

昭和59年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.IX 脚の伸展パワーに関する研究(第4報)

—重量負荷とジャンプの効率の関係について—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和59年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.IX 脚の伸展パワーに関する研究(第4報)

—重量負荷とジャンプの効率の関係について—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

金子 敬二 黒田 善雄 塚 越 克己
雨宮 輝也 伊藤 静夫 浅野 友理

I. 諸言

本研究第3報において、連続ジャンプの跳躍テンポと力学的効率の関係を検討した⁴⁾。その結果、跳躍テンポが毎分120回以上では力学的効率が平均約42%の高い値を示した。これは、着地した瞬間に身体の慣性のため脚筋がエクセントリック収縮を起し、この時落下のエネルギーが脚の筋や腱に弾性エネルギーとして蓄えられ、続く筋の短縮時に再利用されたためであると考えるのが一般的であろう。これと同じ現象は、ランニング³⁾や膝屈伸反復運動^{5),6)}においてもみられる。

連続ジャンプでは、着地期前半に蓄えられた脚の弾性エネルギーが、接地期後半に身体がなす正の仕事の約60%をも占めていた。つまり、非常に高い割合で弾性エネルギーの再利用がなされておりジャンプ中、脚はかなりバネの特性が強くなっていることが推察される。

したがって、連続ジャンプのように一種の振動運動を何回も続ける運動では、脚のバネの特性と運動者の身体質量から、運動者自体が一種のバネ質量系からなる振動モデルの特徴を持つのではないかと考えられる。バネ質量系モデルの振動は、バネの強さと質量の大きさから決まるその固有の振動を行う。したがって、連続ジャンプなどでは、運動者の持つ固有振動数と跳躍テンポなどとの関係が運動の効率を良し悪しに大きく影響するのではないかとと思われる。

本研究では同一テンポの連続ジャンプを対象に、

運動者の身体に重量を負荷し、人為的に体質量を変化させた時、連続ジャンプの効率がどのように変化するかを検討すると同時に、ジャンプ接地期の重心運動をバネ質量系モデルに近似し、体質量の変化により重心運動がどのように変化するか検討した。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、成人男子4名である。被験者の身体特性を表1に示した。年齢は19歳～34歳、身長は167.0cm～175.6cm、体重は57.6kg～70.5kgの範囲にあった。

表1 被験者の身体特性

被験者	年齢 歳	身長 (cm)	体重 (kg)
S.I.	34	167.0	57.6
I.K.	19	172.5	70.5
T.O.	20	175.6	70.2
T.Y.	19	171.4	63.9

2. 連続ジャンプ

1) 運動 図1は実験の概要を示したものである。

実験に用いた運動は、両足による連続ジャンプである。図に示したように、被験者には両手で腰部につけたウエイトベルトを持たせ、ベルトがジャンプの上下動で揺ないようにさせると同時に、上体を直立させた姿勢をとらせ、運動中になるべ

