

研究ノート

自転車エルゴメーターによる最大無酸素性パワーと体重や脚筋力等の関係及び設定負荷と脚筋力との関係

岡野亮介*1

キーワード：自転車エルゴメーター、最大無酸素性パワー、体重、脚筋力、設定負荷

I. 目的

自転車エルゴメーターによる短時間の全力駆動によって得られる最大無酸素性パワー測定時の負荷は、絶対値を至適とした研究¹⁾もあるが、従来体重当たりの相対値で設定されてきた場合が多い^{2~7)}。例えば Wingate anaerobic test では通常体重の 7.5%の負荷が設定される^{5~7)}。中村ら⁸⁾は 10 秒未満の全力駆動に対しては体重当たり約 12%の負荷が至適であるとした。筆者ら⁹⁾は 10 秒間の駆動時間で 1 回のみを試行である場合には体重当たり 10.0%の負荷を勧めた。Bar-Or⁶⁾は Wingate anaerobic test において成人のアスリートでは体重当たり 10.0%の負荷が至適であるとした。しかしながら、このように体重当たりの相対値の負荷で全力駆動した場合、負荷が重すぎてスムーズな駆動が見られない、あるいは 1 回転毎に駆動が停止する様な駆動動作が時々見られる。このことの原因の一つとして、体重当たりの相対値として設定された負荷がその個人の持つ脚筋力と比較して大きすぎたことが考えられよう。このことは負荷設定に対しては体重のみを考慮するというのではなくて、脚筋力も考慮に入れなければならないことを示唆しているものである。加えて、駆動時間 (Wingate anaerobic test では基本的には 30 秒間の駆動時間^{4,6,7)})、対象者の年齢^{5,10)}及び対象者がアスリートであるか非アスリートであるか⁹⁾、あるいはアスリートが行っている運動種目⁹⁾等についても負荷設定において考慮しなければならない問題であると思われる。

脚筋力やペダル踏力と最大無酸素性パワーとの間に

は有意な正の相関性があることが報告されてきている^{11,12)}。また、自転車エルゴメーターを用いたペダリングトレニングによって最大無酸素性パワーと脚筋力が共に向上することも報告されている¹³⁾。これらのことから総合的に勘案すれば、脚筋力を原点として無酸素性パワー測定時の負荷を体重当たりの相対値として設定することが非常に重要であると思われるが、これまで脚筋力の値を考慮して負荷設定が追究されたことはなかった。

本研究では、アスリートを対象として、3 種類の体重に対する相対負荷による 10 秒間の自転車エルゴメーター全力駆動から求めた最大無酸素性パワーと体重、除脂肪体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力との関連性並びに最大無酸素性パワーに対するそれぞれのパラメーターの相対的貢献度を追究し、さらに最大無酸素性パワーが発揮された時の負荷と年齢、体重、除脂肪体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力等の特徴を明らかにすることによって脚筋力より最大無酸素性パワーの負荷設定を行う可能性を検討することを目的とした。

II. 方法

A. 被検者

体重 80kg 以下で 12 歳~36 歳 (中学校 1 年生以上) の男子スポーツ選手 264 名が本研究に参加した (全員が県大会以上の競技会で入賞できる者あるいは国体出場候補選手であった)。体重を 80kg 以下に限定したのは自転車エルゴメーターの負荷が 10kp までにしか設定できないからである。

*1 至誠館大学 ライフデザイン学部

彼らのスポーツ種目は陸上競技 (短距離走・中長距離走・走幅跳・走高跳・棒高跳・砲丸投)、野球、ソフトボール、バレーボール、バスケットボール、サッカー、ハンドボール、硬式テニス、ソフトテニス、バドミントン、柔道、剣道、レスリング、相撲、銃剣道、水泳、ヨット、カヌー、自転車 (短距離走・長距離走)、ウェイトリフティング、スキーアルペン及びスキー複合であった。

