

踏台昇降運動のエネルギー効率について

大永政人*・末永政治**・江籠忠好***

A Study on the Energy Efficiency of Stepping

Masato OONAGA, Masaharu SUENAGA and
Tadayoshi Ego

はじめに

身体運動によって行なわれた仕事量を熱量をもって表現することは可能なはずであるが、走る運動のような簡単な運動であっても、その理論的仕事量を計算することは困難なことである。それは走る速さ、距離、体重、一步毎に作用する重力などの要因が複雑にからみ合っているからである。したがって普通には、例えば自転車作業計を身体で操作して、その操作に要したエネルギー量を作業計の仕事量に置き換えて表わす方法が使用されている。

ダグラスバッグ法を用いて運動に必要であったエネルギー量を酸素需要量として実測することは、現在広く行なわれている方法である。そしてこの実測はあらゆる運動について可能である。今、ある運動の理論的仕事量が計算できれば、その運動の実測エネルギー需要量をもって、ある人のその運動実施のためのエネルギー効率が計算できる。

このようにして計算された効率は、その人の筋力とか呼吸循環の能力などの体力や運動の様式やその人の運動のくせなどに一定の関係がないだろうか。もし関係があるとすれば、効率を知ることによって体力や運動様式などの評価を行なうことも可能であると思われる。

体力評価の尺度として効率を用いようとするれば、効率はなるべく正確な、しかも一定の運動様式によって行なわれる運動によって計算されなければならない。この意味で自転車作業計は足でペダルを踏む作業で、体重はサドルによって十分に支えられるのであるから、ペダルを踏むという一定の運動が行なわれ、体重や身長の影響も加わらないものであるから、この効率を用いれば体力などの評価に役立つものであると思われる。しかしこの場合、脚力だけの運動であるから、この運動によって筋力や循環系の評価がどの程度に可能であるかは問題点であろう。

踏台昇降運動は一定の高さの台に昇り降りする単純な運動であるが、台の高さが高くなるほど運動量も仕事量も大となり、昇降動作に参加する筋の種類も量も自転車作業計に比べると大きいものであると考えられる。この意味で、もし踏台昇降運動のエネルギー効率を求めることができれば、体力などの評価尺度として自転車作業計に劣らない利用度をもつものと思われる。

* 鹿児島大学教育学部, Faculty of Education of Kagoshima University

** 鹿児島大学教養部, The College of Liberal Arts Kagoshima University

*** 鹿児島純心学園, The Junior College Kagoshima Junshin

効率計算の手続き

1. 踏台昇降運動の理論的仕事量

踏台昇降運動の理論的仕事量を計算によって求めようとすれば、踏台への昇り動作と降り動作とを区別して考えねばならない。昇り動作は体重を台上まで引きあげる動作であり、重力に抗して行なわれる。したがってこの場合の仕事量は mgh として計算される。 m は体重、 g は重力、 h は台の高さである。

降り動作は、片脚で体重を支えながら他の脚は床上に落ちる動作であって、重力の落下速度よりは遅いはずである。もし落下速度と同じであれば、台上の脚は体重を支える役をしないのであるから、体重は自然に落下することになって仕事量は0であるが、この場合でさえ、床上に落ちる方の脚は体重を瞬間的に受け止め、台上にあった足が床上に揃うまで体重を支えることになり、そのときの荷重は体重よりも大であると思われる。したがって理論の仕事量から考えれば、重力の方向へ体重が移動するのであるから0に近いのであるが、筋肉の働きとして考えるとエネルギーを消費している運動であって、たとえ台上から床上へ飛び降りたとしても物理的には仕事はしていないにもかかわらず床上に体重を支えるという意味でエネルギー消費は行なわれる。台上から降りの動作における理論の仕事量は計算できないが、階段を昇る場合のエネルギー消費量と階段を降る場合のエネルギー消費量を実測して、この両者の比をもって降り動作の仕事量を仮定することは可能であると思われる。即ちその比を $10:x$ とすれば降り動作の仕事量を $\frac{10}{x}mgh$ として近似的に表わすことができる。このようにすれば1回の踏台昇降の仕事量は $mgh\left(1+\frac{10}{x}\right)$ である。

2. 実験方法

この x の値を求めるために、学部四階建て研究棟の階段を用いて昇りと降りの酸素消費量を測定した。階段の蹴上げの高さが約18 cm であるのでこれを2段ずつ昇ると約36 cm となって、いくらか勾配が小さくなるが踏台高40 cm に近い条件を満足するのでこの方法をとった。降りも同様に2段ずつ降り、踏台昇降と同じく後ろ降りの方法をとった。

昇りおよび降りの速度はハーバードステップテストに準じて1秒2拍のメトロノーム音をテープレコーダーにとってあわせ、1歩毎に足を揃えるようにした。こうして昇り降りとも約50秒を要した。