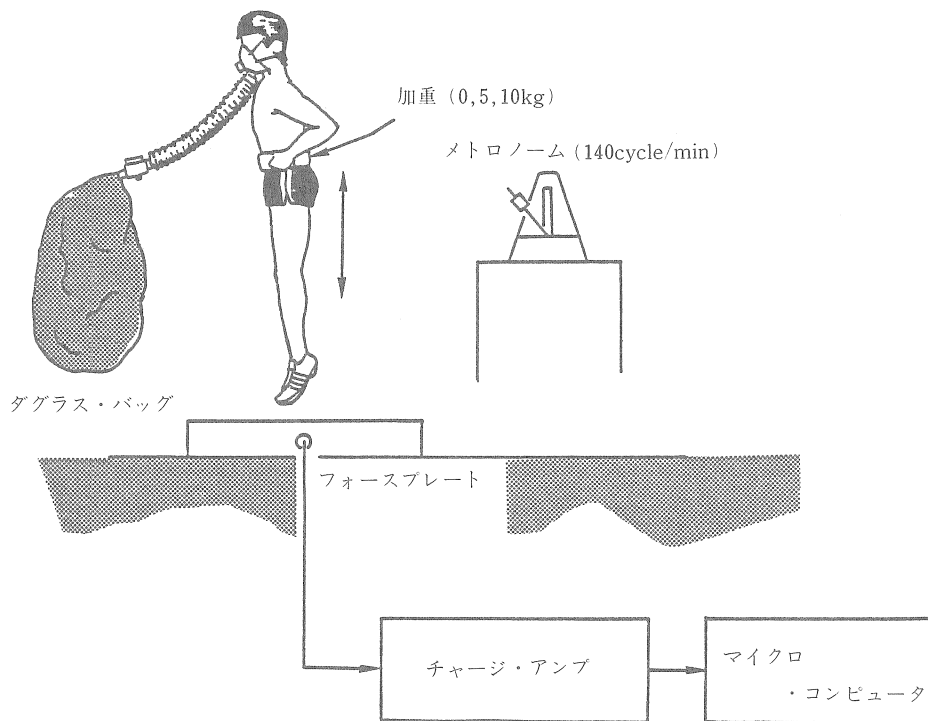


図1 実験の概要図

く両腕，上体の反動が入らないように指示した。跳び上がる高さは，被験者の任意とし，テンポに合わせ，最も跳びやすい高さを跳ばせた。

2) 跳躍テンポ 連続ジャンプのテンポは，毎分140回とし，テンポの設定にはメトロノームを用いた。

3) 運動時間 ジャンプ運動時間は5分間とした。

2. 重量負荷条件

被験者には，それぞれ体に重量負荷をしない無負荷条件，5kg負荷条件，10kg負荷条件の3条件について連続ジャンプを行わせた。

重量の負荷には，重さを1kg単位で調節可能な潜水用のウエイトベルトを用い，被験者の腰部に装置した。ウエイトベルトを装着する際，ジャンプの振動によりベルトが腰部において上下に揺れないようにするためにしっかりと締めると同時に両手で保持させた。

3. ジャンプ中の仕事量の算出

ジャンプ中の身体重心の上下動を算出するため

に，被験者には鉛直方向に感度を持つフォースプレート（キスラー社製9801A）上でジャンプを行わせた。図1に示したように，フォースプレートより検出された地面反力を，チャージ・アンプを通し増幅した後，マイクロコンピュータにて500分の1秒間隔でデジタル集録した。

さらに，記録された地面反力を，マイクロコンピュータにて積分処理することにより，身体重心の速度，変位を算出した。

図2は，ジャンプ中の身体重心変位の計測点を示したものである。フォースプレートに接地した瞬間の身体重心位置を基準のゼロにとり，そこから重心が最下点に至るまでの変位を S_{min} ，基準位置から足先がフォースプレートを離れるまでの変位を S_{fin} ，フォースプレートを離れた瞬間から重心が最高点に達するまでの変位を S_{flight} とし，それぞれの値を求めた。したがって，ジャンプ1回当たりの総重心鉛直変位 S は，

$$S = S_{min} + S_{fin} + S_{flight}$$

となる。ここで， S_{flight} は足先がフォースプレー

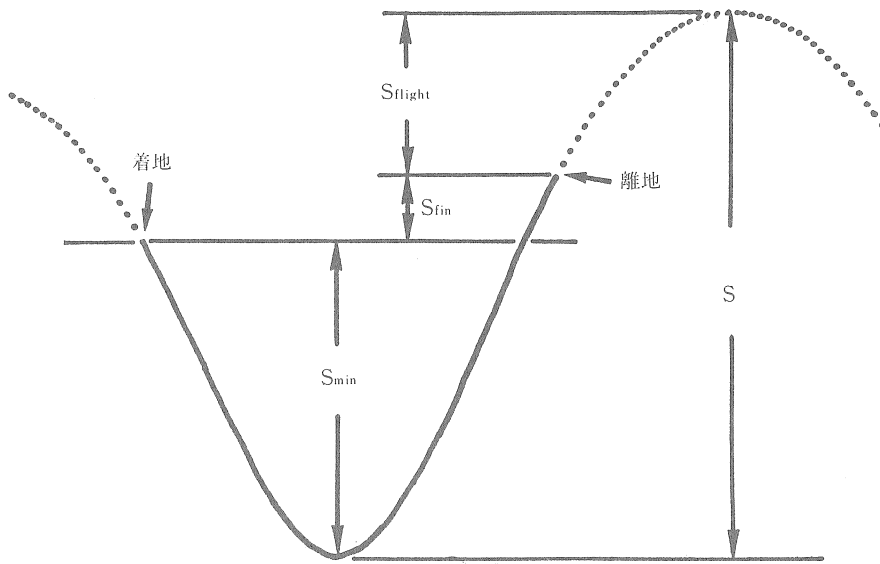


図2 ジャンプ中の重心変位とその計測点の説明図

- 実線：接地期
- 点線：空中期
- S_{min} ：着地から最下点に至るまでの重心鉛直変位
- S_{fin} ：離地時の重心鉛直変位
- S_{flight} ：空中期重心鉛直変位
- S ：総重心鉛直変位

