

陸上短・長距離選手における跳躍運動能力と等尺性最大筋力およびその持久性に関する研究

琉子 友男

A study on the differences of performance in vertical jump, maximal isometric strength and endurance in those abilities for short and long distance runners

by

Tomoo Ryushi

Abstract

Short distance runners (N = 4) and long distance runners (N = 4) as subjects participated in a series of 30 continuous vertical jumps and a 50 series of maximal isometric contractions which were designed to induce fatigue.

Absolute values of leaping height, rising velocity of the center of gravity and mean power of successive vertical jumps demonstrated significant differences between short and long distance runners, while decline patterns (fatigue curves) of those values did not demonstrate significant differences.

Only the time required for negative work in long distance runners showed a tendency to decrease with the increasing member of trials in successive vertical jumps.

Fatigue patterns and absolute values of maximal isometric strength were significantly different between short and long distance runners.

Decline patterns of integrated electromyography of agonist demonstrated differences between short and long distance runners.

It may be considered that significant differences of those values obtained between short and long distance runners are not only induced by the differences in quantity and quality of training, but also induced by the difference in quality of muscles between the two.

1	19	187.7	60.9	21.7	0.35	14.6	0.22	31.1	0.8
2	19	174.1	54.9	20.2	0.34	10.0	0.22	37.3	0.8
3	19	170.8	63.8	23.0	0.36	27.2	0.40	100.3	0.8
4	20	189.4	68.1	23.0	0.38	18.0	0.28	74.8	0.8
平均	19.0	171.9	62.2	23.7	0.37	18.7	0.29	92.8	0.8
2.1	0.7	8.7	6.9	2.9	1.1	2.7	0.2	3.3	0.8
2	23	171.8	61.9	21.0	0.35	18.7	0.28	83.2	0.8
3	20	175.2	69.1	20.9	0.37	20.2	0.28	92.8	0.8
4	20	175.7	62.4	22.9	0.34	17.9	0.28	92.3	0.8
5	20	170.7	67.9	22.1	0.36	19.8	0.29	94.0	0.8
平均	20.8	173.1	66.9	22.0	0.36	19.0	0.29	93.3	0.8
2.1	0.8	1.1	5.8	2.1	1.0	0.9	1.0	0.8	0.8

緒 言

長期間にわたって特定の競技種目に従事すると、その競技種目に必要な特有の運動能力が培われる。例えば、陸上競技において、短距離選手は主に筋力やパワーの能力が向上し、長距離選手は主に持久性の能力が向上することが知られている。

また、ヒトの骨格筋は2種類の筋線維（速筋線維と遅筋線維）から構成されていて、速筋線維は筋力やパワー、遅筋線維は持久性を必要とする種目に適していることが知られている。^{1), 6), 7), 8), 9), 17)}さらに、速筋あるいは遅筋線維の占める比率には個人差があり、現段階では、その比率は先天的でしかもトレーニングによって変化しないと言われていること¹⁾から、短距離・長距離等の種目の選択はそれぞれの競技種目に適した筋線維比率を有する者によって、ほとんど自然選択的になされているものと考えられる。

以上の事実に基づいて、本研究は短距離選手と長距離選手に対して、垂直方向への跳躍運動を連続して行なわせ、そのときの重心の移動距離、移動速度、平均パワー、NegativeとPositive workに要した時間、主働筋のIntegrated EMGおよびそれらの施行回数増加にともなう低下様相の差について比較検討すること、さらに、等尺性最大筋力を間欠的に発揮させ、そのときの筋力および

主働筋群のIntegrated EMGの低下様相の差について比較検討することを目的とした。

研究方法

〈被験者〉

被験者は大学の陸上部に所属する短距離選手4名、長距離選手4名である。彼らの身体特徴と専門種目およびその最高記録を表1に示した。年齢、身長、大腿長、下腿長、脚長などはほぼ同様の値を示したが、体重、大腿囲、下腿囲等は長距離選手に比較して、短距離選手の方が大きな値を示した。

〈連続跳躍運動の測定〉

被験者に2台のキスラー社製の圧力板上で、連続して垂直方向への跳躍運動を30回行なわせた。なお、その跳躍のテンポは被験者の自由であったが、常に最大努力で着地後、即跳躍するよう被験者に指示した。また、両腕の振りあげの影響を除去するために、手を腰の位置で組んで行なわせた。膝関節の運動による角度変化はelectrogoniometerによって電気量に変え記録した。筋電信号は、テレメーター（三栄測器社製）を用いて、外側広筋および大腿二頭筋から、表面電極法（双曲誘導）により導出、記録した。また、これらの記録は、すべてデーターレコーダー（ソニー社製）に記録、その後、Integrator（三栄測器社製）を用いて積分した。

Table 1. 被験者の身体特徴、専門種目およびその最高タイム

被験者	年 齢 yr.	身 長 cm	体 重 kg	大腿囲 cm	下腿囲 cm	大腿長 cm	下腿長 cm	脚 長 cm	種 目 m	能 力 t
1	19	167.5	60.6	50.5	36.0	44.6	39.0	91.2	400	49' 6"
2	18	174.1	74.6	58.5	40.0	50.0	39.0	97.3	100	10' 9"
3	19	176.9	63.8	53.0	37.0	52.2	40.3	100.3	400	50' 0"
4	20	169.4	63.1	53.0	38.0	48.0	38.9	94.9	100	11' 0"
平均	19.0	171.9	65.5	53.7	37.7	48.7	39.3	95.9		
S.D.	0.7	3.7	5.3	2.9	1.4	2.7	0.5	3.3		
5	22	171.5	61.9	51.0	37.5	48.3	38.8	93.2	5000	16' 20"
6	20	174.5	62.1	50.9	35.7	50.2	36.8	92.8	5000	16' 21"
7	20	172.7	55.4	45.9	33.4	47.9	38.3	92.3	5000	15' 58"
8	20	173.7	57.9	48.1	33.7	49.8	39.6	94.6	5000	15' 08"
平均	20.5	173.1	59.3	48.9	35.0	49.0	38.3	93.2		
S.D.	0.8	1.1	2.8	2.1	1.6	0.9	1.0	0.8		

