

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
に関する研究 —第1報—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和62年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.VII 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1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²⁾

担当研究員 伊 藤 静 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. どんなトレーニング法か

競技スポーツにおいて、より優れた競技成績をあげるために様々なトレーニング法が生み出されてきた。その例として、筋力の向上を意図した種々の筋力トレーニング法、また敏捷性の改善を目指したスピードトレーニング法などがあげられる。しかしながら、実際の競技場面ではそれを別々に発揮させるのではなく、素早い動作を遂行するとともにからだが受ける衝撃に対応するのに十分な筋力を要求されることが多い。したがって、トレーニングにおいてもより実際の競技の運動様式に近い、スピード的要素も筋力的要素も兼ね備えた運動を行う必要があると考えられる。そこで両要素の結合であるパワーのトレーニングとして、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）が注目を集めようになっ

た。

プライオメトリックとは、筋を短縮性収縮の直前に急激に伸張させる（予備伸張）ことによって、その後により大きな力の短縮性収縮を引き起こさせる（伸張一短縮サイクル）ような運動のことを指す。プライオメトリックスに関する理論的・実践的研究は、1960年代からソビエトの研究者を中心進められてきた。当時、ソビエトではプライオメトリックスという言葉は用いられていなかったが、跳躍運動のパフォーマンス改善の手段としてその価値が認められ、東ドイツをはじめとする東ヨーロッパ諸国に、次いで米国などの西側諸国に伝えられていった。現在では「爆発的・反動的パワートレーニング」として、多くの競技者やコーチ達によって実施され、成果をあげている。

多くのトレーニング法や、その基礎的研究は、外国からの移入による場合が多いが、本トレーニング法に関しては、その源流を辿ると1960年代の前半にわが国でも先駆的な研究が行われていた。東京教育大学スポーツ研究所の金原勇教授らによってなされた一連の研究がそれであり、筋の短縮性収縮に先立つ、強制伸張による伸張性収縮で発

1) 筑波大学体育科学系 2) 国際武道大学 3) 大阪体育大学 4) 日本体育大学

生する大きな筋張力と、それを効果的に利用する運動技術（反動々作）およびこのトレーニング法に関する基礎的研究が行われ（本報告レビュー参照），トレーニングの実際面に直結した実用的な多くの示唆を提示していることは驚嘆に値する。しかし残念ながらわが国では関係者の間での関心や認識が低く、日の目を見ずに今日に至り、最近逆輸入の形で注目を浴びるところとなっている。

2. 本年度の研究の経過

本年度から発足した研究班は、表記のように6名で構成され、これまで3回の会合を持って、研究課題に対する共通の理解を深め、研究の進め方等について討議を行い、各分担課題に関してはそれぞれの研究機関で実験を進めてきた。この班は競技力の向上に直結した研究を目指してスタートしたが、2カ年の研究期間が予定されているところから、各年度の課題を大まかに基礎と応用に分け、初年度は基礎的な課題を中心を置き、3つの面からアプローチを試みることにした。すなわち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（伊藤）、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（金久）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（高松・伊坂・勝田）、である。

これに加えて、文献研究を中心としたこれまでの研究レビューを班長と高松班員の担当で行なった。

以下に各分担課題に基づく研究の要約を示す。

3. 各分担研究の要約

1) プライオメトリックトレーニングに関する研究のレビュー（勝田・高松班員）

プライオメトリックスに関するこれまでの研究を、①プライオメトリックスの研究の概要、②プライオメトリックスの基礎となる研究の概要に分けてレビューを試みた。前者①については、このトレーニング法に関する研究の大部分がデプスジャンプ（ドロップジャンプ）を対象としたものであり、その内容もトレーニング効果に関するものと、台高と跳躍高などの関係に関するものに大

別できることから、デプスジャンプのトレーニング効果に関する研究、デプスジャンプにおける台高と跳躍高との関係に関する研究の2つの観点から考察を行った。また後者②については、このトレーニング法がエキセントリックな筋収縮を利用したトレーニングであり、同時に伸張一短縮サイクル（stretch-shortening cycle）を利用したトレーニングであることから、エキセントリックな筋収縮に関する研究、stretch-shortening cycle運動に関する研究の2つの観点から考察を行った。

2) 腕屈曲・伸展動作における短縮性および伸張性筋力（金久班員）

ボート選手と野球選手を対象にして、伸張性筋力と短縮性筋力および筋断面積との関係について検討した。その結果、①伸張性筋力は収縮速度が速くなるにつれてわずかに減少する傾向がみられた。②短縮性筋力と伸張性筋力との間には、いずれの測定速度（5, 10, 20rpm）においても有意な相関関係が認められた。③伸張性筋力は短縮性筋力より30～56%高く、その差は収縮速度が速くなるにつれて大きくなった。④短縮性筋力、伸張性筋力ともに筋断面積との間に有意な相関関係が認められた。⑤ボート選手と野球選手を比べると、単位断面積当たりの筋力および短縮性筋力に対する伸張性筋力の比率において有意な種目差が認められ、ボート選手の方が大きかった。このような結果から、短縮性筋力に加え、伸張性筋力を測定することにより、スポーツ選手の筋出力の発揮特性における種目差をより明確にできる可能性が示唆された。またそれから得られる情報は、競技中の筋収縮様式に基づく筋強化を実施するうえで、トレーニング内容を決定するための基礎的資料になり得ると思われる。

3) 下腿三頭筋のリバウンド効果（伊藤班員）

手を腰に当て膝を伸したまま足関節の屈伸だけを行う“つま先ジャンプ”を、反動を利用して連続的にできるだけ高くとび上るリバウンドジャンプと、反動を用いず断続的にできるだけ高くとび上る反動無しジャンプの2つの場合について、男

子陸上競技選手にこれを実施し、次のような結果を得た。①身体重心の鉛直変位はリバウンドジャンプの方が反動なしジャンプより57.6%高かった。これはそれまで報告された垂直跳びについての値より著しく高く、下腿三頭筋（アキレス腱を含む）がリバウンド運動に適していることを示唆している。②リバウンドジャンプの反動動作時（伸張性収縮時）に著しい筋活動が認められ、反動動作の重要性が示された。③リバウンドジャンプにおけるパフォーマンスの向上は、反動なしジャンプに比べ短縮性収縮開始時の筋張力が著しく高い事によると考えられるが、その張力は反動動作によって高められた伸張性筋張力を主動作の短縮性筋張力へ素早く切換えることによって得られたものである。④リバウンド効果の高さと最大筋力との関係は認められず、単なる筋力トレーニング以外に、反動動作から主動作への素早い切換えを狙ったトレーニングが必要であると考えられた。⑤リバウンドジャンプにおいてアキレス腱と下腿三頭筋に約8000Nの強い張力が加わっており、障害防止の面からトレーニングの負荷の設定は慎重に行うべきである。

4) デプスジャンプトレーニング手段の至適台高（高松班員）

大学女子ハンドボール選手を対象として、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、という立場からデプスジャンプの至適台高について検討した。また、実際のトレーニングにおいて台高を決定する場合の適切な指標を得るために、スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる台高と膝伸展力、反動垂直跳びとの関係について検討した。その結果、①スクワット以上の跳躍高を示した台高は $0.75 \pm 0.47\text{m}$ であったが、個人差が大きく、最小は 0 m （反動垂直跳び）、最大は 1.5m であった。②スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高と膝伸展力（ $r = 0.037$ ）、反動垂直跳びの跳躍高（ $r = 0.530$ ）との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。これらの結果は、スクワット以上の跳躍高が得られるデプスジャンプの台高は、各人の身に付いている跳躍技術の影響を著

しく受けていることを示唆している。したがってデプスジャンプの至適台高を決定する場合には、何よりもまず各人が身に付いている跳躍技術をもとにして、個人ごとに決定することが適切であると考えられる。

5) Plyometric 運動としての Drop Jump の至適台高（伊坂班員）

体育専攻学生を被検者にして、5種類の台高（10, 30, 50, 70, 90cm）からDrop Jumpを行わせた時の跳躍高と主働筋の等尺性および伸張性収縮力との関係をもとに、傷害を起すことなくトレーニング効果が得られる至適台高について検討した。その結果、各ジャンプ時の跳躍高と筋力値との相関々係については、台高50cmからのDrop Jumpと伸張性収縮力／膝関節伸展力の比のみに有意な関係（ $r = 0.481$, $r < 0.05$ ）が認められた。70, 90cmと台高が増すと相関々係は有意水準以下になるが、反動垂直跳び、スクワットジャンプ、10, 30cmのDrop Jumpなどよりも高い係数値を示した。運動選手のDrop Jumpトレーニングを考える場合、初期の段階では伸張性収縮力／等尺性膝関節伸展力の比に影響されない30cmぐらいの台から始め、トレーニングとともにその比が向上するにしたがい、台高を高くすることが望ましい。

6) プライオメトリックスに関する基礎的研究－競技種目別にみたデプスジャンプの至適回数について（勝田班員）

プライオメトリックスの单一応答ドリルとして、様々な競技において用いられるデプスジャンプの至適回数について、競技特性の異なる3群の競技者群（A：陸上競技跳躍選手、B：バレーボール、バスケットボール選手、C：テニス、バドミントン、野球選手）を対象として検討した。その結果、①A群とB群はC群に比べ有意に高い跳躍高を示した。A群では20回以降若干低下すること、B群では比較的変化の少ない安定した跳躍がみられたこと、C群では変動の大きいことが示された。②最大屈曲時の膝関節角度ではA群はどの局面においても有意に大きく、20~25回以降減少

する傾向にあった。B群は20回まで増加しそれ以後減少する傾向にあった。C群は初期の段階で減少する傾向を示した。また、各群の動作様式は著しく異っており、それは各被検者が長年にわたるトレーニングによって種目毎に合目的的な動作を獲得してきた結果であろうと考えられる。これらのことから、デプスジャンプをトレーニングドリルとして用いる際には動作様式を管理して行うこと、至適回数は競技種目の特性、個人の跳躍能力や筋力を考慮して決めることが重要であることが示唆された。

7) 各種台高からのデプスジャンプにおける跳躍高と踏切展面の力学量（高松班員）

デプスジャンプの合理的な技術を明かにするために、台高の上昇にともなう跳躍高と踏切各局面の力学量の変化、および各台高における跳躍高と踏切局面の力学量との関係を、すでにデプスジャンプのトレーニング経験のある大学女子ハンドボール選手を用いて検討した。その結果、デプスジャンプの技術に関連して次のことが認められた。
①デプスジャンプの台高が高くなても跳躍高が必ずしも高くならない原因として、身体重心の最下時点の力は台高が高くなつてもある水準以上に

は大きくならないこと、台高が高くなると沈み込みの局面における負荷が大きくなりすぎて、立ち上がりの局面で腰、膝、足関節などを十分に伸展できないことなどがあげられる。
②デプスジャンプにおいて高い跳躍高を得るためにには、いずれの台高においても、沈み込みの局面における最大力を小さくして、平均力を大きくすること、身体重心の最下時点の力を大きくすること、立ち上がりの局面における身体重心の上方への変位を短時間で大きくして、平均力、最大力を大きくすることなどが重要である。

4. 用語の用い方

①plyometricはプリオメトリックか、プライオメトリックか、について班会議においても討議をしたが、統一的な結論を得るには至らなかつた。そこで本年度の報告では、研究者の自由意思に任せ、各人が日頃使い慣れている方を用いることにした。
②デプスジャンプ(depth jump)は「ある高さから飛び降り直ちに垂直方向に飛び上がる一連の運動のこと」を指すが、KomiやBoscoらはこれをドロップジャンプ(drop jump)と呼んでおり同義語である。

I. プライオメトリックトレーニングに関する研究のレビュー

報告者 勝田 茂 高松 薫

研究協力者 酒井俊郎¹⁾ 会田 宏¹⁾ 図子浩二¹⁾

1. はじめに

プライオメトリックの意味は必ずしも明確ではないようである。多くの論文、著書には、①increaseを意味するギリシャ語のplethyeinとisometricに由来する(Wilt⁵⁷⁾, 1975), ②plyoはmore, greaterを, metricはmeasured quantityを意味する(Clutchら²⁶⁾, 1983), ③plethyeinはplethora(英語のfullness)という名詞に対応する動詞であり、ギリシャ語のπληθεινをアルファベット文字に書き替えたもので、to become full(いっぱいになる)という意味を持つ(木島ら³⁶⁾, 1985), などがよく紹介されている。

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と略す)は、筋の伸張反射を引き起こす運動(Wilt⁵⁷⁾, 1975), 爆発的・反動的負荷様式の運動(Verhoshanski⁵⁶⁾, 1968; Wilt⁵⁷⁾, 1975; 村木⁴⁷⁾, 1985)を用いるトレーニングである。言い換えると、BoscoとKomiら¹⁴⁾(1981)が提唱した伸張一短縮サイクル(stretch-shortening cycle)を含む運動のなかでも、特に負荷の強いstretch-shortening cycle運動を用いたトレーニングである。したがって、このトレーニングの目的として、落下のエネルギー(yielding work)を受けとめて上方へのエネルギー(overcoming work)に切り換える最大速度、および動的最大筋力を高めること(Verhoshanski⁵⁶⁾, 1968), 爆発的・反動的運動に要求される筋力とパワーとの橋渡しをすること

(Wilt⁵⁷⁾, 1975), 爆発的・反動的筋力とその発揮能力を高めること(村木⁴⁷⁾, 1985), などがあげられている。しかし、体力、特に筋力、パワーと技術のどちらを目的にしたトレーニングであるかについては、現在でも必ずしも明確になっていないようである。

プライオメトリックスの理論的・実践的研究は、1960年代からソ連においてVerhoshanskiらを中心に行われてきた(村木⁴⁷⁾, 1985)。1972年、ミュンヘンオリンピックの100, 200mで優勝したボロゾフがこのトレーニングを行っていた(Wilt⁵⁷⁾, 1975)ことから注目を集め、その後世界各国に普及し、現在では筋力、パワートレーニングの一つとして、あらゆる種目のスポーツ選手が活用するようになっている(ラドクリフら: 村松ら訳⁵⁰⁾, 1987)。しかし、プライオメトリックスに対して否定的な意見もある(Brzycki²³⁾, 1987)。

本稿では、このような特徴を持っているプライオメトリックスに関するこれまでの研究を、①プライオメトリックスの研究の概要、②プライオメトリックスの基礎となる研究の概要に分けて紹介する。

2. プライオメトリックスの研究の概要

プライオメトリックスに関連のある研究の大部分は、デプスジャンプ(ドロップジャンプ)を対象にしたものである。その内容は、トレーニング効果に関するもの、および台高と跳躍高などの関係に関するものに大別できる。

1) 筑波大学

(1) デプスジャンプのトレーニング効果に関する研究

この課題に関する研究には、デプスジャンプトレーニングはパワーや筋力の発達に必ずしも有効ではないとする Blattner, Clutchなどの研究と、有効であるとする Scoles, Steben, Ford, Brown, Adamsなどの研究がある。以下に各研究の概要を紹介する。

Blattner ら⁸⁾ (1979) は、垂直跳に対するアイソカイネティックス（レッグプレス）と0.86mの台高からのデプスジャンプトレーニング（4.5~9.0kgのウェイトベストを装着）の効果を、男子大学生を用いて比較検討した。その結果、垂直跳の跳躍高はレッグプレス群、デプスジャンプ群ともに有意に増加したが、両群間に有意差はなかったことを示した。

Clutch ら²⁶⁾ (1983) は、膝伸展力および垂直跳に対するデプスジャンプトレーニングとウェイトトレーニングの効果を、大学に在籍する男子の一般学生およびバレーボール選手を用いて比較検討した。その結果、ウェイトトレーニングのみでは垂直跳の跳躍高を十分に高めることはできないが、ウェイトトレーニングに垂直跳、0.3mの台高からのデプスジャンプ、および0.75mと1.1mの台高からのデプスジャンプのいずれの跳躍運動を加えても、膝伸展力および垂直跳の跳躍高には顕著な差のないことを示した。

Scoles ら⁵¹⁾ (1978) は、垂直跳と立幅跳に対する0.75mの台高からのデプスジャンプと柔軟性のトレーニング効果を、男子大学生を用いて比較検討した。その結果、デプスジャンプ群は、有意ではないが、垂直跳の成績は4.3%，立幅跳は2.9%向上したことを示した。

Steben ら⁵³⁾ (1981) は、走高跳、三段跳、走幅跳に対する0.254mからのデプスジャンプ、0.254mの台高を用いた4種のボックスドリル、柔軟性一敏捷性運動（ホッピング、バウンディング、ももあげ運動）によるトレーニング効果を、男女中学生を用いて比較検討した。その結果、各種目に特有のドリル、すなわち走高跳にはデプスジャンプ、三段跳にはボックスドリル、走幅跳には柔軟性一敏捷性運動が記録の向上に有効である

ことを示した。

Ford ら²⁸⁾ (1983) は、シットアップス、40ヤードダッシュ、垂直跳、シャトルラン、プルアップスに対するレスリング+ソフトボール+プライオメトリックス、ウェイトトレーニング、ウェイトトレーニング+プライオメトリックスの効果を、男子高校生を用いて比較検討した。その結果、ウェイトトレーニングやプライオメトリックスは、他の運動と組み合わせることによって、体力トレーニングとして有効であることを示唆した。なお、Ford らが用いたプライオメトリックスは0.61mの台高からの連続デプスジャンプ（9.1kgのウェイトベストを装着）とその場でのスプリント（1.1kgの重量を足首に装着）であった。

Brown ら²²⁾ (1986) は、垂直跳に対する0.45mの台高からのデプスジャンプトレーニングの効果を、高校男子バスケットボール選手を用いて検討した。その結果、このトレーニングによって垂直跳の跳躍高は増大すること、その増大には跳躍技術の改善と筋力の増加の両者が関与していることから、プライオメトリックスは効果が速く表われることが望まれるシーズン中のトレーニングとして有用であることを示唆した。

なお、Adams ら¹¹⁾ (1984) は、垂直跳、立幅跳、脚筋力に対する0.61, 0.75, 1.22, 1.5mの台高からのデプスジャンプトレーニングの効果を、男女の中学生、高校生を用いて比較検討した。その結果、デプスジャンプトレーニングは垂直跳と立幅跳の記録の向上には有効でないが、脚筋力の改善には有効であることを示した。

(2) デプスジャンプにおける台高と跳躍高との関係に関する研究

デプスジャンプの台高と跳躍高との関係をみた研究には、Asmussen, Komi, 福留, 大高, Jody, 新井, Bobbertなどの研究がある。これらの中で、デプスジャンプの至適台高の範囲を示唆したものは、Jody, Bobbertの研究である。以下に各研究の概要を紹介する。

Asmussen ら³⁾ (1974) は、スクワットジャンプ、反動垂直跳、0.23, 0.4, 0.69mの台高から

のデプスジャンプの特性を、若い男女を用いて比較検討した。その結果、跳躍高はある台高（0.4m）まで増加することを示した。

Komi ら⁴⁵⁾（1978a）は、スクワットジャンプ、反動垂直跳、0.2~0.83mの台高からのデプスジャンプの特性を、体育系の男女学生、および男子バレー選手を用いて比較検討した。その結果、跳躍高は男子では0.62m、女子では0.5mまで増加することを示した。