トを離れる瞬間の重心の垂直速度 v から

$$S_{flight} = \frac{v^2}{2g} \quad g = \text{重力加速度}$$

と求めた。

重心変位は、1回1回のジャンプでかなりバラツキが大きいため、20~30回のジャンプの平均値を用いた。ジャンプ中に身体が行った仕事量 \dot{W} の算出には、この平均値を用い、1分間当りの値は以下のように計算した。

$$\dot{W} = mgS \times R$$

ここで、 m は身体質量、 R は連続ジャンプのテンポ(回/分)である。

なお、連続ジャンプのテンポ R は、地面反力の波形記録より1分毎にジャンプの回数をかぞえ、全運動時間5分の平均を求めた値である。

4. ジャンプ中のエネルギー需要量の算出

運動に先立ち、各被験者の安静時エネルギー消費量を算出した。測定は、15分以上の椅座位安静の後、5分間の酸素摂取量を求め、この値より単

位時間当りの安静時エネルギー消費量を算出した。

酸素摂取量は、ダグラスバック法により呼気を採集した後、呼気分析用質量分析機(ウエストロン社製)にて採集ガスの O_2 、 CO_2 、 N_2 濃度を分析し、算出した。

運動中のエネルギー消費量の変化は、安静時エネルギー消費量測定時と同様に、運動中の呼気を運動開始より連続採集し、酸素摂取量の変化を求め、この値より推定した。

さらに、運動終了後、ただちに椅座位にて20分間の酸素摂取量を測定し、回復期におけるエネルギー消費量を算出した。

安静時エネルギー消費量を E_{rest} 、ジャンプ中のエネルギー消費量を E_{jump} 、回復期のエネルギー消費量を E_{recov} とすると、ジャンプのためのエネルギー需要量 E_{tot} は、次のように求めた。

$$E_{tot}(5') = E_{jump}(5') + E_{recov}(20') - E_{rest}(25')$$

カッコ内の値は時間を表わしている。

運動中のエネルギー消費量のジュール(J)単位への換算は、酸素摂取量と呼吸商から沼尻⁸⁾の示した方法に従って行った。

5. 効率, 弾性エネルギー再利用率の推定

連続ジャンプでは、着地後重心は下降し、やがて最下点に達した後、再び上昇する。着地から最下点に至るまでの下降局面において、脚は落下のエネルギー吸収するためエネルギーを消費するが、この局面では身体重心の移動方向と力の作用方向が反対であるので、身体は負の仕事をしていることになる。Margariaは走の負の局面(negative phase)における力学的効率を-1.2, 正の局面(positive phase)における力学的効率を0.25としている⁷⁾。

本研究ではMargariaの効率値を用い計算を進めた。

正の仕事におけるエネルギー需要量を \dot{E}_p , 負の仕事におけるエネルギー需要量を \dot{E}_n とすると、

$$\dot{E}_n = -\dot{W} / -1.2$$

となり、したがって \dot{E}_p は、

$$\begin{aligned} \dot{E}_p &= \dot{E}_{TOT} - \dot{E}_n \\ &= \dot{E}_{TOT} - (-\dot{W} / -1.2) \end{aligned}$$

と求める。また、正の仕事における効率は、この \dot{E}_p を用い

$$\dot{W} / \dot{E}_p$$

と求めた。

正の仕事に再利用された弾性エネルギー量 \dot{W}_e の評価は、次式を用いて行なった

$$\dot{W}_e = \dot{W} - \dot{E}_p \times 0.25$$

6. 振動周期, バネ定数の算出

ジャンプ中の身体の運動を、重心と着地点間が一本のバネで結ばれたバネ-質量系のモデルに近似し、このモデルより着地中のバネ定数K, 振動の周期Tの評価をした。

バネ定数, 周期の評価は、図3に示したように、地面反力が体重と負荷重量をたし合わせた値と等しくなった時点の重心位置を読み取り、この2点間の時間経過を調べ、これを2分の1周期、すなわちT/2とした。バネ定数Kは、負荷重量も含めた身体質量Mと周期Tから、

$$K = \frac{4 \pi^2 M}{T^2} \quad \pi: \text{円周率}$$

と求めた。

III. 結果

1. 連続ジャンプにおける身体重心変位

表2は、連続ジャンプにおける重心変位の結果を示したものである。S, S_{min}, S_{fin}, S_{flight}とも重量負荷条件の違いにより、変化がみられる。また被験者の違いにより、各測定項目に値の差が観察される。