また昇り動作と降り動作に働く脚筋（大腿直筋、半腱様筋、前脛骨筋、腓腹筋）の運動の割合を知るために、筋電図の積分値を用いて昇り動作と降り動作とに分けて比較した。またテレメーターによる心電図から階段および坂道の昇りに増加した心拍数と降りに増加した心拍数とを比較した。

3. 実験結果

次の表で1分間のステップ運動後に階段を昇降したのは、踏台昇降運動をテストとして用いる場合は少なくとも3分間は行なうことが必要とされるので、この運動の途中では呼吸循環機能がある

第 1 表 階段昇降の酸素消費量の割合

被 験 者	昇 降	換 気 量		酸素消費量 (l)	比 率
		運動 (50秒) (l)	休息 (5分) (l)		
女 子 高 校 生 徒	昇 降	18.4±2.3	69.1± 3.9	1.26±0.39	24.2
		18.1±1.0	43.1± 3.4	0.52±0.21	10.0
女 子 高 校 生 徒 (1分間ステップ運動後)	昇 降	37.7±2.7	97.5±17.5	2.03±0.33	15.8
		33.7±6.1	54.8± 9.9	1.32±0.37	10.0
男 子 大 学 生	昇 降	26.2±3.9	91.5± 9.3	2.46±0.54	17.8
		27.4±5.5	61.2±10.3	1.38±0.62	10.0

第 2 表 踏台昇降運動における脚筋の筋電積分値

(1mv, 時定数 0.5 sec)

脚 筋	区 分	昇 り		降 り	
		引上脚(mm)	蹴脚 (mm)	着地脚(mm)	支持脚(mm)
半 大 腓 前 腿 腹 脛 様 直 筋 筋 筋 筋		3	3	4	2
		13	10	9	5
		4	19	8	3
		7	4	11	10

程度亢進した状態になっていると思われる。その状態をとらえようとしたものである。

運動中の換気量は昇降ともに大差がなく、休息中には大きな差が見られる。昇りの方が酸素負債が大きいことを意味する。女子高校生における比率の平均値は約 20 : 10 で、男子大学生では約 18 : 10 であった。

踏台昇降運動の場合に働くと思われる代表的な脚筋について筋電図をとり、その放電量を積分した曲線の山の頂点と基線との距離は筋の働きの強さを表わすものと考えられるので、これを mm で測り、昇りの引上脚・蹴脚および降りの着地脚・支持脚に分けて整理してみると第 2 表のようになった。大腿直筋と腓腹筋は昇り動作で働きが大きく、降り動作でも体重を床上に着地させる時に、これを受け止める筋として働きが大きいものと思われる。前脛骨筋の働きは筋電積分値としては降りの場合の働きが大きいと思われるが、筋電図では足関節の背屈時の放電が大きく、次いで直立時の放電が大きい。したがって踏台昇降運動の主働筋の一つではあると思われるが、エネルギー消費という意味で考えると、他の三つの筋と同質の運動と考えることができるかどうかは疑問がある。ともかく四つの筋電積分値の合計は昇りの方が大きく 12 : 10 となる。前脛骨筋を除いた他の三つの筋では、16.7 : 10 となって昇りの方が著明に大きい。

階段や坂道を昇り降りする場合の脈拍数の変化をテレメーター心電図から計算した表であるが、脈拍数からみても昇りの場合の増加が著明である。降りは平地歩行と大体同じであるが、階段降りの場合は、降り初め 10 秒と 50 秒後とでは差がみられなかった。

以上三つの実験結果を総合し、踏台昇降の理論的な仕事量の式の中の $10 : x$ の x の値を約 19 と推定した。この式によって計算した踏台昇降運動の仕事量とエネルギー需要量の実測値との比を計算

第3表 階段昇りおよび降り，坂道昇りおよび降りの心拍数

動作		時間	出発前 (x/min)	10秒後 (x/min)	30秒後 (x/min)	50秒後 (x/min)	脈拍増加比	例数
階 段	昇 降	り	103	115	145	160	37:10	5
		り	104	120	120	120		
坂 道 (勾配 15°)	昇 降	り	94	115	152	168	30:10	6
		り	96	109	118	121		
平 地			99	106	116	118		6

注) 歩行速度 120 歩/分

第4表 中学生男子，高校生女子，大学生男子の跳台昇降運動におけるエネルギー効率の例（平均値と標準偏差）

被 験 者	人 員	運動時間3分 効率(%)SD	人 員	運動時間5分 効率(%)SD
中 学 生 男 子	9	33.8±4.2	5	34.4±5.3
高 校 生 女 子	31	37.6±3.6	5	35.3±5.9
大 学 生 男 子	—	—	6	24.4±1.8

すると，これが踏台昇降運動の効率である。

第4表のように効率の平均値を出してみると，大学生男子は20から30までのものが多く，中学生男子および高校生女子では30から40までのものが多い。また運動時間3分と5分とでは大きな差は認められなかった。