〈間歇的等尺性最大筋力の測定〉

被験者を測定用椅子にベルトを用いて固定した後、被験者の左脚の足頸部に巻いたベルトとロードセルをスチールワイヤーで連結し、膝関節を90°に固定した。被験者は50回/分のテンポに合わせて50回、常に最大努力で瞬間的に膝関節を前方方向へ伸展するよう指示された。筋電信号は、テレメーター（三栄測器社製）を用いて、大腿直筋、外側広筋、内側広筋の三ヶ所から、表面電極法（双曲誘導）により導出し記録した。これらの記録はすべてデータレコーダー（ソニー社製）に記録、その後、Integrator（三栄測器社製）を用いて積分した。

〈Mechanical Calculations〉

図1は連続跳躍運動時の vertical force - time 記録例である。重心の移動距離の測定は下記の式により算出した。

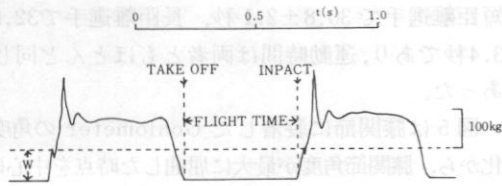


Fig. 1 Examples of force-time curves of the vertical ground reaction in successive vertical jumps.

$$V_v = \frac{1}{2} \times t_{air} \times g$$

但し、 V_v = 離地時の Vertical velocity

t_{air} = Flight time

g = Acceleration of gravity (9.81m/S²)

$$h = \frac{V_v^2}{2 \times g}$$

但し、 h = 重心の移動距離

この測定方法の信頼性は Komi と Bosco¹⁴⁾ (1978) によって明らかにされている (測定誤差は ± 2% 以内)。また、平均パワーの測定は下記の式により算出した。

$$\bar{p} (\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}) = \frac{\text{被験者の体重} \times \text{重心の移動距離}}{\text{Positive work に要した時間}}$$

但し、Positive work に要した時間は膝関節角度変化記録から算出した。

重心の移動速度の測定は、重心の加速度図 (図1) から体重を差し引いた部分を1回積分することにより算出した。¹⁹⁾

結果

1. 連続跳躍運動

図2は跳躍回数の増加にともない、短距離選手および長距離選手の垂直方向への重心の移動距離の絶対値および相対値が、どのように変化するかをみたものである。なお、絶対値も相対値もすべて5回の平均値で示した。(以下、出てくる図はすべて5回の平均値をプロットしたものである。)図にも示したとおり、絶対値の変化においては、回数の増加にもかかわらず、すべての過程で両者の間に1%水準で有意な差が認められたが、全作業回数の5回の平均値の最大値を100%として、その相対値をプロットした場合は、両者ともほぼ同様の変化パターンを示した。この相対値の変化は、重心の移動距離の低下速度の変化をあらわしているものと考えられる。

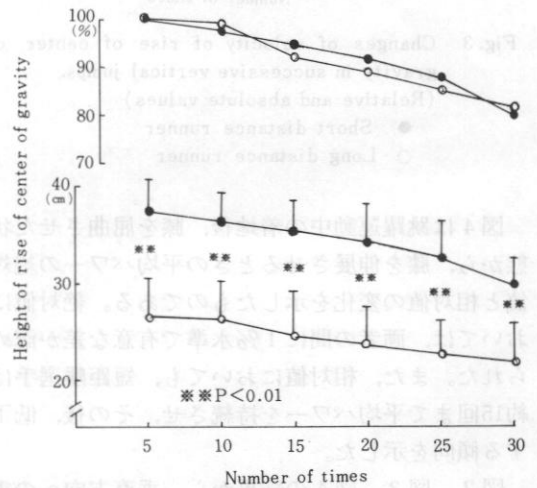


Fig. 2 Changes of height of rise of center of gravity in successive vertical jumps.

(Relative and absolute values)

● Short distance runner

○ Long distance runner

図3は跳躍運動中の垂直方向への重心の移動速度の絶対値および相対値が、回数の増加にともない、どのように変化するかをみたものである。但し、この重心の移動速度は、地面反力としてとら

えた重心の加速度を電氣的に1回積分することによって算出したものである。その結果、絶対値は、6~10回の平均値を除いて、すべての平均値で両者の間に5%水準の有意な差が認められた。しかし、相対値は、両者ともほとんど一致する傾向を示した。

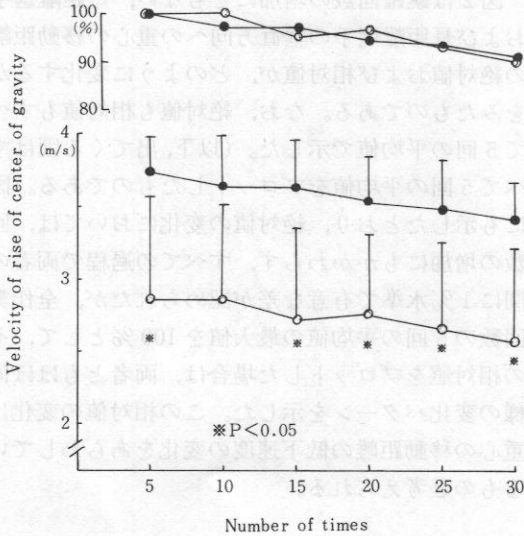


Fig. 3 Changes of velocity of rise of center of gravity in successive vertical jumps. (Relative and absolute values)
● Short distance runner
○ Long distance runner

