<原 著>

自転車選手の脚筋パワーおよび力-速度関係について

第一報 ペダリングの継続訓練に伴う脚筋パワーおよび力-速度の推移

川 初 清 典

(昭和48年6月13日受付)

Alteration of mechanical power and force-velocity relationship
on human leg extensor muscles according to continuous
training by the bicycle

Kiyonori KAWAHATSU

(Kyoto University)

人体の直接の運動器官である筋の中で、特に全身運動およびスポーツにおいて重要な役割を果たす脚筋について10ヶ月間継続してペダリング訓練に専念した者28名を追跡測定し、機械的パワーと力および速度の変動を調べた。強度なペダリング訓練の結果、等尺性最大脚筋力の変動は少なかったが、最大脚筋パワーには著しい増高がみられた。また、最大脚筋パワーが発揮されたときの力と速度を調べると、そのときの速度はペダリング訓練によって変化がなく、最大脚筋パワー発揮時の筋力が高まっていることが明らかになった。すなわちペダリングのように動的状態でなされるトレーニングによって静的最大筋力は強くならないがパワーの発揮能力が高くなり、その効果は特にパワー発揮時の筋力の増加によって得られている。

Alteration of the maximal mechanical power and the maximal isometric strength on human leg extensor muscles were followed up for ten months on 28 students who belonged to a bicycle racer school. Subjects were divided into high (N=15) and low (N=13) groups by the respective maximal speed on fixed (stational) bicycle ergometer. The load for leg power was provided by the weight as shown in the previous report by the same author. The maximal isometric tension was determined at the right angle of the knee joint. The maximal power and force and velocity at the peak of power were calculated from Hill's characteristic equation derived at every subjects.

Little increase was found in the maximal strength after the continuous physical training by the bicycle. The strength of high group, in, general, was found to be higher than that of low group.

The maximal power, however, presented a marked increment, upon prescribed exercise. The difference of values between high and low group was typical.

The force exerted at the peak of power apparently increased, but the velocity of the knee extension hardly increased by the training.

As the consequence of physical training, the maximal leg strength increased little while

the maximal mechanical power increased. The increase was largely due to the increment of force exerted at its peak.

(Kiyonori Kawahatsu, Kyoto University: "Alteration of mechanical power and force-velocity relationship on human leg extensor muscles according to continuous training by the bicycle", *Research Journal of Physical Education*, Vol. 18, No. 4, March, 1974, pp. 163~172)

緒 言

生体の主な運動器官は筋であり、筋は力を出しつつ速度をもって短縮を行い、運動を成り立たせる。従来から、筋の運動能力として筋パワーを調べる試みが行われたが、それらの主な研究は、次の二種の負荷法によってなされている。

1. 慣性負荷法 (仕事量÷時間)
2. 荷重負荷法 (力×速度)

前者は慣性車輪などの器具を用いることによってパワー値が容易に求められる利点があり、後者は筋のもつ運動現象を力と速度の両面から把握できる特徴がある。単にパワー値の高低を調べるだけでなく、パワーを構成する二つの要素である力と速度の関係が同時に調べられる荷重負荷法が近年多く用いられている。猪飼と筆者^{4),5)} (1972) は人体の脚筋 (大腿伸筋群) について荷重負荷法による測定法を考案し、一般人について膝関節伸展運動を行った際の力-速度 (F-V) 関係を調べ、また運動選手を中心に個人や運動種目毎の筋パワーの特性を明らかにした。これらは体力または運動能力の一要素として調べられたものである。また、いわゆるトレーニングを行った際の筋の力-速度関係に関しては、上腕屈筋群について行われた猪飼と金子たち⁶⁾ (1970) による報告があげられる。しかし、特に個人の特性や運動種目の特性に差があらわれる脚筋の力-速度関係およびパワーについては、まだトレーニングに伴う変動についての報告がみられない。学校や社会における体育教育やスポーツクラブの活動を継続して行い、体力や運動能力を高める試みが一般化されている中で、身体トレーニングに伴う体力への効果を調べることは重要である。