重量負荷の重心変位への影響をみるために、負荷条件ごとに4被験者の平均をとると、Sでは0kg負荷で平均0.145m, 5kg負荷で0.143m, 10kg

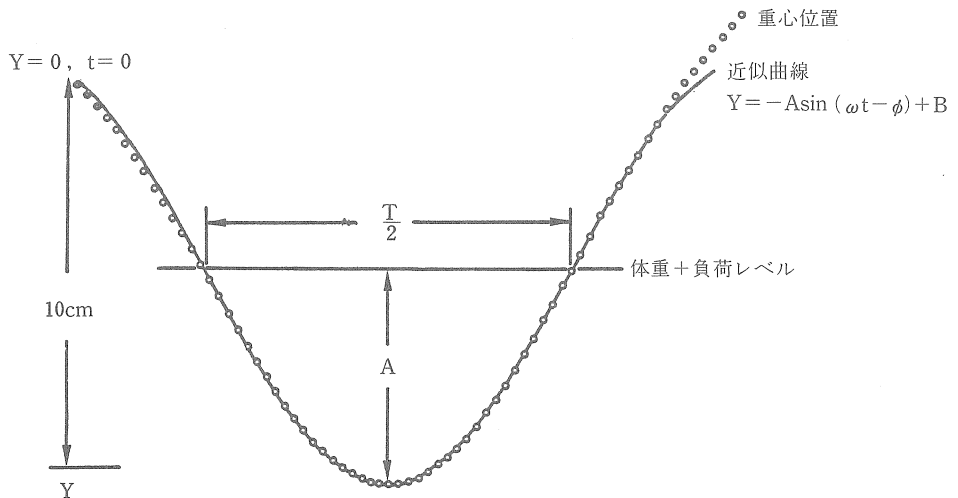


図3 接地中の重心変位とその近似曲線

負荷で0.133mであった。 S_{min} は、0kg負荷で平均0.101m、5kg負荷で平均0.100m、10kg負荷で平均0.106mであった。 S_{fin} では、0kg負荷で平均0.019m、5kg負荷で平均0.024m、10kg負荷で平均0.011mであり、 S_{flight} は、0kg負荷で平均0.026m、5kg負荷で平均0.019m、10kg負荷で平均0.016mであった。 S_{min} は負荷が増大しても重心変位の減少は観察されず、10kg負荷ではむしろ増大していたが、その他の項目では、10kg負荷時において0kg、5kg負荷時に比べ重心変位の減少が観察された。

また、被験者個々に重心変位をみると、 S は、被験者S.I.で0~10kg負荷における重心変位平均で0.149m、I.K.で0.145m、T.O.で0.130m、T.Y.

表2 ジャンプ中の重心変位

被験者	負荷 kg	S m	S_{min} m	S_{fin} m	S_{flight} m
S.I.	0	0.157	0.101	0.008	0.048
	5	0.148	0.103	0.018	0.027
	10	0.143	0.110	0.003	0.030
I.K.	0	0.156	0.100	0.023	0.033
	5	0.145	0.103	0.019	0.023
	10	0.133	0.110	0.007	0.016
T.O.	0	0.128	0.101	0.019	0.008
	5	0.135	0.089	0.037	0.009
	10	0.126	0.101	0.018	0.007
T.Y.	0	0.140	0.100	0.026	0.014
	5	0.142	0.104	0.023	0.015
	10	0.128	0.102	0.016	0.010

で0.137mであった。全被験者平均では0.140mであった。また S_{min} では、S.I.で平均0.105m、I.K.で平均0.104m、T.O.で平均0.097m、T.Y.で平均0.102mであり、全被験者平均では0.102mであった。 S_{fin} はS.I.で平均0.010m、I.K.で平均0.016m、T.O.で平均0.025m、T.Y.で平均0.022mで、全被験者平均では0.018mであった。 S_{flight} は、S.I.で平均0.035m、I.K.で平均0.024m、T.O.で平均0.008m、T.Y.で平均0.013mで、全被験者平均で0.013mであった。

