

昭和63年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.IX プリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニング
に関する研究—第2報—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和63年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.IX プライオメトリック・リアクティブ筋力トレーニング に関する研究—第2報—

報 告 者 (財)日本体育協会研究プロジェクトチーム
=プライオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究班

班 長 勝 田 茂¹⁾

班 員 松 井 秀 治²⁾ 高 松 薫¹⁾ 伊 藤 章³⁾
伊 坂 忠 夫⁴⁾ 金 久 博 昭⁵⁾

担当研究員 伊 藤 靜 夫 (日本体育協会スポーツ科学研究所)

研究概要

班長 勝田 茂

1. はじめに

筋力・パワーの向上を意図したトレーニングの一つであるプライオメトリック・トレーニングについて、昭和62年度に研究を開始した本プロジェクト研究班は、本年度（昭和63年度）をもって2カ年の研究を終了する。

初年度は基礎的な課題に中心を置き、①神経・筋系からのメカニズムを中心とした基礎的な立場から、②トレーニング効果の面から、とくに体力トレーニングとの結びつきについて、③至適負荷のための至適条件を探ることをねらいとして方法論を中心に置いた立場から、の3つの面から検討を加え報告してきた。

本年度は安全性を考慮したトレーニングの方法論を中心に、より応用的でコーチングやトレーニングの現場に利用できることを研究の主眼にして

1) 筑波大学体育科学系 2) スポーツ医・科学研究所
3) 大阪体育大学 4) 日本体育大学 5) 国際武道大学

進めてきた。主たるテーマは①プライオメトリックトレーニングによって、本当に筋や神経系の改善ができるのか（勝田・金久班員）、②トレーニング効果は行っているスポーツ種目によって特殊性があるのではないか（伊藤班員）、③トレーニング効果を上げるためにどんなトレーニング方法がよいのか（伊坂・高松班員）の3つの面からアプローチを試みた。

以下に各分担課題にもとづく研究の要約を示す。

2. 各分担研究の要約

1) プライオメトリックスの効果に関する研究（勝田班員）

短期間のプライオメトリックトレーニング（プライオメトリックス）が、骨格筋の機能的・構造的特性に及ぼす影響について検討した。

本研究では、運動に参加する筋群をある程度限定することができ、技術的要素の関与が少ない肘関節屈曲運動を用いてプライオメトリックスの効果を検討するために、トレーニング機器の試作を行い、男子体育専攻学生27名を、プライオメトリックス群（P群）16名、ダイナミックトレーニング群（D群）11名に分け、肘関節屈曲筋群に対して

7週間のトレーニングを行った。①P群、D群ともトレーニング前後で比較すると爆発的筋力の指標である力の立ち上がりの統計的に有意な改善が認められた。②D群ではトレーニング後60°, 180°/secにおける等速性筋力の改善が認められたのに対して、P群ではいずれの速度においても有意な変化は認められなかった。③P群では11.5%, D群では5.1%の有意な筋肥大が確認された。④P群における筋肥大率と等尺性最大筋力の増加率はほぼ同じであったが、D群においては筋力の増加率の方が大きかった。

これらのことから、プライオメトリックトレーニングの効果は機能面（爆発的筋力向上）のみならず構造面（筋肥大）においても確認された。しかし同時に筋損傷が生じる可能性も示唆され、トレーニング実施にあたっては伸張局面の負荷、トレーニング頻度、休息には充分な配慮が必要であると思われる。

2) ジャンプ力向上のためのトレーニングに関する研究（金久班員）

本研究では、ジャンプ力向上に関し、①筋力、筋パワー、体肢組成の各要素と垂直跳び能力との関係、②ジャンプ・トレーニングを中心とする反動的、衝撃的要素の強い筋強化がジャンプ力に及ぼす影響、の各観点から検討した。被検者は、①が男子体育大生バスケットボール及びバレーボール選手であり、②はバスケットボール、バレーボール、及び跳躍選手であった。

その結果、①では、等速性、短縮性、伸張性の各収縮様式による脚伸展力は、垂直跳びの跳躍高との間にいずれも有意な相関関係は認められなかった。それに対し足底屈力は、スクワット姿勢から(SJ), アーム・スイングなしで、反動を伴う(CMJ), アーム・スイング及び反動のいずれも伴う(MAJ), の各垂直跳び動作における跳躍高との間に有意な相関関係が認められた。スクワット姿勢からの立ち上がり動作における発揮パワーも、いずれの動作様式における跳躍高とも有意な相関関係にあった。また筋そのものの量より、脂肪量及び身体に占める脂肪の割合が跳躍高に影響をもつことが示唆された。

②では、(1)バスケットボール、バレーボール選手を対象に週3日の頻度で5週間のトレーニング、(2)陸上競技跳躍選手を対象に週3日の頻度で約2ヶ月半の筋強化トレーニングをそれぞれ種目トレーニングと平行して実施した。

その結果、(1)スポーツ選手においては、補強トレーニングと種目トレーニングが平行して実施されたとしても、強化後の筋出力及びジャンプ・パフォーマンスの変化は、補強トレーニングの内容を反映したものになる、(2)スピード重視の反動的動作による筋強化は、それと同様な動作様式が主体となる跳躍運動のパフォーマンス向上に効果をもつ、③スピード重視及びプライオメトリック・トレーニングによる筋強化は、連続的跳躍運動におけるパフォーマンス向上には効果的であるが、単発的跳躍運動におけるパフォーマンスに対する効果に関しては今後さらに検討を要することが示唆された。

3) 下腿三頭筋のリバウンド効果——体操選手と水泳選手の比較（伊藤班員）

プライオメトリックトレーニングの効果を検討するため、成人男子体操選手と成人男子水泳選手、および一般成人を被検者に用い、膝を伸ばしたまま足関節の屈伸だけで行なう“つま先ジャンプ”を、1)反動を使わぬ断続的な全力ジャンプ(NCJ)と、2)反動を利用した連続的な全力ジャンプ(RBJ)の条件下で行なわせ、以下の結果を得た。

① NCJ と RBJ の鉛直変位は、体操選手がそれぞれ13.8と21.8cm、水泳選手が10.1と12.0cm、一般成人が10.5と15.3cmであった。②すなわち、反動を利用することによる鉛直変位の増加(RBJ-NCJ)は体操選手が最も大きく約8cm($p<0.005$)、一般成人は4.8cm($p<0.005$)であったが、水泳選手には有意な増加が認められなかった。③水泳選手17名の内7名についてはNCJの鉛直変位によりRBJのそれの方が小さいという結果を得たが、体操選手と一般成人においては見られなかつた。④筋収縮速度、筋張力、筋パワーはNCJでは体操選手と水泳選手に差が見られなかつたが、RBJでは体操選手の方がそれらすべてに高い値を示した。なかでも筋パワーに最も大きな差があつた。

⑤ EME の結果から見積もった (NCJ の機械的効率を25%と仮定した比率計算) 体操選手の RBJ の効率は約41%, 水泳選手は約29%であった。⑥ RBJ の平均 EMG 振幅 (NCJ の平均振幅に対する相対値) は、負の仕事局面と正の仕事局面ともに体操選手の方が水泳選手より大きかったが、とくに正の仕事局面に大きな差があった。

以上の結果から、水泳選手がプライオメトリック的なジャンプ運動において、反動動作を利用して出力と効率を高めることができなかったことは、正の仕事局面での EMG 活動レベルの低いことが一部原因しており、これは長期間の水泳トレーニングが抗重力筋に及ぼした、衝撃を受止め弾ねかえす運動能力に関する非トレーニングの影響であると示唆された。

4) Drop Jump における下肢の関節間力に関する研究 (伊坂班員)

ある高さの台から跳び降り着地後に垂直跳びをさせる drop jump (DJ) には、大きく 2 つの技術がある。その 1 つは、台からの着地直後に垂直跳びをさせる跳躍動作 (bounce drop jump ; BDJ) であり、他の 1 つは着地後に反動動作をさせて垂直跳びを行わせる方法(counter-movement drop jump ; CDJ) である。本研究では体育専攻学生 3 名を被検者として、BDJ と CDJ の 2 種類の DJ を 20, 30, 50cm の台高から行わせたときに、下肢関節に作用するモーメントを定量化し、至適台高ならびに各下肢関節モーメントと跳躍技術および台高条件の関係を検討した。BDJ20, 30, 50 の接地時間は 0.23, 0.21, 0.26 秒であり、身体重心位置が最下点に達した瞬間から離床までの push-off 局面の時間はそれぞれ 0.10, 0.08, 0.11 秒であった。一方、CDJ20, 30, 50 の接地時間および push-off 局面の時間は、0.36, 0.37, 0.41 および 0.14, 0.16, 0.17 秒であった。足関節に作用したモーメントの最大値を比較してみると、BDJ は、いずれの台高の CDJ よりも高い値を示し、そのなかでも BDJ30 が最高値 (444Nm) であった。CDJ は CMJ と近似した値であった。膝関節についても足関節とほぼ同様の傾向がつみられたが、最高値が得られたのは、BDJ50 であった。股関節については、いず

れの DJ も CMJ より大きなモーメントが作用した。BDJ では台高 30cm のとき最大 (405Nm) であり、CDJ では 30cm のときが最大 (308Nm) であった。着地時の衝撃力を考えられる downward 局面での床反力の peak 値は、台高が増すにつれて高くなつた。しかしながら、CDJ (体重の約 3-4 倍) はいずれの BDJ (体重の約 5-6 倍) よりも低い値であった。

以上のことから、DJ トレーニングを開始する初期の段階では、30cm の台高からの CDJ が勧められる。トレーニングの水準が高まるにつれ、CDJ の台高を上げて行き、50cm の台高でのトレーニングが終了した段階で、台高を 30cm に下げて BDJ に移行し台高条件を強めていく方法が、下肢関節の傷害を防止するうえで望ましいと考えられる。

5) デプスジャンプにおける台高と膝曲げ動作の相違が跳躍高と下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響 (高松班員)

デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げの特性に及ぼす影響を明らかにするために、男子体育専攻学生 10 名を対象にして、0.3, 0.6, 0.9, 1.2m の台高から、「浅い (110~130 度)」「中くらい (70~90 度)」「深い (30~50 度)」膝曲げ動作によるデプスジャンプを全力で行わせた。結果は次のとおりである。

- ① 台高が高くなるにつれて、踏切前半では地面反力でとらえた最大力は大きくなり、腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー(負)、絶対仕事なども大きくなつた。しかし、踏切後半では腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー、絶対仕事などは変化せず、跳躍高も変化がなかった。また、大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の iEMG, mEMG は踏切前半、後半ともに変化がなかった。
- ② 踏切中の膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では腰、膝、足関節の絶対仕事は大きくなつたが、地面反力でとらえた最大力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大トルクも小さくなつた。踏切後半では地面反力でとらえた平均力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大トルクや最大パワーは変化しないかまたは小さくなつたが、踏切時間が長くなるために、腰、膝関節の絶対仕事は大きくなり、

その結果跳躍高も高くなった。また、踏切前半では大腿直筋と前脛骨筋、踏切後半では大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGが大きくなかった。

③ 台高が高くなるにつれて、また膝曲げ動作が大きくなるにつれて、腰、膝関節の相対仕事は大きくなり、足関節の相対仕事は小さくなった。

上述の結果は、デプスジャンプの跳躍高や下肢筋にかかる負荷の特性は、台高や膝曲げ動作の相違によってかなり変化することを示すものである。したがって、デプスジャンプトレーニングを行う場合には、トレーニングの目的に適した台高と膝曲げ動作を選択する必要があると考えられる。

3. 得られた主な成果のまとめ

1) プライオメトリックトレーニングによって、従来いわれているような筋力の改善と同時に、神経系の改善が期待できそうであるということ。それはたとえば、①このトレーニングによって力の立上がり速度が早くなること、②技術性の面からみて、トレーニングに用いる動きは、そのスポーツ種目に関係のある動きを使って行った方が効果的であること、などによって説明できる。

2) プライオメトリック的な負荷を与えた場合、それに対する反応には特殊性があり、個人のトレーニングの履歴に関係していること。たとえば水泳選手と体操選手を比べると、水泳選手の方がプライオメトリック的なジャンプ運動で反動を利用することが下手である、ということからこのよう

なことが考えられる。また、このことはプライオメトリック的な能力はトレーニングによって発達させることができる可能性があることを示すものもある。

3) プライオメトリックトレーニングの方法に関して、デプスジャンプを例にとると、このジャンプは台高、膝曲げ動作を規定してできるが、望ましい台高は反動つき30cm→徐々に反動つき50cmへ→反動なし30cm→徐々に台高増加が考えられ、また、膝曲げ角度のちがいによってもトレーニング効果が異なるので、やや深い膝曲げ→浅い膝曲げが有効と考えられる。いずれにせよ体力レベルに応じたトレーニング負荷の規定が必要であると考えられる。

4. 今後の課題

コーチングやトレーニングの現場に役立つであろうと思われる方向からみた今後の課題をいくつか列挙すると、①被検者を類型化して観察すること——発育段階差、性差、種目差、鍛練差などに応じた負荷のかけ方の検討、②安全性の検討——負荷の強さ・量・頻度・開始時期、用いる用具・場所の検討など、③競技スポーツにおけるトレーニングプログラムへのとり入れ方、④選手がこのトレーニングをどのようにとり入れているのかの実態をつかむためのフィールド調査、などが考えられる。一層の研究の進展が望まれる。

I. プライオメトリックスの効果に関する研究

報告者 勝田 茂

研究協力者 酒井俊郎¹⁾ 朝賀秀志¹⁾ 坂本 智²⁾

緒言

競技スポーツにおいてパフォーマンス（競技成績）を向上させることを目的として、さまざまな筋力トレーニング法やスピードトレーニング法などが生み出されてきた。近年実際の競技場面に近いトレーニング法としてプライオメトリックストレーニング（以下プライオメトリックスとする）が注目を集めている。プライオメトリックスの効果としては、パワー、スピード、静的・動的爆発的筋力の向上などが挙げられており¹⁾²⁾⁴⁾⁷⁾¹³⁾²⁸⁾、その機序は筋の弾性エネルギー利用率の向上、より良い運動単位の同期化、より多くの運動単位の動員を引き起こすこと、活動に参加する諸筋群間の協調性の改善、それに筋紡錘の閾値上昇など、おもに神経系の要因が大きいとされている²³⁾²⁴⁾²⁷⁾。

しかしプライオメトリックスの効果を体系的に説明した研究は少なく、明確な結果は出ていない。また、筋が構造的、機能的にどのように変化するかを解明しようとした研究はほとんど見られない。その原因（理由）としては、プライオメトリックスの効果に関する実験のほとんどが、デプスジャンプなどの多関節運動を用いているために、技術的な要因が大きく関与する¹⁷⁾²⁴⁾こと、主働筋を限定できること、それに効果を検証するパラメータ一が適切でないことなどが考えられる。そこで本研究では、動的、静的筋力の測定に加えて解剖学的手法を用い、単関節運動である肘関節の屈曲運動におけるプライオメトリックスの効果について検証することを目的とした。

方法

1. 被検者 体育専攻学生男子27名を用い、トレーニング様式ごとに、①プライオメトリックス群（Plyometric training group：以下P群とする）16名、②動的筋力トレーニング群（Dynamic training group：以下D群とする）11名に分け、肘関節屈曲筋群に対するトレーニングを、それぞれ週3回の頻度で7週間実施した。（被検者の身体特性を表1に示す。）

なお全被検者より本研究参加についての承諾を得た。

2. トレーニング P群のトレーニングは筋収縮様式でみると、強度の高い伸張性収縮に引き続いてただちに短縮性収縮の局面を持つ「伸張-短縮サイクル運動¹⁸⁾」を用いたトレーニングであり、我々が試作した特性のプライオメトリックトレーニングマシンを用いて行った（図1、2、3、写真1）。トレーニング時の速度は、伸張局面で約200°～240°/sec、短縮局面で約220°/secであった。また伸張性収縮の範囲が肘関節角度80°から135°（肘関節完全伸展位を180°とする）になるように調節し、同時に負荷を等尺性最大筋力（以下MVCとする）の約4/3、短縮性収縮時の負荷（補助ウェイトの重量）を1/3MVCに設定した。1日のトレーニングは、肘関節の伸張-短縮サイクル運動を1回として、5回を1セットとし6セット実施した。また、1回ごとおよびセット間の休息時間は、それぞれ約15秒、1分とした。

D群のトレーニングは腕エルゴメーターを用いて行った。筋収縮様式でみると、短縮性および伸

1) 筑波大学 2) 福島工業高等専門学校

表1 被検者の身体特性

| Group | Age (yr) | Height (cm) | Weight (kg) |
|------------|---------------|------------------|------------------|
| Plyometric | \bar{x} | 21.7 | 68.1 |
| Training | SD | 2.6 | 5.5 |
| | (n=16) | | |
| Dynamic | \bar{x} | 22.2 | 66.0 |
| Training | SD | 2.0 | 6.7 |
| | (n=11) | | |

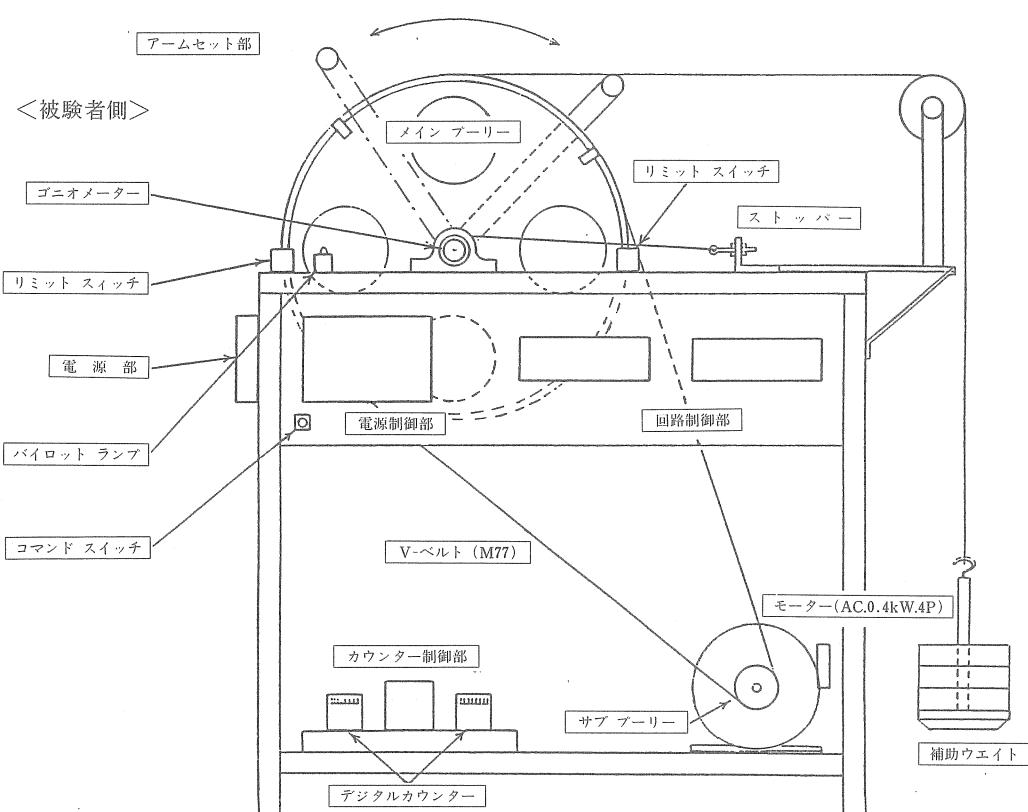


図1 プライオメトリックトレーニングマシン側面図

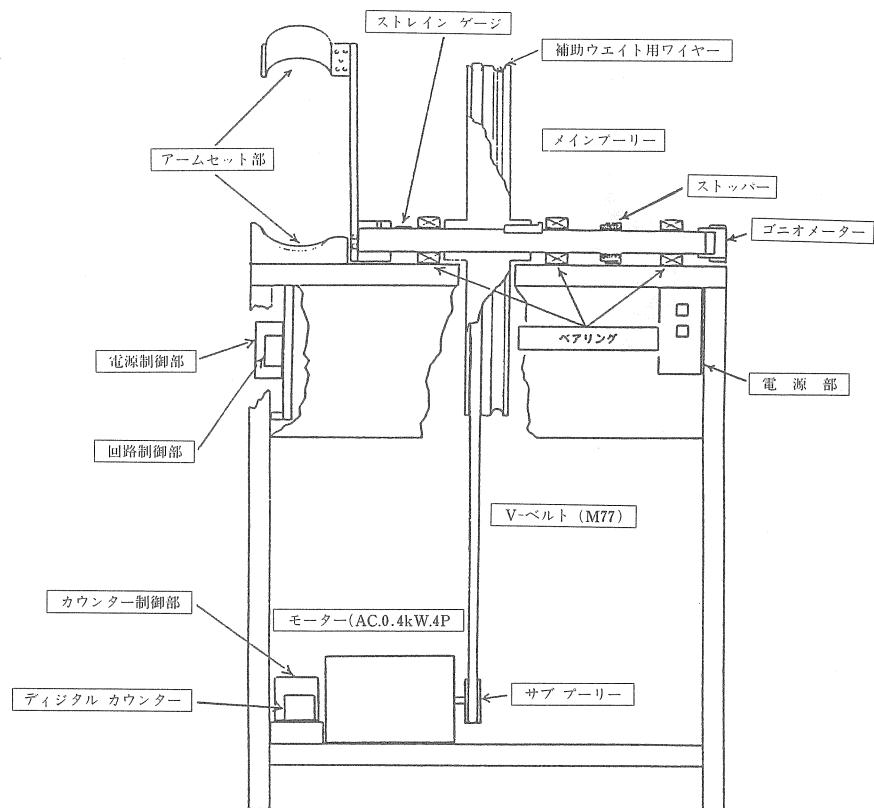


図2 プライオメトリックトレーニングマシン正面図(被検者側)

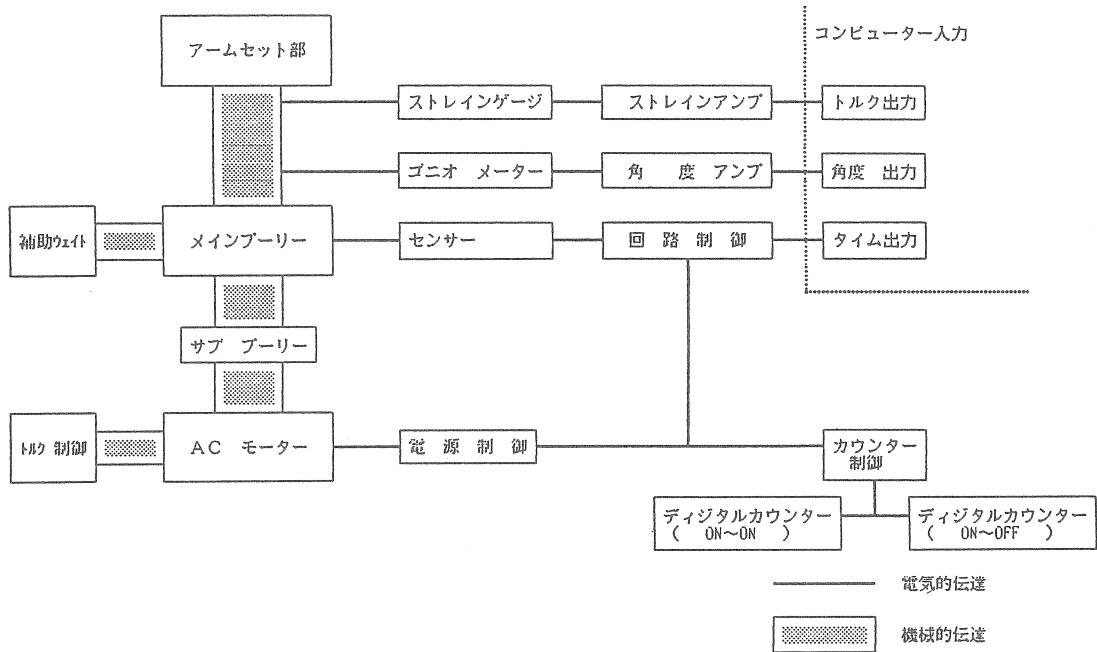


図3 プライオメトリックトレーニングマシン・ブロックダイアグラム

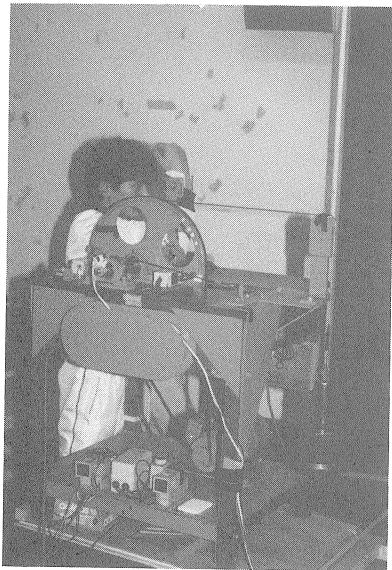


写真1 トレーニング風景

張性収縮の局面を有する等張性収縮でのトレーニング様式である。腕エルゴメーターの可動範囲を肘関節角度80°～135°に規定し、負荷を2/3MVCに設定した。1日のトレーニングは、肘関節屈曲・伸展運動を1回とし、メトロノームに合わせ屈曲1秒、伸展1秒のリズムで、5回を1セットとして6セット実施した。なお、セット間の休息時間は約1分とした。

いずれの群に対しても、トレーニング期間中、定期的に最大筋力を測定し、適切な負荷がかかるようにした。またトレーニング実施の際、トレーニングにはいる前および休息時、各被験者にウォーミングアップ、上肢各部位のストレッチングなどをを行わせ、傷害防止に努めた。さらにセット途中でオールアウトに達した場合には、その時点で休息に入るように指示を与えた。