本研究は、自転車運動 (以下ペダリングという) を約10ヶ月間継続的にを行った者28名について、10

ヶ月間に4回の脚筋パワー測定を行い、身体トレーニングに伴う脚筋パワーおよび力-速度関係の変動を検討することを目的として行ったものである。

方 法

1. 測定対象

昭和47年4月、日本競輪学校へ入学した79名の入校生全員に対して、入学時に固定自転車 (抵抗翼付慣性動輪を回転させるエルゴメーターであり、抵抗翼にはグラウンドにおける自転車実走時と同様の風圧抵抗が与えられるように工夫されている) によって、ペダリング能力の測定を実施した。測定は、静止時から号令により最大努力でペダル回転を行わせる方法で行った。そしてこの測定において記録された回転速度の最大値から、ギヤ比および車輪の円周を用いて自転車実走に相当する時速を求め、その値を最高速度とした。本研究における被検者は、全入校生からこの最高速度の速かった者を上位から21名 (以下A群) および遅かった者を下位から19名 (以下B群) をそれぞれ順に選出したものである。A群の最高速度の値は66.6~70.9km/hであり、B群の最高速度の値は56.0~63.2km/hであった。被検者はいずれも17~23才の年令の男子である。そのうち、訓練中に落車などによる事故で測定時に全治せず、測定を継続できなかった者が、A群に6名、B群に6名あり、追跡測定された者は、最終的にはA群とB群それぞれ15名および13名であり、合計は28名となった。これらの生徒は、入学から卒業までの約10ヶ月間、全寮制の生活をしており、各個人間の生活内容の差は少ない。また、自転車競技を職業とするための訓練であるために、在学中の訓練量が多く、訓練内容も殆どが最大努力によって行われている特徴がある。

2. 測定期間

各測定期間は次に示すとおりである。

第1回測定 昭和47年5月5日～7日（入校時）

第2回測定 同年9月6日～9日

第3回測定 同年11月7日～10日

第4回測定 昭和48年1月23日～27日（卒業時）

3. 測定方法

測定の方法および手順については、猪飼と筆者⁴⁾の方法によって行われた。また、負荷設定は、等尺性最大筋力に対する割合を決めて行い、各測定毎に測定した等尺性最大筋力に対する割合で負荷が与えられた。測定は、毎回午後2～4時の間に行われた。

4. 訓練内容

訓練は、日曜日および祭を除いて毎日行われており、その主な内容は、早朝のランニング、体育、クラブ活動、自転車訓練および生徒自身が行う自主トレーニングである。そこでこれらの生徒について、実際に行ったトレーニング量をトレーニングの種類別に図1に示した。

図1 入校時から卒業時までの身体運動量。縦軸は月間運動時間数、横軸は月名、黒のグラフは体育、クラブ活動および自主トレーニング(補強運動)、点入りのグラフは自転車訓練、白のグラフはランニングである。

結 果

1. 力-速度関係およびパワー曲線の推移
本測定における第1回測定（入校時）および第4回測定（卒業時）から、脚筋の力-速度関係曲線

図2 身体トレーニングの前（白丸・破線）と後（黒丸・実線）における力-速度関係曲線（Force-Velocity relationship・直角双曲線）および力-パワー関係曲線（Force-Power relationship・放物線）。左縦軸は脚筋速度、横軸は脚筋力、右縦軸は脚筋パワーである。図aはA群、図bはB群を示す。

およびカーパワー関係曲線について図2 b, aに示した。図2から、A群およびB群とも、身体トレーニングを行った結果、カー速度関係曲線、およびカーパワー関係曲線の値が増加していることが認められた。しかし、A群およびB群のいずれのグループにおいても、等尺性最大脚筋力では身体トレーニングの前後に顕著な差は認められなかった。また、A群とB群の値を比較してみると、身体トレーニング前および身体トレーニング後ともに、A群の示すカー速度関係曲線およびカーパワー関係曲線の値が高かった。

2. 最大脚筋力の推移

入学時から卒業時までの10ヶ月間に計4回の測定を行い、その際の最大脚筋力を図3に示した。図3は各個人の推移を示したものである。この図から、全体的にみて、各個人の最大脚筋力は、ペ

表1 最大脚筋力の推移 (M±S. D.)