総重心鉛直位 S の内訳は、 S_{min} が最も大きく、その73%を占めており、 S_{fin} が14%、 S_{flight} が13%であった。

2. 重量負荷と連続ジャンプの力学的効率の関係

表3に連続ジャンプにおける力学的仕事 \dot{W} 、エネルギー需要量 \dot{E}_{TOT} 、正の仕事におけるエネルギー需要量 \dot{E}_p 、力学的効率 \dot{W}/\dot{E}_{TOT} 、正の仕事における効率 \dot{W}/\dot{E}_p 、正の仕事における弾性エネルギーの再利用率 \dot{W}_e/\dot{W} を示した。

図4には、重量負荷と力学的効率 \dot{W}/\dot{E}_{TOT} の関係をグラフに示した。グラフの横軸は負荷重量の体重に対する割合が分かるようにパーセント単位で示した。

これらの結果からわかるように、負荷重量が増大しても、 \dot{W}/\dot{E}_{TOT} は変化せず、ほぼ一定の値を示した。 \dot{W}/\dot{E}_{TOT} は36.5~51.5%の範囲にあり、平均で44.0%であった。

表3 力学的仕事、エネルギー消費量、効率、弾性エネルギー再利用率

被験者	負荷 kg	テンポ cyc./min	\dot{W} KJ/min	\dot{E}_{TOT} KJ/min	\dot{E}_p KJ/min	\dot{W}/\dot{E}_{TOT} %	\dot{W}/\dot{E}_p %	\dot{W}_e/\dot{W} %
S.I.	0	139.7	12.657	24.586	14.039	51.5	90.2	72.3
	5	140.8	13.094	26.926	16.014	48.6	81.8	69.4
	10	141.8	13.811	29.622	18.113	46.6	76.2	67.2
I.K.	0	142.9	15.913	34.295	21.034	46.4	75.7	67.0
	5	143.5	15.823	34.315	21.129	46.1	74.9	66.8
	10	143.9	15.314	32.970	20.208	46.4	75.8	67.0
T.O.	0	142.9	12.906	32.959	22.204	39.2	58.1	57.0
	5	143.5	14.543	32.296	20.177	45.0	72.1	65.3
	10	143.5	14.583	33.145	20.993	44.0	69.5	64.0
T.Y.	0	142.9	12.812	35.105	24.428	36.5	52.4	52.3
	5	143.5	14.118	35.127	23.362	40.2	60.4	58.6
	10	143.5	13.635	35.895	24.533	38.0	55.6	55.0
平均	—	142.7	—	—	—	44.0	70.2	63.5

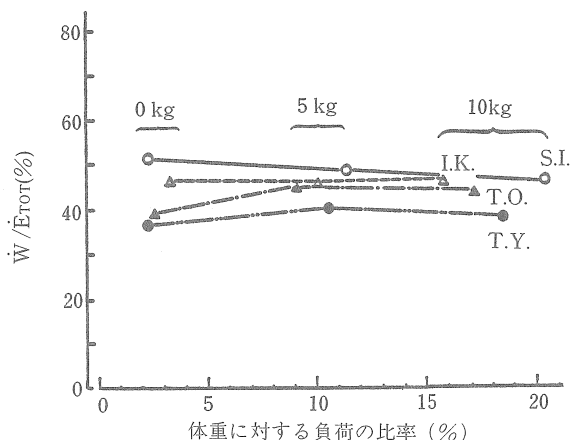


図4 負荷と力学的効率 \dot{W}/\dot{E}_{TOT} の関係

また、正の仕事における効率 \dot{W}/\dot{E}_p は、52.4~90.2%の範囲にあり、平均で70.2%であった。正の仕事における弾性エネルギーの再利用率 \dot{W}_e/\dot{W} は、52.3~72.3%の範囲にあり、平均で63.5%の値を示した。

3. 重量負荷と振動の周期、バネ定数の関係

表4に、身体重量 W 、振動の周期 T 、バネ定数 K の値を示した。ここで W は、被験者の体重と負荷した重量をたし合わせた値である。

T は、負荷が0kg、すなわち無負荷から5kgに増加すると、被験者I.K.で0.311秒から0.320に、被験者T.O.で0.363秒から0.376秒に、被験者T.Y.で0.323秒から0.336秒にと、すべての被験者において延長した。しかしながら、負荷が5kgから10kgにふえた時の T の変化をみると、 T が長くなったのは被験者T.Y.の0.336秒から0.346秒だけであり、被験者I.K.で0.320秒から0.317秒、被験者T.O.で0.376秒から0.376秒にと、ほぼ5kg負荷時と同