B. 測定項目と測定方法

被検者は身長、体重及び体脂肪率 (皮下脂肪厚法による) の測定を受け、その後脚伸展筋力と脚屈曲筋力の測定を受けた (いずれも 70 度屈曲位で等尺性筋力を左右とも 2 度ずつ測定、竹井機器工業株式会社製多用筋力測定計を使用)。

脚筋力の測定後十分な休憩をとって、体重当たり 7.5%、10.0%及び 12.5%の負荷で 10 秒間の自転車エルゴメーターの全力駆動 (Monark 社製自転車エルゴメーター 828E 使用、負荷間の休憩時間は約 3 分間) を行った。この時フライホイール半回転毎の所要時間を 1000 分の 1 秒単位で連続的に計測し (パーソナルコンピューターと AD 変換機を使用)、それぞれを 1 分間当たりのペダル回転数に変換した。これを次式に代入しフライホイール半回転毎の平均パワーを連続して求めた。

$$P (\text{パワー}) = Lo \times R \times 6 \div 6.12 \times 14/52 \quad (\text{単位は } W)$$

Lo : 負荷

R : 1 分間当たりのペダル回転数

14/52 : ギヤ比

6 : ペダル 1 回転で移動する距離 (単位は m)

なお、それぞれの負荷のピークパワーの中の最大値を最大無酸素性パワーとした。本研究の測定場所は公益財団法人北陸体力科学研究所 (石川県小松市) であった。また、被検者には事前に本研究の意義を十分に説明し、全員から同意を得た上で測定を行った。

C. 統計解析

2 つの変量間の相関係数については Pearson の積率相関係数を用いた。2 つの比率の差についてはカイ二乗検定を行った。3 つの平均値の差については一元配置の分散分析を行い、F 値に有意な水準があれば多重比較検定 (等分散性の認められる場合は Tukey の HSD 法を使用し、認められない場合は Dunnett の T3 法を使用) を行った。重回帰分析において、各パラメーターにおける単相関係数と標準偏回帰係数の積の決定係数に対する割合を従属変数に対する相対的貢献度とした¹⁴⁾。いずれの場合も危険率 5%未満を持って有意とした。

III. 結果

被検者の身体的特徴を表 1 に示し、フライホイール半回転毎の連続した無酸素性パワーの推移の一例を図 1 と図 2 に示した。図 1 は律動的駆動ができた例で、図 2 は負荷が重すぎて律動的には駆動できなかった例である。後者は前者と比較してパワー間の振幅が大きくピークパワーに到達するまでが遅い傾向であった。最大無酸素性パワーと体重、除脂肪体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力との相関係数を表 2 に示した。いずれの相関係数も有意な水準 ($p < 0.01$) であった。年齢と体重の影響を取り除いた最大無酸素性パワーと脚伸展筋力との偏相関係数は $r = 0.352$ 、脚屈曲筋力との偏相関係数は $r = 0.361$ 、除脂肪体重との偏相関係数は $r = 0.438$ でいずれも有意な水準 ($p < 0.01$) であった。

最大無酸素性パワーが体重当たり 7.5%の負荷で発現した者は 62 名 (23.5%)、体重当たり 10.0%の負荷で発現した者は 181 名 (68.6%)、体重当たり 12.5%の負荷で発現した者は 21 名 (7.9%) であった。

7.5%の負荷が最大無酸素性パワーとなった者の値は $763.5 \pm 158.6W$ (平均値 \pm 標準偏差、以下同じ)、10.0%の負荷が最大無酸素性パワーとなった者の値は $930.1 \pm 143.8W$ 、12.5%の負荷が最大無酸素性パワーとなった者の値は $1037.9 \pm 173.2W$ で分散分析の結果

F=38.34 ($p<0.001$) で、多重比較検定を行った結果それぞれ三者の間には有意な差が認められた。同様に体重当たりの最大無酸素パワーは前記同順で $12.19 \pm 1.47\text{W/kg}$ 、 $14.47 \pm 1.38\text{W/kg}$ 及び $15.88 \pm 1.91\text{W/kg}$ で $F=75.47$ ($p<0.001$) であり、多重比較検定の結果それぞれ三者の間には有意な差が認められた。