被検者 \ 測定回数	I (47年5月)	II (9月)	III (11月)	IV (48年1月)
A 群	87.3±11.4	85.4±12.4	88.9±11.3	83.5±9.1
B 群	76.0±14.1	82.7±13.0	84.2±13.6	77.6±12.5

* 第1回測定との差がt検定により $P < 0.05$

** 同様に $P < 0.01$

*** 同様に $P < 0.001$

以下表の見方は同様

ダリング訓練を行った結果、A群では最大脚筋力には特に増加および減少の変化が認められていない。しかしB群では、第3回測定までは上昇傾向を示している者が多いことが認められた。そこでこれらA群およびB群についてそれぞれの平均値および標準偏差値を求め、表1および図4に示し

図3 ペダリング訓練に伴う最大脚筋力の推移（個人値）。縦軸は最大脚筋力である。黒丸実線はA群 (High group), 白丸破線はB群 (Low group) を示す（以下同様）。ペダリング訓練に伴う最大脚筋力の変動は少ない。

図4 ペダリング訓練に伴う最大脚筋力の推移（平均値）。図の見方は図3に同じ。

た。表1および図4から、A群では最大脚筋力は測定毎に多少の増減を示しているが有意な変化はみられなかった。しかし、B群の場合には、第1回目比べて2回目、3回目の測定値が増加傾向にあり、卒業時の4回目には減少した。また図3では、A群の最大脚筋力の変動が75~100kgの範囲に多く分布しているのに対して、B群の場合は60~80kgの範囲に多く分布していることが特徴としてあげられる。

3. 最大脚筋パワーの推移

最大脚筋力の場合と同様に最大脚筋パワーを求めて、ペダリングの継続訓練に伴うその変動を示した。図5は、各個人の最大脚筋パワーの推移を示したものである。この図から、各個人の間にも多少の差は認められるが、全体的傾向として、ペダリングの継続訓練に伴って、明らかな最大脚筋パワーの上昇が示されていることが注目される。ま

た、実線黒丸で示されるA群と破線白丸で示されるB群を比較してみると、その分布に明らかな差があることがわかる。すなわち、入学時の測定値からみて、A群が30~45kgm/secの範囲に多く分布しているのに対し、B群は25~40kgm/secの範囲に多く分布している。またそれぞれの分布範囲は、10ヶ月後の卒業時には、多くの値がA群は44~55kgm/secの範囲、そしてB群は35~42kgm/secの範囲へとそれぞれ上昇しているが、なおA群の分布範囲の値の方が大きい。次に平均値についてみると、表2および図6に示される如く3回目までは両群とも上昇を示している*。しかし卒業時の測定値は最大脚筋力のとくと同様に減少傾向を示した。またA群とB群の間における最

* トレーニング前後の値のt検定

A群 6.190 (d.f.=14, $\alpha=0.001$)

B群 4.725 (d.f.=12, $\alpha=0.001$)

図5 ペダリング訓練に伴う最大脚筋パワーの推移(個人値)。縦軸は最大脚筋パワーである。ペダリング訓練に伴って、最大脚筋パワーは増加する。また、A群とB群の分布に差が認められる。

図6 ペダリング訓練に伴う最大脚筋パワーの推移(平均値)。図の見方は図5に同じ。

表2 最大脚筋パワー (kgm/sec) の推移
(M±S. D.)

被検者	測定回数	I (47年5月)	II (9月)	III (11月)	IV (48年1月)
A 群		38.4±5.3	44.5±4.4 ^{**}	47.5±3.5 ^{***}	46.2±5.0 ^{***}
B 群		32.7±5.4	37.1±4.0 ^{**}	39.8±3.5 ^{***}	37.6±4.0 ^{***}

大脚筋パワー値の差は顕著である。

4. 最大脚筋パワーの力・速度分析

本測定は、力-速度関係が得られる荷重負荷法によって行われているので、「力×速度」と定義されるパワーについて、これらの二つの要素の値を知ることができる。したがって、発揮されたパワーが、筋力により多く依存したパワーであるか、運動速度（以下速度という）により多く依存したパワーであるかが分析され得る。そこで、本測定で得られた最大脚筋パワーが発揮されたときの筋

表3 最大脚筋パワー発揮時の筋力 (kg) の推移
(M±S. D.)