図4は跳躍運動中の着地後、膝を屈曲させた状態から、膝を伸展させるときの平均パワーの絶対値と相対値の変化を示したものである。絶対値においては、両者の間に1%水準で有意な差が認められた。また、相対値においても、短距離選手は約15回まで平均パワーを持続させ、その後、低下する傾向を示した。

図2, 図3, 図4の結果から、垂直方向への重心の移動距離、重心の移動速度、平均パワーの絶対値は、有意な差があることが明らかにされたが、それらの低下速度を示すものと考えられる相対値は、平均パワーでわずかに短距離選手が長距離選手に比較して、持続時間が長いという傾向がみられたが、重心の移動距離と重心の移動速度の低下速度は両者でほとんど差がないという結果を示した。なお、これらの30回の跳躍に要した時間は、

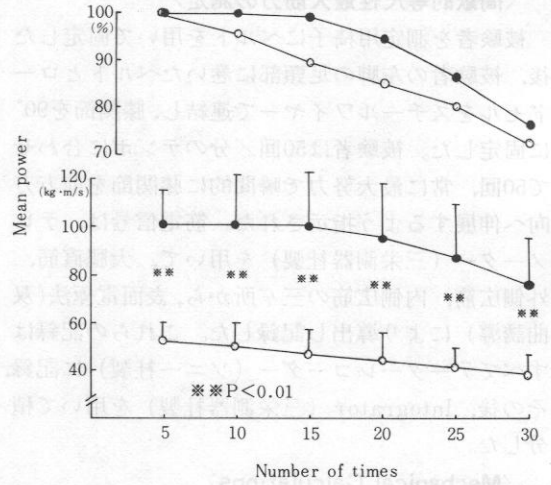


Fig. 4 Changes of mean power in successive vertical jumps. (Relative and absolute values)
● Short distance runner
○ Long distance runner

短距離選手で 30.8 ± 2.1 秒、長距離選手で 32.5 ± 3.4 秒であり、運動時間は両者ともほとんど同じであった。

図5は膝関節に装着した Goniometer の角度変化から、膝関節角度が最大に屈曲した時点を中心に着地 (Negative work) と跳躍 (Positive work) に分け、それぞれに要した時間の絶対値と相対値の変化をみたものである。この図から、絶対値、相対値いずれについても、短距離選手の場合、Negative, Positive の両 work に要した時間は、跳躍運動の20回程度から、やや上昇する傾向を示したが、大きな変化はみられなかった。しかし、それとは対照的に、長距離選手の場合、Positive work に要した時間は、急速に上昇する傾向を示しており、逆に Negative work に要した時間は急速に減少していく傾向を示した。さらに、この傾向は図6にも示されている。この図6は Negative work と Positive work に要した時間と両 work に要した時間の合計 (滞地時間) との割合の変化を示したものであるが、図にも示されるように、短距離選手は、両 work とともに約50%程度を保っているのに対して、長距離選手は、跳躍運動の10回目から急速な変化を示した。

図7は跳躍回数の増加にともなう垂直方向への

重心の移動速度と膝伸筋の一つである外側広筋、膝屈筋の一つである大腿二頭筋の Integrated EMG の相対値の変化を示したものである。その結果、短距離選手の外側広筋の Integrated EMG は、跳躍の25回まであまり変化を示さず、26~30回の平均値でやや増加する傾向を示した。それに対して、長距離選手のそれは、21~25回の平均値から急速に増加する傾向を示した。さらに、大腿二頭筋の Integrated EMG は、長距離選手で6~10回の平均値がやや増加したが、両者とも徐々に低下する傾向を示した。

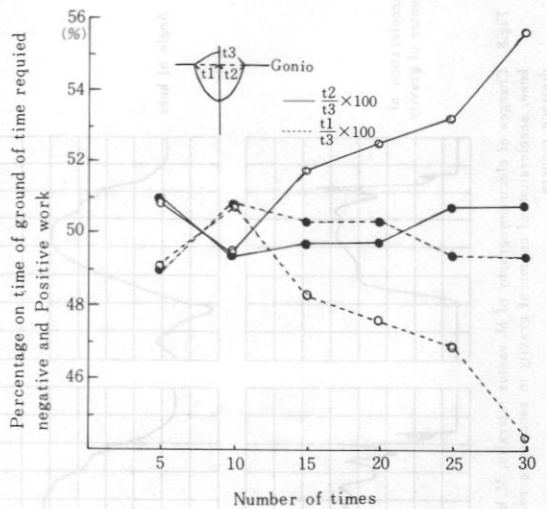


Fig. 6 Changes of percentage on time of ground of time required negative and positive work in successive vertical jumps.

- Short distance runner
- Long distance runner
- t1 : Negative phase
- t2 : Positive phase

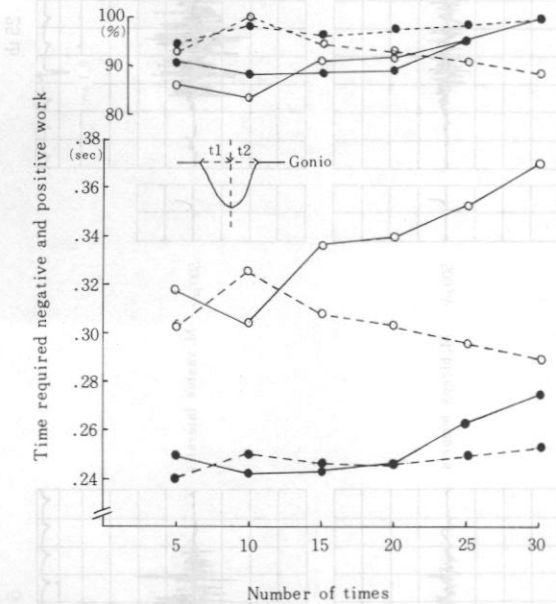


Fig. 5 Changes of time required negative and positive work in successive vertical jumps.