福留ら²⁹⁾（1982）は、腕の振りを使う場合と使わない場合、および膝を深く曲げる場合と浅く曲げる場合における反動垂直跳と0.4、0.8mの台高からのデプスジャンプの特性を、成人男子を用いて比較検討した。その結果、デプスジャンプの滞空時間は腕を使った場合、および膝を深く曲げた場合に長くなるが、同一の試技条件下では台高による差のないことを示した。

大高ら⁴⁸⁾（1985）は、腕の振りを使う場合と使わない場合のスクワットジャンプ、反動垂直跳、0.2、0.4、0.6、0.8mの台高からのデプスジャンプの特性を、成人男子を用いて比較検討した。その結果、滞空時間は反動垂直跳とデプスジャンプがスクワットジャンプより長いこと、腕の振りを使った場合が使わない場合より長いことを示した。しかし、台高の上昇にともなう滞空時間、着地衝撃力の変化のしかたには個人差があることから、障害の危険性を除去し、トレーニング効果をあげるために、滞空時間、着地衝撃力を手がかりにして個人ごとに台高を決定することが適切であることを示唆した。

Jody ら³⁴⁾（1985）は、0.18~1.06mの台高からのデプスジャンプの特性を、女子バレー選手を用いて比較検討した。その結果、最大跳躍高は0.42~0.63mの範囲で得られることから、デプスジャンプトレーニングの至適台高は0.4~0.7mの範囲であると示唆した。

新井ら²⁾（1986）は、0.2m（4秒間隔）、0.4m（5秒間隔）、0.6m（6秒間隔）、0.8m（7秒間隔）の台高からの反復デプスジャンプの特性を、成人男子を用いて比較検討した。その結果、施行回数は0.8mの場合が最も少ないが、各台高ともに著しい個人差のあること、台高間にパフォ

ーマンス（身体重心の上昇高）の差はないが、反復回数の増加にともなうパフォーマンスの変化のしかたには著しい個人差のあることを示した。

Bobbert ら¹⁰⁾（1987b）は、0.2、0.4、0.6mからのリバウンド型のデプスジャンプの特性を、男子大学生を用いて比較検討した。その結果、跳躍高、および腰、膝関節のまわりのモーメント、パワーには台高間に差はないが、足関節まわりのモーメント、パワーは0.4mの場合が0.6mの場合より大きいこと、0.6mの場合には着地時の地面反力、および腰、膝、足関節の関節反力が他の台高よりも著しく大きいことなどから、リバウンド型のデプスジャンプを行なう場合は0.2または0.4mの台高を用いるのが適切であることを示唆した。

3. プライオメトリックスの基礎となる 研究の概要

プライオメトリックスは、エキセントリックな筋収縮を利用したトレーニングである。同時に、stretch-shortening cycle 運動を利用したトレーニングでもある。したがって、ここではこの二つの分野に関する研究の概要を紹介する。

（1）エキセントリックな筋収縮に関する研究

エキセントリックな筋収縮によって発揮される力が、アイソメトリックやコンセントリックな筋収縮によって発揮される力よりも大きいことは、すでに1951年までに Hill ら³²⁾のグループによって動物実験で確認されている。また、それは Doss ら²⁷⁾（1965）、Singh ら⁵²⁾（1966）、金原ら（1964³⁷⁾、1966⁴¹⁾、1970⁴²⁾、などによって人体でも確認されている。さらに、このような特性をもつエキセントリックな筋収縮によって筋力を合理的に高める方法に関する研究も、Bonde-Petersen¹¹⁾（1960）、金原ら⁴⁰⁾（1965）、小野ら⁴⁹⁾（1970）、Komi ら⁴⁴⁾（1972）、などによって行われている。しかし、1970年代の後半から、エキセントリックな筋収縮それ自体を対象とした研究は少なくなった。

(2) Stretch-shortening cycle 運動に関する研究

Stretch-shortening cycle という用語を最初に用いたのは、Bosco, Komi, Ito¹⁴⁾ (1981) であろう。しかし、この用語とほぼ同じ意味である、主動作とは逆方向への予備的な動作、いわゆる反動動作が主動作の成績をよくすることは、1880年代に発表された Marey の歴史的な研究 (Jokl, E.³⁵⁾ (1964) : Physiology of exercise) によって明らかである。

日本では、1960年代に金原らが跳躍力³⁸⁾ (1964b), 投げき力³⁹⁾ (1964c) を大きくする技術として、反動動作に関する研究を行っている。

“反動動作、stretch-shortening cycle 運動は、なぜパフォーマンスを向上させるのか？”

現在でも、この問題に対する明確な解答はない。しかし少なくとも、この問題を解く鍵をえ、現在の研究の方向づけをしたものとして、Cavagna らの一連の研究のなかでも1965年²⁴⁾と1968年²⁵⁾に発表された研究は特筆されるべきであろう。前者の研究では、筋は伸張後短縮するとより大きい仕事（正）ができること、そしてそれは伸張と短縮との間の時間が短いほど大きいことなどを摘出筋で明らかにした。また、後者の研究では、前者の研究を人体で確認し、さらに筋長が長く伸張速度が大きいほど大きい仕事ができること、筋は伸張後しばらく時間が経過してもより大きい仕事ができることなどを摘出筋で明らかにした。Cavagna らがこれらの論文で明らかにしたこととは、伸張中に筋、腱は弾性エネルギーを獲得し、さらに筋それ自体は収縮エネルギーも獲得することを示唆したことである。

Cavagna らの示唆を人体で確認し、発展させるために、その後多くの研究が行われている。そのなかには、Avis ら⁷⁾ (1986) の研究のように、Cavagna らの示唆を全面的には支持することはできないとするものもある。しかし、Thys ら⁵⁴⁾ (1972), Asmussen ら³⁾ (1974), Komi ら⁴⁵⁾ (1978a), Bosco ら¹²⁾ (1979a), 小島 ら⁴³⁾ (1983), 伊藤 ら³³⁾ (1987) の研究をはじめとする多くの研究は、Cavagna らの示唆を支持する方向のものである。

一方、反動動作、stretch-shortening cycle 運

動でパフォーマンスが向上する原因として、Bosco ら (1979a¹²⁾, 1981a¹⁴⁾, 1982a¹⁶⁾, 1982b¹⁷⁾) は、弾性エネルギーの再利用に加えて、筋紡錐から発する伸張反射や大脳皮質からの反射などの影響も無視できないことを示唆した。言い換えると、これらの反射作用によってより大きい収縮エネルギーを獲得できる可能性のあることを示唆した。なお現在、パフォーマンスの向上に対して弾性エネルギーの再利用と獲得した収縮エネルギーのどちらがより大きく貢献するかについて一致した見解はない。現時点では、いずれも重要な要因であるとみるべきであろう。

つぎに、反動動作、stretch-shortening cycle 運動のパフォーマンスに影響を与える要因に関する研究を紹介する。

① 伸張の大きさ

Thys ら⁵⁵⁾ (1975) は、弾性エネルギーの利用効率は振幅動作が小さい場合に高いことを示した。Bosco ら¹²⁾ (1979a) は、落ちてすぐ跳ぶデプスジャンプ (undamped drop jump) は落下衝撃を吸収してから跳ぶデプスジャンプ (damped drop jump) よりパワー、力の大きいことを示した。また Bobbert ら⁹⁾ (1987a) は、0.2mからのリバウンド型 (bounce drop jump) とプレス型 (counter-movement drop jump) のデプスジャンプの特性を比較検討した結果、リバウンド型はプレス型より膝および足関節まわりのモーメント、パワーを大きくできることから、リバウンド型は膝伸展パワー、足底屈曲パワーを高めようとする選手に適していることを示唆した。

② 伸張の速度

Komi ら⁴⁵⁾ (1978a) は台高がある高さ以上になると、すなわち伸張速度がある大きさ以上になると、パフォーマンスは低下することを示した。また、Bosco ら¹⁹⁾ (1982d) は高度にトレーニングされた競技者ほど、高い伸張負荷（伸張速度）に耐えることができるることを示した。

③ 伸張から短縮への切り換え時間（カップリングタイム）

カップリングタイムは伸張の大きさや速度によって決まる。しかし、パフォーマンスを決定する極めて重要な要因であるので、これに関連のある

研究をいくつか紹介する。

Bosco ら¹⁴⁾ (1981a) は、カッピングタイムと、反動垂直跳とスクワットジャンプの平均力や仕事の差との間には負の相関関係があることを示した。また、動作（振幅）が小さくなるとカッピングタイムは短くなり、カッピングタイムが短くなると伸張局面の終末の力は大きくなり、筋の stiffness (硬さ) も増大することを示した。

そしてこの理由として、振幅の大きさによってアクチン・ミオシン間のクロスブリッジの状態が変化し、振幅が増大するとクロスブリッジの離脱が起こり、大きな力を出せないことを示唆した。なお、Bosco ら²⁰⁾ (1983) は、底の柔らかい靴を用いて、人為的にカッピングタイムを長くした研究も行っている。一方、Aura ら⁶⁾ (1987) は、カッピングタイムが短いほどソリエルゴメータ

(special sledge ergometer) 運動の機械的効率は高くなること、速筋 (FT) 線維の比率の高い者はカッピングタイムが短い運動の機械的効率が高く、遅筋 (ST) 線維の比率の高い者はカッピングタイムが比較的長い運動の機械的効率が高いことを示した。

④ 筋線維組成

Komi ら⁴⁶⁾ (1978b) は、FT 線維の比率の高い者は、デプスジャンプと反動垂直跳の跳躍高の差が大きいことを示した。Bosco ら¹³⁾ (1979) は、FT 線維の比率の高い者は、スクワットジャンプの力積、平均力、および反動垂直跳における身体重心の上昇高、力積などが大きいことを示した。これらのことから、彼らは FT 線維と ST 線維の弾性エネルギーの貯蔵と再利用能力には差のあることを示唆した。また Bosco ら¹⁸⁾ (1982c) は、反動垂直跳とスクワットジャンプの平均力の差は、動きが小さい場合には FT 線維の比率の高い者が大きく、大きい場合には ST 線維の比率の高い者が大きいことから、FT 線維と ST 線維のクロスブリッジの形成時間に差のあることを示唆した。

⑤ 疲労

Bosco ら²¹⁾ (1986) は、低い伸張速度と長いカッピングタイムを持つ60秒間の連続跳躍では、FT 群は ST 群よりも貯蔵された弾性エネルギー

の利用率が高いことを示した。また、Gollhofer らは、ソリエルゴメータによる連続100回の肘伸展運動では、主にエキセントリックな局面のEMG—力関係が変化すること³⁰⁾、およびエキセントリックな局面からコンセントリックな局面へのエネルギーの変換が著しく減少すること³¹⁾などを示した。

⑥ 筋温

Asmussen ら⁴⁾ (1976) は、筋温が32~37度の範囲内では、筋温の低下とともにスクワットジャンプと0.4mの台高からのデプスジャンプの跳躍高はいずれも低下するが、デプスジャンプの跳躍高の低下は相対的に小さいことを示した。そしてこの理由として、アクチン・ミオシン間のクロスブリッジの着脱の速度が低温で減少することを示唆した。

⑦ 性差

Komi ら⁴⁵⁾ (1978a) は、男性は女性に比較して伸張負荷に耐える能力は優れているが、弾性エネルギーを利用する能力は劣っていることを示した。また Aura ら⁵⁾ (1986) は、女性は伸張負荷が低い場合には弾性エネルギーの貯蔵と再利用能力に優れているが、高い場合には劣っていることを示した。

⑧ 競技種目の特性

Bosco ら¹⁹⁾ (1982d) は、スキーのジャンプ選手、陸上競技の跳躍選手、バレーボール選手などのように stretch-shortening cycle を含む運動でトレーニングをしている競技者は、弾性エネルギーの貯蔵と再利用能力に優れていることを示した。

4. おわりに

プライオメトリックスに関するある研究報告、特に基礎的な研究報告は最近多くなっている。したがって、本稿で紹介できなかった研究の中にも重要なものはあると考えられる。また、紹介した研究でもその本旨を十分に記述していないものもある。深謝するとともに、本稿がプライオメトリックスの実践と研究に多少なりとも役に立てれば幸いである。

稿を終わって、プライオメトリックスに関する

研究は端緒を開いたばかりのようだに感じる。実践の場で役に立たせるためには、このトレーニングの目的や方法（手段と計画）を、性差、発育段階差、鍛錬度差などと関連づけて、今後さらに研究をすすめる必要があると考えられる。

文 献

- 1) Adams, T. M. (1984): An investigation of selected plyometric training exercise on muscular leg strength and power. *Track & Field Quarterly Review*, 84 (4): 36-39.
- 2) 新井重信, 木島晃, 田島東海男, 片尾周造, 大高敏弘, 村松茂, 福留彰教, 野坂和則, 木村昌彦 (1986) : 反復ドロップ・ジャンプに伴うパフォーマンスの変化について。体育研究 (日本体育学会神奈川支部会紀要), 19 : 6 -12.
- 3) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen (1974): Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91: 385-392.
- 4) Asmussen, E., F. Bonde-Petersen and K. Jorgensen (1976): Mechano-elastic properties of human muscles at different temperatures. *Acta Physiol. Scand.*, 96: 83-93.
- 5) Aura, O. and P. V. Komi (1986): The mechanical efficiency of locomotion in men and women with special emphasis on stretch-shortening cycle exercises. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 37-43.
- 6) Aura, O. and P. V. Komi (1987): Coupling time in stretch-shortening cycle. Influence on mechanical efficiency and elastic characteristics of leg extensor muscle. *Biomechanics*, X-A : 507-511.
- 7) Avis, F. J., H. M. Toussaint, P. A. Huijing and G. J. Van Ingen Schenau (1986): Positive work as a function of eccentric load in maximal leg extension movements. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 562-568.
- 8) Blattner, S. E. and L. Nobel (1979): Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performances. *Res. Quart.*, 50 : 583-588.
- 9) Bobbert, M. F., P. A. Huijing and G. J. Van Ingen Schenau (1987a): Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 332-338.
- 10) Bobbert, M. F., P. A. Huijing and G. J. Van Ingen Schenau (1987b): Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 339-346.
- 11) Bonde-Petersen, F. (1960): Muscle training by static, concentric and eccentric contractions. *Acta Physiol. Scand.*, 48 : 406-416.
- 12) Bosco, C. and P. V. Komi (1979a): Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through pre-stretching. *Acta Physiol. Scand.*, 106 : 467 -472.
- 13) Bosco, C. and P. V. Komi (1979b): Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 41 : 275-284.
- 14) Bosco, C., P. V. Komi and A. Ito (1981a): Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.*, 111 : 135-140.
- 15) Bosco, C. and P. V. Komi (1981b): Influence of counter movement amplitude in potentiation of muscular performance. *Biomechanics*, VII-A : 129-135.
- 16) Bosco, C. and J. T. Viitasalo (1982a): Potentiation of myoelectric activity in human muscles in vertical jumps. *Electromyo. Clin. Neuro.*, 22 : 549-562.
- 17) Bosco, C., J. T. Viitasalo, P. V. Komi and P. Luhtanen (1982b): Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 114 : 557-565.

- 18) Bosco, C., J. Tihanyi, P. V. Komi and P. Apor (1982c): Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol. Scand.*, 116 : 343-349.
- 19) Bosco, C. and P. V. Komi (1982d): Muscle elasticity in athletes. In Komi P. V. (Eds), *Exercise and sport biology*. Human Kinetics Publishers, Inc., pp. 109-117.
- 20) Bosco, C. and H. Rusko (1983): The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure. *Acta Physiol. Scand.*, 119 : 219-224.
- 21) Bosco, C., J. Tihanyi, F. Latteri, G. Fekete, P. Apor and H. Rusko (1986): The effect of fatigue on store and re-use of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 128 : 109-117.
- 22) Brown, M. E., J. L. Mayhew and L. W. Boleach (1986): Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball. *J. Sports Med.*, 26 : 1-4.
- 23) Brzycki, M. (1987): プライオメトリックストレーニングの大きな後退. *月刊トレーニング・ジャーナル*, 9(10): 27-29. (From *Athletic Journal*, 66 (April): 22-23, 1986).
- 24) Cavagna, G. A., F. P. Saibene and R. Margaria (1965): Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J. Appl. Physiol.*, 20 : 157-158.
- 25) Cavagna, G. A., B. Dusman and R. Margaria (1968): Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. Physiol.*, 24 : 21-32.
- 26) Clutch, D., M. Wilton, C. McGown and R. Bryce (1983): The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Res. Quart.*, 54 : 5-10.
- 27) Doss, W. S. and P. V. Karpovich (1965): A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. *J. Appl. Physiol.*, 20 : 351-353.
- 28) Ford, H. T. Jr., J. R. Puckett, J. P. Drummond, K. Sawyer, K. Gantt and C. Fussell (1983): Effect of three combinations of plyometrics and weight training programs on selected physical fitness test items. *Percept. Mot. Skills*, 56 : 919-922.
- 29) 福留彰教, 田島東海男, 大高敏弘, 遊佐清有, 片尾周造, 村松茂, 木島晃 (1982) : プライオメトリック・トレーニングの基礎的研究一床反力と膝関節角度および台高との関係について一. *防衛大学校紀要 (体育学編)*, 44 : 221-237.
- 30) Gollhofer, A., P. V. Komi, N. Fujitsuka and M. Miyashita (1987): Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. II. Changes in neuromuscular activation patterns of human skeletal muscle. *Int. Z. Sports Med.*, 8 : 38-47.
- 31) Gollhofer, A., P. V. Komi, M. Miyashita and O. Aura (1987): Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. Changes in mechanical performance of human skeletal muscle. *Int. Z. Sports Med.*, 8 : 71-78.
- 32) Hill, A. V. (1951): The mechanics of voluntary muscle. *Lancet*, 24 : 947.
- 33) 伊藤章, 斎藤昌久, 金子公宥 (1987) : 跳躍運動における反動効果一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.
- 34) Jody, L. J. and P. J. Russell (1985): Depth jump training and the Volleyball spike. In Terauds, J. and J. N. Barham (Eds.), *Biomechanics in sports II*, Academic Publishers, pp. 304-313.
- 35) Jokl, E. (1964): *Physiology of exercise*. Charles C Thomas Publisher, pp. 129-137.
- 36) 木島晃, 新井重信, 田島東海男, 野坂和則,

- 大高敏弘, 村松茂, 福留彰教, 片尾周造 (1985) : ジャンプ・トレーニングの周辺—プライオメトリック負荷様式を中心として一. 日本体育学会神奈川支部紀要, 18 : 1-9.
- 37) 金原勇, 春山国広, 三浦望慶 (1964a) : 筋の力の出し方に関する基礎的研究 (その1) 一筋収縮の種類と出し得る力一. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 2 : 11-20.
- 38) 金原勇, 春山国広, 三浦望慶 (1964b) : 跳躍力を大きくする基礎的技術の研究 (その1) 一反動々作と振込動作について一. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 2 : 21-31.
- 39) 金原勇, 春山国広, 三浦望慶 (1964c) : 投てき力 (投てき物に与え得る運動量) を大きくする基礎的技術の研究 (その1) 一反動々作について一. 東京教育大学体育学部紀要, 4 : 137-146.
- 40) 金原勇, 三浦望慶, 押切由夫 (1965) : Eccentric contractionによる筋力トレーニングの実験的研究. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 3 : 31-41.
- 41) 金原勇, 押切由夫, 三浦望慶, 高松薰 (1966) : 筋力トレーニング手段に関する生理的研究—筋の効果的な使い方も高められる筋力トレーニング手段について一. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 4 : 21-31.
- 42) 金原勇, 高松薰, 渋川侃二 (1970) : 筋の力の出し方に関する基礎的研究 (その2) 一技術やトレーニングから見た Eccentric な筋力の特性について一. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 8 : 26-52.
- 43) 小島武次, 琉子友男, 近藤正勝 (1983) : 反動動作を伴った下肢屈伸運動における弾性エネルギーの役割. J. J. Sports Sci., 2 : 152-156.
- 44) Komi, P. V. and E. R. Buskirk (1972): Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. Ergonomics, 15 : 417-434.
- 45) Komi, P. V. and C. Bosco (1978a): Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med. Sci. Sports, 10 : 261-265.
- 46) Komi P. V. and C. Bosco (1978b): Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man. Biomechanics, VI-A : 79-85.
- 47) 村木征人 (1985) : 爆発的・反動的筋力と衝撃法トレーニング. 月刊トレーニング・ジャーナル, 7(6) : 20-21.
- 48) 大高敏弘, 田島東海男, 福留彰教, 片尾周造, 村松茂, 木島晃 (1985) : 異なる台高からのドロップ・ジャンプと床反力との関係. 防衛大学校紀要 (人文・社会科学編), 50 : 101-112.
- 49) 小野三嗣, 倉田博, 柳本昭人, 石井令三, 山本直道, 森下芳郎, 矢上宗国, 山本博 (1970) : Training 方法の差が筋肉に及ぼす影響の差についての研究 (第1報) Eccentric と Concentric の差を中心として. 体力科学, 19 : 100-112.
- 50) ラドクリフ, J. C., ファレンチノス 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, pp. 11-16.
- 51) Scoles, G. (1978): Depth jumping! Does it really work? Athletic Journal, 58-5 : 48, 50, 74-76.
- 52) Singh, M. and P. V. Karpovich (1966): Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors. J. Appl. Physiol., 21 : 1435-1437.
- 53) Steben, R. E. and A. H. Steben (1981): The validity of the stretch shortening cycle in selected jumping events. J. Sports Med., 21 : 28-37.
- 54) Thys, H., T. Faraggiana and R. Margaria (1972): Utilization of muscle elasticity in exercise. J. Appl. Physiol., 32 : 491-494.
- 55) Thys, H., G. A. Cavagna and R. Margaria (1975): The role played by elasticity in an

- exercise involving movements of small amplitude. *Pflugers Arch.*, 354 : 281-286.
- 56) Verhoshanski, Y. (1968): Are depth jumps useful? *Yessis Review of Soviet Physical Education and Sports*, 3-3 : 75-78. (Track & Field, 12 : 9, 1967)
- 57) Wilt, F. (1975): Plyometrics. What it is- How it works. *The Athletic Journal*, 55 (May): 76, 89-90.