表4 身体重量(W)、周期(T)、バネ定数(K)

被験者		負荷 (kg)		
		0	5	10
I. K.	W(kg)	72.0	76.6	82.4
	T(sec)	0.311	→ 0.320	0.317
	K(kg/cm)	30.3	30.5	32.5
T. O.	W(kg)	72.8	77.6	81.7
	T(sec)	0.363	→ 0.376	0.376
	K(kg/cm)	21.9	21.8	23.4
T. Y.	W(kg)	65.4	70.7	75.8
	T(sec)	0.323	→ 0.336	→ 0.346
	K(kg/cm)	25.3	25.3	25.4

じ値を示しており、 T は延長していない。

重量負荷とバネ定数 K の関係をみると、負荷が無負荷から5kgにふえた段階では、被験者I.K.で30.3kg/cmから30.5kg/cmに、被験者T.O.で21.9kg/cmから21.8kg/cmに、被験者T.Y.では5kg、10kg負荷とも25.3kg/cmで変わっておらず、いずれの被験者もほとんど等しい値を示している。負荷が5kgから10kgにふえると、被験者I.K.は30.5kg/cmから32.5kg/cmに、被験者T.O.は21.8kg/cmから23.4kg/cmに K が高くなったが、被験者T.Y.は25.3kg/cmから25.4kg/cmとほぼ一定の K を示した。

IV. 考察

本研究における連続ジャンプの力学的効率 \dot{W}/\dot{E}_{TOT} は重量負荷によって全被験者に規則的な増減傾向がみられず、ほぼ一定の値を示した。

船渡、石井¹⁾は、毎分120回の連続ジャンプにおいて、本研究と同じように無負荷、5kg負荷、10kg負荷の3条件を設け、効率の変化を観察している。その結果、重量を負荷するほど効率が高くなることを報告している。また、小島⁵⁾は、膝関節反復屈伸運動を用い、屈伸テンポを変化させた場合と無負荷、10kg負荷、20kg負荷の重量負荷をした場合によって、運動の効率がどのように変化するか検討している。その中で小島は、重量負荷が力学的効率を高めたと報告している。小島は、その理由として筋収縮の効率は、収縮時の筋の張力が大きい方が高くなることから、負荷をかけた場合は、無負荷の時よりも筋の発揮する力が大きく、そのため筋の収縮要素の効率が増したのではないかと考察している。

本研究結果は、これらの報告と結果を異にするものである。しかし、小島の結果も重量負荷によって、無負荷時よりも最大3.5%効率が高くなったにすぎず、被験者も2人であり、この程度の効率の上昇により効率が高くなると判断するのはむずかしい。本研究結果をみてもわかるように、同一負荷条件でも力学的効率は、被験者によってかなりバラツキがあるからである。この点については、伊藤も指摘しているところである²⁾。効率のようにバラツキが大きい変量は、同一個人内の変動、および集団の変動パターンを検討した上で、その増減傾向を判定すべきであろう。

重負荷と身体重心の運動の関係をみると、図3は、身体重心位置をサイン曲線 $Y = -A(\sin\omega t - \phi) + B$ で近似した1例である。丸印で表わした重心位置は、着地から離地までの接地期の重心変化を示している。この例をみてもわかるように重心位置は着地直後と離地直前において近似曲線とのズレがみられるが、その他は非常に良く近似されているのがわかる。特に、地面反力が(体重+負荷)のレベルに達した時点の重心位置から重心が最下点に達し、再び(体重+負荷)レベルに戻る範囲の重心変位の近似は非常に良い。すなわち、接地期における身体重心の運動の大半は、単振動モデルにより良く近似されると思われる。

一般に、質量とバネからなる振動系では、バネの強さ(バネ定数)を一定のまま、質量を大きくすると、振動の速度が落ち、振動の周期が長くなる。一方、質量の増加に対し振動の周期を一定に保つためには、バネのバネ定数を高める必要がある。

本実験では、被験者の身体に5kgと10kgの加重を行ない、同一のジャンプを行なわせたのであるから、これは頂度、バネ-質量系モデルの質量を増加させたことに等しくなる。また、運動のテンポも設定されており、実際表3の跳躍テンポの実測値をみても各被験者とも、各条件においてほとんど同一テンポでジャンプしている。負荷の増加によるテンポの乱れはみられていない。したがって跳躍テンポ、すなわち振動の周期が決まっており質量が増大するのであるから、モデルにおけるバネのバネ定数が高くなるのが予想される。しかしながら、実際には、負荷が0kgから5kgに増加してもバネ定数Kは各被験者とも、ほとんど変化していない。結局、振動の周期Tが伸びているわけである。