3. トレーニング機器の製作 短期間のトレーニングにより、プライオメトリックスの効果を、構造的、機能的に明らかにしようとする場合、動作（運動）様式を限定し、管理してトレーニングを行わないと、筋、腱および骨に対する負荷が異なり、効果を適確に確認できないことが予想される。デプスジャンプは、実際に多くの競技種目で

取り入れられているプライオメトリックス・ドリルである²⁷⁾が、足関節、膝関節、腰関節に関する多関節運動であり、各関節で発生するトルクを有效地に伝達することが、落下衝撃を緩和し、跳躍高を増大することにつながる。そのため各自の運動技術が大きく反映し、運動様式を管理すること、および主働筋を限定することが難しい。

そこで本研究では、運動に参加する筋群がある程度限定することができ、技術的要素の関与が少ない肘関節屈曲運動を用いて、プライオメトリックスの効果を検証するべく、トレーニング機器の試作を行った（図1、2、3、写真1参照）。

機器の設計・製作にあたり、プライオメトリック運動を「短縮性収縮に先立つ筋の予備伸張(prestretch)状態を含む爆発的反動的な運動」としてとらえた。そして、非常に激しい伸張性収縮局面を持つ伸張ー短縮サイクル運動を設定すべく、以下の条件を満たすことに留意した。

- ①肘関節屈曲筋群の収縮様式でみると、伸張性収縮から短縮性収縮への切り替えが瞬時に行えること。
- ②伸張性収縮の範囲（角度）を規定できること。
- ③短縮性収縮時の負荷を調節できること。
- ④安全性が確保できること（安全装置を二重につけること）。

①、②については、二つのリミットスイッチを用いてモーターのon-offを制御することにより、条件をほぼ満たすことができた。③は補助ウェイトの重量を加減することにより可能になった。④については、ストッパーを2箇所に設け、さらに非常電源停止スイッチを設置して、安全性の確保に努めた。

4. トレーニング効果の評価 トレーニング前、4週目、終了後に以下の測定および計測を行った。

a. 静的最大筋力測定 肘関節屈曲時の等尺性最大筋力の測定は、肘関節角度70°、90°、および130°について行った。肘関節角度90°での等尺性最大筋力は Davies ら⁵⁾の方法を参考にし、被験者の姿勢を、椅子で正対した台上に上腕を水平にのせ、肩関節角度90°の状態で測定した（図4）。被験者は、できるだけ早く最大筋力を発揮するよう指示

し、そのレベルを約3秒間持続させた。発揮された力をストレンゲージによりとらえ、ストレインアンプで增幅し、A/Dコンバーターによって1 msecごとに数値化したのち、パーソナルコンピュータを介してミニフロッピディスクに格納した。そして得られた数値をもとに、等尺性最大筋力、力-時間関係、および最大筋力立ち上がり速度を求めた。

肘関節角度70°および130°については、サイベックスII（Lumex社製）を0°/secに固定した状態で測定した。

それぞれの肘関節角度での等尺性最大筋力の測定は2～3回ずつを行い、その最大値を記録した。なお測定の際、前腕は回外位で行い、また試技間には約2分間の休息時間をとった。

b. 動的筋力測定 肘関節屈曲運動における動的筋力の測定にはサイベックスIIを用い、60°、180°、240°/secの速度でそれぞれ3回測定し、その最高値を記録した。発揮されたトルクは、力とレバーの長さの積として算出し、単位は“Nm”で表した。測定に当たっては、サイベックスIIのレバーの回転軸と肘関節の回転軸が一致するよう留意し、また各試技間には十分な休息がとれるよう配慮した。

c. 筋断面積の測定 上腕部屈筋群の筋断面積測定のために、超電導MRI装置（General Electric社製、SIGNA）を用いて上腕部骨長（肩峰点から橈骨点までの距離）の遠位40%の部位、およびその下部を5 mm間隔で3枚撮影した（位置決めは上腕部縦断画像により行った：写真2-1, 2）。得られた画像から屈曲筋群を同定し、デジタイザにより面積を算出した。そしてそれぞれの値の平均値を筋断面積値とした。なお肘関節は完全伸展位、前腕は回外位で撮影し、各被検者に対して撮影当日および前日のトレーニングは実施しないよう指示を与えた。

d. 上腕部・前腕部周径、および皮脂厚の計測

上腕部周径は上腕骨長遠位40%の部位を計測した。上腕部皮脂厚は周径と同部位の内側、外側、前部、後部の4点を計測し平均値を算出した。前腕部周径および皮脂厚は前腕長（橈骨点から茎突点までの距離）の近位30%の部位を計測した。

なお本研究において、各測定およびトレーニン

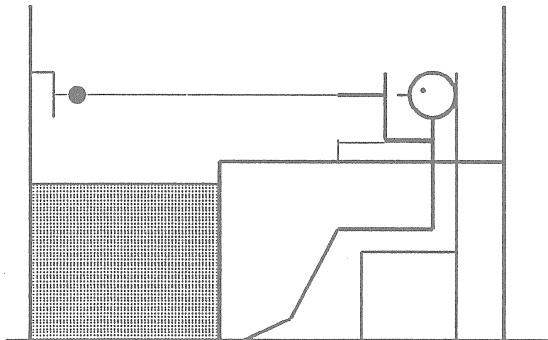


図4 肘関節角度90°における等尺性最大筋力の測定

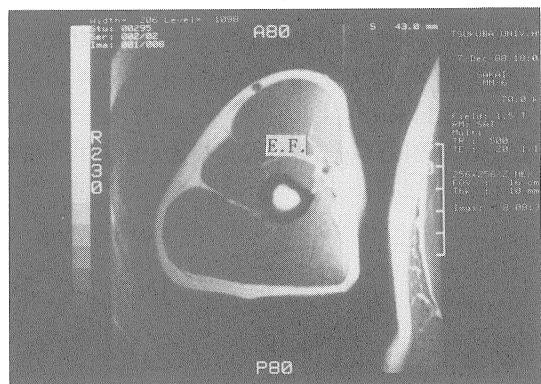


写真2-1 上腕部横断面画像

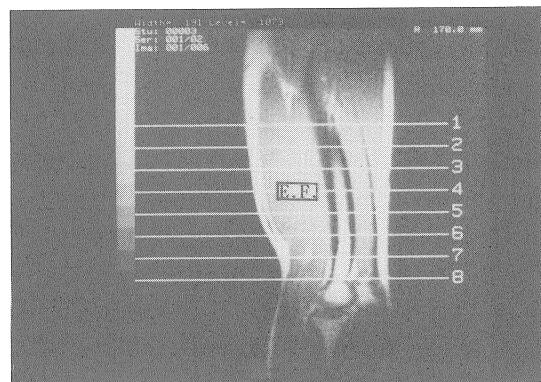


写真2-2 上腕部縦断画像

グの被験腕は全て右腕とした。

5. 統計処理 各測定項目についてトレーニング前後の変化を調べるために、対応のあるt検定を行い、両側検定で有意水準5%以内を統計上有意な差と評価し、各表およびグラフには（*: p <

0.05, **: $p < 0.01$) と示した。

結 果

トレーニング初期(1~2週目)において、P群ではトレーニング後ほとんどの者が筋の硬直を認め、約半数の者が遲延性の筋痛(特に屈筋群の停止部付近において)を訴え、それが原因でセットの途中でオールアウトに達する者も数名現れた。しかし、3週目以降は筋痛を訴える者もなく順調にトレーニングを消化した。D群でもトレーニング初期にオールアウトに達する者が数名現れたものの、筋の硬直のみで筋痛を訴える者はおらず、順調にトレーニングを消化することができた。

筋断面積 P群の筋断面積はトレーニング前($21.2 \pm 1.9 \text{ cm}^2$)よりもトレーニング後($23.6 \pm 2.7 \text{ cm}^2$)では11.4%統計的に有意($p < 0.01$)に増

加した。D群においてもトレーニング前($19.6 \pm 3.7 \text{ cm}^2$)、トレーニング後($20.6 \pm 3.3 \text{ cm}^2$)と5.1%の有意($p < 0.05$)な増加が認められた。(表2、図5)

上腕部・前腕部周径、および皮脂厚 P群の上腕囲は、トレーニング後($29.5 \pm 2.0 \text{ cm}$)にはトレーニング前($28.3 \pm 2.2 \text{ cm}$)と比較して4.3%の統計的に有意($p < 0.01$)な増加を示した。一方皮脂厚は、トレーニング前後で比較して低下傾向は見られたものの有意な変化は認められなかった。D群の上腕囲はトレーニング後($28.1 \pm 2.6 \text{ cm}$)とトレーニング前($28.6 \pm 2.7 \text{ cm}$)で有意な変化はみられなかった。また皮脂厚についても有意な変化は認められなかった。P群の前腕囲は、トレーニング後($26.4 \pm 1.4 \text{ cm}$)にはトレーニング前($26.0 \pm 1.21 \text{ cm}$)と比較して有意($p < 0.01$)な変化が認められたが、

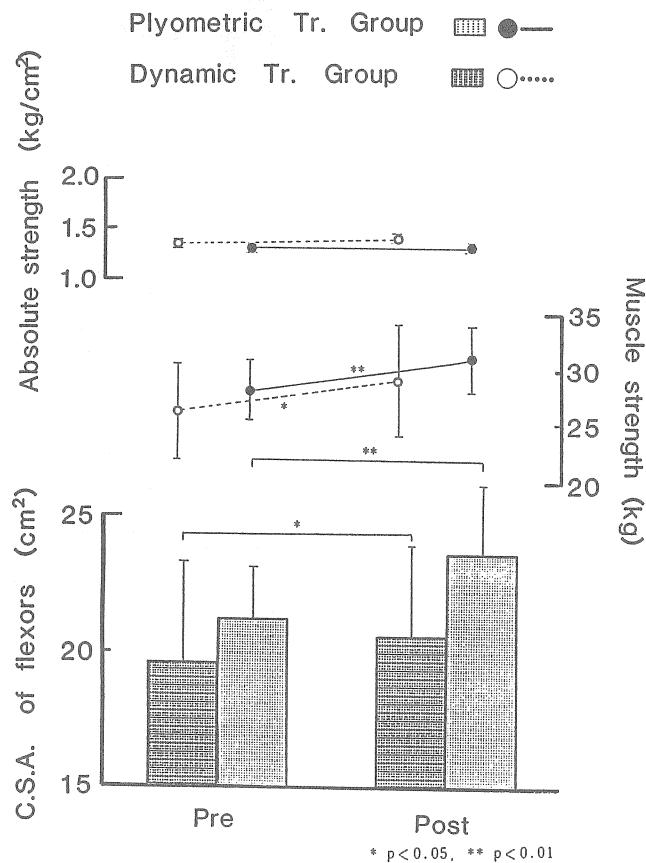


図5 等尺性最大筋力(肘関節角度90°)と筋断面積および単位断面積当りの筋力

表2 上腕屈筋群断面積、上腕部・前腕部周径および皮脂厚

| Group | Cross Sectional Area (cm ²) | | Girth (cm) | | | | Skinfold Thickness (mm) | | | | |
|------------|---|------|-----------------|------|---------|------|------------------------------|------|---------|------|-----|
| | Upper arm | | Upper arm | | Forearm | | Upper arm | | Forearm | | |
| | pre | post | pre | post | pre | post | pre | post | pre | post | |
| Plyometric | \bar{x} | 21.2 | 23.6 ** | 28.3 | 29.5 ** | 26.0 | 26.4 ** | 2.5 | 2.4 | 1.6 | 1.6 |
| | SD | 1.9 | 2.7 | 2.2 | 2.0 | 1.2 | 1.4 | 0.9 | 1.0 | 0.3 | 0.3 |
| Dynamic | pre | post | pre | post | pre | post | pre | post | pre | post | |
| | \bar{x} | 19.6 | 20.6 * | 28.6 | 28.1 | 25.6 | 25.9 | 2.7 | 2.5 | 1.5 | 1.7 |
| | SD | 3.7 | 3.3 | 2.7 | 2.6 | 2.0 | 2.0 | 1.6 | 1.5 | 0.3 | 0.4 |

(*p<0.05, **p<0.01)

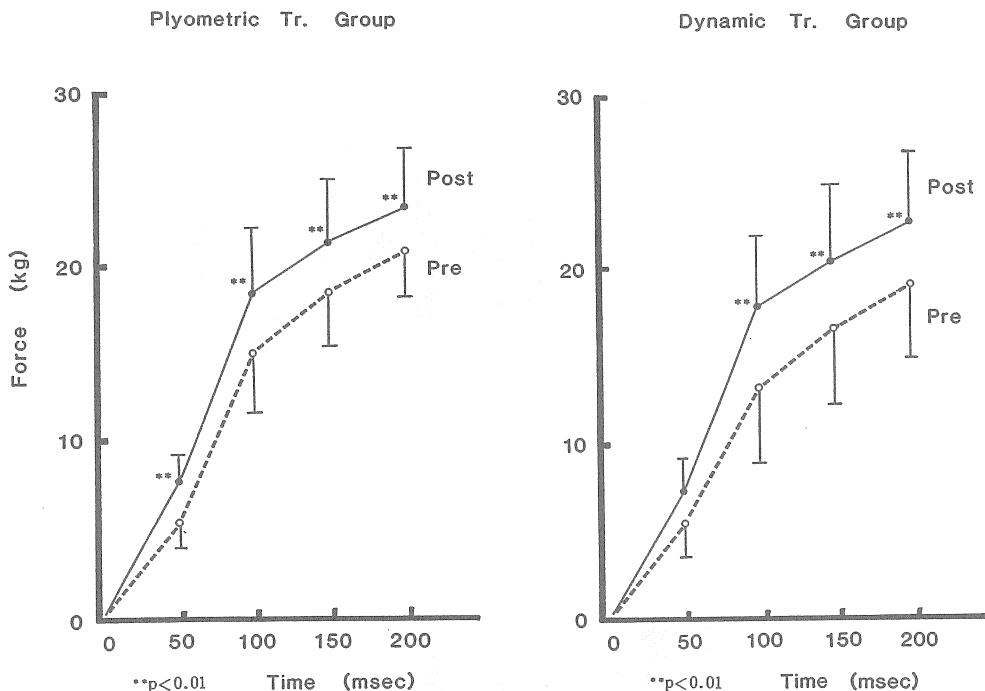


図6 等尺性最大筋力(肘関節角度90°)発揮時における力の立ち上がり

皮脂厚に変化は認められなかった。D群の前腕周径および皮脂厚は、トレーニング前後で変化が認められなかった(表2)。

力の立ち上がり(力-時間曲線) 図6は力の発揮開始時を0として、50msec, 100msec, 150msec および200msec 経過後における力の平均値、

および標準偏差を示したものである。P群において、トレーニング後にはトレーニング前と比較して50msec 時で43.4%, 100msec 時22.7%, 150msec 時15.2%, そして200msec 時12.0%とそれぞれ統計的に有意(p<0.01)に増加しており、特に初期(50msec)の改善率が大きかった。D群ではトレーニ

ング前後で比較すると、力の発揮開始後50msecでは個人差が大きく有意ではなかったが、100msecでは35.6%，150msec時23.6%，200msec時19.3%とそれぞれ有意($p<0.01$)な改善が認められた。

最大筋力立ち上がり速度(kg/sec) P群ではトレーニング前(266.5±69.9kg/sec)よりもトレーニング後(393.9±151.6kg/sec)と統計的に有意($p<0.05$)な改善が認められた。D群においても、トレーニング前後で(195.6±79.8kg/secから322.0±100.0kg/sec)有意($p<0.01$)な改善がみられた。

等尺性最大筋力 肘関節角度90°において P群で

は、トレーニング前(28.1±2.8kg)と比較してトレーニング後(30.9±3.0kg)では10.0%統計的に有意($p<0.01$)に増加した。またD群においてもトレーニング前(26.2±4.3kg)とトレーニング後(29.5±4.9kg)では約12.6%の有意($p<0.05$)な増加が認められた。肘関節角度70°においてトレーニング前後で比較すると、P群では12.5%(69.7±13.0Nmから78.4±13.0Nm)の統計的に有意($p<0.01$)な増加がみられ、D群でも29.3%(59.9±12.8Nmから77.5±16.9Nm)有意($p<0.01$)な増加が認められた。肘関節角度130°においてもP群で9.2%(55.9±9.5Nmから66.1±9.4Nm)，D

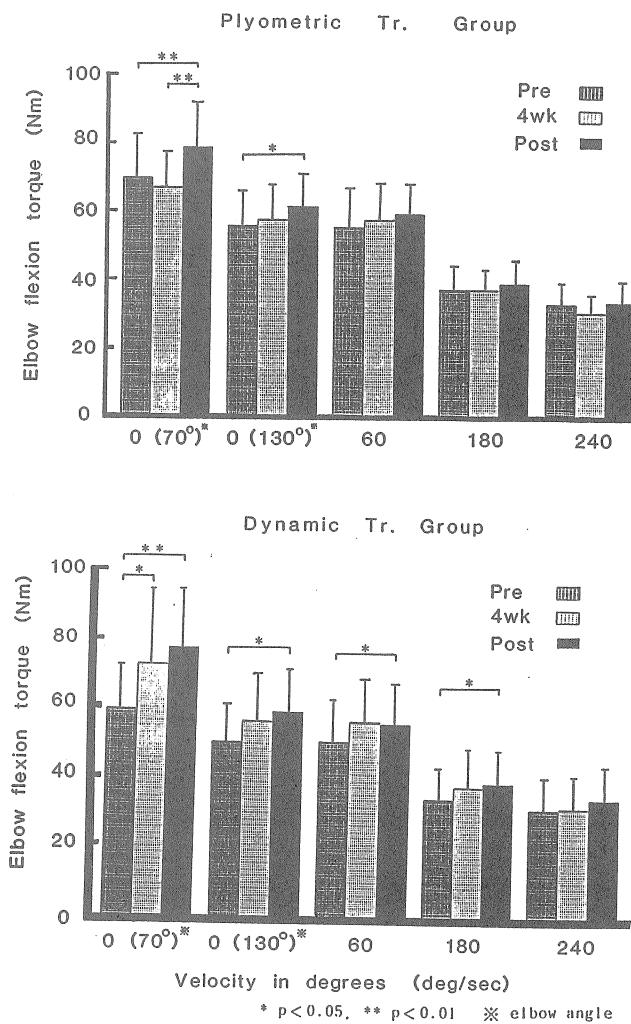


図7 等尺性最大筋力(肘関節角度70°，130°)
および各角速度における等速性最大筋力

群で17.3% (50.2 ± 11.2 Nm から 58.9 ± 12.2 Nm) 統計的に有意 ($p < 0.05$) な増加が認められた(図5, 7)。

動的最大筋力 P群ではトレーニング前後で比較すると $60^\circ/\text{sec}$ で増加傾向が見られるものの、低速から高速 ($60^\circ \sim 240^\circ/\text{sec}$) まで統計的に有意な変化は認められなかった。D群では $60^\circ/\text{sec}$ および $180^\circ/\text{sec}$ においてはトレーニング経過と共に上昇し、それぞれトレーニング前後 (50.3 ± 11.7 Nm から 55.6 ± 11.3 Nm, 34.3 ± 8.5 Nm から 38.8 ± 8.8 Nm) で有意 ($p < 0.05$) に増加した。しかし $240^\circ/\text{sec}$ においては有意な変化は認められなかった(図7)。

単位断面積当たりの筋力(肘関節角度 90° での等尺性最大筋力/筋断面積) P群ではトレーニング前 $1.32 \pm 0.13\text{kg}/\text{cm}^2$ ($1.07 \sim 1.57\text{kg}/\text{cm}^2$)、トレーニング後 $1.32 \pm 0.10\text{kg}/\text{cm}^2$ ($1.11 \sim 1.51\text{kg}/\text{cm}^2$) と平均値で比較してほとんど差がみられなかった。D群ではトレーニング前 $1.35 \pm 0.14\text{kg}/\text{cm}^2$ ($1.06 \sim 1.56\text{kg}/\text{cm}^2$)、トレーニング後 $1.41 \pm 0.10\text{kg}/\text{cm}^2$ ($1.29 \sim 1.61\text{kg}/\text{cm}^2$) と平均で4.4%増加しているが統計的有意水準には至らなかった(図5, 8)。

考 察

本研究のプライオメトリックス群において得られた知見は、機能的な面に関しては、①爆発的筋力を発揮する能力の改善、②動的筋力は変化なし、③静的筋力の伸びは少ないというものであり、構造(形態)的な面に関しては、①顕著な筋肥大、②上腕・前腕周径の有意な増加であり、先行研究および効果に関する仮説²³⁾²⁷⁾²⁸⁾とは、多少異なる結果となった。

力の立ち上がりに影響を及ぼす要因としては活動筋への神経衝撃の量(集中性)¹⁶⁾、神経衝撃を機械的反応に変換する速さ¹⁶⁾³²⁾、主働筋の速筋線維占有率(筋線維組成)³¹⁾などがあげられており、トレーニングにより特定の力に達する時間が短縮される¹²⁾²⁹⁾ことも報告されている。本研究でも爆発的筋力の指標となる力-時間関係、および最大筋力立ち上がり速度のいずれにおいても、統計的に有意($p < 0.01 \sim 0.05$)な改善が認められ、先行研究と一致する結果が得られた。この原因としては、神経系の改善および速筋線維の選択的な肥大が考えられるが、等速性筋力に改善がみられなかったことから、神経系の改善によるものと思われる。

主働筋の断面積と発揮される等尺性最大筋力に

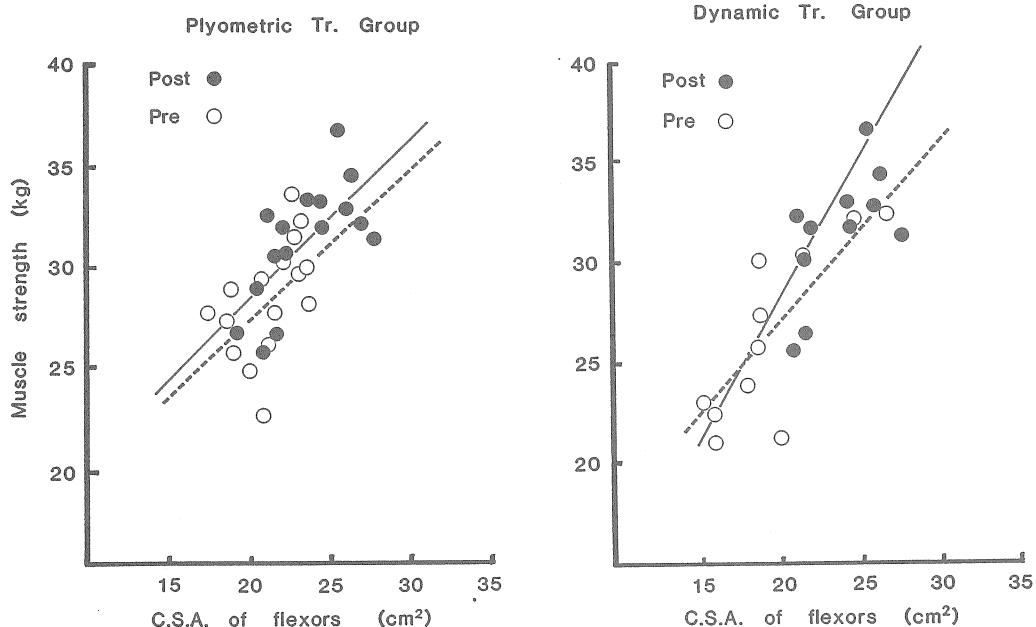


図8 トレーニングに伴う等尺性最大筋力(肘関節角度 90°)と筋断面積の変化

は高い相関がある⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁴⁾ことが報告されており、また筋力トレーニングに伴う筋断面積と筋力の関係については、筋断面積の増加率よりも筋力増加率の方が大きい⁵⁾¹⁰⁾¹⁵⁾²²⁾ことが報告されている。しかし本研究のP群では筋断面積が11.3%増大しているのに対して、筋力の増加は10.0%にとどまっている。それに対してD群は筋断面積5.1%，筋力12.6%の増加を示し、程度の差はあるものの先行研究と一致する結果を示した。また等速性筋力についても、D群は60°/sec, 180°/secにおいて統計的に有意な増加が認められているのに対して、P群ではいずれの角速度においても有意な変化は見られなかった。一般に継続的な筋力トレーニングにより、神経系の改善がなされ筋力が増大する。その後引き続いて筋肥大が生じ、さらに筋力が増大してゆく¹⁹⁾。本研究の被検者は体育専攻学生であり、神経系の改善がある程度なされていると考えられ、そのため非鍛練者とは異なる変化を示したのかも知れない。

また本研究のP群の負荷強度は伸張性収縮時4/3MVC, 短縮性の収縮時1/3MVCと、かなり強度の高い伸張性収縮局面を有する「伸張ー短縮サイクル運動」によるトレーニングであった。高強度のトレーニング、特に伸張性収縮を含んだ筋力トレーニングにより、筋がダメージを受け筋痛を感じる²⁵⁾ことが知られており、本研究においても、D群よりもP群の方がトレーニング後に筋の硬直、遅延性の筋痛を訴える者が多かった。トレーニング直後に生じた筋の痛みは筋疲労による代謝的なもの⁸⁾であり、トレーニング1～2日後に生じたものは筋線維や結合組織の損傷によって生じた炎症性の遅延性筋痛⁸⁾²⁰⁾²⁶⁾と考えられる。このような筋損傷が完全に回復するまでには、30日～12週間必要であろう⁶⁾²¹⁾とされている。Newhamら²⁵⁾は収縮特性の回復速度はMVCよりも早く、両者ともトレーニングにより回復速度が早くなると報告している。これらの知見より、4週および7週終了後の筋力測定時においては筋損傷からの回復過程にあり、その影響も反映していると考えることもできる。すなわち「伸張ー短縮サイクル運動」によるトレーニングを継続して行うことにより、筋の適応が生じ、収縮特性を反映する力の立ち上がり