II 腕屈曲，伸展動作における短縮性および伸張性筋力

報告者 金久博昭

研究協力者 奥山秀雄¹⁾, 福永哲夫²⁾

目的

身体運動における筋の収縮様式は、等尺性、短縮性および伸張性収縮の3つに大きく分けられる。しかもどれか1つの収縮様式に限定されることなく、様々な運動の局面において各収縮様式が交互に出現する。特に伸張性収縮が短縮性収縮に先行する場合が多く、短縮前の筋の伸張状態は、短縮時の筋出力に大きな影響をもつといわれている^{1),2),7)}。例えば垂直跳では、反動的動作を利用すると、そうでない場合に比較して跳躍高は高くなる。その際に跳躍高に影響をもつ条件として、Boscoら²⁾は沈み込みの速さと強さ、および沈み込み時の膝関節屈曲から伸展への切り換え時間をあげている。これらの条件を垂直跳の主働筋であると考えられる大腿四頭筋の筋収縮状態からみれば、膝関節屈曲時の伸張性収縮のスピードと強さ、および伸張性から短縮性の収縮に切りえる時間、長さが跳躍高に影響を持つといえるわけである。

一方、スポーツサイエンスの領域において、筋強化に関する研究は、主に短縮性および等尺性筋収縮によるものが多く、それらに比較して伸張性筋収縮によるトレーニングの効果に関する研究は極めて少ない。また実際のスポーツ選手の筋強化の場においても、伸張性筋収縮そのものあるいは伸張性から短縮性に筋収縮を切りえる能力の向上といったことにあまり注意が払われていないのが現状であろう。その理由の一つとして、伸張性筋収縮における筋の出力の発揮特性が、等尺性ある

いは短縮性の筋収縮ほど明らかにされていないことがあると思われる。

そこで本研究では、スポーツ選手を対象に、等速性の伸張性筋収縮における筋力を測定し、それと短縮性筋力および筋断面積との関係について検討することを目的とした。

方法

1) 被検者

被検者は職業野球選手15名（年齢：21.6±2.9歳、身長：179.2±4.4cm、体重76.1±6.6kg）および漕艇競技全日本強化選手14名（年齢：24.5±2.9歳、身長：182.2±4.0cm、体重：79.4±3.8kg）の計29名であった。

2) 筋力測定

本研究では、特別に作製した筋力測定装置（酒井医療社製）を用い、腕の屈曲および伸展の動作における短縮性と伸張性の動的筋力を測定した。本器はサイベックススマシーンと同様に、等速性運動を可能にするが、身体の運動部位が固定されているレバーアームは、被検者の意志に関係なく電動によって回転運動を行うことができる。図1は実際の測定場面を示したものである。被検者は椅子座りであり、腰部および頭部をベルトで固定した。測定中の前腕の可動範囲は、肘関節角度にして80度（完全伸展位180度）から130度まであった。

測定によるレバーアームの回転速度は、5, 10, 20rpmの3種とした。図2は、各測定速度における腕屈曲動作時の短縮性および伸張性筋力の記録例を示したものである。各力曲線における

1) 国際武道大学 2) 東京大学



図1 筋力測定方法

ピーク値を、それぞれの速度での短縮性および伸張性筋力とした。

3) 筋断面積の測定

上腕部の屈筋群および伸筋群の断面積を、多用途超音波装置（アロカ製エコービジョン SSD-120型）を用いて測定した。測定時の超音波の発振周波数は5MHzであった。断面像の測定位置は、上腕骨長（肩峰点から橈骨点までの距離）の遠位7/10のところであった。筋断面積の計測は、断面像を写真撮影した後、プラニメーターによって計測した。

なお筋力および筋断面積の測定は、右腕についてのみ実施した。

結果と考察

図3は腕屈曲および伸展動作における短縮性筋力と伸張性筋力を各測定速度別に示したものである。短縮性および伸張性筋力ともに腕屈曲より腕伸展力が高い値を示した。短縮性筋力の場合に、その値は測定速度が速くなるにつれ低下する傾向

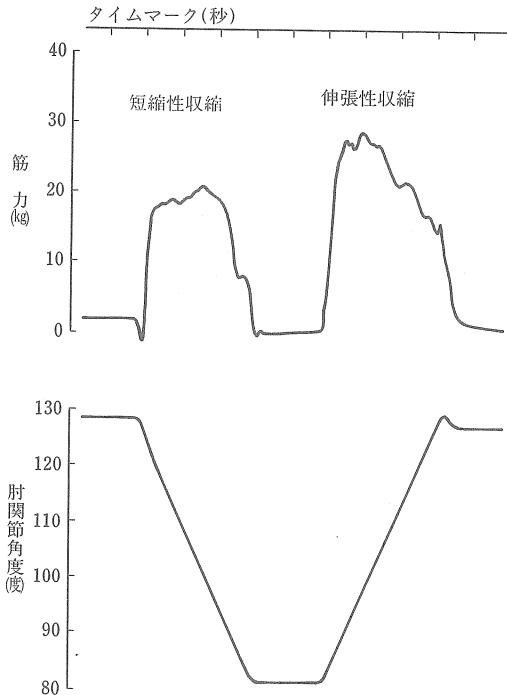


図2 腕屈曲力における短縮性筋力と伸張性筋力の記録例。測定速度5rpm.

にあるが、伸張性筋収縮では、-5rpmから-10rpmにかけてわずかに低下し、-10rpmと-20rpmではほぼ同様な値であった。

これまでに筋を強制的に伸展した際に発揮される筋力を breaking strength^{8),11)}あるいは受動的筋力¹⁰⁾とし、等尺性筋力と比較した報告はいくつかみられる。しかし短縮あるいは伸張の速度がある程度規定し、それぞれの収縮状態における筋力を測定した報告は極めて少ない。^{6),12),13)} 例えば Komi⁶⁾は本研究と同様に電動式のモーターにより等速性の短縮性および伸張性筋収縮を可能にする筋力測定器を用い、腕屈筋群の両収縮様式における筋力を測定している。その結果では、本研究のそれと異なり伸張速度が速くなるにつれ伸張性筋力は高くなる。一方、サイベックスマシーンを利用し、レバーアームに負荷を荷重することにより、腕屈筋群の伸張性筋力を測定した Rodgers と Berger¹²⁾の報告では、測定速度が-3rpmから-12rpmの間で-7.5rpmにおいて最も高い値が観察されており、-12rpmではそれよりわず

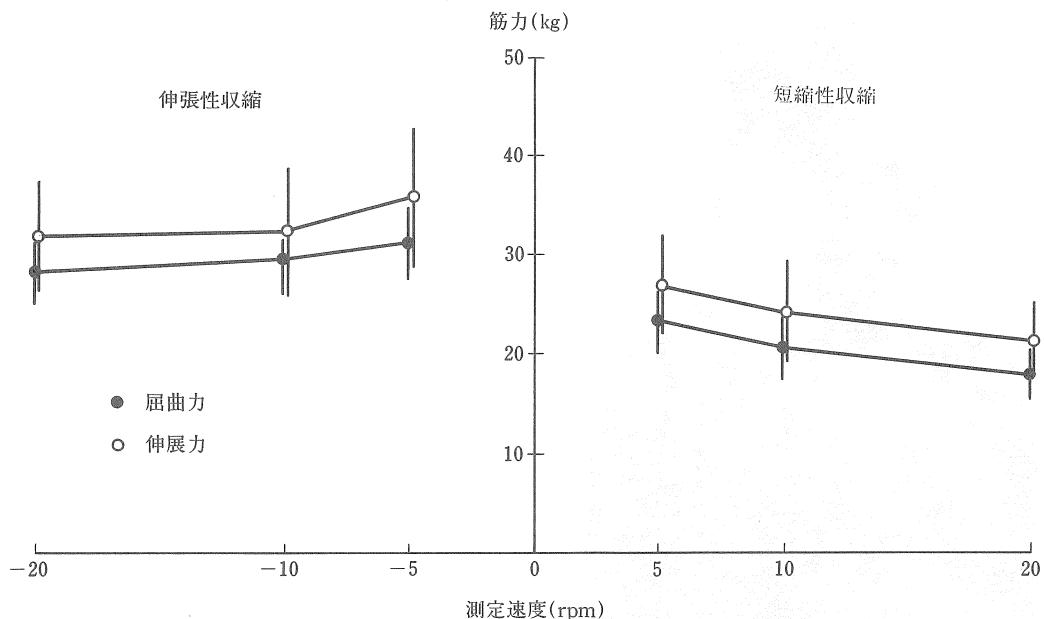


図3 測定速度と筋力との関係

かに減少を示している。したがって伸張性収縮での力と速度の関係に関する本研究の結果は、Rodgers と Berger¹²⁾のそれとほぼ一致するものといえよう。

また等尺性筋収縮において、強制伸張を加えた場合に発生する力 (Breaking strength) は、等尺性最大筋力より20~30%以上高くなるといわれている^{3),5),13)}。さらに同比率は筋力発揮に関与する筋群によっても異なることが報告⁵⁾されている。本研究の結果では、伸張性筋力は短縮性筋力より30%以上高く、しかも力と速度の関係において、伸張性筋力は短縮性筋力に比較して速度の増加に伴う力の変化が少ないために、収縮速度が大きくなるにつれて同比率は高くなる (表1)。

次に短縮性筋力と伸張性筋力との関係についてみたものが図4である。これまでに短縮性筋力と

伸張性筋力との間には、有意な相関関係のあることが小野ら¹⁰⁾、Singh と Karpovic¹³⁾によって報告されている。本研究の結果においても、短縮性筋力と伸張性筋力との間には、 $r = 0.667 \sim 0.813$ で0.1%水準の有意な相関関係が認められた。このような結果は伸張性筋力を高めようとした場合に、従来の短縮性筋力の強化をねらいとしたトレーニングによっても、その目的は達せられることを示すものなのかもしれない。

図5は筋断面積と筋力の関係について測定速度別に示したものである。

短縮性筋力および伸張性筋力ともに、筋断面積との間には、1%水準あるいは0.1%水準で有意な相関関係が認められた。金子⁵⁾は強制伸張時の神経系の作用について、筋からの求心性インパルスの増加による活動筋への遠心性インパルスの増

表1 短縮性筋力に対する伸張性筋力の比率：平均値±標準偏差

| 動作 | 測定速度 | 5 rpm | 10 rpm | 20 rpm |
|---------|------|----------------|----------------|----------------|
| 腕 屈 曲 力 | | 134.44 ± 11.34 | 141.69 ± 14.32 | 156.45 ± 16.72 |
| 腕 伸 展 力 | | 133.21 ± 15.58 | 133.48 ± 18.92 | 149.18 ± 19.11 |

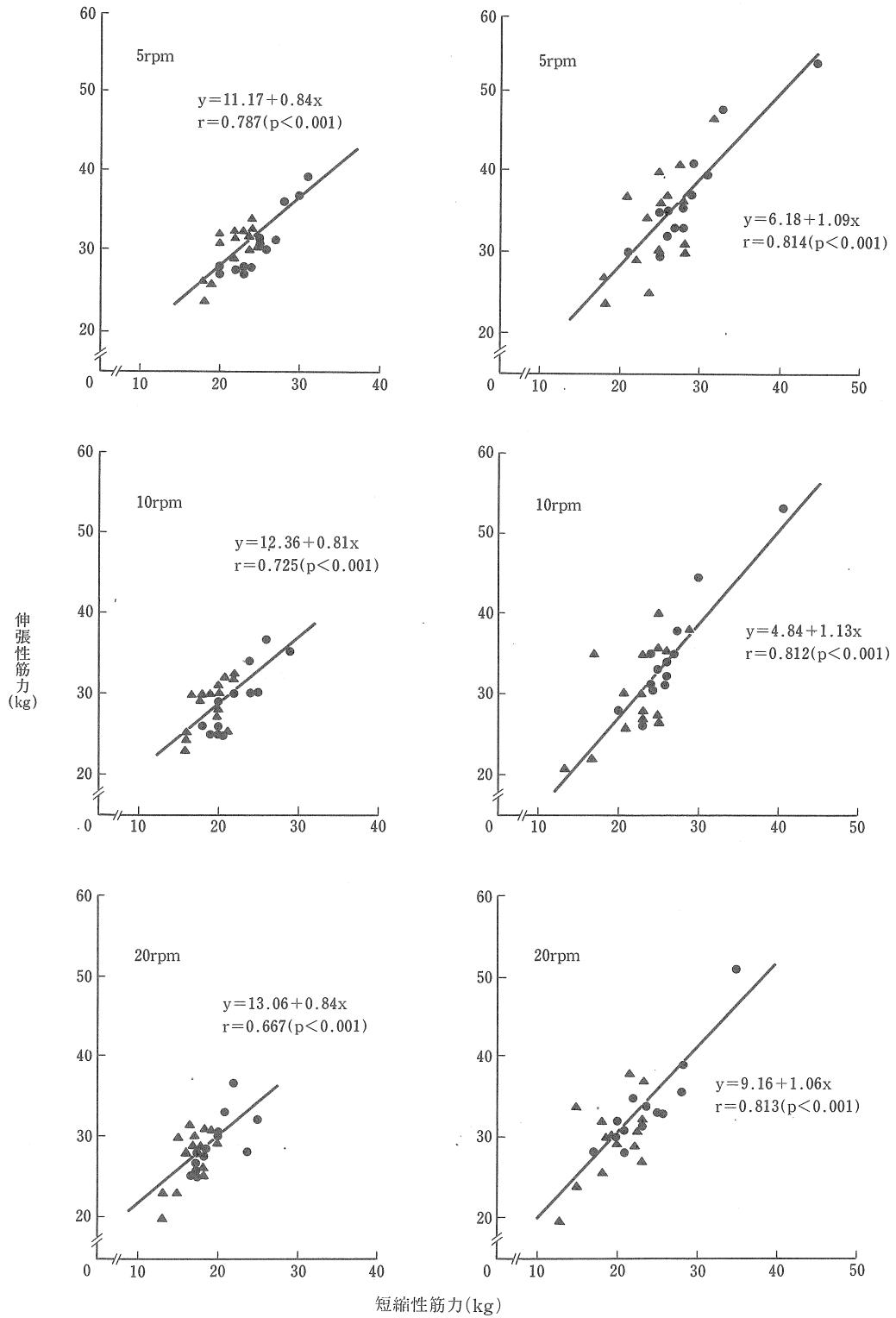


図4 短縮性筋力と伸張性筋力の関係。ただし図中の(●)は漕艇選手、(▲)はボート選手を示す。

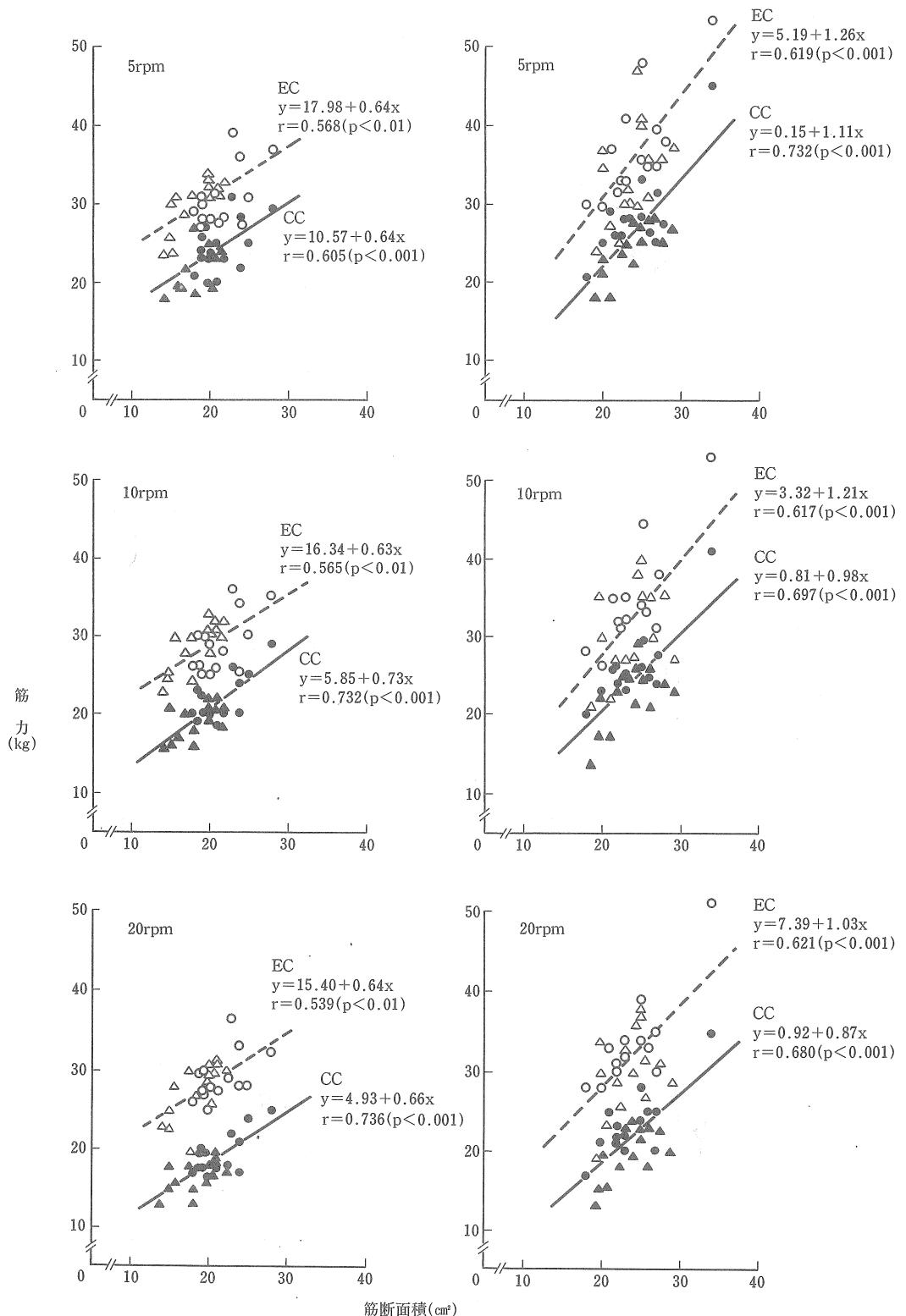


図5 筋断面積と筋力の関係。ただし図中の(CC)は短縮性収縮、(EC)は伸張性収縮、(●)は漕艇選手、(▲)は野球選手を示す。

大を推測している。それが事実であるならば、伸張性筋力は短縮性筋力に比較して矢部¹⁵⁾の指摘する生理的限界に近いものであり筋断面積との関係は、より直線性の高いものとなることが予想される。しかし本研究の結果で、筋断面積と筋力の関係における相関係数は、短縮性筋力が伸張性筋力より高く、その傾向は上腕屈筋群において強い。このような結果をもたらす要因の1つとして、腕屈曲および伸展動作のそれぞれの主働筋である上腕二頭筋および三頭筋以外の筋群の関与を考えられる。すなわち伸張性収縮においては短縮性収縮に比較して協同筋が筋力発揮に参与する割合が高くなり、主働筋群の断面積と筋力との相関関係を

