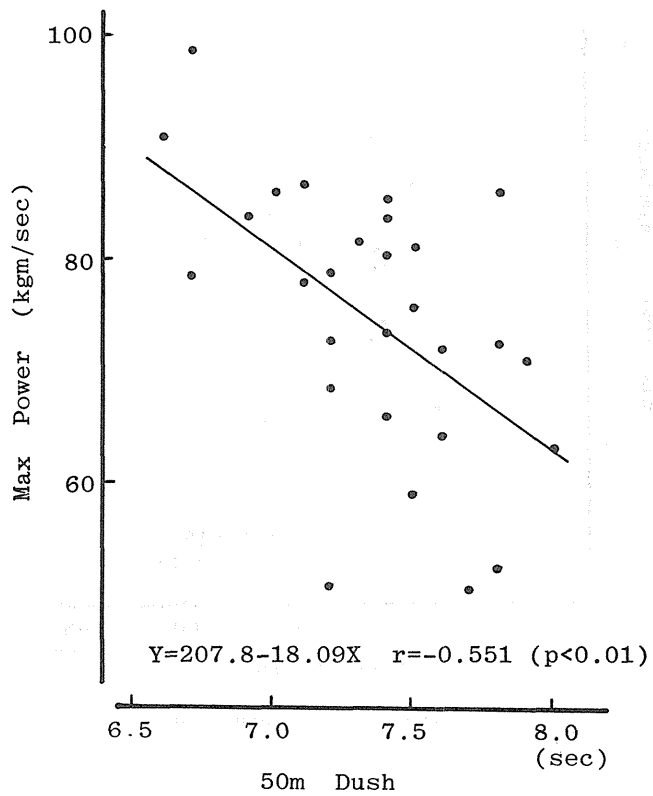


図8. 最大パワーと50m走タイムとの相関

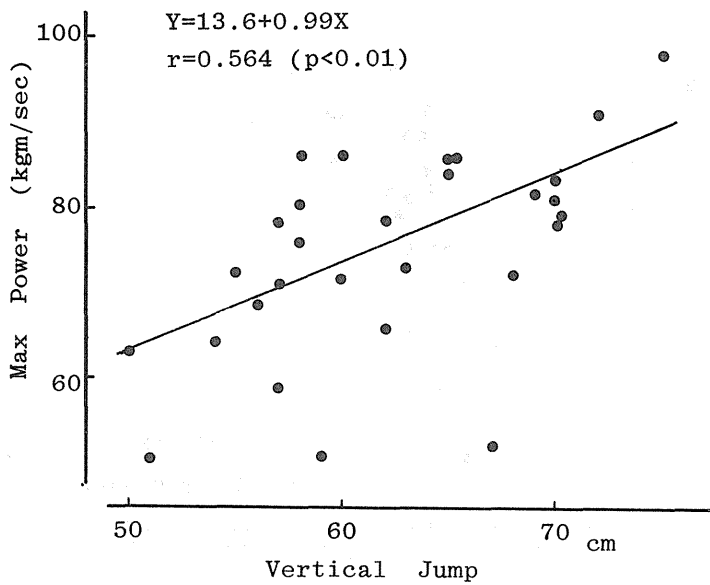


図9. 最大パワーと垂直跳びとの相関

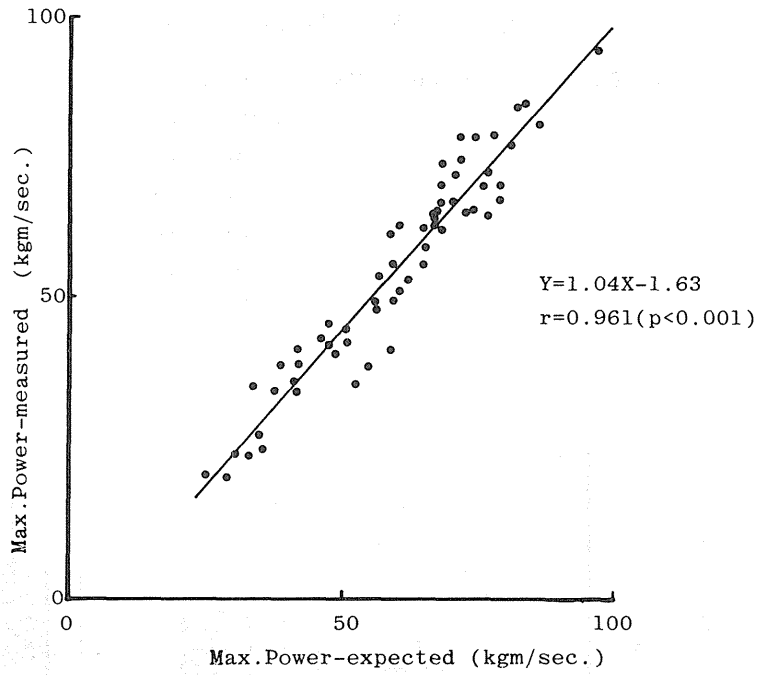


図10. 最大パワーの予測値と実測値との相関

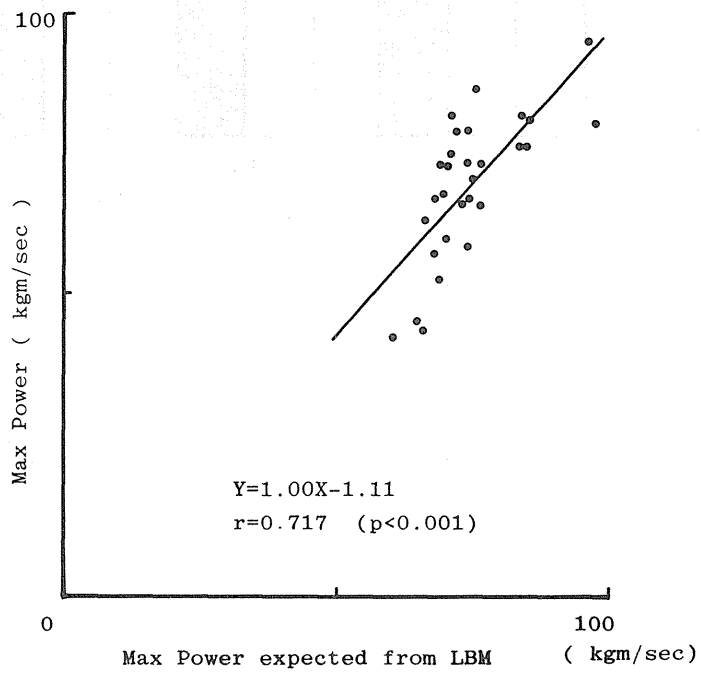


図11. LBMから予測した最大パワー予測値と実測値との相関

表4. 最大パワー予測式と各年齢における系数

Max.Power-expected= LBM x coefficient

1.00	12yrs.
1.10	13
1.30	14
1.35	15
1.40	16
1.45	17

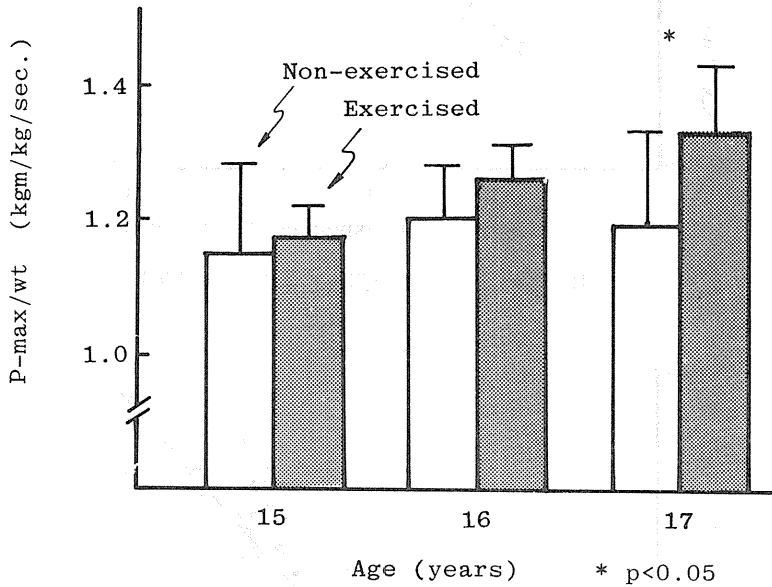


図12. 運動部所属群と非所属群の体重当り最大パワー

IV. 考 察

体力の一因子としてのパワーは、運動遂行のうでで欠かせないものであり、特に短時間の瞬発的な動きに重要な要素である。発育発達期にある生徒の体力を向上させ、また運動文化に親ませるためには、このパワーを正しく評価し、運動生活の中に効率よく生かすことが特に大切と思われる。