は向上し、全筋の収縮力(MVC)は筋損傷の影響を受け、相対的に低い値を示したことが推察される。さらに伸張性収縮中には、おもに速筋線維が動員され、選択的にダメージを受ける²³⁾ことが報告されており、そのためP群において等速性筋力の増加が認められなかつたのではないかと推察される。しかし本研究では生化学あるいは組織化学的検討を行っておらず、これ以上の論議はできない。この点に関しては更なる研究が必要であると思われる。

本研究で得られたプライオメトリックスの効果に関する知見を、多関節運動であるデプスジャンプなどの効果として、そのまま直接当てはめることはできないと思われる。本実験におけるP群のトレーニングの伸張局面での負荷は4/3MVCであり、短縮局面にも1/3MVCの負荷がかかっている状態であった。デプスジャンプに例えるならば、ウェイトジャケット、バーベルなどの負荷重量物を用いた形式のものに例えることができると思われる。すなわち本研究においては、負荷重量物を用いたプライオメトリックス(激しい伸張局面を有する「伸張ー短縮サイクル運動」でのトレーニング)を行うと、主な目的である爆発的筋力の改善のみならず筋肥大が生じること、さらに伸張局面の負荷が強いと、動的な筋力発揮の際に、筋損傷に起因すると思われる筋力の低下が起こる可能性もある。そのためプライオメトリックス実施にあたっては、Verhoshanski³⁰⁾も示唆しているように、トレーニング時期、頻度について充分な配慮が必要であると思われる。

総 括

プライオメトリックスの効果について検証するために、男子体育専攻学生27名をプライオメトリックス群(P群)16名、ダイナミックトレーニング群(D群)11名に分け、肘関節屈曲筋群に対する7週間のトレーニングを行った。得られた結果を以下に示す。

- ① P群、D群ともトレーニング前後で比較すると、爆発的筋力の指標である力の立ち上がりにおいて統計的に有意な改善が認められた。
- ② D群ではトレーニング後、60°, 180°/secにおける

る等速性筋力の改善が認められたのに対して、P群ではいずれの速度においても有意な変化は認められなかった。

③ P群では11.5%, D群では5.1%の有意な筋肥大が確認された。

④ P群における筋肥大率と等尺性最大筋力の増加率は、ほぼ同じであったが、D群においては筋力の増加率の方が大きかった。

プライオメトリックトレーニングの効果は機能面(爆発的筋力向上)のみならず構造面(筋肥大)においても確認された。しかし同時に筋損傷が生じる可能性も示唆され、トレーニング実施にあたっては伸張局面の負荷、トレーニング頻度、休息には充分な配慮が必要であると思われる。

参考文献

- 1) Blattner,S.E. and Noble,L. (1979) : Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performances. Res. Quart. 50, 583-588.
- 2) Bosco,C. and Komi,P.V. (1979) : Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. Eur.J.Appl. Physiol. 41, 275-284.
- 3) Brown,M.E., Meyhew,J.L. and Boleach,L.W. (1986) : Effect of plyometric training on vertical jump performance in highschool basketball players. J.Sports Med. 26, 1-4.
- 4) Clutch,D., Wilton,M. McGown,C. and Bryce R. (1983) : The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. Res. Quart. 54, 5-10.
- 5) Davies,J., Parker,D.F., Rutherford,O.M. and Jones,D.A. (1988) : Changes in strength and cross sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. Eur.J.Appl. Physiol. 57, 667-670.
- 6) Evans,W.J. (1987) : Exercise-induced skeletal muscle damage. Phys. Sports Med. 15, 89-100.
- 7) Ford,H.T.Jr., Puckett,J.R., Drummond,J.P., Sawyer,K., Gant,K. and Fussell,C. (1983) : Effect of three combinations of plyometrics and weight training programs on selected physical fitness test items. Percept. Mot. Skills 56, 919-922.
- 8) Friden,J. (1984) : Muscle soreness after exercise : Implications of morphological changes. Int. J. Sports Med. 5, 57-66.
- 9) 福永哲夫(1978) : ヒトの絶対筋力—超音波による体肢組成・筋力の分析—。杏林書院。106-227.
- 10) 福永哲夫, 杉山允浩(1978) : 絶対筋力における静的および動的筋力トレーニングの影響。体育学研究, 22, (6) 343-349.
- 11) Haggmark,T., Jansson,E., and Svane,B. (1978) : Cross-sectional area of the thigh muscle in man measured by computed tomography. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 38, 355-360.
- 12) Hakkinen,K., Alen,M. and Komi,P.V. (1985) : Changes in isometric force- and relaxation-time, electro-myographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. Acta Physiol. Scand. 125, 573-585.
- 13) Hakkinen,K., Komi,P.V. and Alen,M. (1985) : Effect of explosive type strength training on isometric force- and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. Acta Physiol. Scand. 125, 587-600.
- 14) Ikai,M. and Fukunaga,T. (1968) : Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrameasurements. Int. Z. Angew. Physiol. 26, 26-32.
- 15) Ikai,M. and Fukunaga,T. (1970) : A study on training effect on strength per unit cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement. Int. Z. Angew. Physiol. 28, 178-180.
- 16) 金子公宥(1977) : 人体筋のダイナミクス。杏

林書店, 124-152.

- 17) 勝田茂, 酒井俊郎, 河原志津子(1988) : プライオメトリックスに関する基礎的研究, 一競技種目別にみたデプスジャンプの至適回数について—, №VIIプリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究—第1報—, 昭和62年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告. 44-55.
- 18) Komi,P.V. (1984) : Physiological and biomechanical correlates of muscle function : Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. In R.L.Terjung (Ed.), Exercise and Sport Sciences Reviews. 12, 81-121.
- 19) Komi,P.V. (1986) : Training of Muscle Strength and power : interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. Int. J. Sprts Med. 7, 10-15, Supplement.
- 20) Kuipers,H., Keizer,H.A., Verstappen,F.T.J. and Costill,D.L. (1985) : Influence of a prostaglandin-inhibiting drug on muscle soreness after eccentric work. Int. J. Sports Med. 6, 336-339.
- 21) McCully,K.K. and Faulkner,J.A. (1985) : Injury to skeletal muscle fibers of mice following lengthening contractions. J. Appl. Physiol. 59, 119-126.
- 22) Moritani,T., and DeVries,H.A. (1979) : Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. Am.J. Physical Med. 58, 115-130.
- 23) 村木征人 (1985) : 爆発的・反動的筋力と衝撃法トレーニング。トレーニング・ジャーナル。7 (6), 20-21.
- 24) 村木征人(1989) : 専門的筋力とトレーニング理論の実践的応用。体育の科学。印刷中。
- 25) Newham,D.J., Jones,D.A. and Clarkson,P.M. (1987) : Repeated high-force eccentric exercise : effects on muscle pain and damage. J. Appl. Physiol., 63 (4), 1381-1386.
- 26) Nikolau,P.K., Macdonald,B.L., Glisson,R.R., Seaber,A.V. and Garrett,W.E. (1987) : Biochemical and histological evaluation of muscle after controlled strain injury. Am. J. Sports Med. 15, 9-14.
- 27) Radcliffe,J.C. and Farentinos,R.C. (村松茂, 野坂和則訳) (1987) : 爆発的パワートレーニング プライオメトリックス。ベースボール・マガジン社。
- 28) 櫻井隆志 (1987) : 肘屈曲動作における Plyometric Training の効果について。前橋育英短期大学研究紀要, 5, (別刷).
- 29) Sale,D.G., McComas,A.J., MacDougall,J.D. and Upton,A.R.M. (1982) : Neuromuscular adaptation in human thenar muscles following strength training and immobilization. J. Appl. Physiol. 53 (2), 419-424.
- 30) Verhoshanski,Y. (1968) : Are depth jumps useful ? Yessis Review of Soviet Physical Education and Sports, 3-3, 75-78 (Track and Field, 12, 9, 1967).
- 31) Viitasalo,J.T. and Komi,P.V. (1978) : Force-time characteristics and fiber composition in human leg extensor muscles. Eur. J. Appl. Physiol. 40, 7-15.
- 32) Viitasalo,J.T. and Komi,P.V. (1981) : Interrelationships between electromyographic, mechanical, muscle structure and reflex time measurements in man. Acta. Physiol. Scand. 111, 97-103.

II. ジャンプ力向上のためのトレーニングに関する研究

報告者 金久博昭¹⁾

研究協力者 奥山秀雄¹⁾ 山本利春¹⁾ 黒川貞生¹⁾
福永哲夫²⁾

目的

競技スポーツの領域において、近年、筋強化をねらいとした補強トレーニングが、盛んに実施されるようになってきている。そのような状況にあって、最近、選手及びコーチの間で注目されている筋強化の方法の1つにプライオメトリック(Plyometric)・トレーニングがある。その具体的な内容は、デプス(ドロップ)・ジャンプ及びボックス・ジャンプに代表されるように、反動的あるいは衝撃的な運動様式を中心としている。そのような運動内容は、筋の収縮様式からみれば、より強烈な伸張性収縮を生み、それからの短縮性収縮への切り換えを与儀なくさせる。

このような筋の収縮様式によるトレーニングは、競技動作中の筋収縮様式を考慮した筋出力の強化を可能にするといえよう。すなわち、身体運動中の筋の収縮様式は、等尺性、短縮性、伸張性、の3種の大別される。しかし、単一の収縮様式により身体運動が成り立つことは極めて稀であり、3種の収縮様式の何れかが交互に出現する。特に伸張性収縮が短縮性収縮に先行する場合が多く、その際に伸張性収縮そのもの及び短縮性収縮への切り換えの状態が運動成果に大きな影響を与えるといわれている¹⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾²⁷⁾³⁹⁾。したがってスポーツ選手の筋強化を考えた場合に、その内容は伸張性収縮及び伸張性収縮から短縮性収縮への切り換えを考慮にいれたものであることが不可欠となろう。

以上のような意味において、プライオメトリック・トレーニングに代表される反動的、衝撃的な運動様式による筋のトレーニングは、筋の収縮様式からみれば、実際のスポーツ活動における筋の収縮様式に対し極めて合目的的な筋強化方法と考えられる。しかしながら、それらの具体的な処方条件及び効果については、等尺性及び短縮性収縮を主体とする筋のトレーニングほど明らかにされていないのが現状である。

そこで本研究では、スポーツ・パフォーマンスの指標としてジャンプ力を取り上げ、それと各収縮様式における筋出力との関係、及びジャンプ・トレーニングを中心とする筋の強化が筋出力とパフォーマンスに与える影響について検討した。

方法

本研究では目的にしたがって、1) ジャンプ力と筋出力の関係、2) ジャンプ・トレーニングを中心とする筋強化の影響、に関する2つの実験を行った。その内容は以下のようなものであった。

実験1：ジャンプ力と筋出力の関係

1) 被検者

被検者は男子体育大生バスケットボール及びバレーボール選手17名であった。被検者の年齢、身長、体重の各平均値(標準偏差)は19.2(0.9)歳、179.1(6.2)cm、72.0(5.6)kgであった。

2) ジャンプ力の測定

ジャンプ・メーター(竹井機器社製)を用いて3種の垂直跳び動作における跳躍高を測定した。跳躍動作の内容は次のようなものであった。

1) 国際武道大学 2) 東京大学

(1) スクワット・ジャンプ (SJ)

両手を腰の後ろに組み、反動を伴わず沈み込んだままの姿勢（膝関節角度は約90度）から全力でジャンプ。

(2) 反動ジャンプ (CMJ)

(1)と同じく両手を腰の後ろに組んだまま、立位姿勢からの沈み込みを伴う全力ジャンプ。

(3) マックス・ジャンプ (MAJ)

腕の動きを自由にし、立位姿勢からの沈み込みを伴う全力ジャンプ。

各動作とも3回以上実施し、最も高い値をその動作における代表値とした。

3) 筋出力の測定

特別に作製した筋力測定器を用いて、脚伸展動作における等尺性、短縮性、及び伸張性筋力と足底屈力を測定した。さらにパワー・プロセッサー（バイン社製）¹⁸⁾によりスクワット姿勢からの立ち上がり動作における発揮パワーを測定した。各項目における測定内容は、以下に示す通りであった。

(1) 脚伸展力

前回報告した等尺性、短縮性、伸張性、の各収縮様式による筋力の測定が可能なDTM(Dynamic Tension Meter:酒井医療社製)を用いて、それぞれの収縮様式における筋力を測定した。短縮性及び伸張性筋力の測定は、入力レバーの回転速度を5 rpmに設定して実施した。測定時の被検者の姿勢は椅子位であり、頭部および腰部をベルトにより固定した。筋力発揮の膝関節角度は、等尺性収縮の場合に110度(完全伸展位:180度)であり、短縮性及び伸張性収縮における関節の可動範囲は90度から150度とし、同範囲内において発揮された筋力のピーク値を両筋力の指標とした。

(2) 足底屈力

特別に作製した筋力計を用いて、等尺性収縮における足底屈力を測定した。被検者の姿勢は椅子位であり、膝関節及び足関節を90度屈曲させ腰部及び膝頭を固定した状態で、全力の足底屈を行わせた。

(3) パワー

パワー・プロセッサー（バイン社製）を用いてスクワット姿勢からの立ち上がり動作時のパワーを測定した。パワー・プロセッサーは、慣性負荷

を利用したパワー測定器であり、本研究では測定時の負荷を0.5, 10, 15, 25kgの5種類とし、動作全体で発揮された平均パワーを測定した。測定に際し、被検者は測定器とワイヤーロープにより連結されているジュラルミン製の棒(長さ60cm)を握り、膝関節を約90度に屈し、腕を完全に伸展した状態から全力で膝関節の伸展と上体の起こしを行った。なおその際に背中をできるだけ曲げないように注意した。

筋出力の測定は、各条件において3回実施し、最高値を採用した。なお筋力に関しては、右脚についてのみ測定を実施した。

(4) 筋断面積の測定

超音波法により大腿部および下腿部の筋、皮下脂肪、骨の各組織断面積を測定した。測定位置は大腿が大腿骨長(頸骨点から転子点までの距離)の遠位1/2、下腿が下腿骨長(果点から頸骨点までの距離)の遠位7/10のところであった。測定にはアロカ製エコービジョンSSD-120型を用いて、発振周波数5MHzで撮影した。なお測定は筋力と同様に右肢についてのみ実施した。

実験2：ジャンプ・トレーニングの効果

実験2では、ジャンプ・トレーニングを中心とする2種のトレーニング実験を設定し、それぞれが筋出力及びパフォーマンスに及ぼす影響について検討した。

1) 被検者

トレーニングI:男子体育大生バスケットボール及びバレーボール選手28名であり、後述する筋出力及び垂直跳びの測定の結果から、(1)筋力、ジャンプ力とともに劣る者、筋出力に劣るがジャンプ力のある者—Maxグループ(以下、MAGと略す)13名、(2)筋出力、ジャンプ力ともに優れている者、筋出力は優れているがジャンプ力のない者—Powerグループ(POG)15名、の2グループに分けた。

トレーニングII:男子体育大生陸上競技跳躍選手8名であった。

各被検者群のトレーニング前における年齢、身長、体重の平均値及び標準偏差は表1に示した。

2) 筋出力の測定

(1) 脚伸展力

Cybex machine(Lumex社製)を用いて、等尺

表1 トレーニング実験におけるトレーニング前の被検者の身体的特性

| トレーニング・グループ | | n | 年齢(歳) | 身長(cm) | 体重(kg) |
|-------------|--------------|----|-----------|-----------|----------|
| トレーニングII | POG | 13 | 19.7±1.03 | 177.5±7.1 | 71.0±5.8 |
| | MAG | 15 | 19.5±0.8 | 179.8±5.2 | 68.5±4.0 |
| トレーニングII | 陸上競技 跳躍選手 | 8 | 19.8±0.8 | 169.4±9.0 | 64.3±8.6 |

平均値±標準偏差

表2 トレーニングIにおける強化内容

| | |
|---|-------------------------------------|
| ウォーミング・アップ：POG・MAGとも共通 | |
| スワット—60kg×5 reps×1 set, 70kg×6 reps×1 set, 80kg×5 reps×1 set | |
| POG | MAG |
| スクワット—30~50%Max(1PM)×10reps×5sets (できるだけ遠く反復する) | スクワット—80~90%Max×3~5 sets ×10sets |
| スクワット・ジャンプ—30~40%Max×10reps ×5 sets. | |
| クリーン・アンド・ジャーク：POG・MAGとも共通 | |
| 40kg×10reps×3 sets | |
| 以上、週3日の頻度で5週間 | |
| ただし、バスケットボールおよびバレーボールの種目トレーニングは日に2時間から2時間半、週6日の頻度で実施 | |

性及び等速性の脚伸展力を測定した。等速性脚伸展力は10, 30, 50rpmの3種の速度で実施した。

(2) レッグ・パワー

竹井機器社製の踏み込み式レッグ・パワー測定器^[19]を用いて、両脚での踏み込み動作における平均パワーを測定した。測定時の設定速度は、0.2, 0.6, 1.0m/sの3種であった。

3) パフォーマンスの測定

トレーニングI：トレーニングの前後2回にわたり、実験1と同一の方法により、SJ, CMJ, MAJ, の3種の動作により垂直跳びを実施し、跳躍高を測定した。

トレーニングII：トレーニング期間の前、中、後の3回にわたり、屋外で立ち幅跳び及び立ち五段跳びにおける跳躍距離を測定した。なお測定時の天候状況は3回ともほぼ同様であった。

4) トレーニング内容

トレーニングI：バスケットボール及びバレーボールの種目トレーニングと平行して、補強的にグループにより異なるプログラムでの筋強化を実

施した。その内容は表2に示した。トレーニングの頻度は週3日、期間は5週間であった。

トレーニングII：トレーニングの実施期間は約2ヶ月半であり、陸上競技跳躍選手の冬季トレーニングの一環として実施した。内容は表3に示す通りであり、前半（1ヶ月半）と後半（1ヶ月）の2部に分け、それぞれ異なるプログラムで補強トレーニングを実施した。その内容は主に前半では最大パワーの向上をねらいとする筋トレーニングであり、後半ではスピードの増大をねらいとした筋トレーニング及びボックス・ドリル、ハードル・ジャンプ、バウンディングを中心とするプライオメトリック・トレーニングを実施した。

結果と考察

実験1

表4に筋力、単位筋断面積当たりの筋力、及び体重当りの筋力と各種動作による跳躍高との相関関係を示した。

垂直跳びは体育・スポーツの領域において、古

表3 トレーニングIIにおける週間の強化内容

| 前半 | 後半 |
|--|--|
| <p><月・水・金></p> <p>①テンポ走 200~300m×3~5 reps</p> <p>②坂道ダッシュ 40~50m×10reps</p> <p>③スタート・ダッシュ 30m×5~8 reps</p> <p>④バウンディング 30m×5~10reps</p> <p>⑤ハードル走 50m(5~8台)×5~8 reps</p> <p>⑥鉄棒運動</p> <p>※曜日により上記の6種目から4種目以上を選択し実施する。</p> <p><火・木・土></p> <p>①ハーフ・スクワット(ウォーミング・アップも兼ねる) 60kg, 80kg, 100kg×各3 reps×各1セット 80%Max×3~5 reps×1 set, 90%Max×2~3 reps×4~5 sets, 50~60%Max×8 reps×3~5 sets(できるだけ速く反復)</p> <p>②スクワット・ジャンプ 30~40%Max×8~10reps×4~5 sets</p> <p>③フライング・スプリット 45kg×8 reps×4 sets</p> <p>④ハイ・プル・アップ 25~35kg×10reps×3 sets</p> <p>⑤クリーン・アンド・ジャーク 35~40kg×10reps×3 sets</p> <p>⑥背筋および腹筋運動</p> <p>⑦ウェイト・トレーニング終了後, テンポ走 100m×5~8 reps</p> | <p><月・金></p> <p>①テンポ走 100~200m×3 reps</p> <p>②スタート・ダッシュ 30m×3~5 reps, 50m×2~3 reps</p> <p>③跳躍技術練習 短距離走跳躍 約60分間</p> <p>④鉄棒運動、腹筋および背筋運動による補強運動</p> <p><火・水・木・土></p> <p>(A)ウェイト・トレーニング</p> <p>①ハーフ・スクワット 60kg, 80kg, 100kg×各3 reps×各1セット 80%Max×3~5 reps×1 set, 80%Max×3~5 reps×1 set, 90%Max×2~3 reps×3 sets</p> <p>②スクワット・ジャンプ 20~30%Max×5~8reps×3sets</p> <p>③リバウンド・ジャンプ 40kg×10reps×3 sets(膝をあまり曲げず, 足関節の動きにより実施する)</p> <p>④ベンチ・スクワッティング・ジャンプ 30kg×10reps×3 sets</p> <p>⑤フライング・スプリット 30~45kg×10reps×3 sets</p> <p>⑥ハイ・プル・アップ 25kg×10reps×3 sets</p> <p>⑦クリーン・アンド・ジャーク 35kg×10reps×3 sets</p> <p>※②~⑦できるだけ動作を大きく速く反復することを心がける。</p> <p>(B)プライオメトリック・トレーニング</p> <p>①デブスマシン(台高40cm) 両脚・片脚とも4台×3 set</p> <p>②デブスマシン(台高40cm) 4台×7~10sets</p> <p>③デブスマシン(台高40cm) または二段, 三段跳×10~15reps</p> <p>④バウンディング 50m×2~3 reps, 100m×1~2 reps 立ち5段跳, ホッピング(15~20m×左右)右・左・左・右×各3 sets)</p> <p>⑤ハードル走(ジュニア・ハードル)5~7台×7~10reps</p> <p>⑥ハードルの1歩跳び(ロー・ハードル)5~7台×7~10reps</p> <p>※(A), (B)を週に2日ずつ, (B)の場合は日によって4種目以上を選択し, テンポ走100~150mx 3~5 sets, スタート・ダッシュ30m×3~5 setsを付加</p> |

表4 筋力と跳躍高との関係

| 筋力 | ジャンプ動作 | S J | C M J | M A J |
|---|---------|---------|---------|---------|
| 等尺性脚伸展力 | | 0.049 | 0.148 | 0.321 |
| 短縮性脚伸展力 | | -0.237 | -0.312 | -0.143 |
| 伸張性脚伸展力 | | 0.152 | -0.012 | -0.083 |
| 足底屈力 | | 0.604* | 0.557* | 0.555* |
| (単位 体 重 当 り) | 等尺性脚伸展力 | 0.138 | 0.253 | 0.411 |
| | 短縮性脚伸展力 | -0.181 | -0.254 | -0.059 |
| | 伸張性脚伸展力 | 0.318 | 0.135 | 0.052 |
| | 足底屈力 | 0.729** | 0.691** | 0.690** |
| (単位 筋 筋 断 面 積 當 り) | 等尺性脚伸展力 | -0.130 | -0.171 | -0.199 |
| | 短縮性脚伸展力 | -0.311 | -0.450 | -0.438 |
| | 伸張性脚伸展力 | -0.004 | -0.218 | -0.387 |
| | 足底屈力 | 0.597* | 0.426 | 0.427 |

* P<0.05, ** P<0.01

くから行われているパフォーマンス・テストの1つであり、それに関する研究は多い。そのなかで跳躍高と筋力との関係について検討した研究結果では¹¹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾²⁴⁾、両者の間における相関関係は、いずれの報告においても低い。本研究の結果においても、筋力の項目についてみると、脚伸展力は、等尺性、短縮性、伸張性のいずれの収縮様式においても、跳躍高との間には有意な相関関係は認められない。しかし足底屈力は、いずれの動作様式における跳躍高とも有意な相関関係にある。

一方、垂直跳びは体重を負荷とする運動であり、その意味において、筋力そのものよりも体重当りの筋力、あるいは単位筋断面積当りの筋力が跳躍高との関係を見るうえで有効であると考えられる。しかし表4に示されるように、それらの値においても、跳躍高と関連をもつのは足底屈力のみであり、体重当りの値が全ての跳躍動作と、単位筋断面積当りの値はSJにおける跳躍高との間にそれぞれ有意な相関関係にあった。

またこれまでの報告⁸⁾では、反動及びある高さからの飛び降りを伴う垂直跳び動作では、伸張性収縮そのもの及び伸張性収縮から短縮性収縮への切り換える状態が跳躍高に影響をもつといわれている。それ故、伸張性収縮での脚伸展力が跳躍高との間に何らかの関係を持つことが予想された。しかし伸張性の脚伸展力は体重当り及び単位筋断面積当りでみても跳躍高との間には有意な相関関係は認められない。伸張性筋力そのものに関する研

表5 レッグ・パワーおよび脚伸展力と跳躍高との関係

| 測定項目 | ジャンプ動作 | S J | C M J | M A J |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| レッグ・パワー | 1.0m/s | 0.280 | 0.244 | 0.311 |
| | 0.6m/s | 0.395* | 0.218 | 0.244 |
| | 0.2m/s | 0.374* | 0.283 | 0.358* |
| 等尺性脚伸展力 | | 0.122 | 0.026 | 0.017 |
| | 10rpm | -0.002 | -0.171 | -0.052 |
| | 30rpm | 0.022 | -0.164 | -0.043 |
| 等速性脚伸展力 | 50rpm | 0.138 | -0.044 | -0.046 |

* P<0.05

究例が等尺性及び短縮性筋力のそれに比較して極めて少ないとから、本研究の結果から断定的な結論を引き出すことはできないが、実際の運動における伸張性収縮と本研究で測定したそれとでは、筋の伸張条件及びそのときの収縮力のコントロールにおいて根本的な違いがあるのかもしれない。