ここで、周期Tをみるといずれの被験者も0.3秒台の値である。一方、表3に示された跳躍テンポの実測値からジャンプの周期を求めると、例えば被験者I.K.では、跳躍テンポは約143回/分であるから、ジャンプの周期は $60\text{秒} \div 143 = 0.420\text{秒}$ になる。I.K.の接地期の周期Tは負荷0kgで0.311秒であるから、接地期ではジャンプの周期よりかなり短くなっていることがわかる。これは、他の

被験者でも同じようにみられる結果である。

すなわち、接地期の身体重心の運動は、単純に跳躍テンポから算出される周期で運動しておらず、それよりもかなり短い周期でほぼ単振動に近い運動をしているといえる。

また、跳躍テンポに合わせるための調節は、滞空時間などの増減をはかることによって行なっているのではないと思われる。

このように、負荷が0kgから5kgに増加した時は、接地期の周期を伸ばすことにより、バネ定数を一定に保つよう運動のコントロールがなされているのがわかる。バネ定数をほぼ一定に保つということは、身体の側からみれば、主に脚の筋群の緊張を増大させないで運動を続けていると推察される。しかし、負荷が5kgから10kgに増加した段階では、被験者T.Y.だけが負荷5kg時と同一のバネ定数を示しており、他の被験者はバネ定数が大きくなっており、この時の周期は5kg時の値とほぼ同じである。結局、被験者I.K., T.O.は、負荷の増加に対し、周期を伸ばすことで対応できず、脚筋群の緊張の増大、すなわちバネ定数の増大により跳躍のテンポを維持したと思われる。

以上の結果から、連続ジャンプでは、人為的に身体質量を増加させた場合、負荷5kgまでではあるが、被験者全員に接地期の振動周期の延長により、バネ定数を一定に保とうとするコントロールがみられた。本研究では、被験者の自分の跳びやすい大きさのジャンプを行なわせ、各負荷において重心変位の大きき等の規定は行なわなかった。そのため、前述のような調節が自然に行なわれたのであろうと思われる。仮に、0kg負荷の周期Tで跳んだとすると、10kg負荷では被験者I.K.で34.3kg/cm T.O.で25.0kg/cm, T.Y.で29.3kg/cmとなり、0kg負荷時の約1.14倍のバネ定数になる。このように、バネ定数が負荷に伴って高くなっていけば、小島⁵⁾が指摘しているように、脚筋の張力増大による効率値の増高がみられたかもしれない。

しかしながら、5kgから10kgの負荷の変化に対してバネ定数の増大した被験者において、効率の増高はみられず、本研究では、重量負荷と連続ジャンプの効率、およびバネ-質量系モデルからみた身体運動の間に何らかの関係をみることはでき

なかった。

V. まとめ

両足による同一テンポの連続ジャンプを対象に、運動者の身体に重量を負荷し、人為的に体質量を変化させた時、連続ジャンプの効率がどのように変化するか検討すると同時に、ジャンプ接地期の身体重心の運動をバネ質量より成る単振動モデルに近似し、体質量の変化に対応し重心の運動がどのような変化を示すか検討した。

被験者は成人男子4名である。ジャンプ運動時間は5分間で、テンポは毎分140回である。ジャンプの効率を求めるために力学的仕事量とエネルギー需要量が求められた。ジャンプの力学的仕事は、被験者をフォースプレート上で運動を行なわせ、地面反力をマイクロコンピュータでデジタル集録し、これを積分処理することによって求められる重心変位に体重を掛け合わせることで求めた。ジャンプのエネルギー需要量は、運動中5分間および回復期20分間の呼気を連続的に分析することにより得られたエネルギー消費量から、安静時のエネルギー消費量をさし引くことにより求めた。

また、ジャンプ接地期における身体重心の運動を、重心と接地点間が一本のバネと質量で構成されるバネ質量系モデルの運動に近似し、このモデルより接地期における振動の周期 T 、バネ定数 K を評価した。

研究結果をまとめると以下の通りである。

(1) 連続ジャンプにおける総重心鉛直変位 S は、全被験者平均で0.140 mであった。その内訳は、着地から最下点に至るまでの重心変位 S_{\min} が平均0.102 mで73%を占め、着地点から離地点までの重心変位 S_{fin} が平均0.018 mで14%、離地点から最高点に至るまでの重心変位 S_{flight} は平均0.013 mで13%を占めていた。