- Short distance runner
- Long distance runner
- t1 : Negative work
- t2 : Positive work

図8と図9は短距離選手1名 (Subj. No. 2) と長距離選手1名 (Subj. No. 8) における、跳躍回数5回目と25回目の外側広筋および大腿二頭筋の EMG、膝肉節角度変化、重心の加速度変化を示したものである。

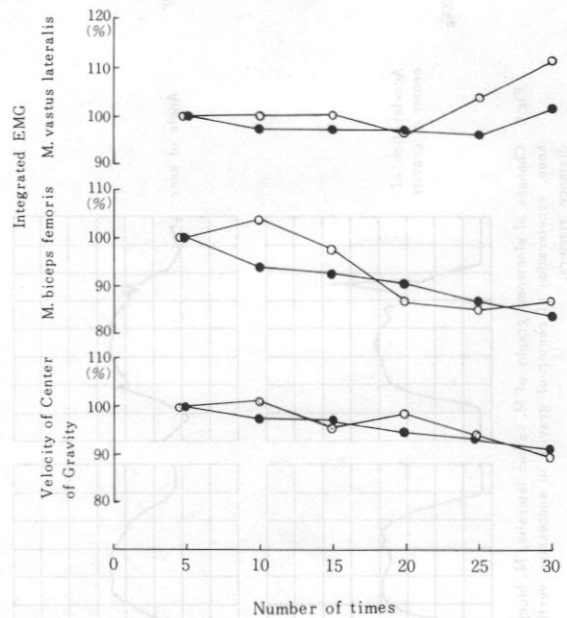


Fig. 7 Relative changes of integrated electromyography of M. biceps femoris and M. vastus lateralis and of velocity of center of gravity in successive vertical jump.

- Short distance runner
- Long distance runner

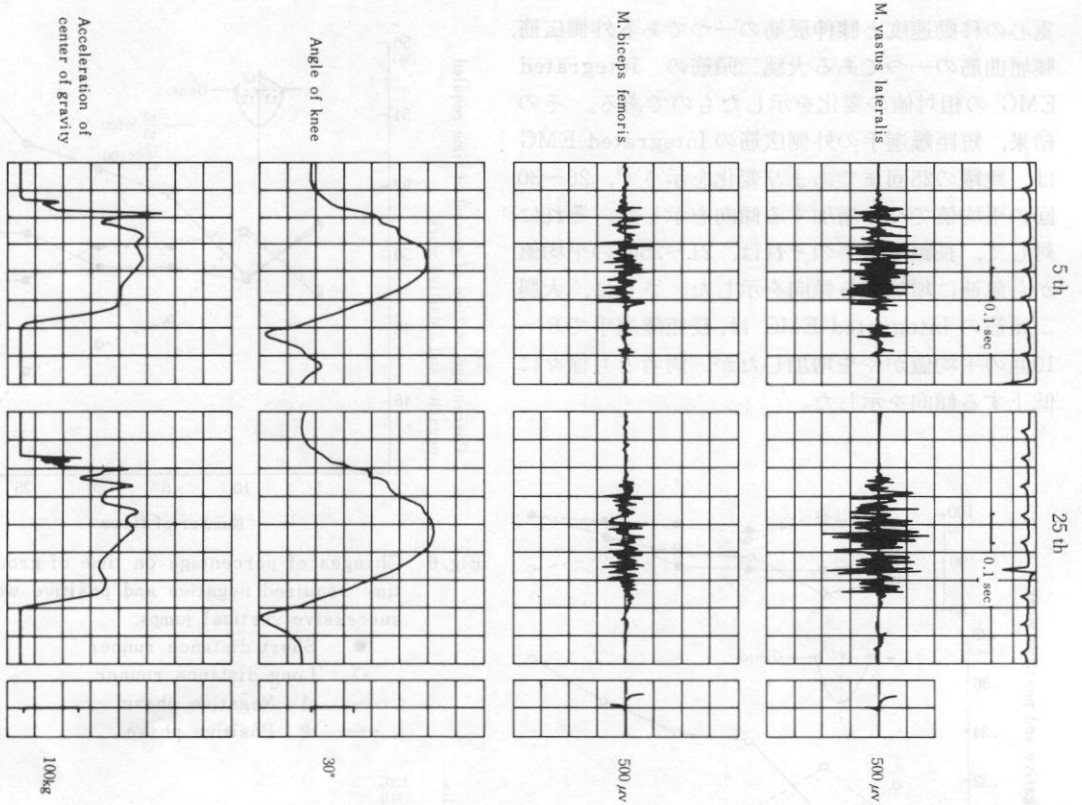


Fig.8 Changes of electromyography of M. vastus lateralis, M. biceps femoris and of angle of knee, acceleration of center of gravity in successive vertical jump of one of short distance runners.