いずれにしても本研究の結果では、脚伸展力は跳躍高と何ら有意な相関関係を持たない。その理由としては、先述の筋収縮様式よりはむしろ筋力測定時の動作様式によるところが大きいであろう。すなわち、本研究で測定した筋力は、膝関節及び足関節を中心とした単関節運動におけるものである。その場合に測定によって得られた筋力は、測定の対象となる筋群の収縮力を最も端適にあらわすものといえる。しかし、トレーニング効果の特異性にも示されるように、身体外部に発揮される筋力の大きさは、測定時の動作様式により異なる³³⁾³⁵⁾³⁸⁾、或る特定の運動動作において主働筋群の出力が関与する程度を知ろうとするのであれば、その運動の動作様式に基づく筋力の測定が必要であろう。そのような観点から本研究での筋力の測定条件を顧みた場合に、膝関節伸展より足底屈の方が垂直跳びにおける関節および筋群の作用として類似性を持つといえる。その類似性は脚伸筋群及び底屈筋群とともに垂直跳びの主働筋群でありながらも、前者より後者の筋力を跳躍高と強い相関関係にあるものにする可能性があろう。

この点をもう少し確認するために、追加実験として後述する実験2において用いたレッグ・パワー測定器により踏み込み動作における発揮パワーを測定し、跳躍高との相関関係についてサイベックスによる等速性脚伸展力との比較を試みた。被

表6 パワー・プロセッサーによる各測定値と跳躍高との関係

| | 負荷量(kg) | S J | C M J | M A J |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| 平均筋力 | 0 | 0.519* | 0.694** | 0.637** |
| | 5 | 0.372 | 0.338 | 0.227 |
| | 10 | 0.600* | 0.627** | 0.617** |
| | 15 | 0.575* | 0.563* | 0.556* |
| | 25 | 0.617** | 0.577* | 0.566* |
| 平均速度 | 0 | 0.082 | 0.360 | 0.455 |
| | 5 | 0.092 | -0.074 | -0.035 |
| | 10 | 0.239 | 0.150 | 0.163 |
| | 15 | 0.268 | 0.214 | 0.226 |
| | 25 | 0.440 | 0.445 | 0.432 |
| 平均パワー | 0 | 0.532* | 0.655** | 0.644** |
| | 5 | 0.496* | 0.426 | 0.405 |
| | 10 | 0.591* | 0.508* | 0.544* |
| | 15 | 0.586* | 0.584* | 0.619** |
| | 25 | 0.587* | 0.590* | 0.603* |

*P<0.05, **P<0.01

検者は同じく男子体育大生バレーボール及びバスケットボール選手29名であり、その結果は表5に示した。等速性筋力は運動速度が一定という条件下において発揮されたものであることから、その値は関節的に脚伸展時に発揮されたパワーを示すものといえる。したがって測定値の単位としては、両測定値とも同じものを意味すると考えてよいであろう。しかし脚伸展力は測定速度に関係なく、何れの動作に於ける跳躍高とも、有意な相関関係は認められない。それに対しレッグ・パワーは、相関係数は低いものの、測定速度0.2m/s及び0.6m/sがSJにおける躍動高と、また0.2m/sでの値がMAJとの間に、それぞれ有意な相関関係にある。したがって、脚伸筋群の出力と垂直跳び動作の跳躍高との関係をみる場合に、単関節より多関節の動きで、しかも踏み込みという動作様式を探ることにより相関関係は強まると考えられる。しかし、両者の関係は測定時の速度あるいは力の発揮条件により特異的になるといえよう。

動作様式の点から言えば、本研究で実施した筋出力の測定項目の中で最も垂直跳びの動作に近いと思われるものが、パワー・プロセッサーによるスクワット姿勢からの立ち上がり動作における発揮パワーの測定である。表6に5種の負荷条件における平均パワー、平均速度、平均筋力と各種跳躍

表7 大腿と下腿の組成との跳躍高との関係

| | 測定部位 | S J | C M J | M A J |
|---------|-------|---------|---------|----------|
| 筋断面積 | 大腿伸筋群 | 0.161 | 0.284 | 0.458 |
| | 底屈筋群 | 0.083 | 0.258 | 0.256 |
| | 大腿伸筋群 | 0.162 | 0.330 | 0.468 |
| | 足底屈筋群 | | | |
| 皮下脂肪断面積 | 大腿 | -0.522* | -0.554* | -0.569* |
| | 下腿 | -0.174 | -0.417 | -0.545* |
| | %大腿 | -0.583* | -0.692* | -0.772** |
| | %下腿 | -0.228 | -0.523* | -0.624* |

●*P<0.05, **P<0.01

ただし、%大腿、%下腿は、部位全体の断面積に対する皮下脂肪断面積の占める割合。

動作における跳躍高との相関関係について示した。平均速度と跳躍高との間のは、何れの測定条件においても有意な相関関係は認められない。それに対し平均筋力は負荷5kgを除く全ての測定条件において、また平均パワーは負荷5kgでの値とCMJ及びMAJとの関係を除いた他の測定条件において、それぞれ跳躍高との間に有意な相関関係が認められる。このような結果は、先述の動作様式の類似性に基づくものであると同時に、垂直跳びそのものがパワーテストの性格が強く、その成績と筋出力の関係はパワーで対応させることにより密接なものとなる²⁴⁾ことも見逃せないであろう。また慣性負荷の特性として、発揮パワーの高さは、筋力の発生の速さ、すなわち力の立ち上がりの影響を強く受ける²⁴⁾。そのような点を考慮した場合に、本研究の結果は、筋の収縮力特性として跳躍高に影響を持つのは、最大筋力の大きさよりも筋力発生の速さであることを示唆するものといえる。

一方、表7は大腿及び下腿の組成と跳躍高との関係をみたものであるが、両者の関係において筋と皮下脂肪では異なる相関関係を示した。すなわち筋断面積と跳躍高との間には、大腿及び下腿とも有意な相関関係は認められない。それに対し皮下脂肪断面積は大腿が全ての跳躍動作との間に、また下腿がMAJとの間に、それぞれ有意な負の相関関係が認められた。さらに部位全体の断面積に対する皮下脂肪断面積の占める割合は、大腿がすべての跳躍動作と、下腿がCMJ及びMAJとの間に、それぞれ有意な負の相関関係を示した。

体重移動を伴う運動においては、体脂肪は筋をはじめとする活動組織に対し負荷となるわけであり、運動成績にマイナスの影響を与えることになる。事実、これまでに身体組成とスポーツ・パフォーマンスとの関係について検討した研究結果では²⁾¹⁶⁾³⁴⁾⁴²⁾、短距離走るあるいは長距離走のように、体重移動の速さを競う種目において、その運動成績と体脂肪量あるいは体脂肪率との間に有意な負の相関関係が報告されている。本研究の結果は、大腿及び下腿といった身体の一部の組成に基づくものであるが、身体組成とパフォーマンスの関係において走運動と同様なことが垂直跳び動作においても当てはまる事を示すものといえる。

また組成と跳躍高との関係で興味ある結果は、筋断面積が跳躍高と何ら有意な相関関係を持たなかったことである。この点については、今後さらに検討を要することであるが、皮下脂肪断面積との関連でみた場合に、筋は絶対量ではなく、身体全体に占めるその相対量が跳躍高に影響をもつことが考えられる。

実験 2

トレーニング I

これまでに立ち幅跳びあるいは垂直跳びをジャンプ・パフォーマンスの指標として取り上げ、それに対し筋のトレーニングが及ぼす影響についてみた研究は多い。それらの研究結果によれば、アイソメトリック・トレーニングでは効果がなく³⁾⁴⁾²⁹⁾⁴³⁾、ウェイト・トレーニングをはじめとする動的筋トレーニングでは有意な効果がないとする報告²⁸⁾³¹⁾もあるものの、ありとするものが多い⁴⁾⁵⁾¹⁰⁾¹²⁾²⁰⁾⁴⁰⁾。しかし動的筋トレーニングにおいてさえ、筋強化が運動種目そのもののトレーニングと平行して実施されねば、充分な効果は得られないという指摘もある²⁶⁾。一方、それらの報告は、トレーニングの内容からみれば、主に単一の負荷条件あるいは収縮様式によるトレーニング効果をみたものにすぎず、負荷条件及び出力の発揮条件がパフォーマンスに与える影響についてみた研究は少ない⁴⁾⁴⁰⁾。例えばBerger⁴⁾は4種の負荷条件がジャンプ力に及ぼす効果について比較し、10RMの50–60%負荷でのジャンプ・トレーニングが最も効果的であると報告している。このような報告を考慮すれば、同じ動

的筋トレーニングであっても、負荷条件の設定により、跳躍高に与える効果は異なったものになることが予想される。

本研究では、筋出力及びジャンプ力とも優れている、あるいは筋出力は優れているがジャンプ力で劣るもの(POG)に対しては、パワー及びスピードに重点を置いたプログラムを、そして筋出力は劣るがジャンプ力に優れている、あるいはそのどちらの能力においても劣る者(MAG)に対しては、高負荷によるプログラムを、それぞれ実施してみた。その目的としては、Bergerの報告と同様に負荷条件の違いがジャンプ力に及ぼす影響について検討すると同時に、個人の筋出力の発揮特性及びパフォーマンスの向上をねらいとする運動種目の特性を考慮した合目的的なトレーニング・プログラムの設定がどの程度可能なのかを検討するということもあった。

すなわち、筋トレーニング後の筋出力の変化は、トレーニング内容を反映して特異的なものとなる。例えば金子²⁵⁾の報告では、最大パワー、最大速度、最大筋力を高めるうえで、それぞれ至適負荷条件が存在し、またアイソキネティック・トレーニングでは強化速度により、それぞれトレーニング後の筋出力は特異的に変化する²²⁾。さらにSchmidtblercherとBuehrleの報告³⁶⁾によれば、ウェイト・トレーニングの場合に、負荷条件によって力の立ち上がり及び筋断面積に与える効果が異なるといわれている。同報告の結果では、垂直跳びにおける筋出力の発揮特性として重要な力の立ち上がりは、高負荷低頻度(90% Max以上)及び45% Maxでのスピードを重視したトレーニングが、70% Maxという筋トレーニングとしては通常の負荷条件によるより高い増加率を示している。本研究では以上のようなトレーニング効果の特異性を考慮し、各グループにおける筋出力の発揮特性に基づき、POGでは潜在的にも筋出力の発揮能力を最大パワーの向上という形で引き出すことに、またMAGでは最大筋力及び筋力発揮の集中性の改善に、それぞれ重点を置いたトレーニング・プログラムとしたわけである。

表8にトレーニング前後の各グループの筋出力と跳躍高及びそれらの変化率を平均値と標準偏差

表8 トレーニングIにおける筋出力および跳躍高の変化

| 測定項目 | POG | | | MAG | | |
|---------------------|----------------------------|--|--|--|--|---------------------------------------|
| | トレーニング前 | トレーニング後 | %△ | トレーニング前 | トレーニング後 | %△ |
| 身長(cm) | 177.5±7.1 | 177.8±7.5 | -0.01±0.25 | 179.8±5.2 | 179.6±4.5 | 0.10±0.32 |
| 体重(kg) | 71.0±5.8 | 71.4±5.7 | 0.62±1.83 | 68.5±4.0 | 69.9±4.4 | 2.06±1.94** |
| レッグ・パワー (watts) | 1.0m/s 1.0m/s 0.2m/s | 122.5±12.0 1019±8.5 474±32 | 121.4±110 1026±100 492±61 | 0.70±10.16 0.87±7.82 4.02±12.42 | 943±123 803±102 387±39 | 970±133 846±80 430±45 |
| 等尺性脚伸展力(Nm) | 262.1±31.9 | 270.2±37.9 | 3.46±11.16 | 243.8±30.3 | 261.8±34.5 | 7.64±10.47* |
| 等速性 脚伸展力 (Nm) | 10rpm 30rpm 50rpm | 219.8±32.5 143.7±28.0 104.2±18.3 | 220.4±27.2 148.3±12.0 110.3±19.4 | 1.52±13.80 6.61±21.38 8.94±27.85 | 196.0±31.9 140.9±16.0 102.4±12.8 | 201.7±25.0 139.1±17.1 99.0±13.6 |
| 垂直跳び (cm) | SJ CMJ MAJ | 49.2±4.2 59.1±4.2 72.2±5.9 | 51.3±5.8 60.9±4.5 72.5±6.0 | 4.25±8.70 3.20±4.77* 0.47±3.17 | 48.6±5.5 55.9±6.8 66.3±8.5 | 48.3±6.1 57.3±7.2 65.9±9.0 |
| スクワット・1PM(kg) | 151.2±16.6 | 167.5±223 | 9.23±31.5** | 139.1±19.6 | 163.2±21.5 | 17.95±32.13** |

平均値±標準偏差 *P<0.05, **P<0.01

により示した。

各測定項目におけるトレーニング後の変化についてみると、まずスクワットの1RMはPOGが9.2%, MAGが17.9%と、両グループともに優位な増加を示した。等尺性脚伸展力はPOGが3.5%, MAGが7.6%の増加であったが、その変化はMAGのみ有意なものであった。一方、等速性脚伸展力は、POGの場合に測定速度が速くなるにつれ平均の増加率が高くなり、MAGのそれは逆に低速度の条件において大きくなる傾向にあるが、統計的には両グループとも有意な変化は認められなかった。次にレッグ・パワーについてみると、POGの場合に何れの測定速度においても、有意な変化は認められない。それに対しMAGは0.2m/sでのパワーにおいて有意な増加(11.6%)を示した。最後に問題の跳躍高であるが、それはPOGがCMJにおいて、MAGがSJにおいて、それぞれ有意に増加した。

POGはスピードに、MAGは力に、それぞれ重点をおいたトレーニングであるが、それらの内容はこれまでの報告を考慮すれば、当初、両グループとも筋力発揮の集中性が高められ、それに伴いパワーおよび等速性筋力は増加するであろうと予測した。しかしトレーニング後の筋出力の変化は、POGの場合に最大パワーを向上する為の至適条件と考えられる負荷を設定したにもかかわらず、パワー及び等速性筋力とも有意な変化は認められな

い。またMAGにおいてもトレーニング効果は全ての測定条件において派生せず、結果的に高負荷低速度というトレーニングの内容を反映したものにすぎない。POGの筋出力に有意な変化がみられなかつた原因については明かではないが、その理由の一つとして被検者の筋出力の初期レベルが考えられる。すなわちPOGの場合にもともと筋出力の発揮能力に優れており、スポーツ選手であるという点も考慮すれば、トレーニングの余地があまり残されていなかつた可能性があろう。その場合、トレーニング刺激として本実験での設定は不充分であったことも考えられる。

一方、跳躍高における変化は、跳躍動作との関連でみると、POG及びMAGともにトレーニング内容の影響を強く反映したものといえる。すなわちPOGの場合に、できるだけ速く動作を反復しようとすることから、トレーニングそのものは反動的要素の強いものになる。そのような動作様式は必然的に伸張性収縮から短縮性収縮への切り換え(stretch-shortening cycle)^⑧に関わる能力に対し強く負荷し強化することになろう。そのようなstretch-shortening cycleの強化は、たとえ筋出力の上限に有意な増加がもたらされなくとも、トレーニングと同じく反動動作による垂直跳び、すなわちCMJにおける跳躍高の有意な向上を可能にすると考えられる。それに対しMAGでは、高強度低速度というトレーニングの性格上、伸張性収縮

表9 トレーニングIIにおける筋出力およびパフォーマンスの変化

| 測定項目 | 強化開始前 | 前半終了後※ | 後半終了後 | 強化開始前に対する変化率(%) | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| | | | | 前半終了後※ | 後半終了後 |
| 等尺性脚伸展力(Nm) 10rpm | 260.0±44.4 198.4±43.9 | 272.7±51.9 202.7±36.8 | 263.1±62.8 187.9±39.0 | 1.26±5.74 1.45±10.62 | 0.50±11.24 -3.39±13.70 |
| 等速性 脚伸展力 (Nm) 30rpm 50rpm | 121.5±24.4 81.9±17.2 | 130.0±23.6 90.9±17.4 | 125.8±23.2 87.4±15.7 | 4.20±9.40 6.24±6.45 | 3.39±9.10 7.59±7.74* |
| レッグ・パワー (watts) 0.2m/s 0.6m/s 1.0m/s | 473±93 930±159 1093±190 | 500±76 967±183 1131±250 | 497±70 1007±215 1216±299 | 1.71±7.21 -0.43±7.50 1.10±10.27 | 6.71±13.35 7.78±6.17** 10.41±10.62** |
| 立幅跳び(cm) 立5段跳び(m) | 273.5±16.3 14.00±0.91 | 268.9±16.8 13.60±0.91 | 269.0±12.9 14.40±0.55 | -2.10±3.19 -2.70±4.09 | -1.01±2.82 2.95±2.90* |

平均値±標準偏差 ※ 故障のための測定できず n=7, *P<0.05, **P<0.01

及びそれからの短縮性収縮へ切り換える要素は POG に比較して少ないと考えられ、実際のトレーニングにおいては短縮性収縮の筋出力強化を中心であると予想される。その結果として 3 種のジャンプ動作のなかで、反動を伴わず短縮性収縮による出力が主体となる SJ の跳躍高に有意な増加をみたと考えられるのである。

しかしながら両グループとも MAJ には有意な変化はなく、部分的な動作における跳躍力の改善が全体的な動作のなかで生かされていないことになる。田路ら³⁷⁾の報告では、垂直跳びによるジャンプトレーニングとウェイトトレーニングの複合形式が、垂直跳びのみ、及び垂直跳びとアイソメトリックトレーニングの複合形式によるものより垂直跳びの跳躍高の増加率は高いといわれている。このような複合トレーニングの重要性は、他の走運動を対象とした研究¹⁷⁾においても確認されている。しかし本研究では被検者の競技種目がバレーボール及びバスケットボールであり、しかも観察期間中、種目トレーニングも継続されていたことからジャンプそのもののトレーニングは強化メニューに取り入れなかった。そのこと自体が、MAJ に改善が得られなかった理由となるかどうかは今後の検討課題であるが、本実験の結果は、スポーツ選手の場合に、たとえ種目トレーニングが補強トレーニングと平行して実施されていても、トレーニング後の筋出力及びスポーツ・パフォーマンスの変化は、後者の内容を反映したものになる可能性があることを示唆するものといえよう。

トレーニングII

本トレーニングは跳躍選手の冬季トレーニングの一環として、前半では最大パワーの向上をねらいとしたトレーニングを、後半ではスピードの増大を目的としたトレーニングとプライオメトリック・トレーニングを、それぞれ実施した。すなわち村木³²⁾の報告を参考に、年間トレーニング・スケジュールにおける準備期の筋強化として、前半に筋出力の上限を高めるトレーニングを実施し、それを実際の跳躍動作のなかで生かすことを目的として後半ではスピードを重視したトレーニングとプライオメトリック・トレーニングを実施したわけである。

表9にトレーニング開始前、前半及び後半の各終了後における筋出力とパフォーマンス・テストの結果を示した。

表に示されるように前半終了の時点では、筋出力およびパフォーマンスのいずれの項目においても有意な変化は認められない。その理由については、本研究の結果からは明らかにすることはできない。ただし跳躍選手のトレーニング前の筋出力レベル、前半の筋強化における強度の設定条件、および前半終了後の筋出力に対する効果は、トレーニングIのPOGにおけるそれらと類似性をもつ。したがって POG における筋出力のトレーニング後の変化について述べたと同様に跳躍選手の場合も筋出力のレベルとの関連で負荷条件の設定に問題があったと考えられる。

一方、後半終了時点では、50rpmでの等速性脚伸展力及び0.6m/sと1.0m/sでのレッグ・パワー

がそれぞれ有意に増加し、さらに立ち5段跳びの距離が有意に改善された。しかし立ち幅跳びの記録には有意な変化は認められない。

これまでにプライオメトリック・トレーニングが垂直跳びの成績に及ぼす影響について検討した研究の結果⁵⁾¹³⁾⁴¹⁾は、いずれもトレーニングによる跳躍高の増加が報告されている。しかし、それらのなかで他の筋強化法と比較した研究の結果⁵⁾¹³⁾では、プライオメトリック・トレーニングの優位性は認められていない。本研究では対照群を設けていないことから、高速度条件での筋出力及び立ち5段跳びにおける成績の改善が、スピード重視の筋トレーニングによるものなのか、あるいはプライオメトリック・トレーニングの効果なのか、または両トレーニングの影響なのか、について結論することはではない。しかしながら仮に筋トレーニングの影響が強いとするならば、トレーニング中の動作様式及び筋出力の変化からして、立ち幅跳びの成績も立ち5段跳びと同様に向上することが予想されるが、結果的に優位な改善が得られたのは立ち5段跳びのみである。そのようなパフォーマンスの変化の要因として、連続的なジャンプを主体とした本研究でのプライオメトリック・トレーニングの影響は否定できないであろう。

また逆の見方をすれば、パフォーマンス・テストの結果は、プライオメトリック・トレーニングを含め本研究で実施した筋強化の内容が単発的ジャンプ動作における跳躍力の改善に結び付かないことも意味することになる。この点に付いては今後さらに検討を要することであるが、これまでの垂直跳びの跳躍高に与える影響⁵⁾¹³⁾に関する報告を考慮すると、プライオメトリック・トレーニングの特徴は、単発的より連続的な跳躍運動におけるパフォーマンスの向上をねらいとする場合に、最も生かされてくるものなのかもしれない。

総括的論議

一般にスポーツ選手のトレーニングは、運動技能の向上をねらいとしたトレーニング（技能トレーニング）と身体作りのトレーニング（体力トレーニング）に大別される。このなかで体力トレーニングについて猪飼と松井²¹⁾は、全面的な身体の發

達強化を目指した“全面的からだ作りトレーニング”と個々のスポーツ種目に必要な身体能力を高める“専門的からだ作りトレーニング”とに分け、それぞれのトレーニング手段について述べている。猪飼と松井は体力について全面的及び専門的トレーニングの分類をなしているが、マトヴェイエフ³⁰⁾も同様な観点からスポーツ選手の筋強化の課題について、筋力の可能性の拡大と維持—全般的（全面的）筋力トレーニング、専攻スポーツ種目の特殊な要求に合致する筋力の養成—専門的筋力トレーニング、の2点を指摘している。このようなトレーニング課題による分類にしたがえば、本研究で実施した最大筋力、最大パワーの測定及びそれらの強化は全面的筋出力を評価しトレーニングしようとするものであり、パワー・プロセッサーによるある特定の動作様式による発揮パワーの測定及びプライオメトリック・トレーニングは、専門的筋出力に類するものとみなすことができよう。

本研究の結果において一貫していえることは、スポーツ選手の場合、パフォーマンスとの関連で筋出力の測定・評価及び強化を考えるのであれば、それらは専門的筋出力を対象としたものでなければならないという点である。特に動作様式を考慮した形式で実施されねばならないことの必要性が強調される。そのこと自体は、これまでに種目トレーニングとの複合形式で筋強化を実施することの重要性を指摘している研究結果¹⁷⁾²⁶⁾³⁷⁾と共通するものであり、その点を改めて再確認したにすぎない。しかしながらジャンプ力の向上ということに主眼をおく限りでは、プライオメトリック・トレーニングは1つのトレーニング試行なかで金子²⁶⁾のいう“オーバーロードと特異性の両要素を兼ねる”ことを可能にすると考えられる。

すなわち、ジャンプ力強化の筋トレーニングを、荷重負荷の状態で動作様式に即した形で実施しようとした場合に、垂直方向に対する体重の移動はまだしも、水平方向に対するそれはきわめて危険性が高いと言えよう。それ故、実際のトレーニングにおいてはジャンプ動作における身体の動きを部分的に取り出し、その動作によりオーバーロードの条件を満たす筋強化と平行して種目トレーニングを実施するという複合形式の採用を与儀なく

される。しかしながら本研究におけるトレーニング実験での結果にもみられるように、たとえ補強トレーニングと種目トレーニングが平行して実施されていたとしても、トレーニング後の筋出力及びパフォーマンスの変化は、補強における筋強化の内容の影響を強く受ける。しかも筋出力のレベルが高い選手の場合には、通常、非鍛錬者の実験結果から予想される筋出力の変化ではなく、パフォーマンスにおいてのみ補強トレーニングの内容を反映した変化が現れた。このような結果を見る限りでは、スポーツ選手の場合に、より全体的な動作のなかでの筋強化を実施していくしかない限り、競技動作におけるパフォーマンス向上は困難であるように思われる。

以上のような点を考慮した場合に、プライオメトリック・トレーニングは、ドロップ・ジャンプあるいはボックス・ドリルの形式をとることにより、ジャンプ動作全体の動作様式との類似性を持つつ、高所からの飛び降り及びその連続試行により筋に対しオーバーロードすることが可能であると考えられるのである。

一方、トレーニングIIでは、最大パワーの向上をねらいとした筋強化を、ある一定期間にわたり実施した後にプライオメトリック・トレーニングを実施した。その背景には準備期間として基本的な筋出力を高めると同時に、それがプライオメトリック・トレーニングの導入によって実際のジャンプ動作に生かされ、より高いパフォーマンスの向上が得られるのではないかという期待があった。しかし結果的には、前半終了時点で筋出力に有意な変化はなく、プライオメトリック・トレーニング導入後にはじめて筋出力及びパフォーマンスに有意な増加が得られた。このような結果は、被検者の筋出力のレベルあるいは実施頻度との関連で今後さらに検討を要することであるが、スポーツ選手の場合に準備期間の有無に関わらず、専門的筋出力の強化手段としてプライオメトリック・トレーニングを隨時取り入れてもよいことを示唆するものと思われる。

以上はすべてジャンプ力の向上という点に焦点を合わせ、パワー・トレーニングおよびプライオメトリック・トレーニングの効果を考察したもの

であり、それらが他の運動能力に対する効果については不明である。しかしながら今日、スポーツ選手の間で筋のトレーニングの実施がますます一般化していく傾向にあるなかで、プライオメトリック・トレーニングは競技力に関連する専門的筋出力の強化方法の1つとして注目に値するものであるといえよう。