負荷と重心変位の関係は、 S_{\min} は負荷が増加してもほとんど変化しなかったが、 S 、 S_{fin} 、 S_{flight} は加重10kgにおいて減少が観察された。

(2) 負荷と力学的効率 $\dot{W}/\dot{E}_{\text{TOT}}$ の関係は、負荷が増大しても $\dot{W}/\dot{E}_{\text{TOT}}$ は決まった増減傾向を示さず、ほぼ一定の値を示した。 $\dot{W}/\dot{E}_{\text{TOT}}$ は36.5~51.5%の範囲にあり、平均で44.0%であった。

(3) ジャンプの正の仕事の効率 \dot{W}/\dot{E}_p は、52.4~90.2%の範囲にあり、平均で70.2%であった。

(4) 正の仕事における弾性エネルギーの再利用率 \dot{W}_e/\dot{W} は、52.3~72.3%の範囲にあり、平均で63.5%であった。

(5) ジャンプ接地期の身体重心の運動は、 $Y = -A(\sin \omega t + \phi) + B$ のサイン曲線に良く近似され、バネ質量から成る単振動モデルに近似される。

(6) 接地期の身体重心の振動周期は、跳躍テンポから算出される振動周期とは一致せず、これよりもかなり短い周期で行なわれている。

(7) 負荷と周期 T およびバネ定数 K の関係は、負荷を増加させるとまず周期が伸びバネ定数を一定に保とうとする傾向がみられた。

参考文献

- 1) 船渡和男 石井喜八：跳躍運動の効率，体育の科学30巻 No.5：335-340, 1980
- 2) 伊藤 章：走運動の効率，J. J. Sports Sci. 1 No.4：285-290, 1982.
- 3) Ito, A., P. V. Komi, Sjödín, C. Bosco. and J. Karlsson：Mechanical efficiency of positive work in running at different Speeds. Medicine and science in sports and exercise Vol. 15 No. 4：299-308, 1983.
- 4) 金子敬二，黒田善雄，塚越克己，雨宮輝也，伊藤静夫，金子美智子：脚の伸展ハワーに関する研究(第3報)ー連続ジャンプの効率についてー，昭和58年度日体協スポーツ科学研究報告，1983
- 5) 小島武次：下肢屈伸運動の機械的効率，東京大学教養学部体育学紀要第12号：41-43, 1978.
- 6) 小島武次，琉子友男，近藤正勝：反動動作を伴った下肢屈伸運動における弾性エネルギーの役割，J.J.Sports Sci. 2 No. 2：152-156, 1983.
- 7) Margaria, R.,：身体運動のエネルギー(金子公有訳)，ベースボール・マガジン：98-102, 1978.
- 8) 沼尻幸吉：労働の強さと適性作業量，労働科学研究所：246-247, 1970.

昭和59年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学委員会

委員長	黒田 善雄 (東京大学教養学部)	委員	名取 礼二 (東京慈恵会医科大学)
委員	東 俊郎 (順天堂大学附属病院)	〃	鳴海 吾郎 (鳴海病院)
〃	浅見 俊雄 (東京大学教養学部)	〃	平木 隆三 ((財)日本サッカー協会)
〃	石河 利寛 (順天堂大学体育学部)	〃	松井 秀治 (愛知県立大学)
〃	小野 三嗣 (東京学芸大学保健体育科)	〃	松田 岩男 (上越教育大学)
〃	桑野 豊 (筑波大学体育科学系)	〃	宮下 充正 (東京大学教育学部)
〃	高石 昌弘 (東京大学教育学部)	〃	村山 正博 (関東通信病院循環器内科)
〃	高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院整形外科)	〃	山川 純 (日本女子体育大学)
〃	塚脇 伸作 (早稲田大学教育学部)	〃	井川 幸雄 (東京慈恵会医科大学)
〃	中嶋 寛之 (東京大学教養学部)	〃	長嶺 晋吉 (大妻女子大学)

財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所

塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 浅野 友里
伊藤 静夫

昭和59年度 財団法人日本体育協会 スポーツ医・科学研究報告集

編集代表者 黒田 善雄
発行者 鈴木 祐一

発行所 財団法人 日本体育協会
東京都渋谷区神南 1-1-1 岸記念体育館
TEL (03) 481-2240