最大無酸素性パワーの発現した負荷を基準とした年齢、体重、除脂肪体重、脚伸展筋力、脚屈曲筋力及び体重支持指数¹⁵⁾(脚伸展筋力/体重、以下WBI)の平均値±標準偏差と相互比較を表3に示した。各パラメータの分散分析の結果F値には有意な水準が認められ、多重比較検定を行った結果、年齢は体重の7.5%の負荷時に最大無酸素性パワーが発現した者(以下7.5%最大値者)が体重の10.0%の負荷時に最大無酸素性パワーが発現した者(以下10.0%最大値者)及び体重の12.5%の負荷時に最大無酸素性パワーが発現した者(以下12.5%最大値者)より有意に若かった。

同じ手順で、体重はF値に有意な水準はなかった。一方、除脂肪体重は多重比較検定の結果、10.0%最大値者及び12.5%最大値者の方がいずれも7.5%最大値者より有意に重かった。

脚伸展筋力及び脚屈曲筋力とも多重比較検定の結果、

10.0%最大値者及び12.5%最大値者の方がいずれも7.5%最大値者より有意に高かった。同様に、WBIも多重比較検定の結果10.0%最大値者及び12.5%最大値者の方がいずれも7.5%最大値者より有意に高かった。

また、有意差の認められた各パラメータについて、平均値を基準として±1標準偏差の範囲(集団の約68%を含むことになる)を表4に示した。いずれのパラメータにおいても各負荷間に跨って範囲に重複する部分があることが認められた。

年齢、体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力を独立変数とし最大無酸素性パワーを従属変数とした場合の重回帰分析を行った結果を表5に示した。重相関係数は有意であり、最大無酸素性パワーに対する相対的貢献度は体重が最も高かった。これらの独立変数群に除脂肪体重を挿入すると体重と除脂肪体重との間の相関係数が非常に高く($r=0.939$)多重共線性が認められたため、年齢、除脂肪体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力を独立変数とし最大無酸素性パワーを従属変数とした場合の重回帰分析を行った結果を表6に示した。重相関係数は有意であり、最大無酸素性パワーに対する相対的貢献度は除脂肪体重が最も高く、表5に示される体重の相対的貢献度よりもやや高い値であった。