被検者	測定回数	I (47年5月)	II (9月)	III (11月)	IV (48年1月)
A 群		28.5±4.8	34.8±4.6 ^{***}	34.1±4.6 ^{**}	34.2±3.8 ^{***}
B 群		25.0±4.4	30.9±4.2 ^{***}	31.2±4.2 ^{**}	30.2±4.3 ^{***}

力と、そのときの速度との推移を分析した。

a. 最大脚筋パワー発揮時の筋力の推移

本測定でペダリング訓練を継続的にを行った被検者全員について、最大脚筋パワーを発揮したときの筋力を Hill¹⁾の方法によって求め、その推移を図7に示した。図7において、縦軸は最大脚筋パワーを発揮したときの筋力を表わしている。また図8は、A群（実線黒丸）およびB群（破線白丸）の平均値の推移を表わし、同時にその値を表3に示した。図7、図8および表3から、全体的

図7 ペダリング訓練に伴う最大脚筋パワーの発揮時の筋力の推移（個人値）縦軸は最大脚筋パワー発揮時の発現筋力であり、ペダリング訓練によってその筋力は増加する。

図8 ペダリング訓練に伴う最大脚筋パワー発揮時の筋力の推移（平均値）。図の見方は図7に同じ。

にみて、最大脚筋パワー発揮時の筋力は第1回測定に比べて第2回、第3回および第4回測定には増加傾向にあることがわかる*。また、図7において、A群とB群の値の分布においては、先の最大脚筋力や最大脚筋パワーの場合のような明確な差はみられない。しかし、最大脚筋パワーにすぐれているA群の方が、図8および表3に示される如く、最大脚筋パワー発揮時の筋力の平均値は明らかに高い値であった。

b. 最大脚筋パワー発揮時の筋力と最大脚筋力の割合

最大脚筋パワー発揮時の筋力と最大脚筋力との割合が低い場合には、筋力発揮の能力があるにも

* トレーニング前後の値のt検定

A群 4.254 (d.f.=14, $\alpha=0.001$)

B群 4.643 (d.f.=12, $\alpha=0.001$)

かわらずパワー発揮時に筋力が出されないという弱点を示す。また逆に、その割合が高ければ、筋力発揮の能力の割にパワー発揮時の筋力が強いことを示す。そこで、本測定の結果から、Ralston⁷⁾と同様の方法でその割合を求め、各個人の変動について図9に、また、A群およびB群の平均値については図10に示した。図9および図10において、縦軸は最大脚筋力に対する最大脚筋パワー発揮時の筋力の割合を百分率で表わしたものである。図9から、その値はペダリングの継続訓練に伴って増加している傾向がみられる。すなわち、入学時にはその割合が25%~40%の範囲に分布していたのに対し、卒業時にはその範囲が30%~50%へと上昇していることがわかる。また同様のことは図10の平均値の結果からもうかがえる。次にA群とB群の分布における差については、図9の

図9 ペダリング訓練に伴う
最大脚筋パワー発揮時の発現筋力 $\times 100$ (縦軸)
最大脚筋力
の推移 (個人値), ペダリング訓練に伴ってこの百分率は増加する。

図10 ペダリング訓練に伴う
最大脚筋パワー発揮時の発現筋力 $\times 100$ (縦軸)
最大脚筋力
の推移 (平均値)

各個人の結果および図10の平均値の結果からみると著明な差はみられない。

c. 最大脚筋パワー発揮時の速度の推移

先にaの項で述べた最大脚筋パワー発揮時の筋力の推移と同様に、そのときの速度の推移について調べ、その結果を図11および図12に示した。図11は各個人の値の変化を示し、図12はA群とB群の平均値を示したものであり、平均値については表4に同時にその値を示した。またいずれの図においても、縦軸は最大脚筋パワー発揮時の速度を表わしている。図11、図12および表4から、最大脚筋パワー発揮時の速度は殆ど変化がないことが注目される。最大脚筋パワーは、第2回目、第3回目と測定回数を重ねる毎に増高したが、そのときの速度については、A群およびB群とも有意な変化がなかった。次に、図11におけるA群およびB群の分布上の差を調べると、両者の間にその差

表4 最大脚筋パワー発揮時の速度 (m/sec) の推移 (M±S. D.)