考 察

運動のエネルギー効率をもって体力や運動様式の特徴などを分析することは可能なことであり，むしろ望ましい方法であると思われるが，理論的仕事量の計算が明確で信頼度の高いものでない限り，それに基礎をおいた効率は評価尺度としての価値が低いといわざるを得ない。このことから効率計算の基礎に自転車作業計を使用することは最も賢明な方法であると思うのであるが，脚筋だけの運動によって行なわれるので，ペダル回転速度と車輪抵抗を増したとしても脚筋疲労が大きく，呼吸循環系の変化を正しく反映するかどうかは疑わしいと思われる。このような欠点を補なう意味で踏台昇降運動を用いようと考えた。

序論で述べたように，踏台昇降運動は自転車作業計よりも身長や体重などの全身的な要素を多く含んでいる。また文部省の体力診断テストにも持久性検査として用いられている。即ち自転車作業計よりも一般化されている。それだけに，正確な理論の仕事量が計算できれば効率の利用価値は大きいと思われる。第1表から第3表において実験的に台上から降りる場合の理論の仕事量を $\frac{10}{19} mgh$ と推定したが，これによって計算した効率が中学生男子と高校生女子において高く，大学生男子において低い値を示したことは，体重との関係を意味するものと思われるので，身長，体重，体表面積などと効率との相関値を求めてみた。

第5表 身長・体重・体表面積と踏台昇降運動効率との相関値

項目 学校	運動3分における効率			運動5分における効率		
	身長	体重	体表面積	身長	体重	体表面積
中学生男子	r=0.004	r=0.281	r=6.068	r=-0.113	r=-0.02	r=0.029
高校生女子	r=0.254	r=0.353	—	r=-0.068	r=-0.716	r=-0.611
大学生男子	—	—	—	r=-0.516	r=-0.262	r=-0.265

この表をみると身長よりも体重との相関値が大きく、運動時間が3分の場合は正の相関で体重が大である者の効率がよいことを示し、運動時間5分の場合には負の相関で体重が大であると効率が低くなることを示している。

この表でみる限りでは、踏台昇降運動の効率と体格との関係を決定的に結論することは困難であるが、この運動をテストとして用いる場合には身長の大小よりも体重の大小がテストの成績に影響し易いことを考慮する必要があることは事実であろうと思われる。そしてまたこの運動時間を3分にするか5分にするかということも踏台の高さとの関係で十分に考慮すべき問題を含んでいることも指摘できると思われる。踏台昇降運動のエネルギー効率を用いて体力や運動様式などの評価が可能であることは第5表から充分予想できるのであるが、効率計算の基礎に用いた $mgh \left(1 + \frac{10}{19}\right)$ なる式にも、もっと検討を加える必要があると思われる。

む す び

踏台昇降運動を用いて、1回の昇降運動の理論的仕事量を $mgh \left(1 + \frac{10}{19}\right)$ と推定して踏台昇降運動における酸素需要量の実測値との割合から効率を計算し、この効率をもって体格、体力、運動様式などの特徴を分析しようと試みたが、体格との相関値からは、まだ満足できる結果を得なかった。しかし身長よりも体重と運動のエネルギー効率との関係が大きいことは実証できたと思われる。更に体力や運動様式との関係、自転車作業計による効率との関係などを追究するつもりである。

参 考 文 献

- 1) 熊本水頼・高木公三郎・外六名：自転車作業計による負荷の相異と筋電図，エネルギー代謝量の変化。体育学研究，12，5，18，1968
- 2) 大島裕子・高木公三郎・外六名：カヤック漕法における筋電図の変化とエネルギー代謝量との関係について。体育学研究，12，5，19，1968
- 3) 山淵利文：「踏台昇降運動」の高さの変化によるエネルギー代謝（IV）。体育学研究，13，5，106，1969
- 4) 猪飼道夫・進藤宗洋：トレッドミルと自転車エルゴメーターによる最大酸素摂取量の研究。体育学研究，13，5，144，1969
- 5) 亀井貞次・宮下充正・星川保：歩および走における筋電図学的研究。体育学研究，13，5，172，1969
- 6) 松井秀治・宮下充正・三浦望慶・星川保：Positive work, Negative work に関する筋電図学的研究。第1報，体育学研究，14，39，1969

- 7) 水谷四郎・松井秀治・宮下充正・亀井貞次：Positive work, Negative work に関する筋電図学的研究. 第2報, 体育学研究, 14, 93, 1969
- 8) 末永政治・大永政人・江籠忠好：踏台昇降運動の筋電図学的研究. 第1報, 鹿児島大学体育科報告. 第7号, 鹿大教養部, 1971
- 9) 猪飼道夫・広田広一：スポーツ科学講座, 3, 運動の生理学, 大修館書店, 東京, 1966