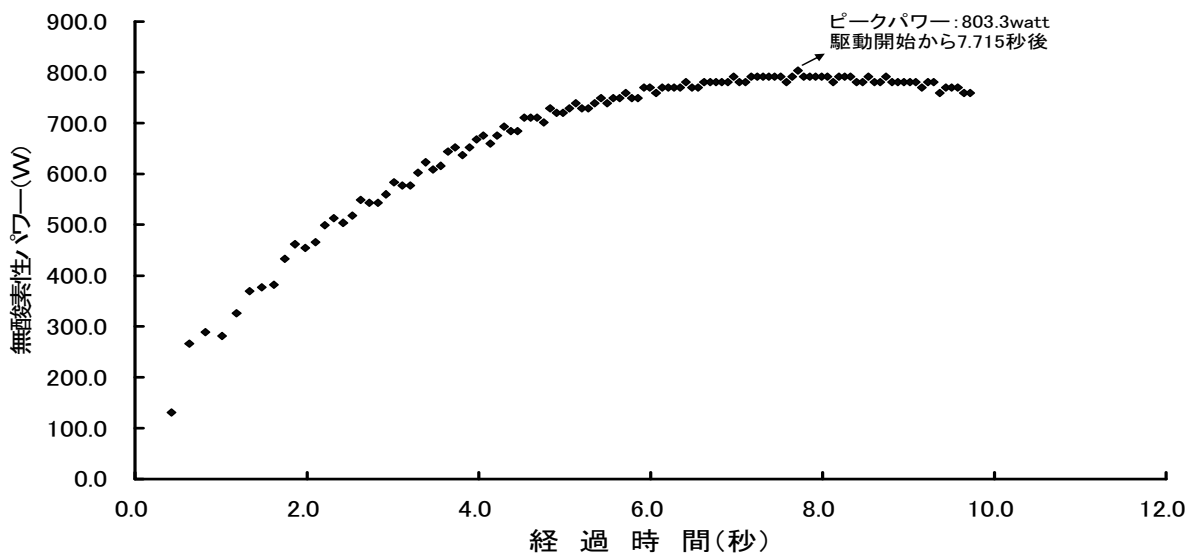


図1 1被検者の無酸素性パワーのフライホイール半回転毎の推移(律動的駆動ができた例)

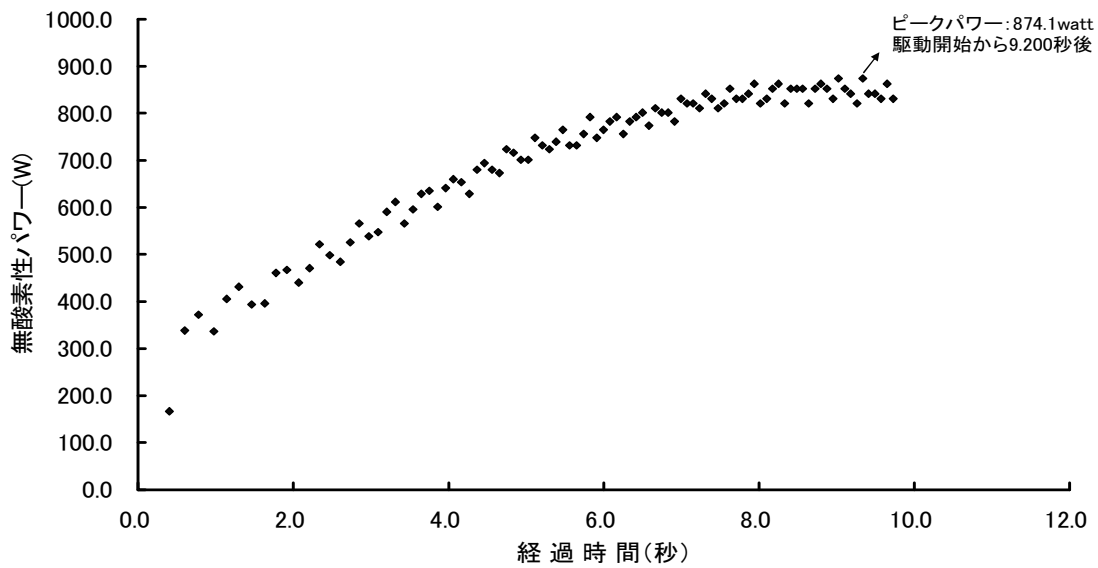


図2 1 被検者の無酸素性パワーのフライホイール半回転毎の推移（律動的駆動ができなかった例）

表1 被検者の身体的特徴

項目	平均値	標準偏差
年齢(歳)	18.2	4.6
身長(cm)	171.0	6.5
体重(kg)	64.0	8.5
体脂肪率(%)	13.5	3.6
除脂肪体重(kg)	55.3	6.9
脚伸展筋力平均(kg)	76.7	16.2
脚屈曲筋力平均(kg)	38.8	7.3
体重支持指数平均(kg/kg)	1.202	0.217
最大無酸素性パワー(W)	899.8	169.5
無酸素性パワー(負荷:7.5%)(W)	818.1	133
無酸素性パワー(負荷:10.0%)(W)	873.6	188.1
無酸素性パワー(負荷:12.5%)(W)	700.9	231.9