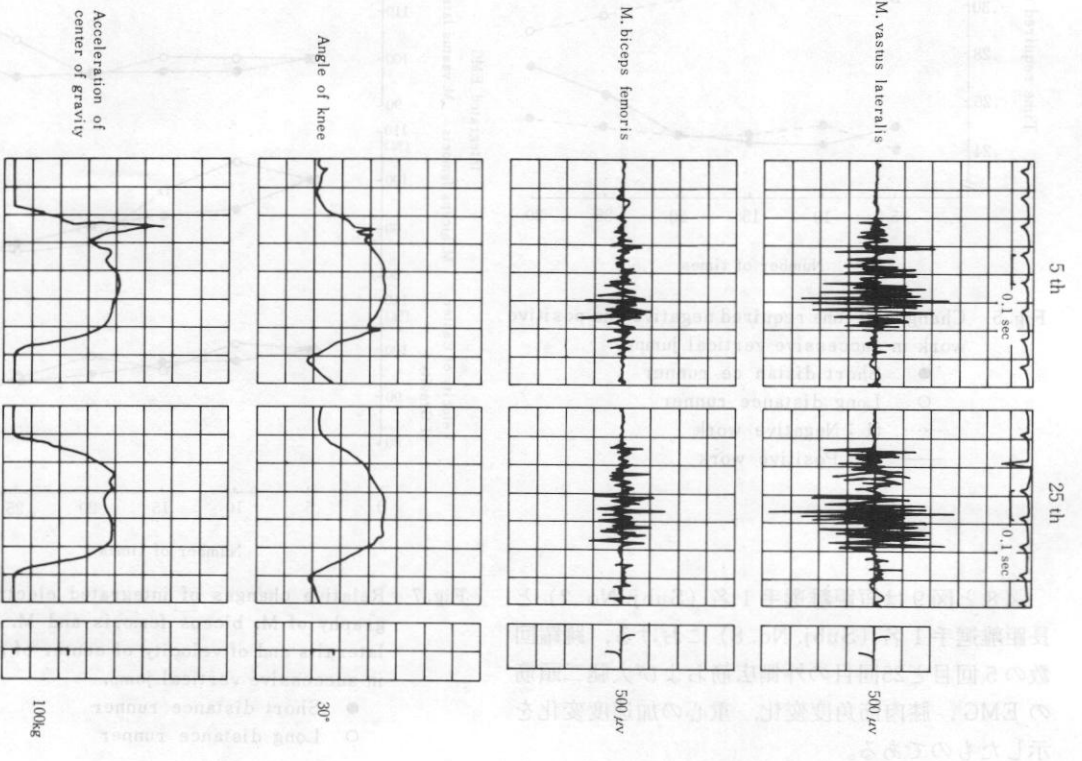


Fig.9 Changes of electromyography of M. vastus lateralis, M. biceps femoris and of angle of knee, acceleration of center of gravity in successive vertical jumps of one of long distance runners.

2. 間歇的等尺性最大筋力

図10は座位姿勢で脚伸展を間歇的に行なわせたときの等尺性最大筋力の回数の増加にともなう変化を示したものである。図にも示してあるが、短距離選手の発揮した筋力は回数の増加にともない急速に減少する。それとは対照的に長距離選手の筋力は、さほど低下せず横バイ状態を示した。また、筋力の平均値は、回数の増加にもかかわらず、すべての過程で短距離選手の方が高い値を示した。また、その差は収縮回数の初期で最大の値を示したが、その後、短距離選手の筋力が急速に低下したため、30回あたりから長距離選手の筋力と有意な差を示さなくなった。

図11は1～5回の平均値を100%として、等尺性最大筋力、大腿直筋、外側広筋、内側広筋のIntegrated EMGの相対値の変化を示したものである。短距離選手の場合、等尺性最大筋力の低下にもかかわらず、いずれの筋においても収縮回数の約25回まで、Integrated EMGは約100%以上を示しており、その後、急速に低下する傾向を示した。それに対して、長距離選手の場合、外側広筋は100%維持後増加、内側広筋は100%維持後徐々に低下、大腿直筋は低下後維持する傾向を示した。また、作業過程での最大値からのIntegrated EMGの低下速度は、すべての筋において、長

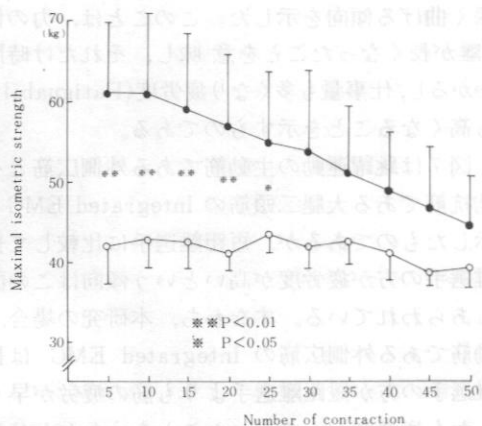


Fig.10 Changes of maximal isometric strength with increase of number of contraction.

- Short distance runner
- Long distance runner

距離選手よりも短距離選手の方が速い傾向を示した。

考 察

1. 連続跳躍運動

連続跳躍運動中の短距離選手と長距離選手の垂直方向への重心の移動距離、重心の移動速度および平均パワーの絶対値は、いずれにおいても有意な差を示したが、(図2・3・4)、この差を生じせしめた原因として、まず第1に、両者におけるこの種の無酸素的運動に対する鍛練度の差異が挙げられよう。次に、短距離選手は速筋、長距離選手は遅筋線維を多く有していると言われていること、(7), 9), 10), 18), 24) 速筋線維の多い者とそうでない者を比較した場合、速筋線維の多い者が跳躍能力にすぐれているとする Komi ら¹³⁾(1977) の報告から、この絶対値の差が、そのような筋肉の質的差異の

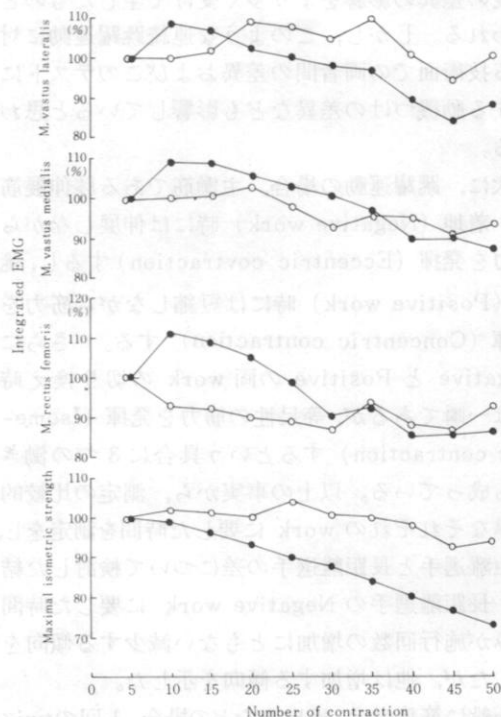


Fig.11 Relative changes of integrated electromyography and maximal isometric strength.