低いものにしていることが考えられるのである。特に腕屈曲動作においては、腕橈骨筋の関与が大きくなることが予想される。

そして仮に伸張性収縮が筋力発揮における各筋群の協調作用を高めるものであるならば、それは伸張性筋収縮による筋強化の大きな特徴となろう。

次に漕艇選手と野球選手で、短縮性筋力および伸張性筋力とそれらの単位筋断面積当りの値における種目差について検討してみた（表2）。

上腕部屈筋群の断面積は、漕艇が $21.79 \pm 2.78 \text{ cm}^2$ 、野球が $18.81 \pm 2.54 \text{ cm}^2$ で、漕艇が野球より1%水準で有意に高い値であった。上腕部伸筋群の

表2 短縮性筋力および伸張性筋力における漕艇と野球の比較：平均値±標準偏差

| 測定項目 | | 競技種目 | 測定速度 | | |
|------|---|------|------------------|------------------|-------------------|
| | | | 5 rpm | 10 rpm | 20 rpm |
| 腕 | 短縮性筋力 (kg) | 漕艇 | 24.93 ± 3.41 ↗* | 22.31 ± 3.06 ↗** | 19.64 ± 2.71 ↗** |
| | | 野球 | 21.98 ± 2.21 ↗ | 19.25 ± 2.10 ↗ | 16.98 ± 1.99 ↗ |
| | 伸張性筋力 (kg) | 漕艇 | 31.00 ± 3.92 ↗ | 29.30 ± 3.87 ↗ | 29.26 ± 3.15 ↗ |
| | | 野球 | 30.81 ± 2.96 ↗ | 28.95 ± 2.99 ↗ | 27.55 ± 3.51 ↗ |
| 屈 | 短縮性筋力 × 100 伸張性筋力 (%) | 漕艇 | 124.75 ± 7.35 ↗ | 131.60 ± 7.89 ↗ | 148.66 ± 12.95 ↗* |
| | | 野球 | 141.06 ± 8.34 ↗ | 150.51 ± 12.82 ↗ | 163.27 ± 16.99 ↗ |
| | 単位筋断面積当りの 短縮性筋力 (kg/cm ²) | 漕艇 | 1.153 ± 0.164 ↗ | 1.029 ± 0.116 ↗ | 0.905 ± 0.096 ↗ |
| | | 野球 | 1.226 ± 0.202 ↗ | 1.033 ± 0.123 ↗ | 0.908 ± 0.111 ↗ |
| 曲 | 単位筋断面積当りの 伸張性筋力 (kg/cm ²) | 漕艇 | 1.432 ± 0.168 ↗ | 1.353 ± 0.164 ↗ | 1.356 ± 0.170 ↗ |
| | | 野球 | 1.650 ± 0.140 ↗ | 1.550 ± 0.143 ↗ | 1.475 ± 0.161 ↗ |
| | 短縮性筋力 (kg) | 漕艇 | 28.84 ± 5.51 ↗ | 26.45 ± 4.71 ↗ | 23.84 ± 4.25 ↗* |
| | | 野球 | 25.06 ± 3.84 ↗ | 22.90 ± 4.12 ↗ | 20.01 ± 3.38 ↗ |
| 腕 | 伸張性筋力 (kg) | 漕艇 | 37.49 ± 6.83 ↗ | 35.03 ± 6.90 ↗ | 34.15 ± 5.63 ↗ |
| | | 野球 | 33.94 ± 6.43 ↗ | 30.71 ± 5.72 ↗ | 30.64 ± 5.00 ↗ |
| | 短縮性筋力 × 100 伸張性筋力 (%) | 漕艇 | 130.44 ± 10.51 ↗ | 132.31 ± 10.22 ↗ | 144.03 ± 10.32 ↗ |
| | | 野球 | 135.04 ± 18.97 ↗ | 134.50 ± 24.47 ↗ | 153.68 ± 23.82 ↗ |
| 伸 | 単位筋断面積当りの 短縮性筋力 (kg/cm ²) | 漕艇 | 1.171 ± 0.127 ↗ | 1.075 ± 0.107 ↗ | 0.970 ± 0.113 ↗* |
| | | 野球 | 1.095 ± 0.244 ↗ | 0.968 ± 0.157 ↗ | 0.847 ± 0.129 ↗ |
| | 単位筋断面積当りの 伸張性筋力 (kg/cm ²) | 漕艇 | 1.523 ± 0.174 ↗ | 1.420 ± 0.157 ↗ | 1.390 ± 0.128 ↗ |
| | | 野球 | 1.438 ± 0.262 ↗ | 1.320 ± 0.240 ↗ | 1.303 ± 0.232 ↗ |

*** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05, ns 有意差なし

断面積は、漕艇が $24.69 \pm 3.92 \text{cm}^2$ 、野球が $23.91 \pm 2.95 \text{cm}^2$ であり、両群間には有意な差が認められなかった。

腕屈曲動作における短縮性筋力は、すべての測定速度において漕艇が野球より有意に高い値を示した。一方、伸張性筋力には有意な差は認められなかった。単位筋断面積当たりの筋力は、短縮性筋収縮の場合に漕艇と野球の間に有意差は認められないが、伸張性筋収縮では野球が漕艇より 5rpm および 10rpm において有意に高い値を示した。

腕伸展動作においても短縮性筋力は、漕艇が野球より有意に高く、伸張性筋力には両群に有意な差は認められなかった。また単位筋断面積当たりの筋力は、短縮性筋収縮の場合に 10rpm と 20rpm で漕艇が野球より有意に高い値を示したが、伸張性筋収縮では有意な差は認められなかった。

単位筋断面積当たりの筋力における種目差については、角田ら¹⁴⁾、金久ら⁴⁾、Maughan ら⁹⁾によって等尺性脚伸展力について報告されている。それによると単位筋断面積当たりの脚伸展力は、短距離走選手が長距離走選手より高い値を示すといわれている⁹⁾が、顕著な種目差は認められていない^{4), 14)}。本研究の結果で単位筋断面積当たりの短縮性および伸張性筋力に、漕艇と野球との間に有意差をもたらした要因については明かではないが、短縮性あるいは伸張性のいずれにしても、動的な筋力発揮では、等尺性筋力に比較して単位筋断面積当たりの筋力に種目差が反映されやすいのかもしれない。

一方、短縮性筋力に対する伸張性筋力の比率では、腕屈曲力の場合に漕艇と野球の間には有意な差は認められないが、腕屈曲力においては、いずれの測定においても野球が漕艇よりも有意に高い値を示した。このような結果は、競技種目によって短縮性あるいは伸張性のいずれかが優位に発達する可能性のあることを示すものであり、筋強化の内容を決める基礎的資料の 1 つとなるであろう。

要約

本研究では、漕艇選手および野球選手を対象に腕屈曲および伸展動作における短縮性筋力と伸張

性筋力を測定し、以下のような結果を得た。

1. 力と速度の関係において、伸張性筋力は、収縮速度が速くなるにつれわずかに減少する傾向がみれた。
2. 短縮性筋力と伸張性筋力との間には、いずれの測定速度 (5, 10, 20rpm)においても、0.1% 水準の有意な相関関係が認められた。
3. 伸張性筋力は短縮性筋力より 33% から 56% 高く、その差は収縮速度が速くなるにつれて大きくなった。
4. 短縮性筋力および伸張性筋力ともに筋断面積との間には、1% 水準から 0.1% 水準の有意な相関関係が認められた。しかし筋断面積と筋力の関係における相関係数は、短縮性筋力に比較して伸張性筋力が低く、その傾向は腕屈曲力において著しいものであった。
5. 漕艇選手と野球選手との比較において、単位筋断面積当たりの筋力および短縮性筋力に対する伸張性筋力の比率に有意な種目差が認められた。

以上のような結果から、短縮性筋力に加え、伸張性筋力を測定することにより、スポーツ選手の筋出力の発揮特性における種目差をより明確にすることのできる可能性が示唆される。またそれから得られる情報は競技中の筋収縮様式に基づく筋強化を実施するうえで、トレーニング内容を決定するための基礎的資料になり得ると思われる。

引用文献

1. Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen : Strage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.* 91 : 385-392, 1974.
2. Bosco, C. et al. : Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.* 111 : 135-140, 1981.
3. Doss, W. S. and P. V. Kalpovich : A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. *J. Appl. Physiol.* 20 : 351-353, 1965.

4. 金久博昭, 他: スポーツ選手の単位筋断面積当たりの脚伸展力, *J. J. Sports Sci.* 5: 409-414, 1986.
5. 金子公宥: 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス, 初版, 杏林書院, 東京, 1974.
6. Komi, P. V.: Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contraction. *Medicine and Sport* vol. 8 : Biomechanics III 224-229, 1973.
7. 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.
8. Lovett, R. W. and E. G. Martin: The spring-balance muscle test. *Am. J. Orthopedic Surg.* 14 : 415-424, 1976.
9. Maughan, R. J. et al.: Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50 : 309-318, 1983.
10. 小野三嗣, 他: 能力的筋力と受動筋力について. *体力科学*13 : 35-38, 1964.
11. Rasch, P. J. and W. R. Pierson: Relationship between maximum isometric tension and breaking strength of forearm flexors. *Res. Quart.* 31 : 534-535, 1960.
12. Rodgers, L. L. and R. A. Berger: Motor-unit involvement and tension during maximum, voluntary concentric, eccentric, and isometric contractions of the elbow flexors. *Med. Sci. Sports* 6 : 253-259, 1974.
13. Singh, M. and P. V. Karpovich: Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors. *J. Appl. Physiol.* 21 : 1435-1437, 1966.
14. 角田直也, 他: 大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特性. *体力科学*35 : 192-199, 1986.
15. 矢部京之助: 人体筋出力の生理的限界と心理的限界. 初版, 杏林書院, 東京, 1977.

III 下腿三頭筋のリバウンド効果

報告者 伊藤 章

研究協力者 斎藤 昌久¹⁾

目的

跳ぶ・投げるなどの運動の際に、主動動作に先行した反動々作（ないしはリバウンド動作）が行なわれることが多い。そしてこの反動々作によって主動動作のパフォーマンスが増すことが知られている。そのメカニズムは、反動々作中に主動筋が伸張性収縮を行ない、その結果筋に弾性エネルギーが蓄えられ、続く主動動作における短縮性収縮においてそのエネルギーが放出・再利用されるため（Cavagna ら1965, 1968; Bosco ら1981），とされている。このような、筋における弾性エネルギーの蓄積と再利用の、いわゆる「バネ的」なふるまいを積極的にトレーニングに応用し、運動パフォーマンスを高めるために利用しようという試みが近年なされ始めた。しかし、反動々作中の筋長や筋収縮速度および筋張力変化についての報告は、摘出筋（Cavagna ら1965, 1968）や動物（Alexander 1974）に関するものだけであり、トレーニングへの反動々作の応用には、解決すべき基礎的な課題が数多く残っている。

本研究ではそのようなトレーニング（一般に Plyometric Training と呼ばれている）の確立のために必要な、基礎的な資料を作成することを目的に、特に跳躍時に重要な役割を担っている下腿三頭筋におけるリバウンドの効果を筋長や筋収縮速度、筋張力変化などをもとに調べようとした。

方法

専門的にトレーニングを続けている（5年以

1) 京都府立口丹波勤労者福祉会館

表1 被験者の特徴

| 被験者 | 年齢 (歳) | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 最大足伸 鉛直変化(cm) | N C J | R B J |
|-----|-----------|------------|------------|------------------|-------|-------|
| A | 19 | 170.0 | 59.3 | 240.8 | 11.7 | 20.1 |
| B | 18 | 176.0 | 66.3 | 225.5 | 10.8 | 15.5 |
| C | 19 | 170.0 | 57.9 | 178.0 | 8.3 | 16.6 |
| D | 19 | 176.0 | 69.6 | 220.3 | 10.6 | 14.9 |
| E | 18 | 168.0 | 70.7 | 227.2 | 10.1 | 13.3 |
| 平均 | 18.6 | 172.0 | 64.8 | 218.4 | 10.3 | 16.1 |

上）男子短距離選手4名と十種競技選手1名（表1）を被験者に、フォースプレート上で手を腰に当て膝関節を伸ばしたまま足関節だけで行なう“つま先ジャンプ”を、次の条件下でそれぞれ約20回前後反復させた。

(1) リバウンドジャンプ (RBJ)：ボールが跳ねるように、反動を利用して連続的に出来るだけ高く飛び上がる“つま先ジャンプ”。

(2) 反動無しのジャンプ (NCJ)：反動を用いず断続的に出来るだけ高く飛び上がる“つま先ジャンプ”。

腓腹筋とヒラメ筋の筋放電活動 (EMG) を表面電極法により導出し、地面反力（鉛直成分）と足関節のゴニオグラムとともに磁気テープに収録した。また運動中の下肢を中心に16mmシネ撮影（100コマ/秒）を行なった。その際、磁気テープへ同期シグナルを収録した。

EMGを磁気テープより再生し整流化した後、ディジタイザーにより1ms毎にサンプリングし、地面反力の立上り時期を一致させた13試行の平均変化曲線を求め、100Hzで平滑化して平均EMG

(REMG) を算出した。地面反力は EMG と同様に 1ms 毎にデジタル化し、重力加速度の単位に変換した後に、地面反力の立上り時期を一致させた平均変化曲線を求めた。

被験者はあらかじめ下腿の X 線撮影を行ない、写真分析の測定部位の腓骨頭(a), 外果(b), 踵骨隆起(c)へのマーク貼付の参考とした(図 1)。各測定点の x—y 座標を写真分析によって求め、3 点移動平均によりスムージングをした後に、地面反力と同期させるための補間を行なった。動作が単純で身体重心の上下動が外果(b)のそれとほとんど等しいと考え、その鉛直変位を身体重心の変位として

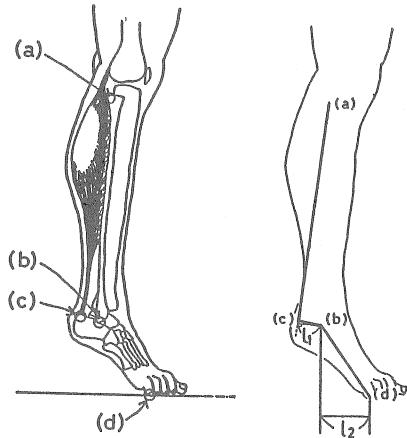


図 1 測定ポイントとレバーアーム

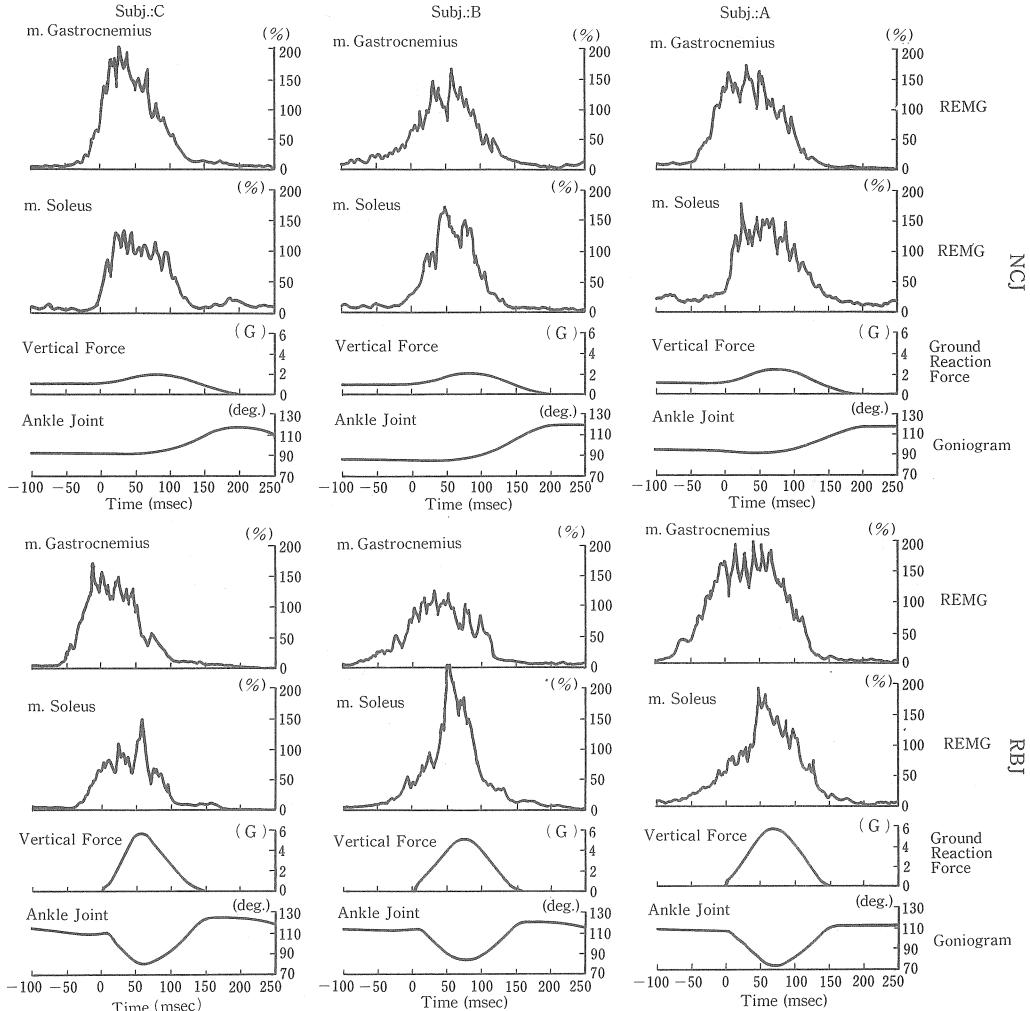


図2—a NCJ(上図)とRBJ(下図)の測定結果。上から腓腹筋のヒラメ筋の平均筋電図(REMG;%), 地面反力(G), 足関節角変位(deg.)を示す。

た。a—c間の距離変化から下腿三頭筋（腱を含む）の長さ変化を推定した。足関節のてこ比はaとcを結ぶ線とbとの距離(l_1)と、フォースプレートから得た作用点(d)と外果(b)間の距離の水平成分(l_2)との比 (l_2/l_1) から求めた。また左右の足に均等に力が加わったと考え、地面反力の1/2にてこ比を掛け下腿三頭筋の張力を算出した。