要 約

本研究では、ジャンプ力向上に関し、1) 筋力、筋パワー、体肢組成の各要素と垂直跳び能力との関係、2) ジャンプ・トレーニングを中心とする反動的、衝撃的要素の強い筋強化がジャンプ力に及ぼす影響、の各観点から検討した。被検者は、1) が男子体育大生バスケットボール及びバレー ボール選手であり、2) はバスケットボール、バ レーボール、及び陸上競技跳躍選手であった。

その結果、まず1)の場合に、等速性、短縮性、伸張性の各収縮様式による脚伸展力は、垂直跳びの跳躍高との間にいずれも有意な相関関係は認められなかった。それに対し足底屈力は、スクワット姿勢から (SJ)、アーム・スイングなしで、反動を伴う (CMJ)、アーム・スイング及び反動のいずれも伴う (MAJ)、の各垂直跳び動作における跳躍高との間に有意な相関関係が認められた。またパワー・プロセッサーにより測定したスクワット姿勢からの立ち上がり動作における発揮パワーも、いずれの動作様式における跳躍高とも有意な相関関係にあった。以上のような筋出力と跳躍高との関係については、筋出力測定時の動作様式の影響を考察した。一方、大腿及び下腿の筋断面積は跳躍高と間に有意な相関関係は認められなかつたが、皮下脂肪断面積及び部位全体の断面積に対し皮下脂肪断面積が占める割合は跳躍高との間に有意な負の相関関係にあった。このような結果から、筋そのものの量より、脂肪量及び身体に占める脂肪の割合が跳躍高に影響をもつことが示唆された。

2) では、(1)バスケットボール、バレー ボール選手を対象に種目トレーニングと平行して週3日の頻度で5週間—トレーニングI、(2)陸上競技跳躍選手を対象に約2ヶ月半—トレーニングII、の

筋強化をそれぞれ実施した。

トレーニングⅠでは、筋出力及び垂直跳びのテスト結果から、被検者を Power group (POG) — 筋力があってジャンプ力のない、あるいはそれらのいずれにも優れている者、及び Max group (MAG) — 筋力はないがジャンプ力がある、あるいはそれらのいずれもが劣る者、の2グループにわけ、POG はスピードとパワー(低負荷高速度)に、MAG は最大筋力と筋力発揮の集中性(高負荷低速度)に、それぞれ重点をおいた負荷条件で、スクワットおよびスクワットジャンプを中心とする筋強化を実施した。その結果、POG には筋出力に有意な変化は認められなかつたが、MAG は低速度での筋力が有意に増加した。トレーニング後の跳躍高は POG が CMJ において、MAG が SJ において、それぞれ有意な改善を示したが、MAJ には両グループとも有意な変化は得られなかつた。

トレーニングⅡでは前半(1ヶ月半)に最大パワーの向上を、後半にスピードと跳躍動作における発揮パワーの増大を、それぞれ目的とした筋強化を実施した。特に後半では低負荷高速度によるウェイト・トレーニングとボックス・ドリル、ハードル・ジャンプ、バウンディングによるプライオメトリック・トレーニングを中心に筋強化を開いた。その結果、前半終了の時点では筋出力及びパフォーマンス(立ち幅跳び、立ち5段跳び)に有意な変化は認められなかつた。一方、後半終了後には、高速度での等速性筋出力及び踏み込み動作でのレッグ・パワーが有意に増加し、立ち5段跳びの成績も有意に改善された。しかし立ち幅跳びの成績には有意な変化は認められなかつた。

以上のようなトレーニング実験の結果から、(1)スポーツ選手においては、補強トレーニングと種目トレーニングが平行して実施されたとしても、強化後の筋出力及びジャンプ・パフォーマンスの変化は、補強トレーニングの内容を反映したものになる、(2)スピード重視の反動的動作による筋強化は、それと同様な動作様式が主体となる躍運動のパフォーマンス向上に効果をもつ、(3)スピード重視及びプライオメトリック・トレーニングによる筋強化は、連続的跳躍運動におけるパフォーマンス向上には効果的であるが、単発的跳躍運動

におけるパフォーマンスに対する効果に関しては今後さらに検討を要する、ことが示唆された。

引用文献

- 1) Asumussen,E. and F.Bonde-Petersen : Strage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91 : 385—392, 1974.
- 2) 跡見順子、八田秀雄、岩岡研典：AT 及び身体組成からみた男女中長距離選手軒録差、昭和58年度日本体育協会スポーツ医・科学報告、No.1 女子のスポーツ適性に関する研究—第3報—, pp.72—79, 1984.
- 3) Ball,J.R., G.Q.Rich and E.L.Wallis : Effects of isometric training on vertical jumping. *Res. Quart.* 35 : 231—235, 1964.
- 4) Berger,R.A. : Effects of dynamic and static training on vertical jumping ability. *Res. Quart.* 34 : 419—424, 1963.
- 5) Blattner,S.E. and L.Nobel : Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performances. *Res. Quart.*, 50 : 583—588, 1979.
- 6) Bobbert,M.F., P.A.Huijing and G.J.Vanlinnen Schenau : Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 332—338, 1987.
- 7) Bosco,C. and P.V.Komi : Potentiation of the mechanical behavior of the human-skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand.*, 106 : 467—472, 1979.
- 8) Bosco,C., P.V.Komi and A.Ito : Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.*, 111 : 135—140, 1981.
- 9) Bosco,C., J.T.Viitasalo,P.V.Komi and P. Luhtanen : Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 114 : 557—565, 1982.
- 10) Capen,E.K. : The effect of systematic

- weight training on power, strength, and endurance. Res. Quart., 21 : 83-93, 1950.
- 11) Carpenter,A. : An analysis of the relationships of the factors of velocity, strength, and dead weight to athletic performance. Res. Quart., 12 : 34-39, 1941.
 - 12) Chui,E. : The effect of systematic weight training on athletic power. Res. Quart., 21 : 188-194, 1950.
 - 13) Clutch.D., M.Wilton, C.McGown and R. Bryce : The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. Res. Quart., 54 : 5-10, 1983.
 - 14) Coleman,J.W. : The differential measurement of the speed factor in large muscle activities. Res. Quart., 8 : 123-130, 1937.
 - 15) Costill,D.L., S.J.Miller, W.C.Myers, F.M. Kehoe, and W.M.Hoffman : Relationship among selected tests of explosive leg strength and power. Res. Quart., 39 : 785-787, 1968.
 - 16) Crews,T.R. and W.J.Meadors : Analysis of reaction time, speed, and body composition of college football players. J. Sports Med., 18 : 169-174, 1978.
 - 17) Dintiman,G.B. : Effects of various training programs on running speed. Res. Quart., 35 : 456-463, 1964.
 - 18) 船渡一男 : 身体外力とスポーツパフォーマンス, J.J.Sports Sci., 8 : 76-83, 1989.
 - 19) 古屋かおる : 脚伸展パワー測定装置の開発, J.J.Sports Sci. 5 : 669-675, 1986.
 - 20) Häkkinen,k., P.V.Komi and P.A.Tesch : Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. Scand.J.Sports Sci., 3 : 50-58, 1981.
 - 21) 猪飼道夫, 松井秀治 : スポーツ科学口座 1 . 近代トレーニング, 大修館書店, 第15版, pp. 11-32, 1967.
 - 22) 金久博昭, 宮下充正 : アイソキティック・トレーニング速度とトレーニング効果一, J.J.Sports Sci., 1 : 147-151, 1982.
 - 23) 金久博昭, 奥山秀雄, 福永哲夫 : 腕屈曲, 伸展動作における短縮性及び伸張性筋力, 昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, No.VIIプリオメトリック・リック筋力トレーニングに関する研究—第1報—, pp.14-21, 1988.
 - 24) 金子公宥 : 瞬発的パワーからみた人体筋にダイナミクス, 杏林書院, 1974.
 - 25) 金子公宥, 渕本隆文, 田路秀樹 : 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果, 体力科学, 30 : 86-93, 1981.
 - 26) 金子公宥 : パワーアップの科学—人体エンジンのパワーと効果—, 初版, 朝倉書店, 1988.
 - 27) Komi,P.V. and C.Bosco : Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med. Sci. Sports. 10 : 261-265, 1978.
 - 28) Kusinitz,I. and C.E.Keeney : Effects of progressive weight training on health and physical fitness of adolescent boys. Res. Quart. 29 : 294-301, 1958.
 - 29) Lindeburg,F.A., D.K.Edards, W.D. Hwalth : Effect of isometric exercise on standing broad jump ability. Res. Quart., 34 : 478-483, 1963.
 - 30) マットウェイエフ, L.P. : ソビエトスポーツ・トレーニングの原理, 江上修代訳, 川村毅監修, 初版, 白帝社, 1985.
 - 31) Mckethan,J.F. and J.L.Mayhew : Effects of isometrics, isotonics, and combined isometrics-isotonics on quadriceps strength and vertical jump. J. Sports Med., 14 : 224-229, 1974.
 - 32) 村木征人 : 上級ジャンパーのトレーニングの合理化—筋力集中方式トレーニングの理論と実際—, J. J. Sports Sci., 4 : 797-802, 1985.
 - 33) Rasch,P.J. and L.E.Morehouse : Effect of static and dynamic exercise on muscular strength and hypertrophy. J. Appl. Physiol.,

- 11 : 29-34, 1957.
- 34) Reindeau,R.P.,B.E.Welch, C.E.Crisp, L.V. Crowley, P.E.Griffin, J.E.Brockett : Relationships of body fat to motor fitness test scores. Res. Quart., 29 : 200-203, 1958.
 - 35) Sale,D. and D.MacDougall : Specificity in strength training : A review for the coach and athlete. Canad. J. Appl. Sport Sci., 6 : 87-92. 1981.
 - 36) Schmidtblicher,D. and M.Buehrle : Neural adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In. Biomechanics X-B (ed. B.Jonson), Humann Kinetic Publishers, pp.615-620, 1987.
 - 37) 田路秀樹, 末井健作, 金子公宥 : 垂直跳びのパフォーマンスにおける複合トレーニングの効果, 日本体育学会第38回大会号 (B). pp. 624, 1987.
 - 38) Thorstensson,A., B.Hulten, W.Von Doblen and J.Karlsson : Effect of strengthtraining on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. Acta Physiol. Scand., 96 : 392-398, 1976.
 - 39) Thys,H., T.Faraggiana and R.Margaria : Utilization of muscle elasticity in exercise. J. Appl. Physiol. 32 : 491-494, 1972.
 - 40) Van Oteghan,S. : Two speeds isokinetic exercise as related to the vertical jump performance of women. Res. Quart. 46 : 78-84, 1975.
 - 41) Viitasalo,J.T. : Effects of taining on force-velocity characteristics. In : Biomechanics IX-A (eds. D.A.Winter. et al.), pp. 91-95, Human Kinetics, 1985.
 - 42) Wikkiser,J.D. and J.M.Kelly : The body composition of a college football team, Med. Sci. Sports 7 : 199-202, 1975.
 - 43) Wolbers,C.P. and F.D.Sills : Development of strength in high school boys by static muscular contraction. Res. Quart., 27 : 446-450, 1956.

III. 下腿三頭筋のリバウンド効果—体操選手と水泳選手の比較—

報 告 者 伊 藤 章¹⁾

研究協力者 齋 藤 昌 久²⁾

目的

主動作に先行して行なわれる反動々作によって筋や腱に弾性エネルギーが貯蓄され、続く主動作においてそのエネルギーが放出・再利用されるため、反動的な運動(プライオメトリック的な運動)では出力や、効率が高められる事が知られている(Cavagna 1964, 1965; Asmussen & B-Petersen, 1974; Thys et al., 1975)。そして、このような“反動効果”は運動の仕方や被験者の体力によって異なることが指摘されている(Thys et al., 1975; Bosco et al., 1982)。

本研究では、下腿三頭筋を使ったプライオメトリック的な運動を習慣的に行なっている男子体操競技選手と、水中での運動が主なためプライオメトリック的な運動の機会が一般人よりも少ないと思われる男子水泳競技選手、そして一般成人男子を被験者とし、それぞれの“反動効果”的比較からプライオメトリックトレーニングの効果を検討した。

方法

手を腰に当て、膝を伸ばしたまま、足関節の屈伸だけで行なう“つま先ジャンプ”を、①リバウンドを利用して、連続的に出来るだけ高くとび上がるジャンプ(RBJ)と、②反動を用いず、断続的に出来るだけ高くとび上がる無反動ジャンプ(NCJ)の2つの条件下で、以下の2実験を実施した。

実験1

1) 大阪体育大学 2) 京都府立口丹波勤労者福祉会館

男子体操競技選手3名(年齢；18-20歳、身長；165-170cm、体重；55.3-63.5kg、競技歴；7-8年)と男子水泳競技選手3名(年齢；19-21歳、身長；163-167cm、体重；55.0-62.8kg、競技歴；8-13年)を被験者に、ジャンプ中の鉛直方向の地面反力を圧力盤により、ヒラメ筋と腓腹筋のEMGを表面電極法により記録した。また被験者の側方より足関節運動に重点をおいた16mm撮影を実施し、写真分析と地面反力の分析からアキレス腱を含む下腿三頭筋の筋収縮速度、筋張力、筋パワーを算出した。これらのデータの処理方法の詳細に関しては前報(伊藤と齊藤、1987a)と同様であるので省略する。

実験2

男子水泳競技選手14名(年齢；18-19歳、身長；158-182cm、体重；56-79kg、競技歴；4-13年)と、週に1-2回テニスを楽しんでいどで、特別にトレーニングをしていない一般成人男子11名(年齢；18-29歳、身長；164-185cm、体重；55-79kg)について、側方より撮影したビデオフィルムからジャンプ中の鉛直変位を測定した。

結果

実験1、実験2

体操選手(3名)の身体重心の鉛直変位はNCJでは $13.8 \pm 1.5\text{cm}$ 、RBJでは $21.8 \pm 1.1\text{cm}$ であった。水泳選手(17名)はNCJは $10.1 \pm 1.6\text{cm}$ 、RBJでは $12.0 \pm 4.0\text{cm}$ 、一般成人男子(11名)はNCJが $10.5 \pm 1.3\text{cm}$ 、RBJでは $15.3 \pm 3.9\text{cm}$ であった(図1)。すなわちNCJでは体操選手が他の被験者より有意に($p < 0.01$)高い値を示したが、水泳

選手と一般成人の間では差が認められなかった。RBJ では体操選手が水泳選手 ($p < 0.01$) と一般成人 ($p < 0.05$) より有意に高い値を示し、一般成人は水泳選手より高かった ($p < 0.05$)。反動動作による鉛直変位の増加 (RBJ-NCJ) は体操選手が最も大きく約8.0cm ($p < 0.005$)、ついで一般成人が4.8cm ($p < 0.005$) であった。しかし水泳選手の場合は有意な差が認められなかった。また水泳選手においては、17名中7名が NCJ より RBJ の方に低い値を示したが、他の被験者群ではこのような例は観察されなかった。

実験 1

筋放電パターンは体操選手と水泳選手の間で明確な違いは見られなかった(図2)。すなわち両選手群とも腓腹筋は NCJ でキック開始前約30m 秒から、RBJ はそれより早く約50m 秒前から放電が開始した。ヒラメ筋は NCJ でキック開始直前になってから放電が開始し、RBJ は NCJ よりわずかに早い時点から放電の立上がりが見られた。しかし NCJ の筋放電量として100%に換算した RBJ の相対筋放電量 (iEMG) は、体操選手の場合は NCJ とほぼ同じ100%の値であったが、水泳選手はそれより約20%少なかった(図3)。その結果、鉛直変位から算出した機械的仕事を iEMG で割って求めた Electro-Mechanical Efficiency (EME=100×機械的仕事/iEMG) は、NCJ の場合は体操選手が1.2-1.5、水泳選手が1.0で大きな差は認められなかったが、RBJ では体操選手が2.0-2.6、水泳選手が1.0-1.2と著しい違いを示した(図3)。

筋短縮速度は、NCJ においてキック開始時点より徐々に増加し、100-125m 秒後に最大値に達した後急速に低下した(図4)。またその最大値は体操選手と水泳選手にほとんど差が見られなかった。RBJ は接地直後から伸張性筋収縮(負の仕事)が開始し、50-60m 秒後に筋が最大伸張し、ついで短縮性筋収縮(正の仕事)が開始される。その最大短縮速度は、体操選手は NCJ の場合より高い値を示したが、水泳選手では、逆に RBJ の方が NCJ より低い値を示した。筋張力の最大値は、体操選手の場合は NCJ で約4000N であったものが、RBJ では約8000N と約2倍に高まった。しかし水泳選手では NCJ と RBJ にほとんど差が見られず、両

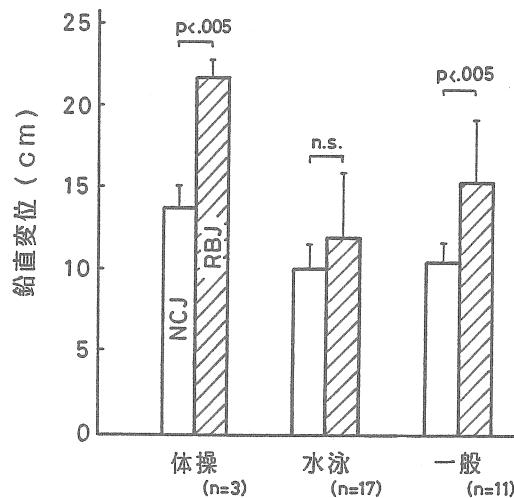


図1 体操選手、水泳選手、一般人のNCJとRBJの鉛直変位

ジャンプとともに4000N以下の低い値であった。その結果、伸張性筋パワーと短縮性筋パワーはともに体操選手の方が水泳選手に比較して著しく高くなかった。

論 議

本研究で得られた最も興味ある結果は、水泳選手には反動をつけることによる鉛直変位の増加がほとんど見られず、しかも水泳選手のうち約40%の被験者が反動をつけた場合にむしろ低下したことである。このような結果はこれまで報告されたことがなく、特別にトレーニングされていない一般成人でも全員に RBJ で鉛直変位の増加がみられたことから、水泳選手特有のものであると考えられる。Thornton と Rummel (1977) は、宇宙飛行士が無重力状態で生活している間にトレーニングを行わないと、脚筋力が低下することを報告している。水中では無重力状態に近く、下腿三頭筋のような坑重力筋にはパリスティックな運動刺激がほとんど加わらない。そのため水泳選手は宇宙飛行士と同様、生活全体をとうして自然になされるプライオメトリック的な運動の機会が減少し、衝撃を受け止め、弾ねかえすような運動能力が一般人よりも低下するのかもしれない。

著者らは前報 (1987a) で陸上競技選手5名について同様の実験を行っているが、反動による鉛直

変位の増加は平均7.2cmで、本研究の体操選手の8.0cmにつぐ高い値を示している。この陸上競技選手の結果を参考にすると、反動効果が最も高かったのは体操選手、ついで陸上競技選手、一般人、水泳選手と各競技の運動内容にそった序列となり、日頃のトレーニングの影響を示唆している。

伊藤ら(1985, 1987b, 1987c)はEMGの積分値(iEMG)がエネルギー消費量に比例する(Bigland-RitchieとWoods, 1974)ことを利用し、iEMGを入力、機械的仕事量を出力とした効率

(EME)を、エネルギー消費量を直接測定出来ないバリスティックな運動や、短時間の運動について応用している。そして、反動を用いない運動の機械的効率を約25% (Fenn, 1923; Margaria, 1963; Kaneko & Yamazaki, 1978; Bosco et al., 1982)とした場合のEMEとの単純な比例計算から得たバリスティックな運動の効率値が、エネルギー消費を直接測定して得た効率値とよく一致することを報告している。そこで同様な方法で本研究のRBJの効率を算出すると、体操選手は約41%と、

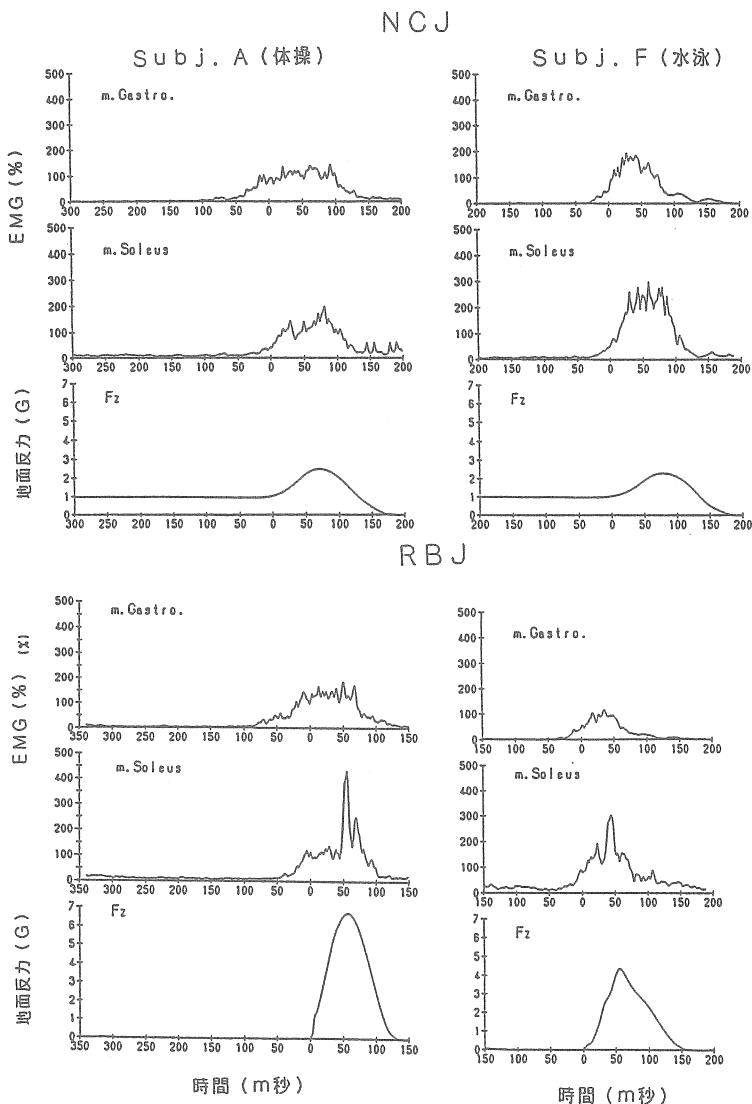


図2 体操選手と水泳選手のEMGと地面反力の典型例
(上段はN C J, 下段はR B J)

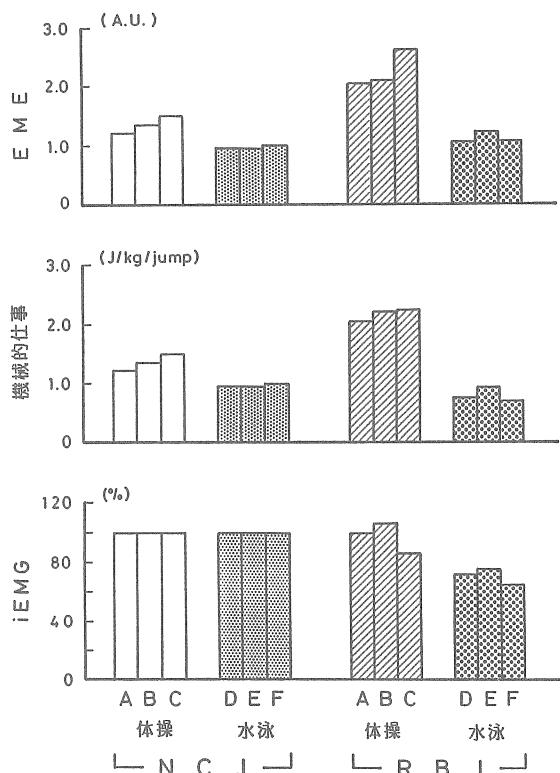


図3 体操選手と水泳選手のN C JとR B JにおけるiEMG(N C Jの値を100%とした)、機械的仕事、Electro-Mechanical Efficiency (EME = 100×機械的仕事/iEMG)

これまで報告されている反動を利用したジャンプと同様の効率値 (They et al., 1975 ; Bosco et al., 1982) が得られたが、水泳選手の場合は約29%と低く、鉛直変位や筋パワーなどの出力のみならず効率に関しても水泳選手に反動効果が認められなかった。

筋収縮速度、筋張力、筋パワーに関して、NCJでは体操選手と水泳選手との間に差が見られなかつたが、RBJで水泳選手は体操選手よりすべてに著しく低い値を示した。特に負の仕事と正の仕事の局面の最大筋パワー (=速度×張力) に大きな違いが見られた。負の仕事局面の伸張性筋パワーに関する体操選手と水泳選手の違いは、筋張力と筋収縮速度の両方の差によって生じたものと考えられた。一方、正の仕事局面の最大短縮性筋パワー出現時には筋張力に大きな差はない、主に筋収縮速度によって最大パワーに違いが生じている。

このように局面によって、発揮されたパワーの違いの中身が異なっていることが分かった。

iEMGを負の仕事局面と正の仕事局面に分け、それぞれの時間で割り、両局面の平均EMG振幅 (NCJの平均EMG振幅に対する相対値に換算) を求めたところ、体操選手の方が水泳選手より、負の仕事局面では約20%，正の仕事局面においては約40%高かった。すなわち、水泳選手の場合は負の仕事局面において、落下の運動量を受け止めることに対する筋活動は比較的大きかったが、続く正の仕事局面には筋活動が低下していた。もしもこのために、負の仕事局面で蓄積された弾性エネルギーが正の仕事局面において再利用されるために必要な筋張力が維持されなかったならば、水泳選手の場合にRBJで出力および効率がほとんど上昇しなかったことの一部が説明される。これまで反動効果に関して、負の仕事局面のEMG振幅の高いことや負から正への仕事局面への切替えの速さ (Cavagna et al., 1965 ; Bosco et al., 1982) の重要性が指摘されているが、本研究の結果は正の仕事局面において一定レベル以上の筋活動の持続も必要であることを示している。