- Short distance runner
- Long distance runner

影響を受けているとも考えられる。次に、両者の垂直方向への重心の移動距離、重心の移動速度および平均パワーの低下の割合、すなわち持続能力(一種の疲労曲線)を示すと思われる相対値は、平均パワーでわずかに差がみられたが、その他の測定項目ではほとんど同様の傾向を示した。一般に速筋線維は収縮速度は速いが易疲労、遅筋線維は収縮速度は差程速くないが耐疲労という性質を有していることが知られている。もし、長距離選手が耐疲労性の遅筋線維を多く有していて、その特徴がそれらの相対値に反映されるとすれば、重心の移動距離、重心の移動速度、および平均パワーの相対値は同じ傾向を示さず、むしろ、短距離選手よりもそれらの低下率は少なくなるはずである。しかし、それらの低下率は両者ともほとんど同様であった。このようなことから、両者のそれらの絶対値の差および相対値の類似傾向は、筋肉の質的差異の影響より、むしろ過去における両者の鍛練度の差異の影響をより多く受けて生じたものと思われる。しかし、このような連続跳躍運動に対する技術面での両者間の差異およびこのテストに対する動機づけの差異なども影響していると思われる。

次に、跳躍運動の場合、主動筋である膝伸展筋は、着地(Negative work)時には伸展しながら筋力を発揮(Eccentric contraction)するし、跳躍(Positive work)時には短縮しながら筋力を発揮(Concentric contraction)する。さらにNegativeとPositiveの両workの切り換え時には一瞬であるが、等尺性の筋力を発揮(Isometric contraction)するという具合に3つの働きから成っている。以上の事実から、測定の比較的簡単なそれぞれのworkに要した時間を測定をし、短距離選手と長距離選手の差について検討した結果、長距離選手のNegative workに要した時間のみが施行回数の増加にともない減少する傾向を示したが、他は増加する傾向を示した。

一般に筋疲労は、摘出筋などの場合、1回のtwitchに要する時間が延長すると言われている²⁾が、本研究の場合にも、1回の跳躍運動時間が施行回数の増加にともない延長する傾向がみられた。すなわち、NegativeとPositiveの両workの合

計時間(滞地時間)は短距離選手で8.6%、長距離選手で5.7%増加した。しかし、Negative workに要した時間だけをとりあげてみると、短距離選手は5.5%増加、逆に長距離選手は4.8%減少する傾向を示した。このように、長距離選手のNegative workに要した時間が、施行回数の増加にともない減少した原因は、着地時、膝を曲げる速度が増加したことによるものであり、それは膝伸展筋が伸展しながら発揮する筋力が疲労により低下したことによるものであろう。すなわち、長距離選手は短距離選手に比較して、自分の体重およびその落下加速度に耐えるための筋力(Eccentric contraction)が弱く、しかもその持久能力も低いことを示すものである。このことは、膝関節屈曲角度が短距離選手で4.5%しか増加しなかったのに対し、長距離選手は12.7%増加したことからも理解できる。

また、Positive workに要した時間は、Negative workのそれとは対照的で施行回数の増加にともない増加する傾向が示されている。(図5、図6)また、Positive workに要した時間は、短距離選手が9.1%増加したのに対し、長距離選手は14%もの増加を示した。このPositive workに要した時間の増加の原因は、短距離選手と長距離選手では多少異なると考えられる。長距離選手は短距離選手に比較して施行回数の増加にともない膝を深く曲げる傾向を示した。このことは、力の作用距離が長くなったことを意味し、それだけ時間もかかるし、仕事量も多くなり疲労度(Fatiguability)も高くなることを示すものである。

図7は跳躍運動の主動筋である外側広筋とその拮抗筋である大腿二頭筋のIntegrated EMGを示したものであるが、短距離選手に比較して長距離選手の方が疲労度が高いという傾向はこの図にもあらわれている。すなわち、本研究の場合、主動筋である外側広筋のIntegrated EMGは長距離選手の方が短距離選手よりも筋の疲労が早く、しかも疲労度が大きかったことをうかがわせるものである。この原因として考えられることは、長距離選手の場合、短距離選手と比較して、Negative work時のImpulseの放電量が施行回数の増加にともない多くなったことに起因するもので

あろう。このことは、図8と図9に示した短距離選手と長距離選手の5回と25回目の外側広筋のEMGにもあらわれている。すなわち、短距離選手のNegative work時のEMGに変化がみられないのに対して、長距離選手のそれは振幅の高いImpulseが出現している。また、連続跳躍運動時の大腿直筋のIntegrated EMGはNegative workが1に対しPositive workが1.5と大きいことが報告されている¹⁵⁾。本研究では、短距離選手よりも長距離選手の方がPositive workに要する時間が長かったことから、両者間のこの時間の差が長距離選手のIntegrated EMGを増加させたとも考えられる。

また、それぞれのworkに要した時間の絶対値(図5)は、短距離選手の方が長距離選手に比較して短い。このことは、短距離選手は長距離選手に比較して、膝を曲げすぎぬように働く筋力(Eccentric contraction時の筋力)が大であること、および膝を伸展する際の筋の収縮速度(Concentric contraction時の筋収縮速度)がともに大であることを示すものである。