結果

本研究においては、実験前に指示した通りに膝関節の角変位がほとんど見られなかった試行（写真分析によって確認）のデータについてのみ分析

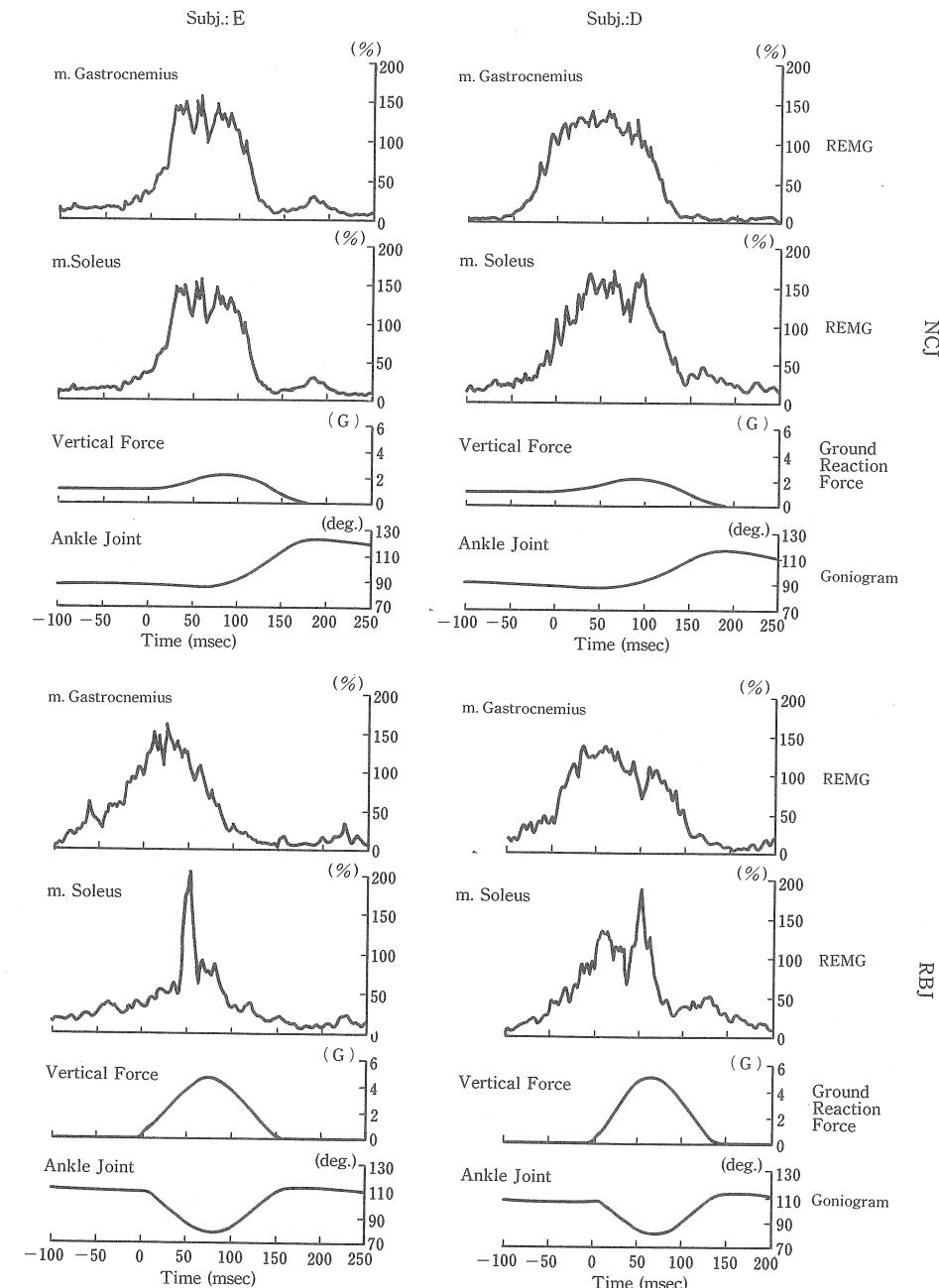


図2-b NCJ(上図)とRBJ(下図)の測定結果。上から腓腹筋とヒラメ筋の平均筋電図(REMG; %), 地面反力(G), 足関節角変位(deg.)を示す。

した。身体重心の鉛直変位は RBJ で 16.1 ± 2.5 cm (5名の平均), NCJ は 10.3 ± 1.3 cm と RBJ のほうが著しく高い値を示した (表 1)。図 2-a, b に最大等尺性筋収縮時の放電振幅を 100% として表わした平均筋電図 (REMG) と地面反力および足関節の角変位を全被験者について示した。腓腹筋の放電開始は地面反力の立上がりより, RBJ においては 56 ± 10 ms, NCJ では 29 ± 13 ms 先行していた。ヒラメ筋は NCJ では地面反力の立上がりとともに (約 5 ms 先行して) 放電が開始し, RBJ では 28 ± 11 ms 先行していた。すなわち, 反動の有無にかかわらず腓腹筋の放電の開始時期がヒラメ筋より約 25 ms 早かった。REMG と地面反力のピークおよび足関節の角変位の時間的関係を調べると, RBJ では足関節が屈曲し下腿三頭筋が伸張性収縮をおこなっているあいだに筋放電のピークが現われ, ついで地面反力のピーク, 足関節の最大屈曲時点を経たのちに短縮性収縮が開始した。NCJ においても RBJ 同様に筋放電のピークについて地面反力のピークが現われたが, 下腿三頭筋は短縮性収縮しかなされないため, RBJ と異なり筋放電と地面反力のピークは短縮性筋収縮時に現われた。

図 3 に全被験者の値から算出した, てこ比, 筋長, 筋収縮速度, 筋張力の平均変化曲線を示した。破線は反動々作の伸張性筋収縮の局面を, 実線は主動作の短縮性筋収縮の局面を示している。てこ比は RBJ では接地後伸張性筋収縮を終了するまでほとんど変化せず, 短縮性筋収縮が開始されると増加し, 最大値を示した後, 離地の瞬間まで減少する傾向が見られた。NCJ ではキック開始から著しく増加した後, キック終了までわずかに減少する傾向を示した。下腿三頭筋の筋長は (腱を含む), RBJ では約 1 cm の伸張の後約 2 cm 短縮し, NCJ では RBJ と同様に約 2 cm の短縮が見られた。最大筋短縮速度は RBJ では約 30 cm/s で (約 25 cm/s の伸張性収縮の後), NCJ はそれより低い約 20 cm/s の短縮速度であった。RBJ では接地と同時に筋張力が急激に高まり, 伸張性収縮から短縮性筋収縮への切換え時点で (接地後約 70 ms) 最大値の約 8000 N を示した。NCJ ではキック開始時点の, 体重を支えるための筋張力から

緩やかに上昇し, 約 100 ms 後に最大張力に達した。またその値は低く RBJ の半分以下 (約 3500 N) であった。

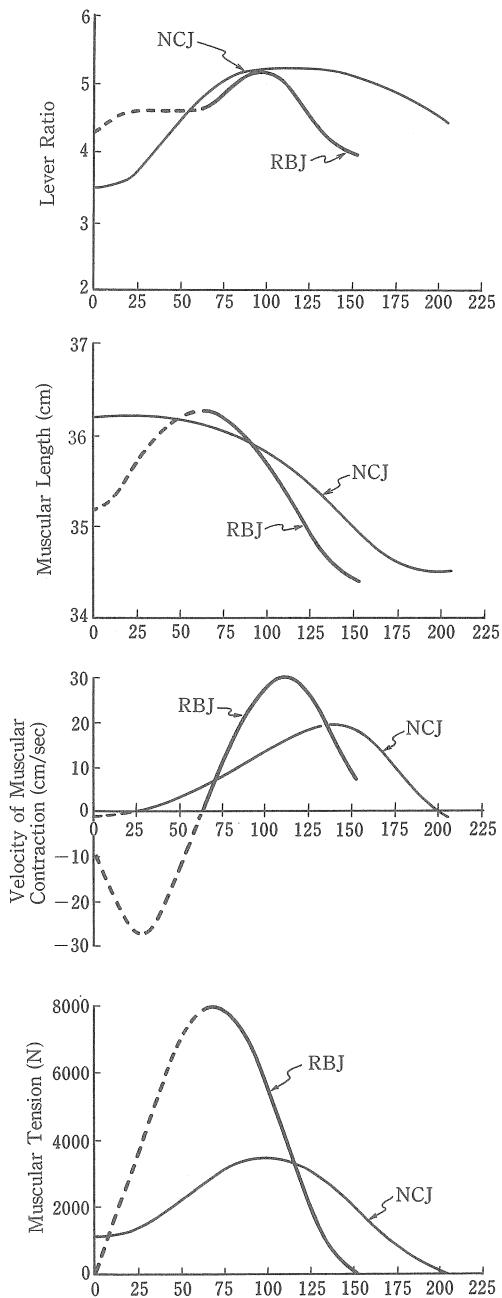


図 3 てこ比, 筋長(cm), 筋収縮速度(cm/s), 筋張力(N)の平均変化曲線。破線は RBJ の反動動作局面(伸張性筋収縮)を示す。

論議

身体重心の鉛直変位は、本研究と同じジャンプを使った伊藤ら（1987）の報告する RBJ の 21.5 cm と比較すると、本研究で得られた RBJ の値の 16.1 ± 2.5 cm は低く、NCJ は伊藤らの 10.4 cm にたいし本研究では 10.3 ± 1.3 cm とほぼ同じであった。本研究の RBJ のリバウンドによるパフォーマンスの向上は比較的小さかったといえるが、全ての被験者において RBJ のほうが NCJ より平均で $57.6 \pm 25.1\%$ も高い値を示し、リバウンド効果は明らかにあったと考えられた。またこのリバウンド効果には被験者間で 30 から 100% と著しい差があり、トレーニング効果を示唆する興味ある結果を示している。垂直跳びのリバウンド効果は Bosco ら（1982）の報告から見積もると、たかだか 10% 程度であり、“つま先ジャンプ”は垂直跳びに比べ、リバウンド効果の生じやすい運動であると思われる。“つま先ジャンプ”的な運動はアキレス腱を含む下腿三頭筋が、膝関節や股関節あるいは上体で発揮した力を地面へ伝達するために活動していることを考慮すると、このことはアキレス腱を含む下腿三頭筋がもともと（神経支配も含めて）無反動的な運動よりリバウンド的な運動に適しているのか、あるいは力を伝達しているうちに自然になされた反動的な運動によってトレーニングされたことを示しているのかもしれない。さらに前述したようにリバウンド効果に被験者間で大きな差があったことを考慮すると、これらの結果はリバウンドを利用したトレーニング（Plyometric Training）の可能性を示唆している。またリバウンド効果が最も少なかった被験者（E）と最も高いリバウンド効果を示した被験者（C）の最大筋力を比較すると、リバウンド効果の少なかった被験者 E の方が筋力が高く（体重当たりでも同様）、単なる筋力トレーニングではリバウンドを効果的に利用する能力を高めることは出来ないことが示唆された。

反動々作的な運動によって筋が伸張性収縮をすると、伸張反射を生ずることが知られている（Diets ら 1979； Gollhofer ら 1984）。腓腹筋については RBJ で接地以前から着地衝撃にそなえた著しい REMG 放電が見られ、あらかじめ上位中枢によってコントロールされているようにみえ

る。またその後の振幅には NCJ の場合と大きな差が見られず、反射的な現象は認められない。一方ヒラメ筋では RBJ で接地後約 50ms から REMG 振幅が急激に上昇し、そのピーク値は NCJ より著しく高かった。さらにヒラメ筋の REMG 開始時期が腓腹筋と異なり、NCJ と RBJ ともに地面反力の高まりと非常に近かった。これらのことから、ヒラメ筋はあらかじめプログラミングされて活動していたというより、むしろ反射的な要素のほうが高かったのではないかと考えられる。さらに接地中のヒラメ筋の REMG は、瞬間的なピーク値を除けば、RBJ のほうが NCJ より低く、RBJ においてむしろ抑制されていたかのようである。両筋に共通する点は、RBJ において接地前半の伸張性筋収縮期に REMG が集中していたことである。筋放電の開始と筋出力の開始は同時ではなく筋放電におくれて筋出力が開始するという報告（Grillner 1972； Norman と Komi 1979）があるが、この点を考慮しても伸張性筋収縮期に放電が集中していたことは明らかである。この現象はこれまで報告されているものと同じで（伊藤ら 1987； Bosco ら 1982），RBJ における伸張性筋収縮の局面の重要性を示唆するものである。

RBJ の最大筋張力は NCJ の 2.3 倍にも達し、その値は約 8000N（片足）にもおよんでいる。これは被験者自身が跳びあがった高さから落下した場合で、しかも 20cm 程度の高さである。一般に Plyometric Training では高い台から飛び下り、即座に跳ね上がるような運動が主体になる（Radcliffe & Farentinos 1987）。もしもそのように高い台から飛び下り、つま先で着地し、かかとを地面に下ろさずに再び跳ね上がるようすれば、1 トンをはるかに越えるような負荷がアキレス腱や下腿三頭筋にかかると考えられる。このことは Plyometric Training の負荷の設定は、障害の予防のため、慎重にすべきであることを示唆している。

RBJ と NCJ の比較をより明確にするために、主動動作である短縮局面だけについて、「筋長変化—短縮速度」関係と「筋長変化—筋張力」関係を調べた（図 4）。破線は RBJ と NCJ の差で、リ

バウンド効果の量を示している。それによると RBJを行なった時とそうでない NCJ の筋張力差は(図4)短縮開始直後に最も高く、短縮が進むに従いほとんど見られなくなった。これは伸張性筋収縮によってあらかじめ筋張力が高められ、続く短縮性筋収縮が高い張力から開始されたことを示している。短縮速度については、RBJはNCJにくらべ全体的に一定の高い値(約10cm/s)を保っている(図4)。すなわち、リバウンドによって蓄積された弾性エネルギーは、短縮性筋収縮開始後にはほとんどすべて放出・利用され、短縮局面の後半までは残されていなかったが、その効果(短縮速度の高まり)は短縮局面前半だけでなく後半にも現われていた。Boscoら(1981, 1982)は摘出筋を使った Cavagna(1965)の研究をもとに、垂直跳び運動の反動効果について調べている。彼らは膝屈曲の局面(反動々作)から続く膝伸展の展面(主動作)へ移動する際の地面反力が高いこと、その移行において膝関節の動きの遅滞(Coupling Time)が短いことが反動効果を高めているとしている。垂直跳び運動のような多関節運動において、膝関節の角度変化だけで筋収縮状態(筋長変化)などを推定することには問題が残るが、関節運動の変換時点(屈曲から伸展へ)が重要だとする点において本研究の結果と一致しており興味ある。

まとめ

以上の結果から、つぎのようにまとめられた。

- (1) 身体重心の鉛直変位はRBJのほうがNCJより57.6%高かった。これはこれまで報告された垂直跳びについての値より著しく高く、下腿三頭筋(アキレス腱を含む)がリバウンド運動に比較的適していることを示唆している。
- (2) RBJの反動々作時(伸張性収縮)に著しい筋活動が認められ、反動々作局面の重要性が示された。
- (3) RBJにおけるパフォーマンスの向上は、NCJに比べ短縮性収縮開始時の筋張力が著しく高い事によると考えられる。
- (4) その張力は、反動々作によって高められた

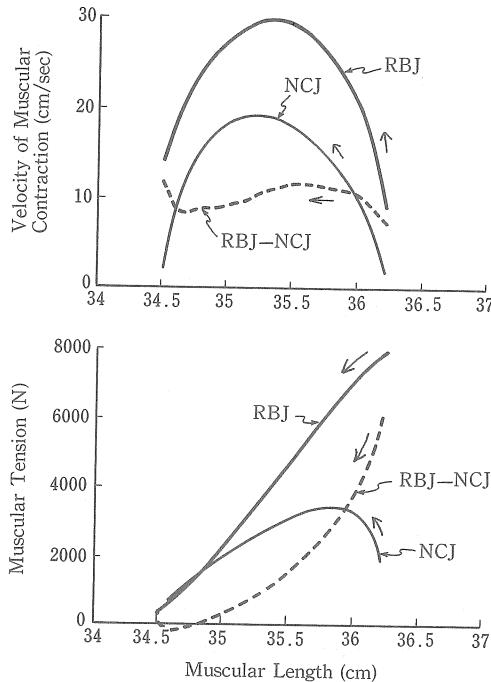


図4 RBJとNCJの筋長一筋短縮速度(上図)、筋長一筋張力(下図)関係。破線はRBJとNCJの値の差を示す。

伸張性筋張力を主動作の短縮性筋張力へ素早く切換えることによって得られたものである。

- (5) リバウンド効果の高さと最大筋力との関係が認められず、単なる筋力トレーニング以外に、反動々作から主動作への素早い切換えを狙ったトレーニングが必要であると考えられた。
- (6) RBJにおいてアキレス腱と下腿三頭筋に約8000Nの強い張力が加わっており、障害防止の面からトレーニング負荷の設定は慎重に行なうべきである。

文献

- 1) Alexander R. McN.: The mechanics of jumping by a dog (*Canis familiaris*). *J. Zool., Lond.* 173: 549-573. 1974.
- 2) Bosco C., P. Komi and A. Ito: Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol.*

- Scand 111 : 135-140, 1981.
- 3) Bosco, C., A. Ito, P. V. Komi, P. Luhtanen, P. Rahkila, H. Rusko and J. T. Viitasalo : Neuromuscular 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 : Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J. Appl. Physiol.* 20 : 157-158, 1965.
 - 5) Cavagna, G. A., B. Dusman and R. Margaria : Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. Physiol.* 24 : 21-32, 1968.
 - 6) Dietz, V., D. Schmidbleicher and J. Noth : Neuronal mechanism of human locomotion. *J. Neurophysiol.* 42 : 1212-1222, 1979.
 - 7) Golhofer, A., D. Schmidbleicher and V. Dietz : Regulation of muscle stiffness in human locomotion. *Int. J. Sports Med.* 5 : 19-22, 1984.
 - 8) Grillner, S. : The role of muscle stiffness in meeting the changing posture and locomotor requirements for force development by the ankle extensors. *Acta Physiol. Scand.* 86 : 92-108, 1972.
 - 9) 伊藤章, 斎藤昌久, 金子公宥 : 跳躍運動における反動効果一下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用一. *J. J. Sports Sci.* 6 : 232-238, 1987.
 - 10) Norman, R. W. and P. V. Komi : Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiol. Scand.* 106 : 241-248, 1979.
 - 11) Radcliffe J. C. と Farentinos R. H. 共著. 石河利寛 監修, 村松茂 野坂和則 訳: プライオメトリックス。ベースボール・マガジン社, 1987.