まとめ

プライオメトリックトレーニングの効果を検討するため、成人男子体操選手と成人男子水泳選手、および一般成人を被験者に用い、膝をのばしたまま足関節の屈伸だけで行う“つま先ジャンプ”を、1) 反動を使わぬ断続的な全力ジャンプ(NCJ)と、2) 反動を利用した連続的な全力ジャンプ(RBJ)の条件下で行わせ、16mm(ビデオ併用)撮影、地面反力を下腿三頭筋のEMGの記録を実施した。動作分析から身体重心の鉛直変位、下腿三筋頭の収縮速度、張力、パワーを算出した。

結果は次のとおりである。

- 1) NCJとRBJの鉛直変位は、体操選手がそれぞれ13.8と21.8cm、水泳選手が10.1と12.0cm、一般成人が10.5と15.3cmであった。
- 2) すなわち、反動を利用することによる鉛直変位の増加量 (RBJ-NCJ) は体操選手が最も大きく約8.0cm ($p < 0.005$) で、一般成人は4.8cm ($p < 0.005$) であった。しかし水泳選手には有意な増加

が認められなかった。

- 3) 水泳選手17名の内7名についてはNCJの鉛直変位よりRBJのそれの方が小さいという結果を得たが、体操選手と一般成人においてはこのような例が見られなかった。
- 4) 筋収縮速度、筋張力、筋パワーはNCJでは体操選手と水泳選手に大きな差が見られなかつたが、RBJでは体操選手の方がそれらすべてに高い値を示した。なかでも筋パワーに最も大きな差があつた。
- 5) EMEの結果から見積もった(NCJの機械的効率を25%と仮定した比率計算)体操選手のRBJの効率は約41%、水泳選手は約29%であった。

6) RBJの平均EMG振幅(NCJの平均振幅に対する相対値)は、体操選手の方が水泳選手より大きかつたが、とくに正の仕事局面に大きな差があつた。

以上の結果から、水泳選手がプライオメトリック的なジャンプ運動において、反動動作を利用して出力と効率を高めることが出来なかつたことは、正の仕事局面でのEMG活動レベルの低いことが一部原因していると考えられ、これは長期間の水泳トレーニングが筋重力筋に及ぼした、衝撃を受止め弾ねかえす運動能力に関する非トレーニングの影響であると示唆された。

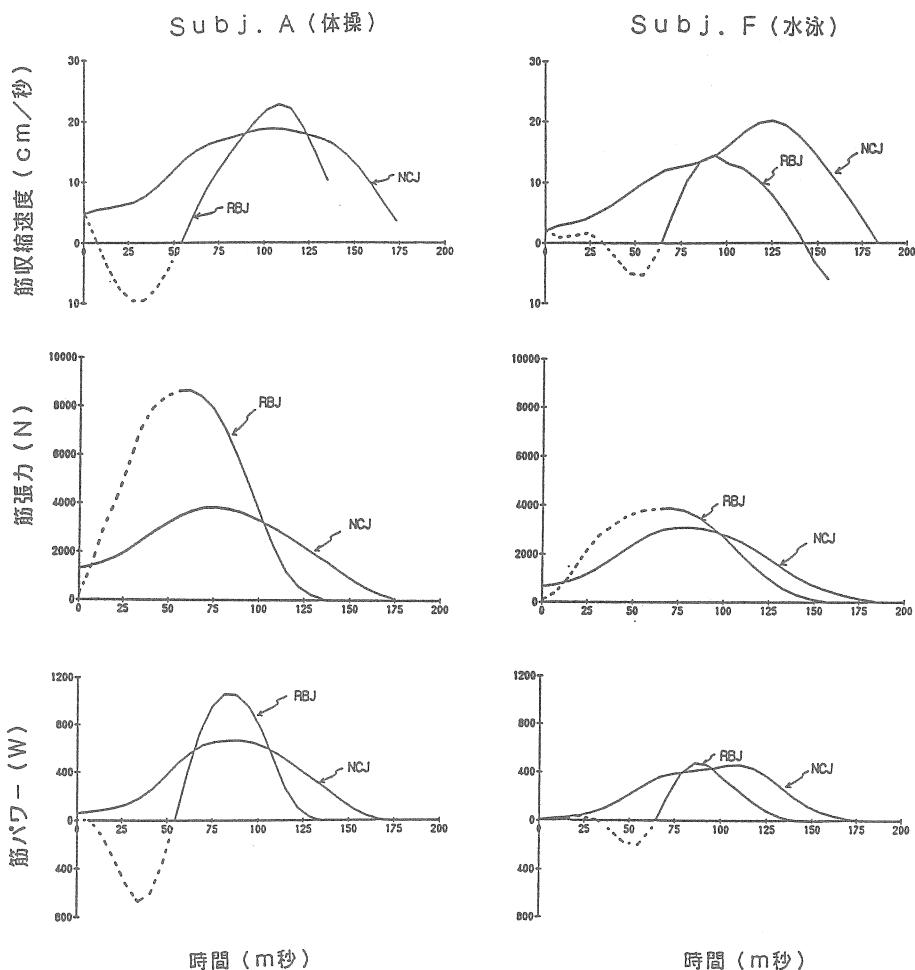


図4 体操選手と水泳選手のNCTとRBJ中の下腿三頭筋の筋収縮速度、筋張力、筋パワーの典型例。実線部は短縮性筋収縮局面(正の仕事局面)、破線部は伸張性筋収縮(負の仕事局面)を示す。

文 献

- 1) Asmussen,E. and F.Bonde-Petersen : Storage of Elastic energy in skeletal muscle in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91 : 385—392, 1974.
- 2) Bigland-Ritchie, B. and J.J.Woods : Integrated EMG and oxygen uptake during dynamic contractions of human muscles. *J. Appl. Physiol.*, 36 : 475—479, 1974.
- 3) Bosco,C., A.Ito., P.V.Komi, P.Luhtanen, P. Rahkila, H.Rusko and J.T.Viitasalo : Neuro-muscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 114 : 543—550, 1982.
- 4) Cavagna,G.A., F.P.Saibene and R.Margaria : Mechanical work in running. *J. Appl. Physiol.*, 19 : 249—256, 1982.
- 5) Cavagna,G.A., F.P.Saibene and R.Margaria : Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J. Appl. Physiol.*, 20 : 157—158, 1964.
- 6) Fenn,W.O. : A quantitative comparison between the energy liberated and the work performed by the isolated sartorius muscle of the frog. *J. Physiol.*, 58 : 175—203, 1923.
- 7) Ito, A., T.Fuchimoto and M.Kaneko : Quantitative analysis of EMG during various speeds of running. *Biomechanics IX-B, Human Kinetics, Champaign*, pp.301—306,
- 1985.
- 8) 伊藤 章, 斎藤昌久 : 下腿三頭筋のリバウンド効果。日本体育協会スポーツ科学研究報告 NO. VIIプリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究—第1報—, pp. 22—28, 1987a.
- 9) Ito, A., T.Fuchimoto and M.Kaneko : Electromechanical Efficiency in sprint running. *Biomechaics X-B, Human Kinetics, Champaign*, pp.863—867, 1987b.
- 10) 伊藤 章, 斎藤昌久, 金子公宥 : 跳躍運動における反動効果—下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用—。 *J.J.Sports Sci.*, 6 : 232—238, 1987c.
- 11) Kaneko,M. and T.Yamazaki : Internal mechanical work due to velocity changes of the limb in working on a bicycle ergometer. *Biomechanics VI, University Park Press, Baltimore*, 1978.
- 12) Margaria,R., P.Cerretelli and P.Aghemo : Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.*, 18 : 367—370, 1963.
- 13) Thornton,W.E. and J.A.Rummel : Muscular deconditioning and its prevention in space flight. *Biomedical Results from Skylab, National Astronautics and Space Administration (Washington, D.C.)*, pp. 191—197, 1977.
- 14) Thys,H., G.A.Cavagna and R.Margaria : The role played by elasticity in an exercise involving movement of small amplitude. *Pflügers Arch*, 354 : 281—286, 1975.

IV. Drop Jump における跳躍技術と至適台高

報 告 者 伊 坂 忠 夫¹⁾

研究協力者 瀬 尾 信 哉¹⁾ 石 井 喜 八¹⁾

はじめに

爆発的なパワーの発揮を期待するプライオメトリックトレーニングは、筋に高張力と速い収縮速度を要求するものであり、SPEED-POWER が必要とされる競技者のトレーニングとして用いられている¹⁰⁾¹⁵⁾。このトレーニングは、ある一定水準にある競技者により高度なパワー発揮をさせる手段の1つである。この種のトレーニングの代表的なものとして、ある高さの台から飛び降り、着地後に垂直跳びをさせる drop jump (以下; DJ) が知られている。この DJ を行わせる上で、大きく2つの技術 (方法) があると報告したものが³⁾⁴⁾ある。その1つは、台からの着地直後に垂直跳びをさせる跳躍動作 (bounce drop jump ; BDJ) であり、もう1つは着地後に反動動作をさせて垂直跳びを行わせる方法 (counter-movement drop jump ; CDJ) である。Bobbert ら⁴⁾の研究によると、台高20cmからのDJの場合、BDJの方が膝・足関節により大きなモーメントが作用したと報告している。しかしながら、彼らの報告は台高20cmによる比較だけであり、その他の台高条件における BDJ と CDJ の比較はしていない。

そこで、本研究では BDJ と CDJ の2種類の DJ をいくつかの台高から行わせたときの下肢関節に作用するモーメントを定量化する。さらに、そのデータから至適台高ならびに跳躍技術を検討する。

方 法

本研究で用いた台高は20, 30, 50cm の3種類で

あった。跳躍方法は着地直後に反動動作を含まずに垂直跳びを行うように指示した BDJ と着地後に反動動作を含んで垂直跳びを行うように指示した CDJ の2種類であった。これら2種類の DJ と対照の跳躍動作として、直立立位姿勢から予備の反動動作を伴った垂直跳び (以下; CMJ) も行った。いずれの跳躍動作も垂直方向にできるだけ高く跳ぶように指示し、さらに腕の振り上げ動作の貢献を消去するために、腰に両手をつけた状態で行わせた。各被検者は、測定の前日に実験室に集合し、各台高からの BDJ, CDJ および CMJ を各5回以上練習した。

各跳躍動作は全て16mm ハイスピードカメラ (フォトソニック社製16mm 1PL) によって撮影し、フィルム速度は100 frames/sec であった。フィルム撮影と同時に床反力の垂直・水平成分および足裏の圧力中心をフォースプレート (Kistler 社製フォースプレート 9281B) により記録した。データの取り込み速度は400Hz とした。撮影フィルムはフィルムモーションアナライザー (Nac 社製スピーティアス Model 200A) で各フレームのランドマーク位置を座標化し、付属のコンピューターで各関節の角度、角加速度ならびに各分節重心および身体重心の位置、速度、加速度を計算した。身体重心を求めるための各分節の質量係数は Dempster⁹⁾のものを用いた。

モーメント算出のためのフィルムデータと圧力盤データをそれぞれパーソナルコンピューター (NEC 社製 PC-9801vx) に転送し、Winter¹⁶⁾の式により関節モーメントを計算した。下肢の各関節のモーメントは、腰の伸展方向、膝の伸展方向、足首の

1) 日本体育大学

足底屈方向のモーメントをそれぞれ正と定義した。各関節角度は、図1のように定義した。

Bobbert ら⁴⁾と同様に push-off 局面は、身体重心が最下点に達した瞬間から爪先が圧力板を離れた瞬間までと決めた。downward 局面は圧力盤に着地した瞬間から push-off 局面開始までとした。ただし、CMJ については身体重心位置が直立立位姿勢より下がり始めた瞬間から push-off 局面開始までとした。

本研究に参加した被検者は、1日3時間以上のトレーニングを週6日積んでいる本学体育専攻学生3名（年齢：19歳）であった。彼らはすべてバスケットボール部に所属するものであった。

結果

表1にpush-off局面およびdownward局面の時間を示した。BDJ20, 30のpush-off局面の時間は0.13秒であり、BDJ50では0.15秒であったが、CDJの0.21–0.24秒よりは短時間であった。

downward局面の時間をみてみると、BDJは0.08–0.11秒を示し、CDJは台高条件とともに長くなる傾向がみられるが、0.14–0.17秒の範囲であった。BDJ, CDJともに両局面はCMJよりも短時間に遂行されており、特にdownward局面においてその傾向は顕著であった。

着地直後、push-off局面開始時および離床時の下肢の各関節角度を表2に示した。CMJの着地直後の角度は、直立姿勢での関節角度を表す。着地直後の各関節角度をみてみると、CDJはBDJよりも大きな足関節の背屈、膝関節の屈曲、股関節の屈曲の姿勢で着地していることを示している。さらに、push-off局面開始時には、CDJとBDJ間の膝関節屈曲および股関節屈曲の差が顕著になっ

ている。離床時には、CMJを含めて各跳躍動作とも近似した関節角度を示しており、図2に一人の被検者の着地から離床までの関節角度の変位を示した。図中の矢印がpush-off局面開始時点である。この図にみられるように、CDJとCMJの膝関節および股関節の最大屈曲角度、ならびに最大足背屈角度は異なる。しかしながら両跳躍動作は類似した角変位カーブを描いて離床している。

跳躍動作中、下肢の各関節に作用したモーメントをpush-off局面開始時、接地中の最高値および

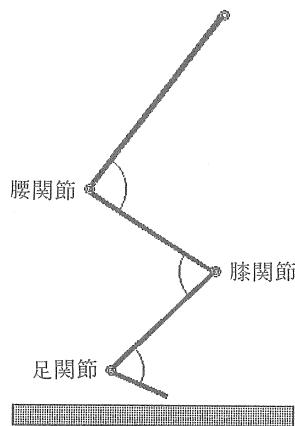


図1 各関節角度の定義

表1 跳躍動作中の各局面の時間

| | TIME (sec) | |
|--------|------------|----------|
| | push-off | downward |
| CMJ | 0.32 | 0.50 |
| BDJ 20 | 0.13 | 0.10 |
| BDJ 30 | 0.13 | 0.08 |
| BDJ 50 | 0.15 | 0.11 |
| CDJ 20 | 0.22 | 0.14 |
| CDJ 30 | 0.21 | 0.16 |
| CDJ 50 | 0.24 | 0.17 |

表2 跳躍動作の着地直後、push-off開始時および離床時の下肢関節角度

| contact | ANGLE (degree) | | | push-off | | | toe-off | | |
|---------|----------------|------|-------|----------|------|-------|---------|------|-------|
| | hip | knee | ankle | hip | knee | ankle | hip | knee | ankle |
| CMJ | 177 | 170 | 111 | 53 | 72 | 86 | 170 | 183 | 161 |
| BDJ20 | 150 | 154 | 128 | 137 | 119 | 99 | 178 | 175 | 155 |
| BDJ30 | 146 | 152 | 141 | 136 | 118 | 104 | 179 | 178 | 164 |
| BDJ50 | 147 | 147 | 134 | 127 | 109 | 100 | 180 | 179 | 161 |
| CDJ20 | 126 | 137 | 124 | 99 | 94 | 99 | 173 | 180 | 160 |
| CDJ30 | 136 | 145 | 132 | 107 | 98 | 100 | 178 | 182 | 168 |
| CDJ50 | 136 | 138 | 128 | 93 | 92 | 99 | 175 | 181 | 162 |

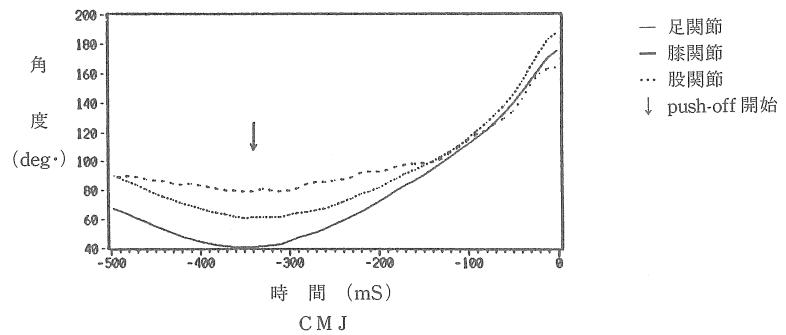
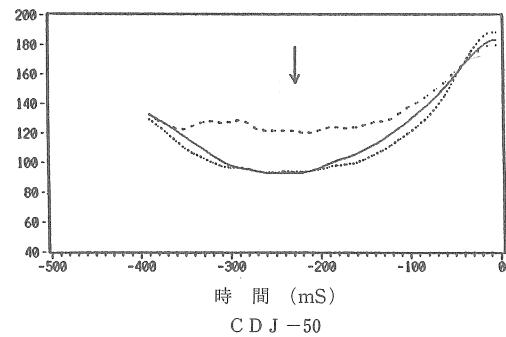
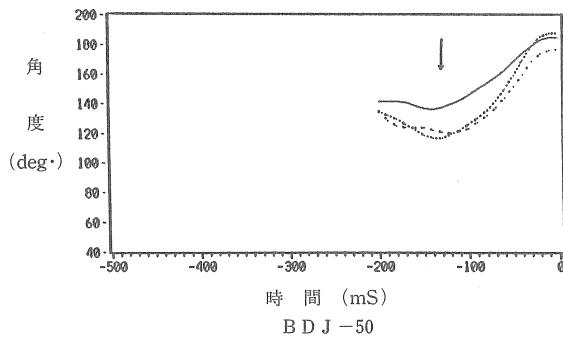
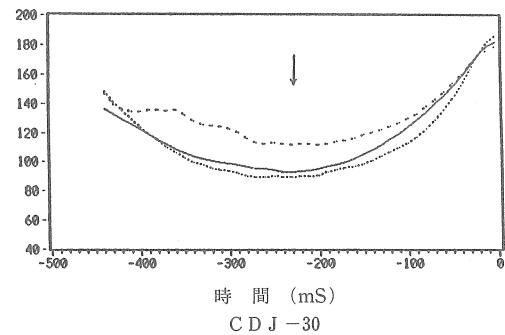
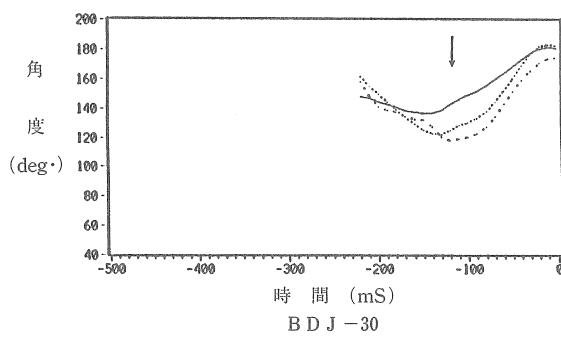
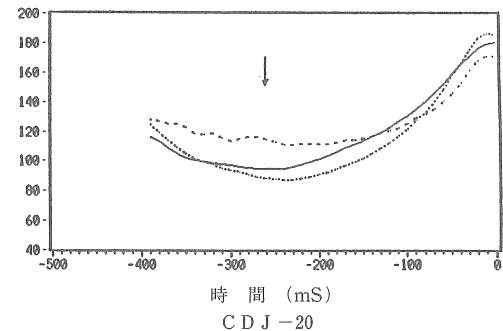
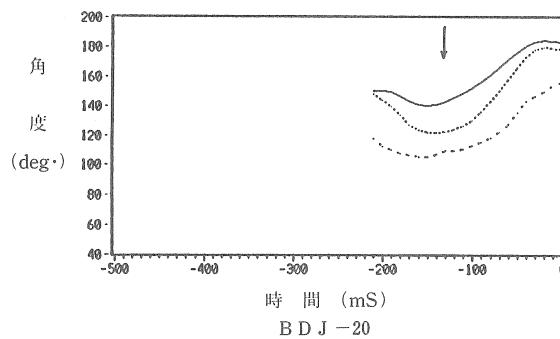


図 2 跳躍動作中の各関節角度

表3 各跳躍動作の関節モーメント

| | MOMENT (Nm) push-off start | | | maximum | | | mean | | |
|-------|-------------------------------|------|-------|---------|------|-------|------|------|-------|
| | hip | knee | ankle | hip | knee | ankle | hip | knee | ankle |
| CMJ | 155 | 246 | 240 | 205 | 280 | 254 | 148 | 140 | 166 |
| BDJ20 | 87 | 362 | 310 | 230 | 380 | 344 | 5 | 146 | 219 |
| BDJ30 | 144 | 328 | 396 | 405 | 335 | 444 | 46 | 123 | 287 |
| BDJ50 | 186 | 373 | 330 | 352 | 390 | 349 | 65 | 150 | 232 |
| CDJ20 | 197 | 281 | 202 | 238 | 281 | 225 | 113 | 135 | 171 |
| CDJ30 | 165 | 238 | 255 | 308 | 252 | 279 | 83 | 142 | 203 |
| CDJ50 | 180 | 247 | 191 | 289 | 304 | 212 | 103 | 141 | 142 |

push-off局面の平均値に分けて、表3に示す。push-off局面開始時の股関節モーメントは、BDJ20を除きCMJと同程度あるいはやや大きな値を示した。膝関節モーメントをみてみると、CDJでは30, 50cmの台高条件のときCMJと近似した値を示し、20cmの台高でCMJより大きなモーメント(281Nm)が示された。一方、BDJはさらに高いモーメントが記録され、その中でも50cmの台高条件のときに最も大きい値(373Nm)であった。足関節も膝関節とほぼ同様の傾向を示したが、BDJ30のときに最高値が出現した。

接地中の各関節モーメントの最高値は、いずれのDJともCMJよりも高い値であった。膝関節と足関節モーメントの最高値をみてみると、台高条件にかかわらず、BDJがCDJよりも大きいモーメントが発揮されていた。BDJの中で、膝関節は台高50cm、足関節は台高30cmのとき最大のモーメントが作用した。股関節モーメントの最高値を跳躍条件間で比較してみると、台高20cmではCDJとBDJは差がなく、それ以上の台高条件ではBDJの方が明らかに大きな値を示した。

push-off局面の平均モーメントをみると、膝関節モーメントはCDJ、BDJともCMJと近似した値を示しており、足関節モーメントはCDJ50を除きいずれのDJともCDJを上回るモーメントを示し、BDJがいずれの台高条件でもCDJよりも大きな値であった。股関節の平均モーメントはいずれのDJもCMJより小さい値であり、またBDJはCDJより低い値であった。

図3には、着地から離床までの跳躍動作中の下肢の各関節モーメントを示す。この被検者は図2と同一の者であった。BDJはいずれの関節モーメントも単峰性の波形で、高いPEAK値が出現している。股関節モーメントのPEAK値はpush-off

局面開始前にあらわれているのに対して、膝・足関節モーメントはpush-off局面開始後にPEAKをむかえている。一方、CDJはCMJと類似した波形を示している。

接地中の床反力をそれぞれの跳躍動作について示した(表4)。Downward局面のPEAK値をみてみると、CMJが1503N(体重の2.3倍)であるのに対して、CDJ、BDJとともにそれ以上の床反力を示し、それらの値は台高とともに大きくなかった。CDJ20では体重の3.1倍、50cmの台高では4.1倍を記録した。BDJではさらに大きな床反力を示し、20cmの台高の3129N(体重の4.7倍)から50cm条件の3860N(体重の5.8倍)までの範囲であった。Push-off局面のPEAK値および平均値はいずれのDJともCMJを上回るものであり、BDJはいずれの台高のCDJよりも大きい値を示した。

図4は各跳躍動作中の床反力を示したものである。BDJは30cmの台高条件を除き、着地直後の衝撃波形がみられ、20, 30cm台高でのPEAK値はpush-off局面開始後にみられる。50cmの台高では、衝撃波形のあと離床まで床反力は急激に低下した。一方、CDJ20, 30はpush-off局面開始前後にPEAKをむかえている。

考 察

本研究で行わせた2種類のDJの特徴をみてみると、BDJはpush-off局面およびdownward局面をCDJよりも明らかに短時間で遂行しており、Robertら⁴⁾による20cmの台高からのBDJ、CDJと近似した時間であった。さらにCDJは、いずれの台高条件でもBDJよりも大きな股関節・膝関節の屈曲、足関節の背屈姿勢で着地していた。このことはpush-off局面開始時の下肢の各関節角度にも同様にみられる。したがって、CDJは着地衝撃