表2 最大無酸素性パワーと各
パラメーターとの相関係数

項目	相関係数	有意水準
体重	0.723	**
除脂肪体重	0.789	**
脚伸展筋力	0.587	**
脚屈曲筋力	0.584	**

** : p<0.01

表3 最大無酸素性パワーの発現した負荷を基準とした各パラメータの相互比較

項目 \ 負荷	7.5%	10.0%	12.5%	F値
年齢(歳)	16.1±3.1	18.7±4.8	19.5±3.8	8.937 ***
体重(kg)	62.6±10.2	64.3±8.0	65.4±7.1	1.266 ns
除脂肪体重(kg)	52.8±7.6	56.0±6.5	57.1±6.9	5.806 **
脚伸展筋力(kg)	69.9±16.2	78.3±15.5	82.7±16.3	8.356 ***
脚屈曲筋力(kg)	34.9±6.6	39.8±7.0	41.8±7.5	13.343 ***
体重支持指数(kg/kg)	1.124±0.231	1.220±0.199	1.276±0.272	6.073 **

ns : not significant *p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

表4 各パラメーターの平均値を基準とした±1標準偏差の範囲

負荷	年齢(歳)	除脂肪体重(kg)	脚伸展筋力(kg)	脚屈曲筋力(kg)	体重支持指数(kg/kg)
7.5%	12.6～19.6	45.2～60.4	53.7～86.1	28.0～41.2	0.893～1.355
10.0%	13.9～23.5	49.5～62.5	62.8～93.8	32.8～46.8	1.021～1.419
12.5%	15.7～23.3	50.2～64.0	66.4～99.0	34.3～49.3	1.004～1.548

表5 年齢、体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力の最大無酸素性パワーに対する相対的貢献度

重相関係数		0.779 ***			
	年齢	体重	脚伸展筋力	脚屈曲筋力	
標準偏回帰係数	0.1068	0.4962	0.1636	0.1821	
相関係数	0.432	0.723	0.587	0.584	
貢献量	0.046	0.359	0.096	0.106	
相対的貢献度(%)	7.6	59.1	15.8	17.5	

***: p<0.001

表6 年齢、除脂肪体重、脚伸展筋力及び脚屈曲筋力の最大無酸素性パワーに対する相対的貢献度

重相関係数		0.812 ***			
	年齢	除脂肪体重	脚伸展筋力	脚屈曲筋力	
標準偏回帰係数	0.0225	0.6310	0.1362	0.1246	
相関係数	0.432	0.789	0.587	0.584	
貢献量	0.01	0.498	0.08	0.073	
相対的貢献度(%)	1.5	75.4	12.1	11.0	

***: p<0.001

IV. 考察

自転車エルゴメーターの全力駆動によって求められる無酸素性パワーは多くの要因によって影響を受ける。例えば性¹⁰⁾、年齢^{5,10)}、体重¹⁶⁾、除脂肪体重¹⁶⁾、脚筋力¹⁶⁾、運動歴⁶⁾、運動種目^{6,17)}及び自転車エルゴメーター上の座位姿勢¹⁸⁾等である。当然のことながら自転車競技を行っているアスリートでは非常に高い値が得られ¹⁷⁾、駆動も非常にリズムカルで他の多くの競技選手のように横揺れすることもない。また、より高いパワーが得られる時は駆動開始から数秒間のピークに達するまでの駆動状態が非常に重要で¹⁹⁾、脚筋力や踏力に見合う負荷であれば、リズムカルな駆動が開始され、慣性を受けてその後の加速も大きく、駆動開始から速い段階でピークとなり、そのピークパワーも高い値になるであろう。しかしながら、この脚筋力や踏力に見合うと推定される負荷が通常体重当たりの相対値で決定されてきた場合がほとんどで、決定に当たって脚筋力が考慮されることはなかった。

本研究結果では、従来からの報告¹⁶⁾と同様に最大無酸素性パワーと体重及び脚筋力との間には有意な相関係数が認められた。さらにより高い値で除脂肪体重との間にも有意な相関係数が認められた。このことは体重以上に特に大腿四頭筋やハムストリングスの筋量が最大無酸素性パワーの発揮と密接に関与していることを示唆するものである。また、これらのことより年齢と体重の影響を除去した場合の最大無酸素性パワーと脚伸展筋力及び脚屈曲筋力との間に有意な偏相関係数が認められたものと思われる。