IV デプスジャンプトレーニング手段の至適台高

報告者 高松 薫

研究協力者 杉森弘幸¹⁾ 会田 宏²⁾ 芥川千津子²⁾ 水上 一²⁾

緒 言

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、どれくらいの高さから飛び降りるといいか、すなわち至適台高の範囲を明らかにしておくことは極めて重要である。

至適台高の範囲は、何よりもまずトレーニングの目的によって決まる。これまでの研究報告や実践報告をもとにすると、それは二つに大別できると考えられる。

プライオメトリックスは、stretch-shortening cycle運動を利用したトレーニング法である。したがって、プライオメトリックスの一つの目的は、stretch-shortening cycle運動における神經一筋・腱系の反応を改善することにあると考えられる。すなわち急激な筋の伸張による腱または筋の弾性エネルギーの貯蔵とその利用能力^{10,11,30,2,23,6,22,17)}、および伸張反射などによる筋の収縮エネルギーの獲得とその利用能力¹⁷⁾などを高めることにある。これは、パワー、調整力または技術のトレーニングの一つとして位置づけられるものであろう。この目的に対するデプスジャンプの至適台高は、最大跳躍高が得られる高さ、あるい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考えられる。

一方、プライオメトリックスは、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^{19,13,28,20,21)}を

利用したトレーニング法である。したがって、プライオメトリックスの他の一つの目的は、エキセントリックな収縮で発現した大きな力をを利用して筋力、パワーを発達させることにあると考えられる。これは、筋力またはパワートレーニングの一つとして位置づけられるものであろう。この目的に対するデプスジャンプの至適台高は、脚の筋力、パワーの発達が期待できる高さであると考えられる。

しかし、いずれの場合も至適台高に関して現在まで一致した見解はない。この理由には、被検者またはトレーニング者の性、年齢、体力水準、技術水準に相違のあること、およびトレーニング効果の判定に用いている指標に相違のあることなどが考えられる。

本研究では、プライオメトリックスの目的の一つであると考えられる、stretch-shortening cycle運動における神經一筋・腱系の反応の改善を、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。また本研究では、スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる高さと膝伸展力、垂直跳との関係についても検討した。これらの関係が明らかになると、実際のトレーニングの場における台高の選択は容易になると考えられる。

1) 東京工業大学 2) 筑波大学

方 法

1. 被検者

被検者にはT大学女子ハンドボール競技選手14名を用いた。表1に被検者の年齢、身長、体重などを示した。これらの被検者は、鍛錬期にパワートレーニングの一つとしてデプスジャンプを行っている。

2. 測定項目および測定法

(1) 膝伸展力

被検者に、膝関節角度90度の姿勢で、約3秒間全力でシャフトを押しあげさせた。肩峰、大転子、外果を結ぶ線はフォースプレート（ホクバン社製）に対して垂直にさせた（図1）。フォースプレートに加わるアイソメトリックな力を測定した。試技は2回行わせ、高い値を成績として用いた。

(2) スクワットジャンプ

被検者に、両腕を真下におろした姿勢から、腕、肩、胴体などの振込み動作を用いるスクワットジャンプを全力で行わせた。跳躍開始時の膝関節角度には、約30度から130度の範囲内にある5種類の角度を用いた。試技は各角度で原則として1回行わせた。5msecごとに記録した踏切中の力から跳躍高を測定した。ついで跳躍高と跳躍開始時の膝関節角度との関係を2次式に近似し、膝関節角度90度からのスクワットジャンプの跳躍高を推定した。

(3) デプスジャンプ

被検者に、0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1mの7種の台高から全力でデプスジャンプを行わせた。腕および脚の反動振込み動作は被検者固有の方法で行わせた。各台高からのデプスジャンプの実施順序はアトランダムとした。また被検者に、両腕を水平にあげた姿勢から、腕および脚の反動振込み動作を用いる垂直跳（CMJ）を全力で行わせた。このCMJを台高0mからのデプスジャンプとした。5msecごとに記録した踏切中の力から跳躍高を求めた。試技はデプスジャンプ、CMJともに原則として2回ずつ行わせ、高い値を成績として用いた。

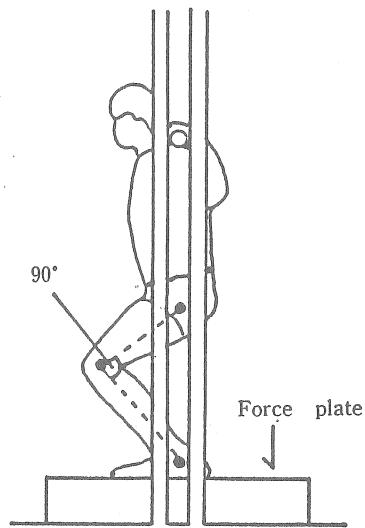


図1 膝伸展力の測定方法

結 果

体重当りの膝伸展力は 4.14 ± 0.58 、膝関節角度90度からのスクワットジャンプにおける跳躍高の推定値は 0.267 ± 0.022 m、CMJは 0.276 ± 0.026 m、デプスジャンプにおける最大跳躍高は 0.301 ± 0.035 mおよびそれが得られた台高は 0.49 ± 0.40 mであった（表1）。

スクワットジャンプ以上の跳躍高を示したデプスジャンプの最大台高は 0.75 ± 0.47 mであった。しかし、これには著しい個人差があり、最小は0m（CMJ）、最大は1.5mであった（表1、図2）。

体重当りの膝伸展力とスクワットジャンプ以上の跳躍高が得られたデプスジャンプの最大台高との間には、有意な相関関係は認められなかった（ $r = 0.037$, $p > 0.05$ ）（図3）。

また、CMJとスクワットジャンプ以上の跳躍高が得られたデプスジャンプの最大台高との間にも、有意な相関関係は認められなかった（ $r = 0.530$, $p > 0.05$ ）（図4）。

表1 被検者の年齢、身長、体重、膝伸展力、3種の跳躍における跳躍高、およびスクワットジャンプ以上に示したデブスジャンプの最大台高

| Subj | Age | Body height | Body weight | Force(knee) /Body weight | Jumping height | | | Dropping height ³⁾ |
|------|------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | | | | Squat jump ¹⁾ | Counter movement jump | Depth jump ²⁾ | |
| yrs | m | kg | | | m | m | m (m) | m |
| YY | 22 | 1.62 | 54.0 | 5.43 | 0.319 | 0.342 | 0.392 (1.5) | 1.5 |
| SY | 19 | 1.68 | 59.0 | 4.05 | 0.259 | 0.300 | 0.307 (0.9) | 1.5 |
| RS | 20 | 1.70 | 62.0 | -- | 0.264 | 0.271 | 0.316 (0.3) | 1.2 |
| YN | 21 | 1.67 | 64.0 | 3.69 | 0.285 | 0.299 | 0.325 (0.9) | 0.9 |
| ToI | 20 | 1.63 | 51.0 | 3.35 | 0.277 | 0.268 | 0.306 (0.3) | 0.9 |
| YW | 19 | 1.67 | 60.0 | 3.40 | 0.224 | 0.242 | 0.269 (0.3) | 0.9 |
| Tal | 21 | 1.65 | 60.0 | -- | 0.243 | 0.247 | 0.261 (0.6) | 0.9 |
| HS | 21 | 1.66 | 58.0 | 4.28 | 0.281 | 0.293 | 0.333 (0.3) | 0.6 |
| AT | 22 | 1.61 | 55.0 | 4.53 | 0.264 | 0.280 | 0.304 (0.3) | 0.6 |
| TK | 20 | 1.64 | 56.5 | 3.56 | 0.265 | 0.277 | 0.299 (0.6) | 0.6 |
| MI | 22 | 1.69 | 65.0 | 4.26 | 0.259 | 0.265 | 0.274 (0.6) | 0.6 |
| KT | 20 | 1.63 | 59.5 | 4.32 | 0.280 | 0.255 | 0.293 (0.3) | 0.3 |
| EN | 20 | 1.52 | 52.0 | 4.40 | 0.259 | 0.265 | 0.265 (0.0) ⁴⁾ | 0.0 |
| MN | 22 | 1.62 | 59.0 | 4.41 | 0.256 | 0.264 | 0.264 (0.0) ⁴⁾ | 0.0 |
| Mean | 20.6 | 1.64 | 58.2 | 4.14 | 0.267 | 0.276 | 0.301 (0.49) | 0.75 |
| SD | 1.1 | 0.04 | 4.2 | 0.58 | 0.022 | 0.026 | 0.035 (0.40) | 0.47 |
| Max | 22 | 1.70 | 65.0 | 5.43 | 0.319 | 0.342 | 0.392 (1.5) | 1.5 |
| Min | 19 | 1.52 | 51.0 | 3.35 | 0.224 | 0.242 | 0.261 (0.0) | 0.0 |

1. 被検者は大学女子ハンドボール選手である。

2. 1)は膝関節角度90度からのスクワットジャンプの跳躍高を示す。

3. 2)はデブスジャンプにおける最大跳躍高とそれが得られた台高を示す。

4. 3)はスクワットジャンプ以上の跳躍高を示したデブスジャンプの最大台高を示す。

5. 4)は反動垂直跳(CMJ)で得られたことを示す。

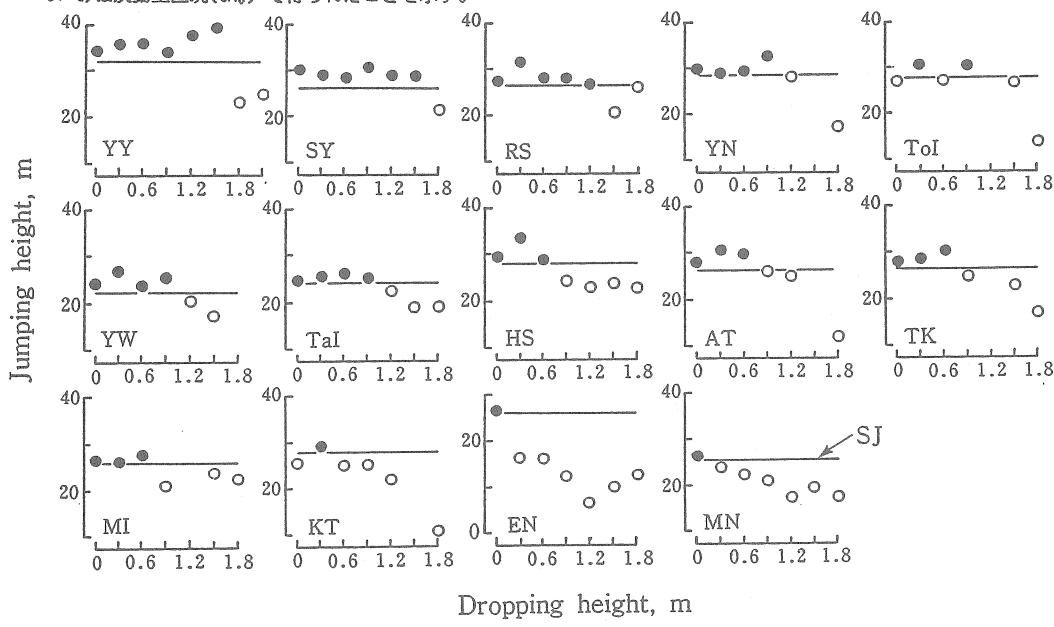


図2 デブスジャンプにおける跳躍高

SJ: スクワットジャンプ

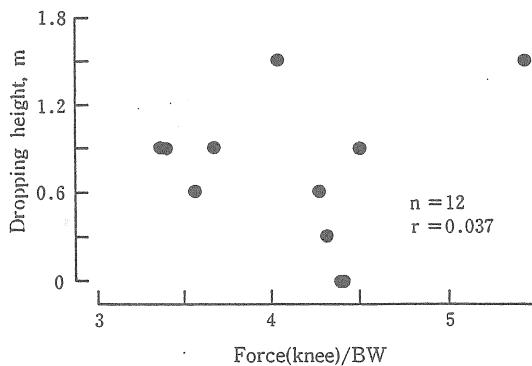


図3 膝伸展力とスクワットジャンプ以上の跳躍高を示したデプスジャンプの最大台高との関係

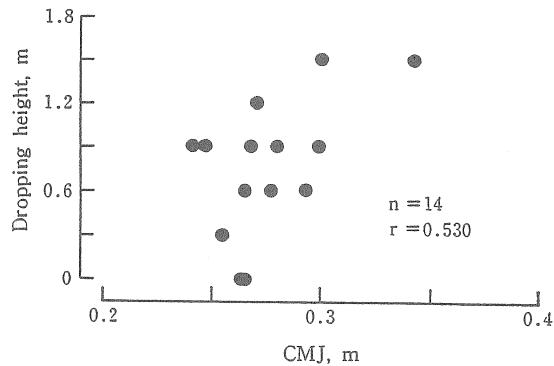


図4 反動垂直跳(CMJ)の跳躍高とスクワットジャンプ以上の跳躍高を示したデプスジャンプの最大台高との関係

考 察

デプスジャンプの至適台高に関して、実践的な立場から、Verhoshanski³²⁾は0.75mと1.1mを推奨し、0.75mでは落下のエネルギーを受けとめて上方へのエネルギーに切り換える最大速度を改善し、1.1mでは動的筋力を改善するとしている。しかし、デプスジャンプのトレーニング効果をみた研究では、Scoles²⁷⁾は0.75m、Blattnerら³³⁾は0.86m、Stebenら²⁹⁾は0.254m、Dursenevら¹⁴⁾は0.75~3.2m、Clutchら¹²⁾は0.3, 0.75, 1.1m、Fordら¹⁵⁾は0.61m、Adams¹⁾は0.61~1.5m、Brownら⁹⁾は0.45mの台高を用いており研究者間で著しく異なる。このために、デプスジャンプトレーニングの有効性に対する見解も研究者間で著しく異なる。この理由の一つとして、被検者の身体特性の相違が考えられる。しかしそれ以上に大きな理由は、トレーニングの目的の相違であると考えられる。

本研究では、プライオメトリックスの目的の一つであると考えられる、stretch-shortening cycle運動における神経一筋・腱系の反応の改善を、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。被検者として用いた女子ハンドボール選手は、鍛錬期にパワートレーニングの一つとして、種々の台高

からのデプスジャンプを行っていた。その内容は、デプスジャンプ（着地後できるだけ高く跳躍する）のほかに、落下の衝撃を受けとめるだけのトレーニングも含んでいた。

女子ハンドボール選手のスクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高は、被検者14名の平均値でみると 0.75 ± 0.47 mであった。

Komiら²³⁾は、体育系の男女学生とフィンランドの男子バレーボール代表選手を対象にして、女子には0.2~0.8m、男子には0.2~0.83mの台高からそれぞれデプスジャンプを行わせた。その結果、女子は0.8mまで、男子は0.83mまで、すなわち男女とも実験に用いたすべての台高において、スクワットジャンプ以上の跳躍高（positiveな局面のエネルギー）が得られたことを報告している。

デプスジャンプにおいて最大跳躍高が得られた台高は、本研究の女子ハンドボール選手は 0.49 ± 0.40 m、Komiらの体育系の女子学生は 0.48 ± 0.19 m、男子学生は 0.63 ± 0.23 m、男子バレーボール選手は 0.66 ± 0.16 mであった。この成績をみると、本研究の女子ハンドボール選手は、Komiらの体育系女子学生と比較して、デプスジャンプの最大跳躍高が得られた台高は同じであるが、スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高は低いと考えられる。

なお、Asumussenら²⁴⁾は、若い男女を対象にして $0.23, 0.4, 0.69$ mの台高からデプスジャンプ

を行わせた結果、0.4mの台高で最大跳躍高が得られたと報告している。また、Jody ら¹⁸⁾は、女子バレーボール選手を対象にして0.18~1.06mの台高からデプスジャンプを行わせた結果、最大跳躍高は0.42~0.63mの範囲で得られたと報告している。

Komi ら、Asumussen らの研究は、デプスジャンプの至適台高の指標として何を用いるといいか、至適台高の範囲はどの程度であるかを、具体的に明らかにすることを目的としたものではない。これに対して Jody らは、至適台高として0.4~0.7mの範囲を勧めている。

一方、大高ら²⁶⁾は、デプスジャンプの至適台高を明らかにするために、成人男子を対象にして0.2~0.8mの台高からデプスジャンプを行わせた。その結果、台高の上昇にともなう滞空時間（跳躍高）、着地衝撃力の変化には個人差があるので、障害の危険性を除くためには、滞空時間、着地衝撃力を手がかりにして、個人ごとに台高を決定するのが望ましいと指摘している。この指摘には本研究も同意できる。本研究では、スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高、デプスジャンプの最大跳躍高が得られた台高にはいずれも著しい個人差があり、両者ともに最小は0 m (CMJ)，最大は1.5mであることが認められた。したがって、デプスジャンプトレーニングでは、個人ごとに台高を決定することは必須のことであると考えられる。

しかし、個人ごとに台高を決定するにしても、それを決める何かの指標があると、トレーニングの現場では役に立つはずである。その指標には、前述の著しい個人差に影響を与えていたる要因を用いるのが適切であると考えられる。本研究では、その要因として筋力、パワーを取りあげ、前者の場合には膝伸展力、後者の場合は反動垂直跳び(CMJ)の跳躍高を用いて、それらとスクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高との関係を検討した。その結果、スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高と膝伸展力 ($r=0.037$)、CMJ の跳躍高 ($r=0.530$) との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。相関係数のみを比較すると、スクワットジャンプ以上の跳躍

高を示した台高は、どちらかといえば筋力よりもパワーの影響を受けると考えられる。しかし、筋力、パワーのいずれの影響も受けないで、跳躍技術の影響をより大きく受けると考えることもできる。なぜなら、一般に CMJ の技術の高い者はほど、CMJ の跳躍高は高く、スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高も高くできると考えられるからである。本研究では、この考え方を支持する。

これまで、デプスジャンプトレーニングは、脚筋力を体重の約2倍まで発達させた段階で行うことがよいと言われている²⁵⁾。また、stretch-shortening cycle 運動における神経一筋・腱系の反応は、伸張の大きさ³¹⁾、伸張の速度²³⁾、筋線維組成²⁴⁾、疲労⁸⁾、性差²³⁾などによっても異なると報告されている。確かに、これらもデプスジャンプの至適台高を考える場合の重要な要因である。しかし、それらを考慮にいれる場合には、前提としてよい技術を身につけていることが必要であると考えられる。したがって、デプスジャンプの至適台高を決定する場合には、何よりもまず各人が身につけていたる跳躍技術をもとにして、個人ごとに決定するのが適切であると考えられる。