従来より、このパワーを測定するものとして簡便な垂直跳びがスポーツテストの中では採用されているが、パワーが金子⁷⁾や川初⁸⁾らの述べるように「力」×「スピード」でとらえられるのなら、垂直跳びは被検者の体重をひとつの負荷としたもので必ずしも妥当ではない。今回我々が行った自転車エルゴメータによる最大パワーとの相関でも垂直跳びは $r=0.564$ と必ずしも高いとは言えない。これらの点からは垂直跳びはむしろパフォーマンスとしてとらえる方が妥当とさえ思われる。そこで我々は、これに替わる測定法として、自転車エルゴメータによる最大パワー発揮力と除脂肪体重(LBM)を測定し、これらについて検討を行った。

本法はモナーク社製エルゴメータの動輪に取り付けたフォトセンサーの信号からそのスピードを感知し、これと摩擦抵抗の負荷との値をマイクロコンピュータに取り込んでオンラインにてそのパワーを計算する方法である。最近マイコンがかなり普及しており、どの学校でも一台ぐらいいは備えられているであろうから、あとはエルゴメータをこれに連動させればよいので今後は現場教育の中でも簡単に応用でき得る方法と思われる。通常エルゴメータによるパワーは軽い負荷から始めて次第に重い負荷まで行って、それから最も高い値を最大パワーとしているが、実際に行ってみると、図3にも示したように12・13歳では6kpでは重すぎてほとんどパワーを発揮できない生徒もいたりして、ほとんどの生徒は4kpが最大パワー発揮には至適負荷と思われる。