被検者	測定回数 (47年5月)	Ⅱ (9月)	Ⅲ (11月)	Ⅳ (48年11月)
A 群	1.37±0.18	1.29±0.14	1.41±0.22	1.35±0.09
B 群	1.33±0.14	1.21±0.07*	1.29±0.13	1.26±0.11

(* 減少)

はみられない。図12の平均値については、わずかにA群が速い速度で最大脚筋パワーを発揮する結果となっている。

論 議

本研究において、まず被検者は、自転車競技を職業とすることが目標であることから、在学期間中は日々最大の努力をはらって訓練を行って

図11 ペダリング訓練に伴う最大脚筋パワー発揮時の速度の推移 (個人値), 縦軸は最大脚筋パワー発揮時の速度である。ペダリング訓練に伴ってその速度は殆ど変化しない。

図12 ペダリング訓練に伴う最大脚筋パワー発揮時の速度の推移 (平均値), 図の見方は図11に同じ。

る。自転車運動（ペダリング）を行う場合、下肢の機械的エネルギーが車輪に伝えられてその運動が成立するのであり、その際には、主として大腿四頭筋が働くと考えられる。そこで、特に下肢のトレーニングを継続的に行った場合に、下肢筋の力-速度特性がどのように変動するかが問題となる。また、入学当時固定自転車による回転速度の測定において良い成績を示した者（A群）と、劣っていた者（B群）において、10ヶ月間の推移にどのような差があるかが問題となる。

本研究では、最大脚筋力は、継続的訓練に伴う推移において、A群には顕著な変動が認められなかった。しかしB群では、第3回の測定まで増加し、卒業時測定では減少した。猪飼たち⁹⁾ (1970)によれば、腕の筋について行った荷重法によるパートレーニングの報告で、等尺性最大筋力を負荷条件とする場合は最大筋力の増加が大きく、無負荷の最大速度を条件とする場合は最大速度の増加が大きいことを述べている。ペダリング動作中には回転速度が速いため最大脚筋力が増加するような強い筋力が発揮されていないので、特にA群では、最大脚筋力の変化がなかったものと思われる。しかし、訓練開始前の最大脚筋力が比較的低かったB群の場合は、第3回目の測定まで増加する傾向であった。ペダリング訓練においてはA群もB群も一様な強度の訓練を受けているために、B群に対してはA群よりも強い負荷となっていると考えられ、したがって、ペダリング訓練の強度がB群にとっては最大脚筋力の増加が得られるような負荷条件であったと考えられる。また、A群およびB群共に卒業時の測定では最大脚筋力が低下した。そして、第3回測定まで増加傾向であったB群の最大脚筋力は、トレーニング前後の値では有意な変化は認められなかった。これは、自転車選手としての資格を得る検定試験のための準備に重点が置かれ、訓練が緩和されたことによってと思われる。

次に、A群がB群よりも大きい最大脚筋力を示していることは、固定自転車エルゴメーター作業において、その最高速度が速い順に選出しているので、最高速度の速い要因として脚筋力の大きいことがその要因の一つであることを示すものと思