垂直とびの際、反動動作(Negative work)を用いる場合と用いない場合とでは、反動動作を用いる方が跳躍高を増すことが知られているが、これは反動動作時に筋や腱に弾性エネルギーが貯えられ、それが膝伸展(Positive work)時に再利用されるためであると言われている。^{3),4),5)}また、ドロップジャンプ(いろいろな高さの台から飛び降り、その後ただちに跳躍する方法)の際、速筋線維の多い者とそうでない者を比較した場合、速筋線維の多い者は、Negative work時に貯える弾性エネルギーが多いため高く跳躍することが可能であるという報告もある。¹³⁾さらに、Negative work時に一定の負荷をかけて、筋をすばやく伸展する場合とゆっくり伸展する場合とでは、後者の方が屈曲(Positive work)時のPowerが大きかったことが報告されている。¹⁶⁾本研究の場合も、滞空時間とNegative, Positiveの両workに要した時間との関係を統計的に調査した結果、Negative workに要した時間のみが滞空時間と1%水準で有意な関係を示した。以上の報告と本研究の結果は、跳躍運動の場合、跳躍運動成績に

Negative workが重要な役割を演じていることを示すものである。本研究のような連続跳躍運動の場合は、「着地」後「跳躍」を反復する性質上、特に着地(Negative work)が重要であり、さらに、その着地の際の下方方向への速度(Negative workに要する時間)が重要な役割を演じているものと考えられる。

以上の考察に基づいて、跳躍運動時の垂直方向への重心の移動距離、重心の移動速度、平均パワーなどの絶対値の差は、主に短距離選手と長距離選手のNegative workの特性の差から生じているものであり、このNegative workの特性の差は、まず第1には両者の鍛練度の差異から生じたものであるが、筋肉の質的差異も影響を及ぼしていると結論されよう。

2. 間欠的等尺性最大筋力

等尺性最大筋力を間欠的に発揮させた場合の筋力の低下は、短距離選手で著るしく、長距離選手においては50回の施行の中では低下はほとんどみられなかった。(図10, 図11)この結果は、跳躍運動中のNegative work時の筋力の低下は長距離選手の方が短距離選手に比較して大きいという前述の結果とは相反するものである。この相反する結果は、跳躍運動が自分の体重を重力負荷にしたIsotonicの運動でしかも筋が伸張しながら発揮するEccentricな筋力であるのに対し、間欠的等尺性最大筋力はIsometricでしかも筋が短縮しながら発揮するConcentricな筋力という具合に筋力発揮様式が違うことによるものと思われる。

また、等尺性最大筋力発揮の際の収縮初期における両者間の筋力の絶対値の差の生ずる原因については、このような筋力発揮様式に対する鍛練度の差が指摘されるものであり、このことは、長距離選手は短距離選手に比較して筋力発揮が技術的に下手であること、短距離選手は長距離選手に比較して筋量が多いこと、および短距離選手の方が神経衝撃の頻度が高いなどの理由によるものであろう。また、筋線維比率と等尺性最大筋力の関係については、有意な関係があるという報告^{11),17),20)}と関係がないという報告^{6),22)}があり、研究者によって必ずしも一致した結果が得られていないので明らかではないが、筋の質的な差も収縮回数

初期の両者間の筋力の絶対値の差に影響を与えていると思われる。

次に、収縮回数増加にともなう筋力の低下速度に差の生ずる原因については、中枢性（上位、中位の神経細胞、知覚神経末端）と末梢性（筋線維、神経筋接合部、運動神経線維、脊髄のシナプス）の疲労の差異²⁶⁾、また、短距離選手と長距離選手の活動筋への血流量およびその効率の差異も原因として考えなければならない。さらに、等速性運動における Peak torque の低下率と速筋線維の占める比率との間には有意な関係があるとする Thorstensson と Karlsson²³⁾(1976) や Tesch ら²¹⁾(1978) の報告から筋の質的差異も指摘されよう。

一般に筋が疲労すると、その筋の EMG の放電量は増加するとされているが、本研究の場合は短距離・長距離の両選手とも Integrated EMG が低下する傾向がみられた。(図11)筋の疲労にともなう EMG 放電量の増加については、猪飼と石井¹²⁾(1961)によって報告されている。すなわち、彼らは一般人を対象に本研究と同様の間欠的な等尺性最大筋力を発揮させたところ、はじめのうちは最大筋力が低下しても筋の放電量は変わらないが、さらに反復回数が増して約 300 回になると、最大筋力の減少とともに、筋の放電量は増加するとし、その原因として大脳皮質運動領の活動水準の上昇を挙げている。このように筋の疲労にともなう放電量の増加は 300 回後からであることから、本研究の Integrated EMG が 50 回で減少したことは、彼らの結果と矛盾するものではないと思われる。また、作業過程での Integrated EMG の最大値からの低下速度は、すべての筋で長距離選手よりも短距離選手の方が速い傾向を示した。(図11)このことは、速筋線維を支配している運動神経線維は太く、大きな spike 高と固有放電頻度も多い。それとは対照的に、遅筋線維を支配している運動神経線維は細く、小さな spike 高と固有放電頻度も少ないと言われていること²⁴⁾から、筋疲労にともない、易疲労性の速筋線維から耐疲労性の遅筋線維への動員パターンが移行したこと、さらに、足屈運動の際の間欠的な等尺性最大筋力発揮の場合、速筋線維の多い腓腹筋の方が遅筋線維の多い

ヒラメ筋より Integrated EMG の低下速度が速いということ⁸⁾などによるものであろう。

以上の考察に基づいて、間欠的な等尺性最大筋力発揮時の筋力の低下率および主働筋の Integrated EMG の低下様相の差は、両者の鍛練度の差異によるだけでなく、筋肉の質的差異が強く関与して生ずるものと結論されよう。