また14~17歳では6kpが最大パワー発揮可能な負荷であるが、大川⁹⁾によれば18歳以上の大学生でも6kpが最大パワー発揮に最適で、7kpでは最大値が得られないとしており、従来から行われている2~7kpの範囲のうち7kpという負荷は一流スポーツ選手や大学体育学部生などに好適であって一般人には不向きと思われ、この年代では6kpが至適と思われる。即ち、本装置を用いた場合、12・13歳では4kp、14歳~17歳では6kp一種類によるパワーを測定することによってある程度精度の高い値が得られるものと考えられ、これらをふまえて行えば本法は今後現場教育の中でも応用範囲は広いものと思われる。

ペダリング開始時よりピークパワー発揮までに至るまでに要した時間は各負荷・各年齢とも3~6秒の間にあり、この時間内であれば筋肉中のエネルギー供給はほとんどがATP-PC系即ち燐原質の分解によっていると考えられ、自転車エルゴメータによる最大パワー発揮は無酸素系反応によるものと考えられる。生田らは⁶⁾、この様な考え方からやはり自転車エルゴメータによる最大無酸素パワーの発達について報告しているが、今回我々が得た値もほぼ同様の値であり、すなわち、加齢とともに最大パワーは次第に増大する傾向にあった。これは、この時期の男子では男性ホルモンの分泌が著しく、その結果筋線維、特に速筋線維の肥大が促進され、筋の横断面積は拡大され、それに比例して筋力が増すことに大きく起因している為であろう。しかし生田ら

の報告より我々のデータでは15歳～17歳の生徒では最大パワー・体重当り最大パワーともにやや大きい値を示したが、これは本研究では被験者のうち半数を運動クラブ所属の者を選んだからと思われる。