われる。

最大脚筋パワーについては、ペダリングの継続訓練によって、A群においてもB群においても顕著な増高が認められた。力-速度関係の立場から考えて、パワーとは、力がいかに強くとも速度がなければパワー発揮はなく、逆に、速度がいかに速くとも力がなければまたパワー発揮はない。したがって、筋力を伴った動的状態の中でのみ、パワーが発揮されることになる。ペダリングの訓練は、その点から考えると、まさにパワー発揮の状態でのトレーニングされていることになり、継続的なペダリング訓練によってこのようなパワー増高の傾向を示したと考えられる。また、図5、図6および表2から、脚筋パワー値の分布において、A群とB群の差が最大脚筋力の場合よりも顕著にあらわれている。このことは、静的状態で発揮される筋力よりも、動的状態で発揮されるパワーの方が、より、ペダリング能力と関係が深いことをあらわしており、また、自転車競技において大切な能力であることを示唆している。最大脚筋パワーの場合においても、最大脚筋力の場合と同様に、卒業時の測定では値が低下していた。これは最大脚筋力の場合と同様の理由によって生じたものと思われる。猪飼たち⁹⁾ (1970)によれば、最大筋力の30%または60%（パワー発揮の状態）の負荷でトレーニングした場合、最大筋力、最大速度および中間的負荷に対するスピードとパワーの全般に効果を示し、30%と60%の負荷条件の間に特徴的差異は明らかでないと報告している。しかし、本研究では、パワーが顕著な増高を示したが、最大筋力はあまり変化しなかった。最大脚筋パワーの増高がパワー発揮時の筋力と速度のいずれの要因によっているかを分析した結果、速度の値には変化がなく（図11、12、表4）、明らかに筋力の増加が大きかった（図7、8、表3）。これは、ペダリングにおいて、筋力がパワー発揮により多く影響を及ぼしていることを示すものである。また、最大脚筋力の増加が殆どみられず、最大脚筋パワー発揮時の筋力が増加したことは、最大脚筋力に対する最大脚筋パワー発揮時の筋力の割合が高くなることを示している（図9、10）、そして10ヶ月の訓練によってより大きい筋力においても、速度

を低下させずに収縮させ得るような能力をそなえたことを示している。このことは将来ギヤ比との関連において、更に検討を重ねたい点である。

結 論

自転車競技を職業とするためにその訓練を受ける生徒から、固定自転車による最高回転速度の速い者21名、および遅い者19名を選び、入学から卒業時までの約10ヶ月間にわたって、脚筋パワーおよび脚の力と速度について追跡測定を行い、次に示す結果が得られた。

1. ペダリング訓練によって、最大脚筋力では、増加または減少の著しい現象はなかった。
2. ペダリング訓練によって、最大脚筋パワーは顕著に増加した。また、A群とB群の分布領域の差は明確であり、その値はA群の方が大きかった。
3. 最大脚筋パワー発揮時の力はペダリング訓練によって増加しているが、そのときの速度は殆ど変わらなかった。したがって、最大脚筋パワーの増加は、パワー発揮時の力の増加により多く依存していた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、日本女子体育大学、山川純教授に、有意義な御指導をいただいた。また

本測定を行うにあたり、日本競輪学校 EMG 係はじめ諸先生方および生徒諸兄の御助力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引 用 文 献

- 1) Hill, A.V., "The heat of shortening and the dynamic constants of muscle" Proc. Roy. Soc. L.B, 126, p. 189 (136-195), 1938
- 2) 猪飼道夫・川初清典：荷重法による脚パワーの測定法とその応用。体育の科学22 (6), 413-418, 1972
- 3) 猪飼道夫・川初清典：陸上競技選手の脚パワーおよび力-速度関係。体育の科学22 (8), 535-540, 1972
- 4) 猪飼道夫・川初清典：ヒトの脚パワーと力・速度要因 (I) -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
- 5) 猪飼道夫・川初清典：ヒトの脚パワーと力・速度要因 (II) -力・スピード・パワーにおける個人特性について。体育学研究17 (1), 17-24, 1972
- 6) 猪飼道夫・金子公有他：日本体育協会スポーツ科学研究報告。日本体育協会1970
- 7) Ralston, H.J. et al., "Dynamic features of human isolated voluntary muscle in isometric and free contractions" J. Appl. Physiol., 1, 526-533, 1949
- 8) Wilkie, D.R., "The relation between force and velocity in human muscle" J. Physiol., 110, 249-280, 1950