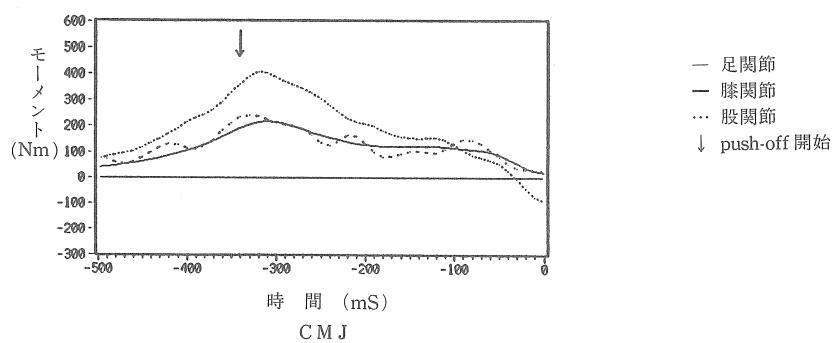
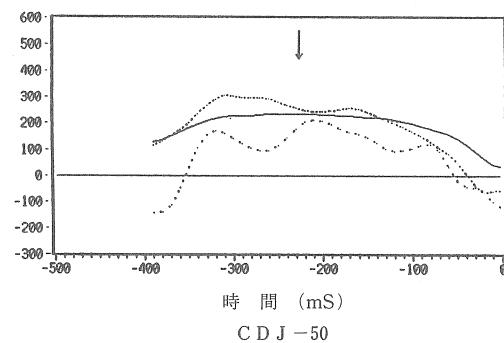
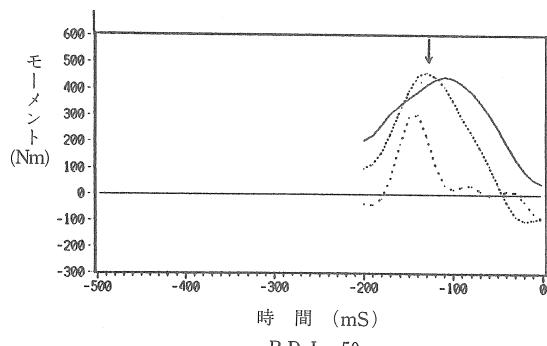
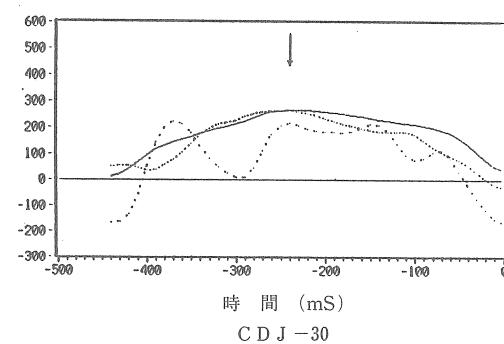
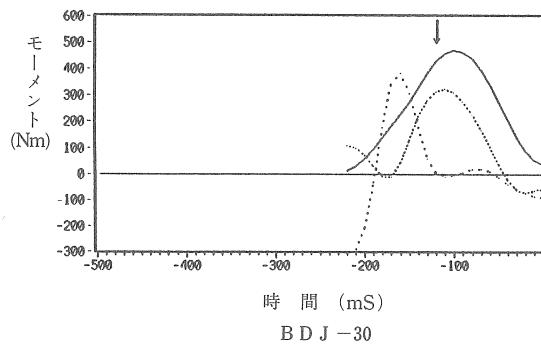
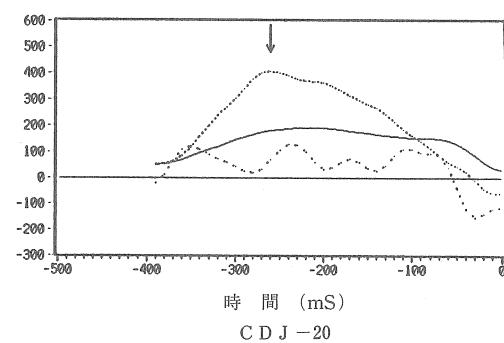
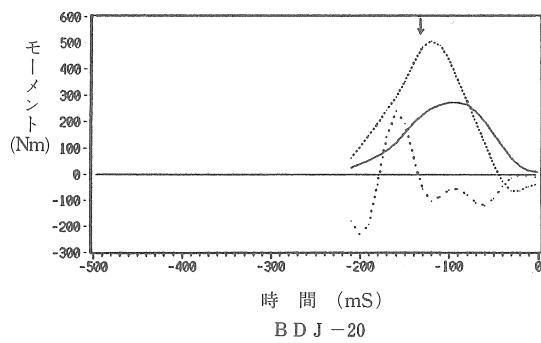


図 3 跳躍動作中に発揮された各関節のモーメント

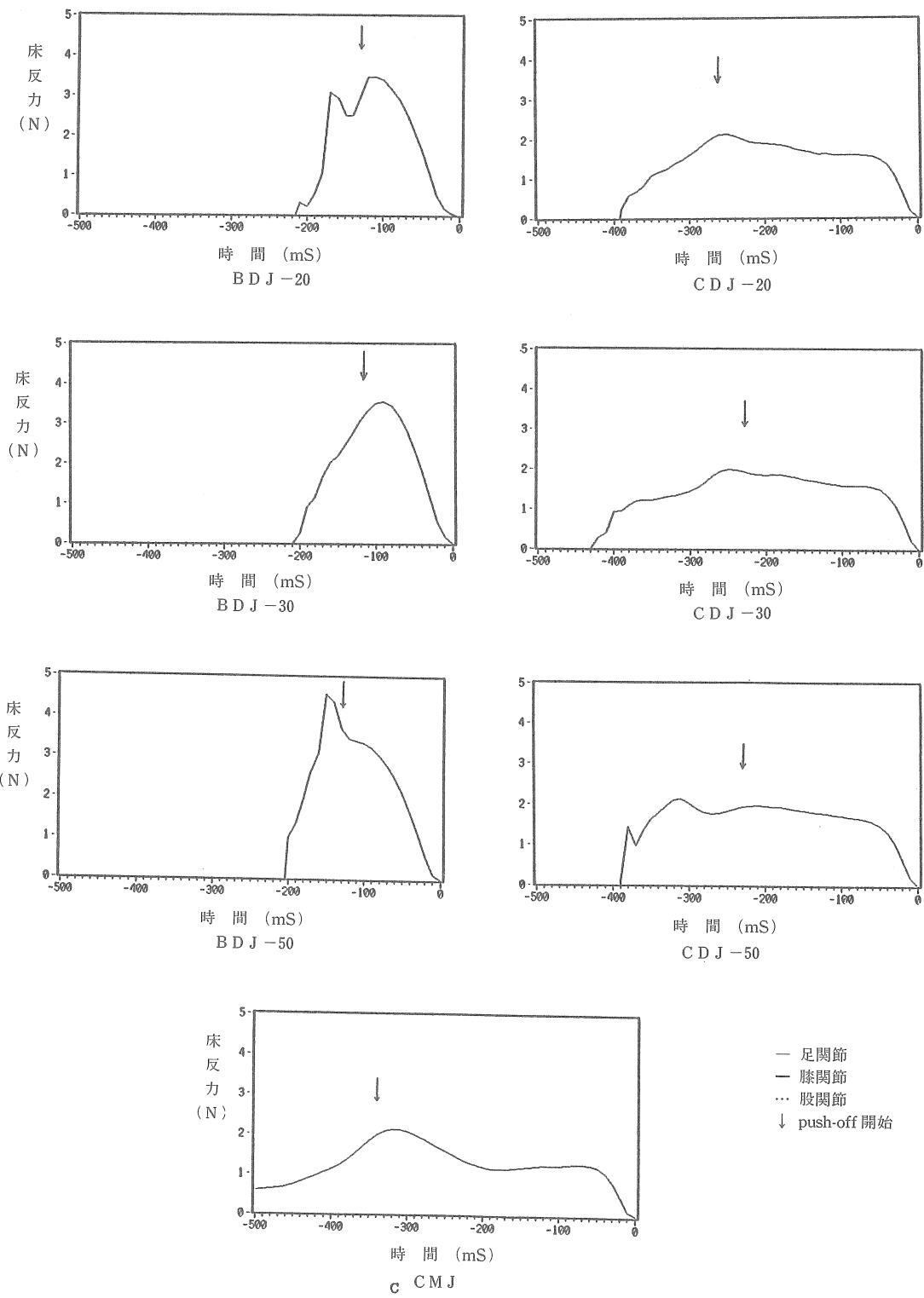


図4 跳躍動作中に作用した床反力

表 4 各跳躍動作時の床反力

| DOWNWARD | GROUND REACTION FORCE (N) | | |
|----------|---------------------------|------|------|
| | PEAK | PEAK | MEAN |
| CMJ | 1503 | 1790 | 1334 |
| BDJ20 | 3129 | 3314 | 2152 |
| BDJ30 | 3318 | 3393 | 2312 |
| BDJ50 | 3860 | 3021 | 2051 |
| CDJ20 | 2056 | 2166 | 1634 |
| CDJ30 | 2335 | 2091 | 1666 |
| CDJ50 | 2731 | 1900 | 1473 |

を緩衝するような姿勢で着地しており, downward局面においてその衝撃力を吸収していると考えられる。その結果として, downward局面の床反力に BDJ のような大きな衝撃波形はみられない(図 4)。一方, BDJ は downward局面, push-off局面において CDJ よりも速い屈曲・伸展が各関節に課せられたことにより, 体重の 5-6 倍に相当する着地衝撃を生じ, 跳躍動作中により大きな関節モーメントが発揮された。さらに特徴的な現象としては, いずれの台高条件においても BDJ の股関節モーメントは, push-off局面開始前に急激な PEAK 値が発揮されている。これは CDJ にはみられない現象であり, 着地後, 素早く飛び上がるために, 身体重心の沈み込みを最小限にするための作用と推測される。

これまで, プライオメトリックトレーニングの研究として DJ が多く用いられており¹⁾²⁾³⁾, 台高条件とその効果との関係が数多く報告されてきている²⁾⁵⁾。しかしながら, その論議の焦点は台高と跳躍高にむけられてきている。Asmussen と Bonde-Petersen¹⁾は 23.3cm から 69cm までの台高条件で DJ を行わせたとき, 40.4cm からの DJ が最も大きな performance が得られたと報告した。Komi と Bosco¹⁴⁾によると 26-83cm の条件では, 62cm が最高の上昇高を示したとしている。彼らは, この現象を着地から身体重心が最下点までの downward局面中に貯えられた弾性エネルギーが, push-off局面で利用されたものと考察している¹⁾⁶⁾¹³⁾¹⁴⁾。一方, 最近の報告をみてみると, Bedi ら²⁾は体育専攻学生とバレーボール選手を被検者にして 25-85cm の台高で DJ をおこなわせたが, 両群の被検者とも台高の違いによる跳躍高の差はなく, いずれの DJ も CMJ より低い跳躍高であったと述べてい

る。台高 20cm からの DJ を検討した Bobbert ら⁴⁾によると跳躍動作の技術による違いにより, 同じ台高条件であっても差が生じるとしている。

これまでのところ台高条件の違いによる跳躍高の差がどのかは, 一致した見解が得られていない。したがって, downward局面中に伸張された筋群に弾性エネルギーが貯えられ, そのエネルギーの再利用が行われるかどうかについても推論できない。しかしながらトレーニングとして DJ を利用することを考慮した場合, 本研究および Bobbert ら⁵⁾が示した結果は, CMJ 以上の関節モーメントを下肢関節に発揮させることができあり, より大きなトレーニング刺激を加えることができるることを明らかにした。

これまでの文献⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾によると, DJ トレーニングとして用いられてきている台高条件が増すについたがい, 筋群および関節により大きな負荷を課すことになり, 傷害発生の危険性を増大することが予想される。本研究では, 関節および筋群に作用する負荷を量量化するために下肢の各関節のモーメントを算出した。関節モーメントは関節まわりの真の筋活動を反映する指標として用いられている¹¹⁾¹²⁾。

push-off局面開始時の股関節モーメントは BDJ が, CMJ と同程度かそれ以下の値を示し, CDJ はそれ以上であった。膝関節および足関節のモーメントは, CMJ を基準に考えると CDJ が同程度あるいはそれ以下であるのに対して, BDJ はどの台高条件でも明らかに高い値を示した。跳躍動作中の関節モーメントの最高値を比較してみると, 股関節モーメントは CMJ, CDJ20, BDJ20 のとき近似した値であり, それ以上の台高では CDJ50, CDJ30, BDJ50, BDJ30 の順で大きな値を示した。膝関節では CMJ, CDJ20, 30 がほぼ同程度のモーメントを発揮しており, それ以上の関節モーメントが CDJ50, BDJ で示された。足関節のモーメントの最高値は CDJ が CMJ と前後した値であり, BDJ はそれらの値より明らかに大きいものであった。

床反力の downward局面の最高値は CMJ, CDJ20, 30, 50, BDJ20, 30, 50 の順で高くなり, さらに図 4 に示したように BDJ の跳躍動作時には,

着地直後に衝撃波形がみられる。

以上、下肢関節モーメントから、CMJ 以上の負荷を下肢の筋群に課すための DJ を、傷害を起こすことなく行わせるためには、台高30cm の CDJ からトレーニングを開始し、トレーニングの水準が高まるにつれ、CDJ の台高を上げて行き、50cm の台高でのトレーニングが終了した段階で、台高を30cm に下げて BDJ に移行し、再び台高条件を強めていく方法が overload の原則を考慮する上でも望ましいと考えられる。

ただし、この種のトレーニングを実施する際に、Bobbert ら³⁾が40cm の台高から指示を与えずに自由に DJ を行わせたとき、跳躍動作時間に個人差があらわれることを指摘していることから、跳躍動作の充分な説明と練習を行わせる必要があるといえる。

まとめ

本研究では本学体育専攻学生 3 名(年齢；19歳)を被検者として、BDJ と CDJ の 2 種類の DJ を20, 30, 50cm の台高から行わせたときに、下肢関節に作用するモーメントを量化し、至適台高ならびに下肢の各関節モーメントと跳躍技術および台高条件の関係を検討した。

BDJ20, 30, 50 の接地時間は 0.23, 0.21, 0.26 秒であり、身体重心位置が最下点に達した瞬間から離床までの push-off 局面の時間はそれぞれ 0.10, 0.08, 0.11 秒であった。一方、CDJ20, 30, 50 の接地時間および push-off 局面の時間は、0.36, 0.37, 0.41 および 0.14, 0.16, 0.17 秒であった。

足関節に作用したモーメントの最大値を比較してみると、BDJ は、いずれの台高の CDJ よりも高い値を示し、そのなかでも BDJ30 が最高値(444Nm)であった。CDJ は CMJ と近似した値であった。膝関節についても足関節とほぼ同様の傾向がみられたが、最高値が得られたのは、BDJ50 であった。股関節については、いずれの DJ も CMJ より大きなモーメントが作用した。BDJ では台高30cm のとき最大(405Nm)であり、CDJ では30cm のときが最大(308Nm)であった。

着地時の衝撃力と考えられる downward 局面で

の床反力の PEAK 値は、台高が増すにしたがい高くなった。しかしながら、CDJ(体重の約 3-4 倍の範囲)はいずれの BDJ(体重の約 5-6 倍の範囲)よりも低い値であった。

以上、下肢関節モーメントから、DJ トレーニングを開始する初期の段階では、30cm の台高からの CDJ が勧められる。トレーニングの水準が高まるにつれ、CDJ の台高を上げて行き、50cm の台高でのトレーニングが終了した段階で、台高を30cm に下げて BDJ に移行し台高条件を強めて行く方法が、下肢関節の傷害を防止するうえで望ましいと考えられる。

文 献

- 1) Asumussen,E. and F.Bonde-Petersen : Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91 : 358-392, 1974.
- 2) Bedi,J.F., A.G.Cresswell, T.J.Engel and S.M.Nicol : Increase in jumping height associated with maximal effort vertical depth jumps. *Res. Quart.*, 58 : 11-15, 1987.
- 3) Bobbert,M.F., M.Mackay, D.Schinkelshoek, P.A.Huijing and G.J.van Ingen Schenau : Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 54 : 566-573, 1986.
- 4) Bobbert,M.F., P.A.Huijing and G.J.van Ingen Schenau : Drop jumping. I. : The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 332-338, 1987.
- 5) Bobbert,M.F., P.A.Huijing and G.J.van Ingen Schenau : Drop jumping. II. : The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 339-346, 1987.
- 6) Bosco,C. and P.V.Komi : Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand.*, 106 : 467-472, 1979.

- 7) Brown,M.E., J.L.Mayhew and L.W. Boleach : Effects of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *J. Sports Med.*, 26 : 1–4, 1986.
- 8) Clutch,D. and M.Wilton : The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Res. Quart.*, 54 : 5–10, 1983.
- 9) Dempster,W.T. : Space requirements of a seated operator. USAF, WADC tech. report, Wright Patterson Air Force Base. Ohio, pp.55–159, 1955.
- 10) Durseney,L.I. : Strength training of jumpers. *Track Field Quart. Rev.*, 82 : 53, 1982.
- 11) Fukashiro,S. and P.V.Komi : Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *Int. J. Sports Med.*, 8 : 15–21, 1987.
- 12) Hubley,C.L. and R.P.Wells : A work-energy approach to determine individual joint contributions to vertical jump performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50 : 247–254, 1983.
- 13) Komi,P.V. and C.Bosco : Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports*, 10 : 261–265, 1978.
- 14) Komi,P.V. and C.Bosco : Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man. In Asumussen,E. and K.Jorgensen (eds.) , *Biomechanics VI—A Proceedings of the Sixth International Congress of Biomechanics*, Copenhagen, Denmark. Baltimore, University Press, pp.79–85, 1978.
- 15) Steben,R.E. and A.H.Steben : The validity of the stretch shortening cycle in selected jumping events. *J. Sports Med.*, 21 : 28–37, 1981.
- 16) Winter,D.A. : *Biomechanics of human movement*. John Wiley & Sons, Inc., 1979.

V. デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が 跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響

報告者 高松 薫¹⁾

研究協力者 国子浩二¹⁾ 会田 宏¹⁾ 吉田 亨¹⁾

石島 繁¹⁾

緒言

プライオメトリックトレーニング（プライオメトリックス）の目的は二つに大別されると考えられる。その一つの目的は、stretch-shortening cycle運動を利用して、筋の収縮エネルギーの獲得とその利用能力、および腱または筋の弾性エネルギーの貯蔵とその利用能力を高めることである。言い換えると神經一筋・腱系の反応を改善すること、すなわちパワー、調整力または技術を発達させることである。そして他の一つの目的は、アイソメトリックやコンセントリックな収縮よりも大きな力を発現できるエキセントリックな収縮を利用して、筋力、またはパワーを発達させることである。

上述のこととは、プライオメトリックスの最も代表的なトレーニング手段であるデプスジャンプを安全に合理的に行う場合には、プライオメトリックスの二つの目的と関連づけて、至適台高の範囲を明らかにしておくことが重要であることを意味する。しかし現在でも、これらの目的に即したデプスジャンプトレーニング手段の至適台高について一致した見解はない。この理由の一つとして、トレーニングの目的を明確にしないで、実際のトレーニングが行われている可能性のあること、あるいはトレーニングの目的は明確であったとしても、トレーニング者の性、年齢、体力水準、技術水準などがかなり異なっていると考えられる。一方、デプスジャンプの跳躍方法を明確にしないままにトレーニングが行われていることも、その理由の一つであると考えられる。跳躍方法が異な

ると、トレーニング負荷の特性は異なり、至適台高の範囲も異なってくることが予測されるからである。それでは、デプスジャンプではどのような跳躍方法が用いられるのであろうか。片脚踏切による跳躍と両脚踏切による跳躍、脚の反動動作をスピーディーに行う跳躍と行わない跳躍、腕の振込動作を用いる跳躍と用いない跳躍、着地を先取りした跳躍と先取りしない跳躍など、トレーニング者が行っているスポーツ種目の特性に即していくつかの跳躍方法が考えられる。しかしそれらのなかでも、誰もが用いる可能性の高い最も基本的な跳躍方法は膝曲げの浅い跳躍と深い跳躍であろう。膝曲げ動作の違いによる跳躍高や下肢筋にかかる負荷の違いが、台高と関連づけて明らかになると、トレーニング者の台高と跳躍方法の選択はより容易になると考えられる。このことは、著者らが昨年度の報告書^{3),4)}で指摘したことである。

そこで本研究では、デプスジャンプの至適台高を明らかにする一助を得るために、台高と膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響について検討した。

方法

1. 被検者

被検者には、男子体育専攻学生10名を用いた。被検者の年齢、身長、体重は、順に 21.8 ± 1.1 歳、 174.2 ± 4.3 cm、 68.1 ± 4.1 kgである。これらの被検者の大部分は、トレーニングの場でデプスジャンプを経験しているが、その負荷の強度と量、頻度、跳躍方法などは被検者によってかなり異なっている。

1) 筑波大学

2. 実験試技

被検者に、3種の膝曲げ動作、すなわち「浅い」、「中くらい」、「深い」膝曲げ動作によるデプスジャンプを全力で行わせた。デプスジャンプの台高には、0.3, 0.6, 0.9, 1.2mの4種を用いた。膝曲げ動作は、踏切中の膝の最大屈曲角度によって規定し、この角度を「浅い」試技では110~130度、「中くらい」の試技では70~90度、「深い」試技では30~50度とした。被検者には、腕の振込動作の影響をなくすために、いずれの試技も腰に手を当てた姿勢で行わせた。また、試技を正確に行えるようにするために、試技内容を十分に理解させ、事前に数日間の練習を行わせた。

なお本研究では、デプスジャンプとの比較のために、上述の3種の膝曲げ動作による垂直跳び(CMJ)も行わせた。

3. 測定項目および測定法

各試技におけるフォームを、ハイスピードカメラ(NAC社製、HSV-200)を用いて、被検者の左側方から毎秒200コマで撮影した。また、踏切中の地面反力をフォースプレート(Kistler社製AG:9281型)を用いて測定し、大腿直筋、大腿二頭筋(長頭)、前脛骨筋、腓腹筋(外側頭)のEMGを表面双極誘導法を用いて測定した。地面反力とEMGは、いずれも1 msecごとに記録した。

本研究では、上記のビデオ画像、地面反力、EMGなどをもとにして、①跳躍高、②踏切前半および後半の時間、③踏切中点(膝の最大屈曲時点)の膝関節角度、④踏切前半の最大力と平均力、⑤踏

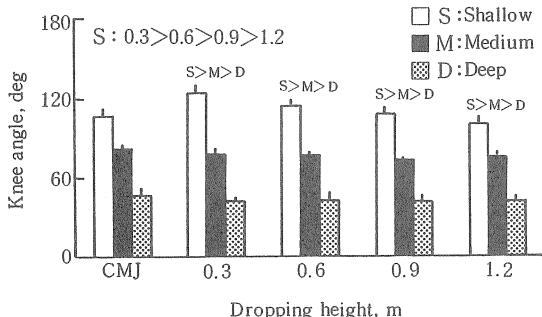


図1 踏切中点の膝関節角度

切前半および後半の腰、膝、足関節のトルク、パワー、仕事、⑥踏切前半および後半の大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の積分筋電図(iEMG)と筋電波形の平均振幅(mEMG)を算出した。なお⑤は、阿江ら¹⁾によるモデルおよび算出式、およびChandlerら²⁾による身体各部分の質量、重心位置および慣性モーメントを用いて算出した。また⑥は、別に測定した膝関節伸展(大腿直筋)、膝関節屈曲(大腿二頭筋)、足関節背屈(前脛骨筋)および足関節屈曲(腓腹筋)によるアイソメトリックな最大筋力発揮時のiEMG(1000 msec)またはmEMG(1 msec)を用いて相対的に評価した。これらの最大筋力はいずれも関節角度110度で測定した。

4. 統計処理

本研究では、デプスジャンプにおける各測定成績について、二元配置の分散分析[台高(0.3m, 0.6m, 0.9m, 1.2m) × 膝曲げ動作(浅い、中くらい、深い)]を行った。分散分析の結果、F値が有意であった項目については、さらに多重比較を行った。統計処理の有意性は危険率5%で判定した。図1~7の不等号は、5%水準で有意差のあることを示す。

結 果

図1に踏切中点の膝関節角度を示した。踏切中点の膝関節角度には、3種の膝曲げ動作間に有意

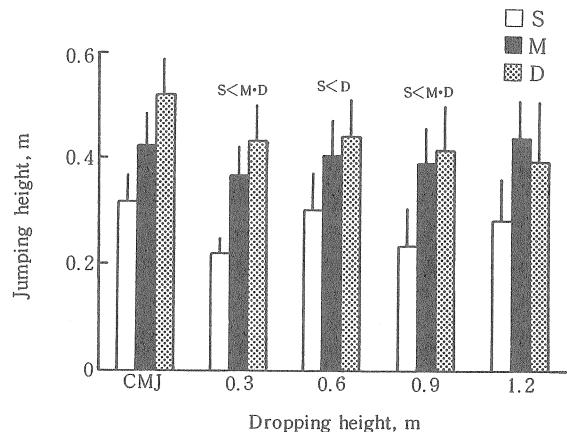


図2 跳躍高

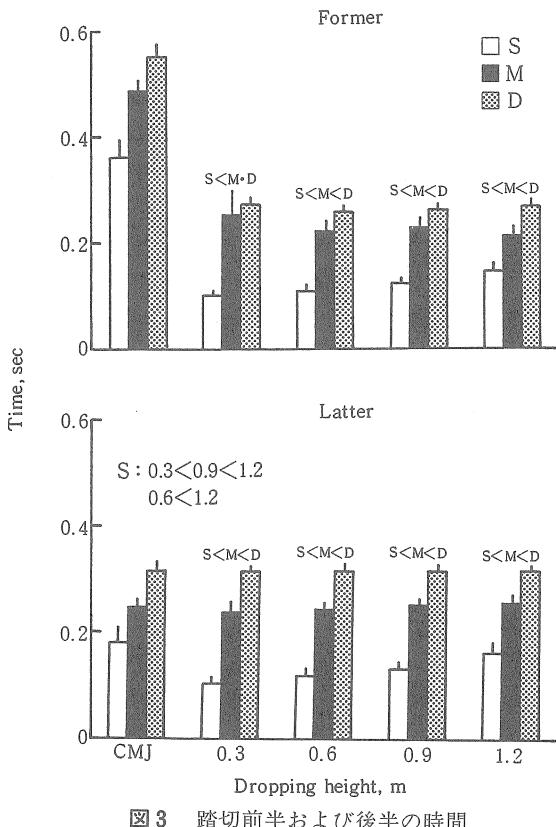


図3 踏切前半および後半の時間

差があった。したがって、3種の膝曲げ動作間に跳躍方法に明確な差があったと考えられる。しかし、「浅い」試技では、台高が高くなるにつれて大きくなる落下のエネルギーを、短い運動範囲で受け止めることができ困難になるために、徐々に深い膝曲げ動作になった。踏切中点の膝関節角度は、0.3mでは124.1度、1.2mでは99.8度であり、台高間に有意差が認められた。これは、本実験条件を必ずしも満足するものではない。したがって、このことを常に考慮にいれて、本研究の結果を解釈する必要がある。なお、「中くらい」の試技と「深い」試技における踏切中点の膝関節角度には、台高間に有意差は認められなかった。前者の場合は、72.9~78.3度、後者の場合は41.6~42.8度の範囲内にあった。