生田ら⁶⁾は男女のパワーの差について、男子では思春期に筋肉の発育が著しく、女子では皮下脂肪の増加が著しいことを論議し、また競技選手の場合、一般人に比べて最大パワーも体重当り最大パワーも大きいことを述べている。そこで我々は、皮下脂肪厚から求めた除脂肪体重との関係でパワーを検討してみた。その結果、除脂肪体重は身長・体重・大腿囲などの形態項目よりも、また50m走タイム・垂直跳び・サイドステップなどの成績よりも、最大パワーとの相関($r = 0.717$)が高く、パワー発揮には除脂肪体重が最も大きく関係していることが明らかとなった。そこで除脂肪体重当り最大パワーを求めたところ、年齢によって一定な値は得られず、加齢とともに大きな値を示した。通常、筋力は、筋肉の横断面積(cm^2 当り約6kgとされているが、福永¹⁰⁾によればトレーニングによって単位面積当り筋力は増加することが報告されている。これはトレーニングによりinervationがよくなり出力発揮に関与する筋線維数が増加したことが考えられるが、本研究の結果については3～6秒のATP-PC系反応による運動であることから、体育の授業やクラブ活動による運動量の確保によってこれら燐原質の筋肉中における貯備量が加齢とともに増加したことも考えられる。即ち、この時期の生徒にとってやはり運動は欠かさざるべきものと言えよう。

以上のように除脂肪体重が最大パワー発揮に深く関わっていることから、これをひとつの係数として最大パワーが簡易的に予測できないかと試みたところ、表4のごとく予測式で求めた値は図10・図11のように実測値との間に高い相関を得ることができた。前述した如く自転車エルゴメータによる方法は正確にかつ比較的簡単にヒトの最大無酸素パワーを測定することができるが、どこでも誰でもという点では依然として経済性において欠点を有している。除脂肪体重という形態的因子から最大無酸素パワーという機能因子を評価することは考え方の上で問題がないとは言えないが、その相関の高さと経済性を考えた時、十分意義のある方法と思われる。

運動部所属群・非所属群で最大パワー発揮に差が現れたが、この時期の生徒にとっては週3回程度のクラブ活動は、無酸素能力を発達させる上でも重要な役割を果たしていると考えられる。

V. 結語

12歳から17歳までの男子計79名を対象に、自転車エルゴメータ駆動による最大無酸素パワーを測定し、以下の結論を得た。

- (1) 至適負荷を12歳13歳では4kp, 14歳から17歳では6kpと設定することによって、マイクロコンピュータ、自転車エルゴメータを用いて最大無酸素パワーを簡便に測定できるものと考えられた。
- (2) 最大パワー、体重及び除脂肪体重当り最大パワーは加齢とともに増加し、パワー発揮能力の発達が認められた。

- (3) 最大無酸素パワーと最も相関の高かったものは除脂肪体重であり，このことから“LBM ×係数”によって最大パワーの推定が可能であることがわかった。
- (4) 週3回の運動クラブの活動によって最大パワーは大きく増大した。

稿を終えるにあたり，本研究の測定ならびに資料整理をして下さった日本大学医学部学生の小杉浩司，松岡昌子の両君に感謝の意を表します。

尚，本研究は，昭和59年度文部省科学研究費補助金をうけた奨励研究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59921010）の一部として行ったものである。

参考文献

- 1) Margaria, R., P. Aghemo, and E. Rovelli : Measurement of muscular power in man., J. Appl. Physiol, 21 (5), 1962~1964, 1966.
- 2) 生田香明，渡部和彦他：50m疾走におけるパワーの研究，体育学研究，17（2），61~67，1972
- 3) 渋川侃二，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所報，10，61~67，1972
- 4) 川初清典：自転車選手の脚筋パワーおよび力 — 速度関係について，体育学研究，18（4），163~172，1973
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 金子公宥：筋収縮の力・スピード・パワー，体育の科学，20（6），368~373，1970
- 8) 川初清典，猪飼道夫：ヒト脚パワーと力・速度要因（1）測定方法と力 — 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
- 9) 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），印刷中，1985
- 10) 福永哲夫：ヒトの絶対筋力，杏林書院，1978