結 論

陸上短・長距離選手各 4 名に対して、30 回の連続的な跳躍運動を行なわせた際の垂直方向への重心の移動距離、移動速度、平均パワー、Negative work と Positive work に要した時間およびそれらの施行回数増加にともなう低下パターンについて検討した。また、跳躍運動の主働筋の一つである外側広筋の EMG 積分値の差についても検討を加えた。さらに、間欠的な 50 回の等尺性最大筋力を発揮させた際の筋力の低下パターンおよび主働筋群の EMG 積分値の差について検討した結果、次のことが明らかになった。

1. 跳躍運動時の垂直方向への重心の移動距離、移動速度、平均パワーの絶対値に有意な差が認められた。しかし、それらの低下パターンには有意な差は認められなかった。主働筋の EMG 積分値は短距離選手に比較して長距離選手の方が後半大きくなる傾向を示した。

2. Negative と Positive の両 work に要した時間については、長距離選手の Negative work に要した時間のみが低下する傾向を示した。これは短距離選手に比較して長距離選手は耐筋力 (Eccentric contraction) が弱く、その持久能力も低いということを示すものである。

3. 間欠的な等尺性最大筋力発揮の際の筋力の低下パターンに有意な差が認められた。また、主働筋群の EMG 積分値は長距離選手に比較して短距離選手の方が早く低下する傾向を示した。

以上の結果から、両者間のこれらの差は、両者が過去に積んだトレーニングの質および量的差異によるものであるが、筋肉の質的差異も影響を及ぼしているものと考えられる。

本研究の実験を遂行するにあたって、始終御協力いただいた日本大学の近藤正勝先生、当研究室の小島式次先生に深く感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は昭和54年度文部省科学研究補助金、奨励研究第479062によるものである。

引用文献

- 1) Åstrand, P. O. and K. Rodahl: 「Textbook of work physiology. Physiological basis of exercise.」 2nd ed. : pp.49-51, McGraw-Hill, Inc. 1977.
- 2) Asmussen, E. : Muscle fatigue. *Med. Sci. in sports* 11(4) : 313-321, 1979.
- 3) Cavagna, G. A. F. P. Saiben, and R. Margaria : Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J. Appl. physiol.* 20(1) : 157-158, 1965.
- 4) Cavagna, G. A., B. Dusman, and R. Margaria : Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. physiol.* 24(1) : 21-32, 1968.
- 5) Cavagna, G. A. : Elastic bounce of the body. *J. Appl. physiol.* 29(3) : 279-282, 1970.
- 6) Close, R. L. : Dynamic properties of mammalian skeletal muscle. *physiol. Rev.* 52 : 129-197, 1972.
- 7) Costil, D. L., J. Daniels, W. Evans, W. Frink, G. Krahenbuhl and B. Saltin : Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. physiol.* 40 : 149-154, 1976.
- 8) Edgerton, V. R. : Neuromuscular adaptation to power and endurance work. *Canad. J. Appl. Sport Sci.* 1 : 49-58, 1976.
- 9) Edoström, L. and B. Ekblom : Differences in sizes of red and white muscle fibers in vastus lateralis of muscles quadriceps femoris of normal individuals and athletes, Relation to physical performance. *Scand. J. Clin. Invest.* 30 : 175-181, 1972.
- 10) Gollnick, P. D., B. Armstrong, C. W. Saubert IV, K. Piehl and B. Saltin : Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. physiol.* 33 : 312-319, 1972.
- 11) Gollnick, P. D., K. Piehl and B. Saltin : Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J. Physiol.* 241 : 45-57, 1974.
- 12) 猪飼道夫, 石井喜八 : 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究. *体育学研究*5(4) : 154-165, 1961.
- 13) Komi, P. V. and C. Bosco : Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man. In : E. Asmussen and T. Jorgensen (eds.), *Biomechanics VI-A*, pp. 79-85. University Park Press, Baltimore, 1977.
- 14) Komi, P. V. and Bosco : Utilization of stored elastic energy in man and women. *Med. Sci. in sports* 10 : 261-265, 1978.
- 15) 水谷四郎 : Positive work, Negative work に関する筋電図学的研究. *体育学研究*14(2) : 93-97, 1969.
- 16) 永見邦篤 : 種々の反動動作とその効果に関する研究. *体力科学*27 : 45-55, 1978.
- 17) 琉子友男, 浅見俊雄, 戸蒔晴彦 : 脚伸展パワーおよび等尺性最大筋力に及ぼす筋線維構成の影響. *東京大学教養学部体育学紀要*, 第13号, pp.11-15, 1979.
- 18) Saltin, B., J. Henriksson, E. Nygaard, P. Andersen and E. Jansson : Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301 : 3-29, 1977.
- 19) 渋川侃二, 春山国広 : 垂直跳びの力学(第1報), *東教大スポーツ研究所報*, 第3号, pp.52-58, 1965.
- 20) Tesch, P. and J. Karlsson : Isometric strength performance and muscle fiber type distribution in man. *Acta physiol. Scand.* 103 : 47-57, 1978.
- 21) Tesch, P., B. Sjödin, A. Thorstensson and J. Karlsson : Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta Physiol. Scand.* 103 : 413-420, 1978.
- 22) Thorstensson, A. : Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta physiol. Scand. Suppl.* 443, 1-45, 1976.
- 23) Thorstensson, A. and J. Karlsson : Fatiguability and fiber composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 98 : 318-322, 1976.
- 24) Thorstensson, A., L. Larsson, P. Tesch and J. Karlsson : Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med. Sci. in sports* 9 : 26-30, 1977.
- 25) 時実利彦, 津山直一 : 筋電図とその臨床的応用, *東京医学雑誌*, 59 : 62-87, 1951.
- 26) 矢部京之助 : 「人体筋出力の生理的限界と心理的限界」初版 : pp.6-157, 杏林書院, 1977.