一方、最大無酸素性パワーに対する相対的貢献度は、脚筋力よりも体重あるいは除脂肪体重の方がはるかに大きいことが理解された。前者と合わせて推測すれば、これらのことは、自転車エルゴメーター駆動開始時のスムーズな動きについては大きな脚筋力が重要であるが、その後の駆動におけるペダルの加速状態やペダリング運動の慣性に及ぼす影響については体重あるいは筋肉量の大きさの方が脚筋力より大きく影響すること

を示唆しているのであろう。従って言い換えれば、より高い最大無酸素性パワーが発揮されるのはスムーズな初期駆動動作をもたらす高い脚筋力と、その後のペダリングにより大きな慣性をもたらす体重および除脂肪体重の大きさであると言えよう。

また、本研究の対象者の約70%で体重当たり10.0%の負荷の時最大無酸素性パワーが得られ、唯一度の測定で最大無酸素性パワーを得る必要がある時の負荷が体重当たり10.0%で妥当であること⁹⁾が再認識された。体重当たり7.5%の負荷、10.0%の負荷及び12.5%の負荷で最大無酸素性パワーが発現した対象者の各パラメーターを比較した時、体重については三者間に有意な差はなかった。一方、年齢は12.5%最大値者と10.0%最大値者の方が7.5%最大値者より有意に高かった。脚伸展筋力、脚屈曲筋力、WBI及び除脂肪体重も12.5%最大値者と10.0%最大値者の方が7.5%最大値者より有意に大きい値であった。これらに対し、12.5%最大値者と10.0%最大値者のいずれのパラメーターにおいても12.5%最大値者の値の方が10.0%最大値者よりやや高い値であったが有意な差ではなかった。

最大無酸素性パワーの値は絶対値及び体重当たりの相対値とも、体重当たりの相対負荷が高くなるほど有意に高い値であったが、除脂肪体重に基づく筋量の差や筋力の差が大きく影響を及ぼしていることが考えられた。

これらのことから総合的に勘案すれば、最大無酸素性パワーを求める時の設定負荷は、年齢、除脂肪体重、脚伸展筋力、脚屈曲筋力及びWBIによって変える必要があると思われた。すなわち体重では三者間に差はなかったが体重の7.5%の負荷と体重の10.0%の負荷及び12.5%との間でそれぞれ脚伸展筋力では差が認められたことから、同様に差が認められたWBIと年齢を基準にして設定負荷が出来る可能性があると思われた。しかしながら平均値と標準偏差から求めた各負荷における各パラメーターの範囲で重複する部分が認められることより、本研究結果から具体的な負荷設定のための

数値条件を現状では示すことは未だ出来ない。さらに体重の 10.0%の負荷と 12.5%の負荷の間ではそれぞれのパラメーターの間に有意な差は認められなかったことからサンプル数を増やしてさらに追究する必要があると思われた。

V. 要約

体重 80kg 以下で 12 歳~36 歳の男子スポーツ選手 264 名を対象として身長、体重、体脂肪率、除脂肪体重、脚伸展筋力、脚屈曲筋力及び自転車エルゴメーターによる無酸素性パワーの測定を行った。無酸素性パワー測定時の負荷は体重の 7.5%、10.0%及び 12.5%の 3 種類であった。最大無酸素性パワーと体重、除脂肪体重及び各脚筋力との間には有意な相関係数が認められた。また、年齢と体重の影響を除いた最大無酸素性パワーと各脚筋力の間にも有意な偏相関係数が認められた。また、最大無酸素性パワーに対する相対的貢献度は脚筋力よりも体重や除脂肪体重の方が大きく、前者がペダルの最初の駆動のスムーズさに貢献するならば、後者はその後の駆動の加速状態に非常に大きく貢献していると思われた。各負荷別による年齢、体重、除脂肪体重、脚伸展筋力、脚屈曲筋力及び WBI を相互に比較した時、体重では差は認められなかったが、その他のパラメーターは 7.5%最大者より 10.0%最大者及び 12.5%最大者の方が有意に高い値であった。これらことから WBI と年齢を基準にして最大無酸素性パワーの設定負荷が出来る可能性があると思われた。