図2に跳躍高、図3に踏切各局面の時間、図4に踏切各局面の地面反力、図5に踏切各局面の下肢関節の最大パワー、図6に踏切各局面の下肢関節の相対仕事、および図7に踏切各局面の下肢筋

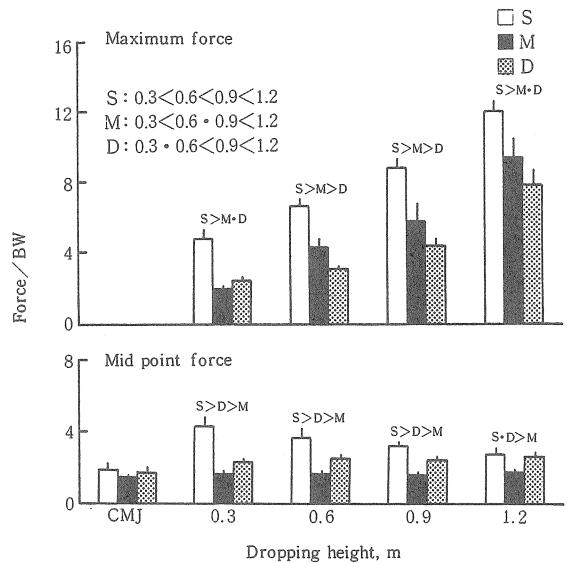


図4 踏切前半の最大力、および踏切中点の力

のiEMGを示した。ここでは、図に示さなかった結果も加えながら、デプスジャンプの特徴を、台高の相違による影響と膝曲げ動作の相違による影響とに分けて示す。

1. 台高の相違がデプスジャンプの跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響

デプスジャンプの跳躍高と下肢筋にかかる負荷の特性は、膝曲げ動作が同じ場合、すなわち踏切中点の膝関節角度が同じ場合には、台高が高くなるにつれて、次のように変化する傾向のあることが認められた。

- 1) 跳躍高は変化しない。
- 2) 踏切前半 ;
 - ①踏切前半の時間は変化しない。
 - ②地面反力でとらえた最大力は大きくなり、衝撃力は大きくなる。平均力も大きくなる。
 - ③腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー(負)，絶対仕事は大きくなる。
 - ④足関節の相対仕事は小さくなる。腰、膝関節の相対仕事は変化しない。
 - ⑤大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGとmEMGは変化しない。
- 3) 踏切中点 ;
 - ①地面反力でとらえた力は変化しない。

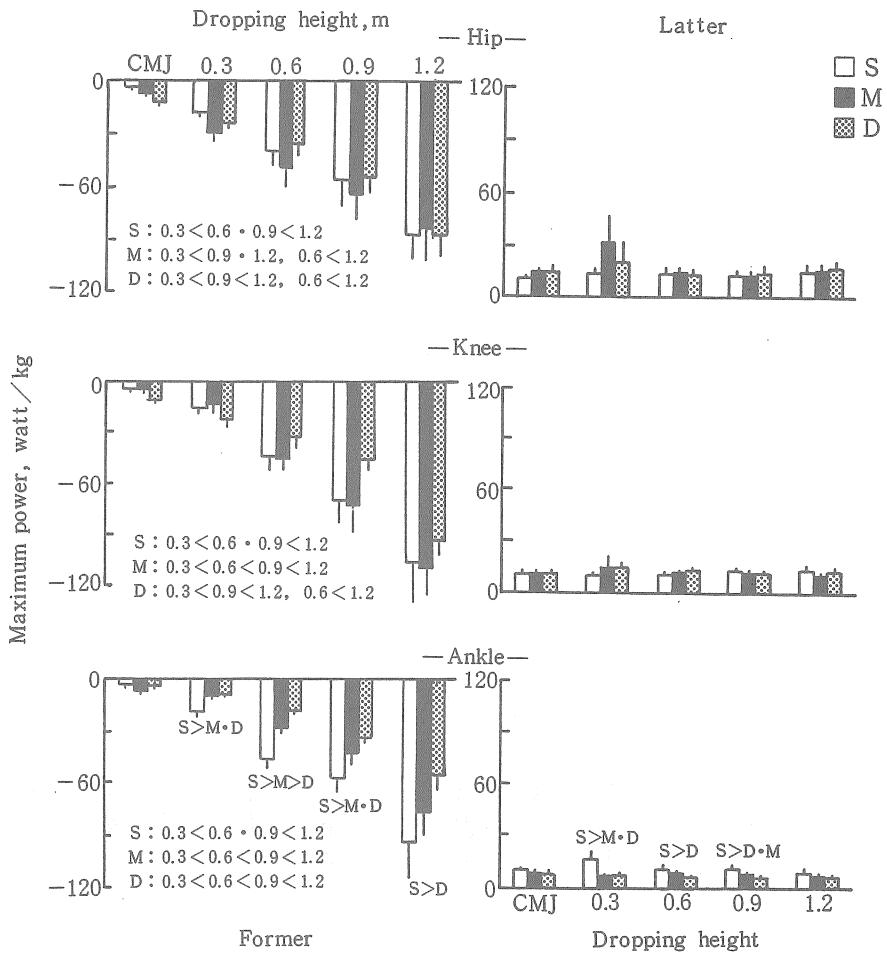


図5 踏切前半および後半の腰、膝、足関節の最大パワー

②腰、膝、足関節のトルクは変化しない。

4)踏切後半；

①踏切後半の時間は変化しない。

②地面反力でとらえた平均力は変化しない。

③腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー、絶対仕事は変化しない。

④足関節の相対仕事は小さくなる。腰、膝関節の相対仕事は変化しない。

⑤大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGとmEMGは変化しない。

2. 膝曲げ動作の相違がデプスジャンプの跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響
デプスジャンプの跳躍高と下肢筋にかかる負荷

の特性は、台高が同じ場合には、膝曲げ動作が大きくなるにつれて、すなわち踏切中点の膝関節角度が小さくなるにつれて、次のように変化する傾向のあることが認められた。

1)跳躍高は高くなるが、その増加の程度は徐々に小さくなる。

2)踏切前半；

①踏切前半の時間は長くなる。

②地面反力でとらえた最大力は小さくなり、衝撃力は小さくなる。平均力も小さくなる。

③腰、膝関節の絶対仕事は大きくなるが、最大トルクは小さくなる。最大パワーは変化しない。これに対して、足関節の最大トルク、最大パワー（負）、絶対仕事は小さくなる。

④腰関節の相対仕事は大きくなるが、足関節の相対仕事は小さくなる。膝関節の相対仕事は変化しない。

⑤大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋の iEMG は大きくなるが、腓腹筋の iEMG は小さくなる。また、前脛骨筋の mEMG は大きくなるが、大腿二頭筋と腓腹筋の mEMG は小さくなる。大腿直筋の mEMG は変化しない。

3) 踏切中点

①地面反力でとらえた力は小さくなり、その後再び大きくなる。すなわち、膝関節角度と膝伸展力との関係にしたがって変化する。

②腰、足関節のトルクは小さくなり、その後再び大きくなるが、膝関節のトルクは変化しな

い。

4) 踏切後半；

①踏切後半の時間は長くなる。

②地面反力でとらえた平均力は小さくなる。

③腰、膝関節の絶対仕事は大きくなるが、腰関節の最大トルクは小さくなる。腰の最大パワー、膝の最大トルクと最大パワーは変化しない。これに対して、足関節の最大トルクと最大パワーは小さくなる。足関節の絶対仕事は変化しない。

④腰、膝関節の相対仕事は大きくなるが、足関節の相対仕事は小さくなる。

⑤大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋の iEMG は大きくなる。大腿二頭筋の iEMG は変化しない。

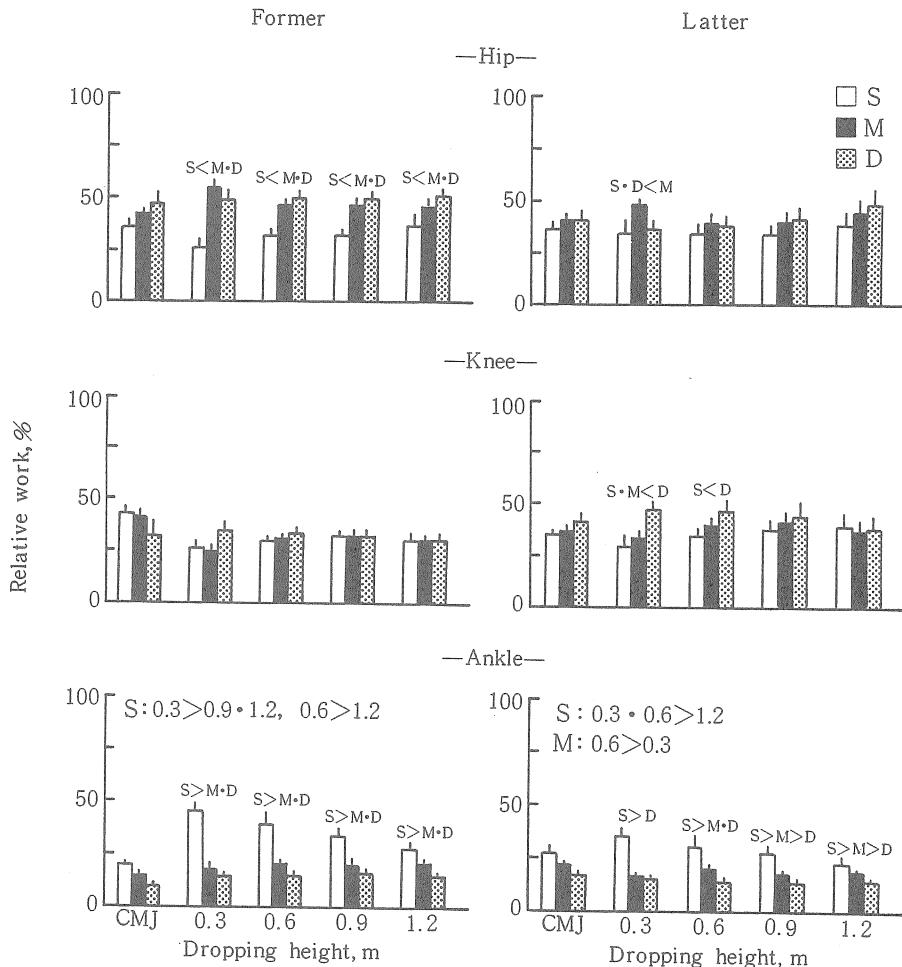


図6 踏切前半および後半の腰、膝、足関節の相対仕事

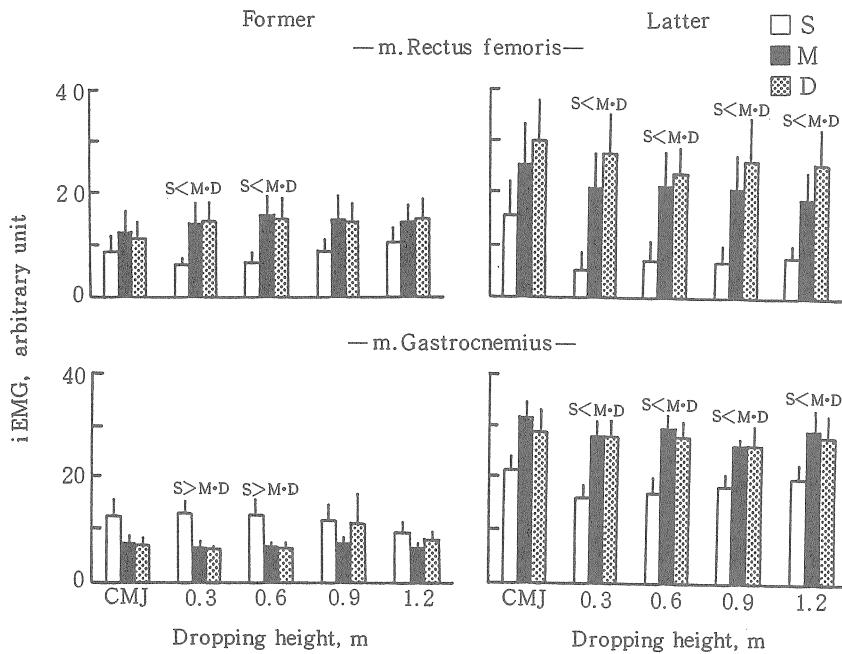


図7 踏切前半および後半の大腿直筋、腓腹筋のiEMG

また大腿直筋、前脛骨筋のmEMGは大きくなるが、腓腹筋のmEMGは小さくなる。大腿二頭筋のmEMGは変化しない。

表1は、上述の1, 2の結果をまとめたものである。

考 察

著者らは、昨年、安全に合理的に行うことができるデプスジャンプの至適台高について、“デプスジャンプの至適台高はスクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる高さである”という立場から検討した³⁾。この主な理由は、デプスジャンプトレーニングの目的の一つはstretch-shortening cycle運動における神経-筋・腱系の反応の改善であり、そのためにはeccentricな筋収縮を用いないスクワットジャンプ以上の跳躍高を得ることができる台高の範囲を確認することが重要になると考えたからである。この研究では、女子ハンドボール競技者を対象にして、膝曲げ動作を規定しない全力跳

躍を行わせた。その結果、スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる台高には著しい個人差があり、その個人差は被検者の脚筋力よりも跳躍技術の影響を大きく受けることが認められた。しかし、台高の上昇にともなって跳躍方法が変化していることも認められた。後者の結果は、デプスジャンプトレーニングについて、二つの問題を提起していると考えられる。

その一つは、デプスジャンプにおいて跳躍方法を規定することの重要性である。跳躍方法の相違、なかでも踏切中の膝曲げ動作の相違によって、改善が期待される跳躍技術や調整力の種類、および改善が期待される筋力やパワーの種類とそれらの発達が期待される身体部位が異なるからである。

他一つは、デプスジャンプの至適台高の指標として何を用いるとよいかに関するものである。著者らは、“スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる高さ”を至適台高の指標とした。確かに、

表1 台高の上昇、および膝曲げ動作の増大にともなう跳躍高、地面反力、下肢筋のEMGの変化のしかた

| | 台高の上界 | 膝曲げ動作の増大 | |
|-------------------------------|--|--|--|
| 跳躍高： | 変化しない | 高くなる（その増加の程度は徐々に小さくなる） | |
| 時間：踏切前半 ：踏切後半 | 変化しない 〃 | 長くなる 〃 | |
| 最大力：踏切前半 平均力：踏切前半 ：踏切後半 | 大きくなる 大きくなる 変化しない | 小さくなる 小さくなる 〃 | |
| 力：踏切中点 | 変化しない | 小さくなり、その後大きくなる | |
| 最大トルク：踏切前半 ：踏切後半 | 腰膝足 腰膝足 | 大きくなる 〃 変化しない 〃 | 小さくなる 〃 小さくなる 変化しない 小さくなる |
| トルク：踏切中点 | 腰膝足 | 変化しない 〃 | 小さくなり、その後大きくなる 変化しない 小さくなり、その後大きくなる |
| 最大パワー：踏切前半 ：踏切後半 | 腰膝足 腰膝足 | 大きくなる 〃 変化しない 〃 | 変化しない 〃 小さくなる 変化しない 〃 小さくなる |
| 絶対仕事：踏切前半 ：踏切後半 | 腰膝足 腰膝足 | 大きくなる 〃 変化しない 〃 | 大きくなる 〃 小さくなる 大きくなる 〃 変化しない |
| 相対仕事：踏切前半 ：踏切後半 | 腰膝足 腰膝足 | 変化しない 〃 小さくなる 変化しない 〃 小さくなる | 大きくなる 変化しない 小さくなる 大きくなる 大きくなる 小さくなる |
| mEMG：踏切前半 ：踏切後半 | 大腿直筋 大腿二頭筋 前脛骨筋 腓腹筋 大腿直筋 大腿二頭筋 前脛骨筋 腓腹筋 | 変化しない 〃 〃 〃 変化しない 〃 〃 〃 | 変化しない 小さくなる 大きくなる 小さくなる 大きくなる 変化しない 大きくなる 小さくなる |
| IEMG：踏切前半 ：踏切後半 | 大腿直筋 大腿二頭筋 前脛骨筋 腓腹筋 大腿直筋 大腿二頭筋 前脛骨筋 腓腹筋 | 変化しない 〃 〃 〃 変化しない 〃 〃 〃 | 大きくなる 〃 〃 小さくなる 大きくなる 変化しない 大きくなる 〃 |

1. 跳躍高は、「浅い」試技では0.22~0.30m、「くらいい」試技では0.37~0.44m、「深い」試技では0.39~0.44mの範囲内にあった。

2. 時間は、踏切前半では0.103~0.276秒、踏切後半では0.104~0.322秒の範囲内にあった。

3. 踏切前半の最大力は、「0.3m」では体重の1.9~4.8倍、「1.2m」では7.8~12.0倍の範囲内にあった。平均力は、踏切前半では体重の2.0~4.6倍、踏切後半では1.7~2.8倍の範囲内にあった。

4. 最大トルク、最大パワー、絶対仕事は、いずれも踏切前半が後半よりも大きく、その差は台高の上界とともに大きくなつた。

5. 踏切前半の腰関節の相対仕事は、「浅い」試技では26.6~37.4%、「深い」試技では49.2~52.4%，膝関節の相対仕事は、「浅い」試技では27.3~33.2%、「深い」試技では31.8~35.5%，足関節の相対仕事は、「浅い」試技では28.5~46.1%，「深い」試技では15.2~16.8%の範囲内にあった。また、踏切後半の腰関節の相対仕事は、「浅い」試技では34.1~38.4%、「深い」試技では36.9~49.2%，膝関節の相対仕事は、「浅い」試技では29.7~38.0%、「深い」試技では40.0~47.9%，足関節の相対仕事は、「浅い」試技では22.7~35.5%、「深い」試技では13.4~15.2%の範囲内にあった。

6. 前脛骨筋のmEMG、IEMGは踏切前半が後半よりも大きく、大腿直筋、大腿二頭筋、腓腹筋のmEMG、IEMGは踏切後半が前半よりも大きい傾向にあった。また、踏切前半では前脛骨筋の活動が最も大きく、ついで大腿直筋の活動が大きく、大腿二頭筋と腓腹筋の活動はどちらに小さい傾向にあった。これに対して、踏切後半では大腿直筋と腓腹筋の活動が最も大きく、ついで大腿二頭筋、前脛骨筋の順に活動が大きい傾向にあった。

このことは、安全性を配慮し、しかも stretch-shortening cycle 運動の特性を生かした全力跳躍、すなわち脚の反動動作をスピーディに行う全力跳躍の指標になりうると考えられる。しかし、これのみでは多様な目的を持っているトレーニング者に対して必ずしも充分とはいえないであろう。なぜなら、至適台高の範囲内でも、台高の相違によって、改善が期待される跳躍技術や調整力の種類、および改善が期待される筋力やパワーの種類とそれらの発達が期待される身体部位が異なるからである。

トレーニング者の立場にたてば、デプスジャンプでは、台高の相違によって、あるいは跳躍方法の相違によって、跳躍高や下肢筋にかかる負荷の特性はどのように変化するかに関する知見が重要なのではなかろうか。そのような知見があれば、トレーニング者が行っているスポーツ種目やそのトレーニング周期の特性に即して、あるいはトレーニング者の技術水準や体力水準からみた特性に即して、台高や跳躍方法などの適切な選択が容易になるからである。

上述の二つのことは、本研究の課題が設定された理由である。本研究では、男子体育専攻学生を対象にして実験を行い、その結果を台高の相違による影響と踏切中の膝曲げ動作の相違による影響とに分けて検討した。

その結果、デプスジャンプの台高が高くなると、踏切前半では地面反力をとらえた最大力は大きくなり、腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー（負）、絶対仕事なども大きくなるが、踏切後半では腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー、絶対仕事などは変化せず、跳躍高も変化しないことが認められた。また、下肢筋の mEMG, iEMG は踏切後半のみでなく、前半も変化しないことが認められた。なお、台高が高くなると、踏切前半および後半の足関節の相対仕事は小さくなつた。

一方、デプスジャンプの踏切中の膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では腰、膝、足関節の絶対仕事は大きくなるが、身体全体の緩衝動作を合理的に使いながら着地できるようになるので、地面反力をとらえた最大力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大トルクも小さくなることが認められ

た。また踏切後半では、地面反力をとらえた平均力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大トルクや最大パワーも変化しないかまたは小さくなるが、踏切時間が長くなるために、腰、膝関節の絶対仕事は大きくなり、その結果跳躍高も高くなることが認められた。なお、膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では大腿直筋と前脛骨筋、踏切後半では大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋の iEMG が大きくなつた。また、踏切前半および後半の足関節の相対仕事は小さくなつた。

本研究では、上述のように、台高の相違、膝曲げ動作の相違によって、デプスジャンプの跳躍高や下肢筋にかかる負荷の特性は多様に変化することが認められた。しかし、実際のデプスジャンプトレーニングは、台高と膝曲げ動作の両者が組み合わされて行われる。

本研究の結果をもとになると、膝曲げ動作の「浅い」デプスジャンプにおける台高の「高い」場合の特徴は次のとおりである。（ ）のなかは台高の「低い」場合の特徴である。

- ①負荷のかかる時間は短い（短い）。
- ②踏切前半では、衝撃力は著しく大きく（比較的大きく），腰、膝、足関節に関与する伸筋群にかかる負荷の強さも著しく大きい（比較的大きい）。
- ③踏切後半では、腰、膝、足関節に関与する伸筋群にかかる負荷の強さは比較的大きい（比較的大きい）。
- ④腰、膝関節に関与する伸筋群の貢献度は比較的大きく（小さく），足関節に関与する伸筋群の貢献度は大きい（著しく大きい）。
- ⑤怪我の危険性は著しく大きい（小さい）。

一方、膝曲げ動作の「深い」デプスジャンプにおける台高が「高い」場合の特徴は、次のとおりである。（ ）のなかは台高の「低い」場合の特徴である。

- ①負荷のかかる時間は長い（長い）。
- ②踏切前半では、衝撃力は大きく（小さく），腰、膝、足関節に関与する伸筋群にかかる負荷の強さも大きい（小さい）。
- ③踏切後半では、腰、膝、足関節に関与する伸筋群にかかる負荷の強さは大きい（大きい）。

④腰関節に関与する伸筋群の貢献度は著しく大きく(大きく), 足関節に関与する伸筋群の貢献度は小さい(小さい)。

⑤怪我の危険性は大きい(小さい)。

したがって、デプスジャンプトレーニングにおける台高と膝曲げ動作の選択のしかたに関連して、次のことが示唆される。

①腰および膝関節に関与する伸筋群の筋力, パワーの強化を目的とする場合には、高い台高からの浅い膝曲げ動作のデプスジャンプ、または高い台高からのやや深い膝曲げ動作のデプスジャンプが有効である。

②足関節に関与する伸筋群の筋力, パワーの強化を目的とする場合には、低い台高からの浅い膝曲げ動作のデプスジャンプが有効である。

③下肢筋群に中程度の強さの負荷をかける場合には、低い台高からのやや深い膝曲げ動作のデプスジャンプが有効である。

上述のデプスジャンプは、いずれも脚の反動動作をスピーディーに行うことを前提としているので、stretch-shortening cycle 運動の特性である神経-筋・腱系の反応の改善は、トレーニングに用いる台高や膝曲げ動作の相違に即して、特異的に期待できると考えられる。

なお本研究は、鍛錬された男子大学生を対象にして行われたものである。したがって、鍛錬された女性、鍛錬されていない男性および女性などを対象にして、本研究で得られた結果の妥当性をさらに検討する必要がある。

要 約

デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が、跳躍高や下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響を明らかにするために、男子体育専攻学生10名を対象にして、0.3, 0.6, 0.9, 1.2 mの台高から、「浅い(110~130度)」、「中くらい(70~90度)」、「深い(30~50度)」の3種の膝曲げ動作によるデプスジャンプを全力で行わせた。結果は次のとおりである。

1) 台高が高くなるにつれて、踏切前半では地面反力でとらえた最大力は大きくなり、腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー(負)、絶対仕事な

ども大きくなった。しかし、踏切後半では腰、膝、足関節の最大トルク、最大パワー、絶対仕事などは変化せず、跳躍高も変化がなかった。また、大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の iEMG, mEMG は踏切前半、後半ともに変化がなかった。

2) 踏切中の膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では腰、膝、足関節の絶対仕事は大きくなつたが、地面反力でとらえた最大力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大トルクも小さくなつた。踏切後半では地面反力でとらえた平均力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大トルクや最大パワーは変化しないかまたは小さくなつたが、踏切時間が長くなるために、腰、膝関節の絶対仕事は大きくなり、その結果跳躍高も高くなつた。また、踏切前半では大腿直筋と前脛骨筋、踏切後半では大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋の iEMG が大きくなつた。

3) 台高が高くなるにつれて、また膝曲げ動作が大きくなるにつれて、腰、膝関節の相対仕事は大きくなり、足関節の相対仕事は小さくなつた。

文 献

- 1) 阿江通良, 宮下憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋川侃二: 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要, 9: 229~239, 1986.
- 2) Chandler,R.F., C.E.Clauser, J.T. McConville, H.M.Reynolds, and J.W. Young: Investigation of inertia properties of the human body. Wright-Patterson Air Force Base, OH, Aerospace Medical Research Laboratory, 1975.
- 3) 高松薰, 杉森弘幸, 会田宏, 芥川千津子, 水上一: デプスジャンプトレーニング手段の至適台高. 昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.VII プリオメトリック・リア

クティップ筋力トレーニングに関する研究—第
1報—, 29-36, 1988.
4) 高松薰, 宮坂雅昭, 図子浩二, 石島繁: 各種
台高からのデプスジャンプにおける跳躍高と

踏切各局面の力学量。昭和62年度日本体育協
会スポーツ科学研究報告 No.VII プリオメト
リック・リアクティブ筋力トレーニングに關
する研究—第1報—, 56-62, 1988.