しかし、個人ごとに台高を決定するにしても、デプスジャンプの跳躍方法を事前に明確にしておくことは必要である。

Bobbert ら⁴⁾は、0.2mの台高からのリバウンド型のデプスジャンプ (bounce drop jump) はプレス型のデプスジャンプ (counter-movement drop jump) よりも膝および足関節まわりのモーメント、パワーを大きくできることから、リバウンド型のデプスジャンプは膝伸展パワー、足底屈曲パワーを高めようとする選手に適していると報告している。また彼らは、この知見をもとにして、男子学生に0.2、0.4、0.6mの台高からリバウンド型のデプスジャンプを行わせた研究結果も報告している⁵⁾。この研究では、踏切中の立ち上がりの局面における腰および膝関節まわりのモーメント、パワーには台高間に差はなかったが、足関節まわりのモーメント、パワーは0.4mの場合が0.6mの場合よりも大きいこと、および0.6mの場合には着地時点において地面反力、および腰、

膝、足関節の関節反力が他の台高よりも著しく大きいことなどから、リバウンド型のデプスジャンプを行う場合には、0.2または0.4mの台高を用いるのが適切であると示唆している。

リバウンド型のデプスジャンプは、伸張の初期に獲得された弾性エネルギーなどが、伸張時間の増大とともに減少するのをできるだけ少なくするデプスジャンプであると考えられる。したがって、かかとをほとんど接地しない、膝曲げの比較的浅い（膝関節角度の大きい）デプスジャンプである。確かに、陸上競技の跳躍種目などでは、このリバウンド型のデプスジャンプは有効になろう。しかし、球技種目では、あるいは跳躍種目でもトレーニングのねらいによってはプレス型のデプスジャンプが有効な場合もある。したがって、デプスジャンプの至適台高を各人の身につけている跳躍技術と関連づけて個人ごとに決定する場合には、跳躍方法、特に膝曲げの角度を十分に考慮する必要があると考えられる。

なお、緒言でも述べたように、デプスジャンプトレーニングでは、本研究で対象にしたstretch-shortening cycle運動における神経一筋・腱系の反応を改善することのほかに、脚の筋力、パワーを発達させることを目的にする場合がある。Verhoshanski²²⁾によれば、前者のトレーニングでは低い台高を、後者のトレーニングでは高い台高を用いることになるが、トレーニングでは両者を明確に分けることはできないし、また用いた台高がどちらか一方の能力しか開発できないということでもない。しかし、いずれにしてもデプスジャンプトレーニングでは、トレーニング者に対する負荷の安全性を配慮することは極めて重要であり、その安全性を評価するものとして、各人が身につけている跳躍技術は極めて重要であると考えられる。

要 約

プライオメトリックスの目的の一つとして、stretch-shortening cycle運動における神経一筋・腱系の反応の改善があげられる。本研究では、この目的を安全に合理的に達成することがで

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。また、実際のトレーニングにおいて台高を決定する場合の適切な指標を得るために、スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる台高と膝伸展力、反動垂直跳（CMJ）との関係について検討した。被検者には大学段階にある女子ハンドボール選手を用いた。これらの被検者に、スクワットジャンプ、CMJ、および0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1mの台高からのデプスジャンプを行わせた。

結果は次の通りである。

①スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高は、被検者14名の平均値でみると $0.75 \pm 0.47\text{m}$ であった。しかし、これには著しい個人差があり、最小は0 m (CMJ)、最大は1.5mであった。

②スクワットジャンプ以上の跳躍高を示した台高と膝伸展力 ($r = 0.037$)、CMJの跳躍高 ($r = 0.530$)との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。

上述の結果は、スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られるデプスジャンプの台高は、各人の身につけている跳躍技術の影響を著しく受けることを示唆している。したがって、デプスジャンプトレーニングの至適台高を決定する場合には、何よりもまず各人が身につけている跳躍技術をもとにして、個人ごとに決定することが適切であると考えられる。またその際には、リバウンド型、プレス型などの跳躍方法の相違も十分に考慮する必要があると考えられる。

なお、デプスジャンプトレーニングの目的には、本研究で対象にしたstretch-shortening cycle運動における神経一筋・腱系の反応の改善のほかに、脚の筋力、パワーを発達させることがあげられる。今後、この面からの至適台高の検討も必要である。

文 献

- 1) Adams, T. M. (1984) : An investigation of selected plyometric training exercise on muscular leg strength and power. Track &

- Field Quarterly Review, 84 (4) : 36-39.
- 2) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen (1974) : Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. Acta Physiol. Scand., 91 : 385-392.
 - 3) Blattner, S. E. and L. Nobel (1979) : Relative effects of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performances. Res. Quart., 50 : 583-588.
 - 4) Bobbert, M. F., P. A. Huijing and G. J. Van Ingen Schenau (1987a) : Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. Med. Sci. Sports Exerc., 19 : 332-338.
 - 5) Bobbert, M. F., P. A. Huijing and G. J. Van Ingen Schenau (1987b) : Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. Med. Sci. Sports Exerc., 19 : 339-346.
 - 6) Bosco, C. and P. V. Komi (1979) : Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. Acta Physiol. Scand., 106 : 467-472.
 - 7) Bosco, C., P. V. Komi and A. Ito (1981) : Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. Acta Physiol. Scand., 111 : 135-140.
 - 8) Bosco, C., J. Tihanyi, F. Latteri, G. Fekete, P. Apor and H. Rusco (1986) : The effect of fatigue on store and re-use of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscle. Acta Physiol. Scand., 128 : 109-117.
 - 9) Brown, M. E., J. L. Mayhew and L. W. Boleach (1986) : Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball. J. Sports Med., 26 : 1-4.
 - 10) Cavagna, G. A., F. P. Saibene and R. Margaria (1965) : Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. J. Appl. Physiol., 20 : 157-158.
 - 11) Cavagna, G. A., B. Dusman and R. Margaria (1968) : Positive work done by a previously stretched muscle. J. Appl. Physiol., 24 : 21-32.
 - 12) Clutch, D., M. Wilton, C. McGown and R. Bryce (1983) : The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. Res. Quart., 54 : 5-10.
 - 13) Doss, W. S. and P. V. Karpovich (1965) : A comparison of concentric, eccentric, and isometric strength of elbow flexors. J. Appl. Physiol., 20 : 351-353.
 - 14) Dursenev, L. I. and L. G. Raevsky (1982) : Strength training of jumpers. Track & Field Quarterly Review, 82-4 : 53. (From Teoriya i Praktika Fizicheskoi Kultury, 10 : 62-64, 1978).
 - 15) Ford, H. T. Jr., J. R. Puckett, J. P. Drummond, K. Sawyer, K. Gantt and C. Fussell (1983) : Effect of three combinations of plyometrics and weight training programs on selected physical fitness test items. Percept. Mot. Skills, 56 : 919-922.
 - 16) Hill, A. V. (1951) : The mechanics of voluntary muscle. Lancet, 24 : 947.
 - 17) 伊藤章, 斎藤昌久, 金子公宥 (1987) : 跳躍運動における反動効果一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.
 - 18) Jody, L. J. and P. J. Russell (1985) : Depth jump training and the Volleyball spike. In Terauds, J. and J. N. Barham (Eds.), Biomechanics in sports II, Academic Publishers, pp. 304-313.
 - 19) 金原勇, 春山国広, 三浦望慶 (1964) : 筋の力の出し方に関する基礎的研究 (その1) — 筋収縮の種類と出し得る力—. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 2 : 11-20.
 - 20) 金原勇, 押切由夫, 三浦望慶, 高松薰 (1966) : 筋力トレーニング手段に関する生理的研究—筋の効果的な使い方も高められる筋力トレーニング手段について—東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 4 : 21-31.

- 21) 金原勇, 高松薰, 渡川侃二 (1970) : 筋の力の出し方に関する基礎的研究 (その2) 一技術やトレーニングから見た Eccentric な筋力の特性について一。東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 8 : 26-52.
- 22) 小島武次, 琉子友男, 近藤正勝 (1983) : 反動動作を伴った下肢屈伸運動における弾性エネルギーの役割。J. J. Sports Sci., 2 : 152-156.
- 23) Komi, P. V. and C. Bosco (1978a) : Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med. Sci. Sports, 10 : 261-265.
- 24) Komi, P. V. and C. Bosco (1978b) : Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man. Biomechanics, VI-A : 79-85.
- 25) 村木征人 (1985) : 爆発的・反動的筋力と衝撃法トレーニング。月刊トレーニングジャーナル, 7(6) : 20-21.
- 26) 大高敏弘, 田島東海男, 福留彰教, 片尾周造, 村松茂, 木島晃 (1985) : 異なる台高からのドロップ・ジャンプと床反力との関係。防衛大学校紀要 (人文・社会科学編), 50 : 101-112.
- 27) Scoles, G. (1978) : Depth jumping! Does it really work? Athletic Journal, 58-5 : 48, 50, 74-76.
- 28) Singh, M. and P. V. Karpovich (1966) : Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors. J. Appl. Physiol., 21 : 1435-1437.
- 29) Steben, R. E. and A. H. Steben (1981) : The validity of the stretch shortening cycle in selected jumping events. J. Sports Med., 21 : 28-37.
- 30) Thys, H., T. Faraggiana and R. Margaria (1972) : Utilization of muscle elasticity in exercise. J. Appl. Physiol., 32 : 491-494.
- 31) Thys, H., G. A. Cavagna and R. Margaria (1975) : The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. Pflugers Arch., 354 : 281-286.
- 32) Verhoshanski, Y. (1968) : Are depth jumps useful? Yessis Review of Soviet Physical Education and Sports, 3-3 : 75-78. (From Track & Field, 12 : 9, 1967).

V Plyometric 運動としての Drop Jump の至適台高

報告者 伊坂忠夫

研究協力者 河鱈一彦¹⁾ 石井喜八¹⁾

はじめに

プライオメトリックトレーニングは、爆発的なパワー発揮を要求される競技者、特に跳躍選手達によく用いられている⁸⁾¹¹⁾。そのトレーニングの代表的なものは、ある高さの台から跳び降り、着地した直後に上方へ高く跳び上がる形式の運動が用いられている。これを drop jump という。このトレーニングに用いられる台の高さは、30cm～2m以上と広範囲である⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

跳躍能力を高めるとされている drop jumpにおいては、台から跳び降りることにより、体重以上の負荷が足・膝・股関節に作用することは十分に予想される。また、上方へ跳躍する時の主働筋に、短縮性収縮の前に伸張性収縮が課されることになる。台高の高さが増すにしたがい伸張性収縮をさせる負荷が増加することが推測される。

そこで、本研究ではいく種類かの台高から drop jump を行わせた時の跳躍高と、主働筋の等尺性および伸張性筋力の測定値との関係をもとに、傷害を起こすことなくトレーニング効果が得られる至適台高を探ることにした。

方 法

この研究方法はジャンプテストと主働筋の最大筋力測定からなる。

1) ジャンプテスト

本研究は3種類の跳躍の方法を用いた。その一つは静的屈膝姿勢から垂直方向に跳び上がる squat jump (以下 SJ) と立位姿勢から脚屈曲の

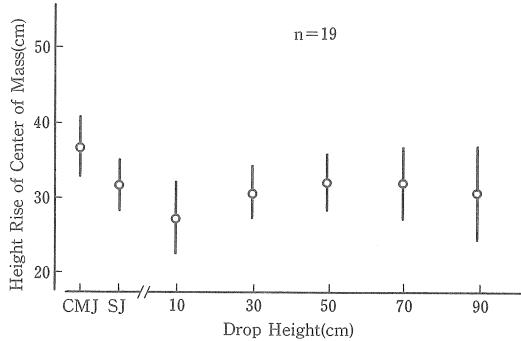


図1 各種ジャンプテストでの跳躍高

姿勢に移り、それから脚伸展によって跳び上がるという反動動作を使う counter-movement jump (以下 CMJ) および10, 30, 50, 70, 90cmの台からの drop jump (以下 DJ10, DJ30, DJ50, DJ70, DJ90) であった。

SJ は膝関節角度が約90度の静止状態から全力での両脚とび上がり動作を行わせた。CMJ は、直立姿勢から反動動作のタイミングは任意として、全力での跳び上がり動作を行わせた。DJ は、台から落下し着地と同時に脚の各関節を屈曲させ、直ちに全力で垂直方向に跳び上がるという動作を行わせた。

各ジャンプを行う前に、それぞれ5回ずつの練習を行わせた。その後、適当に休息時間を与えたのち測定のための各ジャンプ試行を2回ずつ実施した。いずれのジャンプも腕の振り上げ動作の技術的関与を消去するために、腰に両手をつけた状態で行わせた。

1) 日本体育大学

ジャンプ中およびジャンプ後の着地までの間、フォースプレート (Kistler 社製) 上に発揮された垂直方向の力を日本光電社製ポリグラフシステムにより記録した。この記録から離床時間を測定し、各ジャンプにおける身体重心の上昇高を以下の式で求めた。

$$V = \frac{1}{2} \times t \times g$$

$$h = V^2 / 2g$$

V : 離床時の速度, t : 離床時間,
g : 重力加速度, h : 身体重心の上昇高

求めた上昇高は、各 2 回のうち成績の良い方を採用した。

2) 主働筋群の筋力測定

ジャンプ動作の主働筋である膝関節伸展筋群について、等尺性および伸張性筋収縮力を測定した。

竹井機器社製多様途筋力計に被検者を座らせ、体幹の両肩および腰部を三本のベルトで固定したのち、膝関節角度90~120度の範囲で、等尺性の状態の膝関節伸展力を測定した。一方、伸張性収縮力の測定では、被検者の足関節部にあてたベルトにワイヤーを結び、その他端を歯車を介したクランクによる巻き取り装置に取りつけ、そのハンドルを手動で連続的に牽引することにより他動的に膝関節伸展筋群を伸張（膝関節は屈曲）させ、その動作中に発揮された最大力を伸張性収縮力とした。発揮された力はワイヤーの中央部に接続したダイナモメーターにより記録し、較正のうえ測定値とした。伸張性収縮力の測定は、被検者に座位姿勢をとらせ上半身固定ののち、膝関節角度120°の状態で膝関節伸展を行わせ、最大の膝関節伸展力の近似値が発揮されたのち、1名の測定補助者がワイヤー巻き取り装置のハンドルをまわし始めた。

等尺性の膝関節伸展力および伸張性の収縮力は、左右両脚について 2 回ずつを行い、左右の最大値の平均をそれらの代表値とした。

3) 被検者

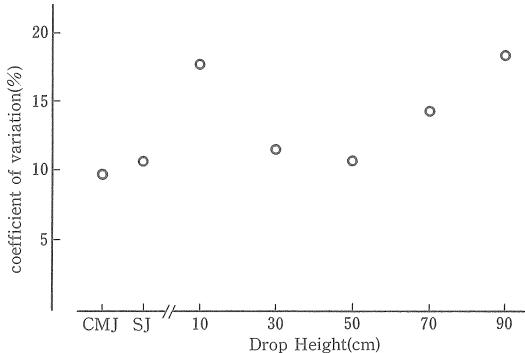


図 2 各ジャンプでのジャンプ高の変動係数

本研究には、日常規則的に身体的トレーニングを積んでいる体育専攻の男子学生19名 (19.6 ± 1.0 歳) が被検者として参加した。彼らの身長および体重の平均値と標準偏差はそれぞれ 174.1 ± 6.6 cm, 70.6 ± 5.5 kg であった。

結 果

1) ジャンプテスト

各ジャンプ時に測定された身体重心の上昇高を平均値と標準偏差で図 1 に示す。各ジャンプ動作間で上昇高の比較をしてみると、CMJ (37.7 ± 3.7 cm) が他のすべてのジャンプ時よりも有意に高い値を示した（表 1）。SJ と DJ を比較してみると、DJ10を除き、SJ と DJ30, DJ50, DJ70, DJ90 の間に有意な差が認められなかった。DJ の跳躍動作では DJ10 を除くと、他の台高条件間で有意な差はあらわれなかった。

各ジャンプの上昇高の変動係数をみてみると、CMJ の跳躍動作が 9.7%, SJ の跳躍動作が 10.4 % を示している。DJ の跳躍動作は DJ10 が 17.6% と CMJ の動作、SJ の動作の値よりも大きい値を示し、DJ30, DJ50 はほぼ CMJ の動作、SJ の動作時の値と近似した値を示している。DJ70, DJ90 と台の高さが高いところでは、変動係数が 14.2%, 18.4% となり、CMJ の跳躍動作、SJ の跳躍動作の変動係数よりも高い値を示す（図 2）。

2) 等尺性膝関節伸展力と伸張性収縮力

本実験で得られた等尺性膝関節伸展力は、 76.2 ± 14.5 kg であり、伸張性収縮力は 80.8 ± 15.8 kg であった。

kgであった(図3)。体重に対する相対値でみてもみると、等尺性の膝関節伸展力が $111.2 \pm 19.7\%$ 、伸張性収縮力が $114.3 \pm 20.4\%$ を示す。また、等尺性膝関節伸展力に対する伸張性収縮力の割合は、 $106.3 \pm 8.4\%$ であり、平均値からいふと脚の

伸張性収縮の方が等尺性膝関節伸展力よりも大きな筋力発揮がなされていたことになる。等尺性膝関節伸展力に対する伸張性収縮力を個々人についてみてみると、3名を除く16名の被検者が脚の伸張性収縮力の方が大きい値を示している(図4)。

表1 各ジャンプ間の跳躍高の比較

| | C M J | S J | D J 10 | D J 30 | D J 50 | D J 70 | D J 90 |
|------------------------------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| C M J (37.7 ± 3.7) | | *** | *** | *** | *** | ** | *** |
| S J (32.2 ± 3.4) | | * | ns | ns | ns | ns | |
| D J 10 (28.6 ± 5.0) | | | * | ** | * | ns | |
| D J 30 (31.7 ± 3.6) | | | | ns | ns | ns | |
| D J 50 (33.0 ± 3.5) | | | | | ns | ns | |
| D J 70 (32.9 ± 4.7) | | | | | | ns | |
| D J 90 (31.7 ± 5.8) | | | | | | | |