参考文献

- 1)Katch,V., Welten,A., Martin,R., & Gray,L.; Optimal test characteristics for maximal anerobic work on bicycle ergometer. Res. Quart.,48(2):319-327, 1977
- 2)Patton,J.F., Murphy,M.M.,& Frederic.F.A.; Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. Int. J. Sports Med.,6:82-85, 1985
- 3)Maud,P.J.,& Shultz,B.B.; Norms for the Wingate aerobic test with comparison to similar test. Res. Quart.60(2):144-151, 1989
- 4)Bar-Or,O.,Dotan,R.,Inbar,O.,Rothstein,A.,Karlsson,J.,& Tesch,P.; Anaerobic capacity and muscle fiber distribution in man. Int.J.Sports Medicine 1:82-85, 1980
- 5)Dotan, R., & Bar-Or, O.; Load optimalization for the Wingate anaerobic test. Eur. J. Appl. Physiol. 51:409-417, 1983
- 6)Bar-Or.; The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. Sports Medicine 4:381-394, 1987
- 7)日比端洋; Anaerobics の能力をとらえる J.J.SPORTS SCI.,13(5):567-573, 1994
- 8)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方法, J.J.SPORTS SCI., 3(10):834-839, 1984
- 9)Okano, R., Naka, S., Urusihara, M., Usui, S.,Katsuki, K.,& Katsuki. M. ; Comparison of anaerobic power outputs measured by maximal pedaling of a bicycle ergometer against different loads and the estimated maximal anerobic power outputs. Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.45(5):545, 1996
- 10)生田香明, 猪飼道夫; 自転車エルゴメーターによる Maximal Anaerobic Power の発達の研究, 体育学研究, 17(3):151-157, 1972
- 11)Manning, J.M., Manning, C.D., & Perin, D.H.; Factor analysis of various anaerobic power test. J.Sports Medicine and Pysical Fitness, 28:138-144, 1988
- 12)田中重陽, 角田直也; 自転車エルゴメーターによる無酸素パワーとペダル踏力の測定法, The Annual Reports of Health, Physical Education and Sports Science 27:57-61, 2008
- 13)市橋則明, 池添冬芽, 大畑光司, 岡英世, 三浦元, 才藤栄一; 自転車エルゴメーターによる高負荷短時間のペダリングトレーニングが下肢筋に与える影響, 理学療法学, 31(6):369-374, 2004

- 14)野村照夫, 松浦義行; 水泳パフォーマンスに関与する能力の抽出とその相対的貢献度, 体育学研究, 31:293-303, 1987
- 15)山本利春, 村永信吾; 下肢筋力が簡便に推定可能な立ち上がり能力の評価, Sportsmedicine, (41):38-40, 2002
- 16)深代泰子, 芝山秀太郎; エネルギー産生機構に基づく体力測定 - 有酸素性作業能力, 無酸素性作業能力, 脚筋力テストの検討 -, 鹿屋体育大学研究紀要, 1:41-52, 1986
- 17)中村好男; アネロビックパワーからみたスポーツ選手の体力, J.J.SPORTS SCI., 6(11):697-702, 1987
- 18)木越清信, 尾縣貢, 田内健二, 高本恵美, 大山卞圭悟; 短時間の全力自転車ペダリング運動における座位姿勢の相違が筋活動および最大パワーに及ぼす影響, 体力科学, 52:167-178, 2003
- 19)中村好男; 自転車エルゴメーターによる最大パワー評価の問題点, 早稲田大学人間科学研究, 1(1):105-113, 1988