* : $P < 0.05$

** : $P < 0.01$

*** : $P < 0.001$

ns : not significant

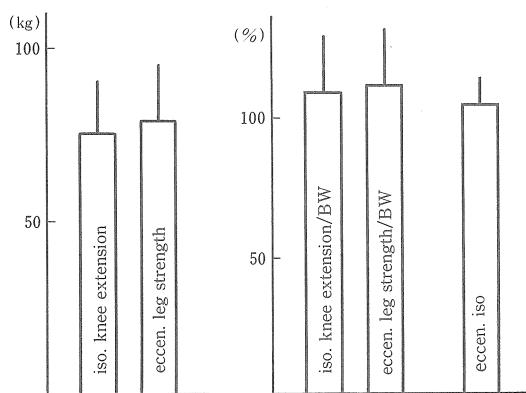


図3 等尺性膝関節伸展力および伸張性収縮力

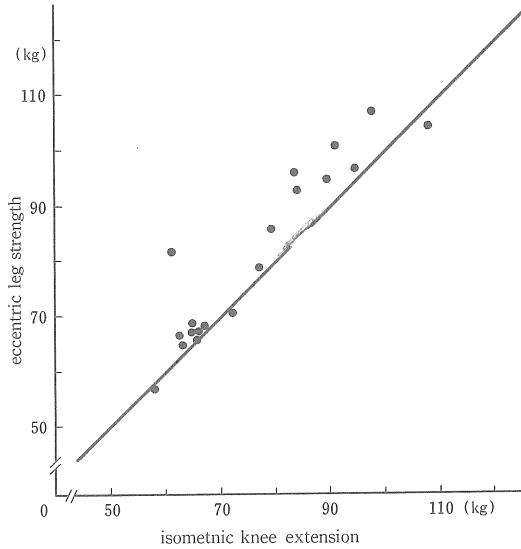


図4 等尺性膝関節伸展力および伸張性収縮力との関係

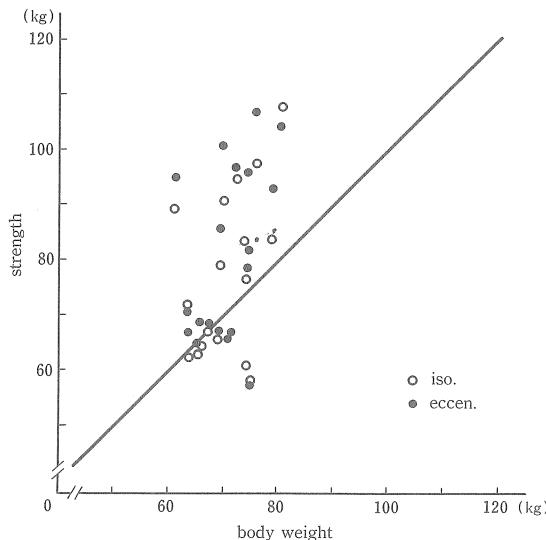


図 5 体重と膝関節伸展力および伸張性収縮力との関係

両者の関係は $r = 0.930$ ($p < 0.001$) であり、その回帰式は以下の通りである。

$$\hat{Y} = 1.013x + 3.513$$

x : 等尺性膝関節伸展筋力
 \hat{Y} : 伸張性収縮力

体重に対する 2 つの筋力値は、個々人間で大きなバラツキがみられるが、ほとんどの被検者が等尺性膝関節伸展力および伸張性収縮力を体重と同程度あるいはそれ以上に發揮していたことがわかる（図 5）。

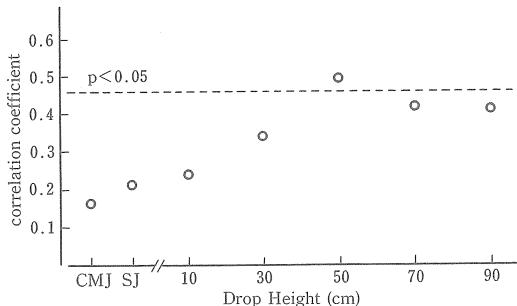


図 6 伸張性収縮力／膝関節伸展力の比と各ジャンプでの跳躍高との相関関係

3) 筋力値とジャンプ高

今回得られた膝関節伸展力および伸張性収縮力と各ジャンプ条件での身体重心の上昇高との関係をみてみた（表 2）。膝関節伸展力、体重あたりの膝関節伸展力、脚の伸張性収縮力およびその体重あたりの値は、いずれのジャンプでの上昇高との間に有意な相関関係が認められなかった。

膝関節伸展筋力に対する伸張性収縮力の値と各ジャンプ時の身体重心の上昇高との関係をみてみると、CMJ, SJ では有意な相関関係が認められず、DJ は台高が高くなるにつれ相関係数が高くなり、DJ50 のところで $r = 0.481$ と 5 % 水準で有意な関係があった（図 6）。DJ70, DJ90 では再び相関係数が低くなり、有意水準以下のレベルになるが、CMJ, SJ, DJ10, DJ30 よりも高い係数値を示した。

考 察

本研究において、DJ10 を除く他の DJ 間の身体

表 2 膝関節伸展力および伸張性収縮力と各ジャンプ時の跳躍との関係

| | CMJ | SJ | DJ10 | DJ30 | DJ50 | DJ70 | DJ90 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 膝関節伸展筋力 | -0.025 | -0.294 | -0.100 | -0.155 | -0.253 | -0.227 | -0.068 |
| 膝関節伸展筋力／体重 | 0.177 | -0.293 | -0.083 | -0.066 | -0.170 | -0.015 | 0.060 |
| 伸張性収縮力 | 0.027 | -0.351 | -0.013 | -0.038 | -0.076 | -0.053 | 0.072 |
| 伸張性収縮力／体重 | 0.144 | -0.378 | -0.075 | -0.028 | -0.089 | 0.051 | 0.098 |
| 伸張性収縮力／膝関節伸展力 | 0.150 | 0.186 | 0.272 | 0.340 | 0.481* | 0.424 | 0.405 |

* : $P < 0.05$

重心の上昇高には差が認められなかった。この結果は Asmussen と Bonde-Petersen¹⁾, Komi と Bosco¹⁰⁾によって示された結果と一致しない。

Asmussen と Bonde-Petersen¹⁾は23.3cmから69cmまでの3段階のDJを行わせた結果, 40.4cmでのDJが最も高い上昇高を示し, その値はCMJよりも高かったと報告している。Komi と Bosco¹⁰⁾は26~83cmの台高からDJを行わせた結果, 62cmのDJが最も大きなperformanceを得たとしている。彼らは, このことについて着地から身体重心が最下点に達するまでに貯えられた弾性エネルギーが, 身体重心を持ち上げる局面で利用されたためと推論する¹⁾⁵⁾⁹⁾¹⁰⁾。

しかしながら, 最近の報告をみてみると, DJにおける台高の違いによる跳躍高の差が認められないとするものがある。Bedi ら²⁾ (1987) は大学バレーボール選手と体育専攻学生を被検者にして, 25~85cmの高さから7種類のDJを行わせたところ, 台高の違いによる跳躍高の差が認められず, 両群においていずれのDJの跳躍高もCMJを有意に下回るものであったという。さらに彼らは Komi と Bosco の DJ の成績について, 分散分析法で比較したならば, 台高の違いによる差は認められないであろうと論議している。

Bobbert ら³⁾ (1987) は, 20cmの台高から2種類のDJを行わせている。一つは着地後に反動動作をつけて上方へジャンプする counter-movement drop jump (CDJ) ともう一つは着地後すぐにジャンプする bounce drop jump (BDJ) を用いて行わせたところ, BDJより CDJの方が有意に高い跳躍高を示したとしている。さらに, BDJを20, 40, 60cmの3種類の台高で行わせたところ, これらの跳躍高はほぼ同じであり, Asmussen と Bonde-Petersen, Komi と Bosco の結果と異なるのは, 彼らが DJ のテクニックを規定しなかったためと考察している⁴⁾。本研究では Bobbert らの BDJ と同様に着地後すぐにジャンプをするよう被検者に指示した。

DJを行う台高の違いによって, ジャンプ高に差ができるかどうか現在のところ一致した見解はみられない。したがって, 着地から身体重心が最下点に到るまでの間に, 伸張された筋群に弾性エ

ネルギーが貯えられるかどうかについても現在のところあるいは本実験結果からも推論できないことになる。

しかしながら, トレーニングとして DJ を考える場合, Bobbert ら⁴⁾が報告しているように, 床から CMJ を行うよりも DJ を行った方が, 膝・足関節まわりのモーメントとパワーがより大きく発揮され, それらの関節を動かす筋群により大きな刺激を与えることが可能と推定される。ただし, 台高が高くなり過ぎると筋群のみならず関筋に傷害が発生する危険性が大きくなると考えられる。

本研究の各種ジャンプでの変動係数をみてみると, CMJ の跳躍動作, SJ の跳躍動作は他の動作と比較して, 低い値を示している。DJ の跳躍動作の結果をみてみると, DJ10, DJ70, DJ90が DJ30, DJ50 に比較して高い変動係数を示す。DJ10の場合, 落下するというよりも降りるという台高のため, DJ の跳躍動作の実行が不充分になったものと考える。DJ30, DJ50 は CMJ と SJ の跳躍動作とほぼ近似した変動係数であったが, 台高がさらに高くなるにつれ, 変動係数が増大する。このことは, 台高の影響により被検者の個人差がジャンプ高の差を大きくしていることを示すものである。

図 6 に示された脚の伸張性収縮力／膝関節伸展力の比と各ジャンプでの跳躍高との相関係数をみてみると, DJ の跳躍動作時の台高が高くなるにつれ相関係数が高くなり, DJ50 のとき有意な関係が認められる。DJ70, DJ90 は 5 % 水準に近いレベルに位置する。この結果が示すことは, 50cm以上の台から DJ を行うとき, 跳躍高は膝関節伸展力 (isometric) に対する脚の伸張性収縮力の割合に影響されることを示し, このことは先に示した DJ70, DJ90 の変動係数が大きいことの説明になるといえるだろう。

この実験に参加した被検者は運動競技選手であり, 両筋力値もほとんどの者が体重以上を示した。このような選手の場合, 脚の伸張性収縮力と等尺性膝関節伸展筋力からトレーニング台高を設定することができると言える。運動選手が DJ トレーニングを行う場合, 初期の台高は伸張性収縮

力／等尺性膝関節伸展力の比に影響されない30cm前後に設定し、伸張性収縮力／等尺性膝関節伸展力の比が向上するにしたがいトレーニング台高を高くすることが望ましいと推察する。

まとめ

本研究では、5種類の台高からDJを行わせた時の跳躍高と主働筋の等尺性および伸張性収縮力との関係をもとに、傷害を起こすことなくトレーニング効果が得られる至適台高を探った。被検者として健康な男子体育専攻学生19名が参加した。

CMJの跳躍高はSJ、およびいずれのDJよりも有意に高い値を示した。DJ10を除く他の4種類のDJの跳躍高は、台高による差が認められずSJと近似した値であった。

本研究で得られた等尺性の膝関節伸展力は $76.2 \pm 14.5\text{kg}$ であり、伸張性収縮力は $80.8 \pm 15.8\text{kg}$ であった。体重に対する相対値はそれぞれ $111.2 \pm 19.7\%$ 、 $114.3 \pm 20.4\%$ であった。伸張性収縮力／膝関節伸展力の比は、 $106.3 \pm 8.4\%$ を示した。

今回の被検者について筋力値と各ジャンプ時の跳躍高との相関関係を調べてみると、伸張性収縮力／膝関節伸展力の比とDJ50の跳躍動作でのジャンプ高との間にのみ有意な関係($r = 0.481$, $p < 0.05$)が認められた。DJ70, DJ90と台高が増すと相関係数が有意水準以下になるが、CMJ, SJ, DJ10, DJ30よりも高い係数値を示した。

本研究では、DJ10を除く他のDJは台高の違いによる跳躍高の差はなく、AsumssenとBonde-Petersen, KomiとBoscoが議論している弾性エネルギーを推論することができない。

運動選手のDJトレーニングを考えた場合、初期の段階では伸張性収縮力／等尺性膝関節伸展力の比に影響されない30cmぐらいのから始め、トレーニングによりその比が向上するにしたがい台高を高くすることが望ましいと推察する。

文 献

- 1) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen : Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91 : 385-392, 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., 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Dursenev, L. I. : Strength training of jumpers. *Track Field Quart. Rev.*, 82 : 53, 1982.
- 9) 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.
- 10) 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, 1978 : University Press.
- 11) Steben, R. E. and A. H. Steben: The validity of the stretch shortening cycle in selected jumping events. *J. Spots Med.*, 21 : 28-37, 1981.

VI プライオメトリックスに関する基礎的研究 —競技種目別にみたデプスジャンプの至適回数について—

報告者 勝田 茂

研究協力者 酒井 俊郎¹⁾ 河原志津子¹⁾

緒言

アスレチックトレーニングは目的に応じて処方された負荷刺激を与え、それぞれの種目に重要な役割を果たす器官系に適応現象を起こさせ、作業能力を最大限に向上させることを目的として行われる。そしてその目標を成就するためには、負荷強度、継続時間および回数、頻度、休息時間、等を適切に組み合わせる必要があると思われる。

近年、プライオメトリックトレーニング（以下プライオメトリックスとする）は「爆発的、反動的」パワートレーニングとして注目を集め、多くの競技者やコーチ達によってその効果が確かめられているものの、処方に当たっては科学的理論による裏付けが乏しいために、経験的判断に依存する部分が多く、障害の危険性が高いことも事実である。そのため、プライオメトリックスを他のアスレチックトレーニングと同様に、より効果的に実施するための正確な指針の確立が急務となっている。

そこで本研究では、プライオメトリックスの単一応答ドリルとして様々な競技において広く行われているデプスジャンプ（Depth jump：以下DJとする）の至適回数について、競技特性の異なる競技者群を対象として、跳躍高や力学的変量、および動作分析から検討することを目的とした。

実験方法

1 被検者

被検者には、筑波大学の男子学生26名を用い

た。その内訳は、比較的頻繁にジャンプ・トレーニングを行っているグループとして、陸上競技・跳躍選手8名（走り高跳び選手5名、走り幅跳び選手3名：以下A群とする）、また競技の特徴として跳躍運動を多く含むバスケットボール選手5名、バレーボール選手5名、計10名（以下B群とする）、さらに、普段あまりジャンプ・トレーニングを行わないと思われる、テニス選手5名、バドミントン選手2名、野球選手1名、計8名（以下C群とする）とした。表1は、被検者の身体的特性および競技歴を示したものである。なおDJの動作を習熟させるために、実験試技に入る前に週3回のトレーニング（0.3mおよび0.7mの台からのDJ）を、A群には1週間、B群には2週間、C群には3週間行わせた。

2 実験試技

本研究では、被検者に約20分間の規定プログラム（ジョギング、ストレッチング、スキッピング、バウンディング、ランニング）に基づきウォームアップを行わせた後、各被検者固有のフォームで0.7mの台高からフォースプラットフォーム上に全力でDJを30回反復施行（30秒間隔）させ、それぞれの試技における跳躍高、各種力学的変量および動作様式について検討した。

先行研究からは台高について一致した見解は得られていない²⁾⁸⁾¹⁰⁾¹²⁾¹⁸⁾が、被検者の筋力および動作習熟トレーニングの結果を考慮し0.7mとした。また、セット間の休息時間における指標は示されている¹⁵⁾¹⁹⁾ものの、DJにおける1回の試技と試技の間隔についての報告はなされていない。そのため本研究では、1回のDJを終えて被検者がリ

1) 筑波大学

表1 被検者の身体特性および競技歴

| A group (n=8) | | | | | B group (n=10) | | | | | C group (n=8) | | | | |
|---------------|----------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------|-------------|-------------|-------------|---------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Subject | Age (yr) | Height (cm) | Weight (kg) | Career (yr) | Subject | Age (yr) | Height (cm) | Weight (kg) | Career (yr) | Subject | Age (yr) | Height (cm) | Weight (kg) | Career (yr) |
| S.I. | 22 | 185.8 | 76.25 | 10 | M.M. | 20 | 176.2 | 71.70 | 7 | T.I. | 23 | 165.1 | 56.95 | 3 |
| H.T. | 20 | 176.1 | 65.65 | 5 | H.I. | 19 | 175.3 | 62.20 | 8 | A.F. | 21 | 173.3 | 64.75 | 7 |
| K.N. | 20 | 177.1 | 64.40 | 5 | T.T. | 19 | 174.2 | 64.70 | 6 | H.S. | 20 | 171.3 | 69.90 | 4 |
| S.I. | 19 | 172.0 | 61.10 | 3 | H.S. | 18 | 172.0 | 73.80 | 6 | S.T. | 19 | 165.3 | 66.90 | 1 |
| T.O. | 19 | 184.0 | 75.50 | 4 | N.S. | 18 | 169.3 | 67.00 | 8 | K.H. | 19 | 161.9 | 61.10 | 4 |
| N.M. | 21 | 178.7 | 63.40 | 8 | T.I. | 19 | 169.7 | 68.30 | 6 | S.O. | 22 | 171.3 | 67.35 | 10 |
| T.K. | 20 | 173.4 | 63.40 | 2 | M.K. | 19 | 187.0 | 71.40 | 6 | H.T. | 21 | 175.9 | 64.50 | 2 |
| T.U. | 19 | 168.9 | 64.80 | 7 | H.T. | 19 | 172.8 | 65.65 | 10 | A.K. | 21 | 167.3 | 66.90 | 9 |
| mean | 20.20 | 177.0 | 66.81 | 5.5 | mean | 18.80 | 175.6 | 69.48 | 7.1 | mean | 20.43 | 168.9 | 64.79 | 5.0 |
| S.D. | 1.14 | 5.41 | 5.75 | 2.67 | S.D. | 0.63 | 5.52 | 4.79 | 1.29 | S.D. | 1.43 | 4.46 | 3.82 | 3.08 |

ラックスし、次のジャンプへ集中できるよう配慮し、試技間隔を30秒とした。反復回数については、跳躍高に変化がみられるのは約40回までであること¹⁾、またDJによる衝撃に対する被検者への安全性を考慮して30回とした²³⁾。

DJを繰り返すことによる筋力への影響を検べるために、30回の試技の前後に図1に示したような様式で等尺性最大筋力を測定した。また動的筋力の指標とするために、30回の試技の前後と、DJ10回終了後および20回終了後に、膝関節角度が90度の状態から反動動作を伴わない垂直跳:Squat Jump(以下SJとする)を行わせ、跳躍高を測定した。

なお、DJ、SJとも腕を腰部後方に組んだ状態で行った。

3 測定項目および測定方法

DJ中、以下の項目について測定した。

- 〈1〉 跳躍高
- 〈2〉 膝の最大屈曲時における地面反力
- 〈3〉 最大屈曲時における膝関節角度
- 〈4〉 着地から膝の最大屈曲までの局面: Negative phase(以下NPとする)と膝の最大屈曲から離地までの局面: Positive phase(以下PPとする)における接地時間
- 〈5〉 NPとPPにおける身体重心の変位
- 〈6〉 NPとPPにおける地面反力の平均値(平均力)

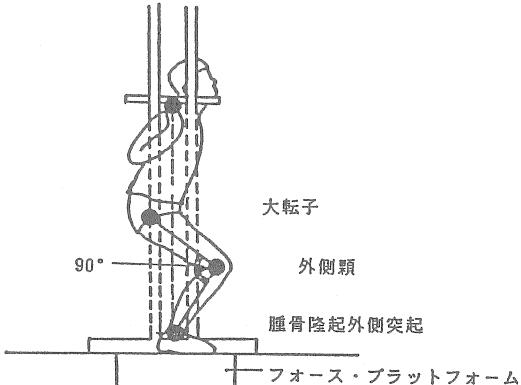


図1 等尺性最大筋力の測定様式

〈7〉 NPとPPにおける地面反力の最大値(最大力)

〈3〉を測定するために、高速度ビデオカメラ(NAC社製、HSV-200)を用いて、一連の跳躍動作を毎秒200コマで撮影した。被検者には、高速度VTRで撮影される右側の大転子、外側顆、および外果にビニールテープでマークをつけた。撮影された映像は、ビデオからモニターテレビに映し出し、マーキングしたポイント3個のX、Y座標をビデオポジションアナライザ(VPA1100)を用いて読み取った。それらをパソコン用コンピューター(NEC社製、PC9801)に入力して、膝の最大屈曲時の膝関節角度(大転子と外側顆と脛骨隆起外側突起を結ぶ線分がなす角度)を求めた。

踏み切り動作中の鉛直方向の地面反力を測定するため、フォースプラットフォーム (Kistler 社製, AG9281A) を用いた。フォースプラットフォームからの信号は、ストレインアンプ (Kistler 社製, AG9805) に送られ、A/D コンバータによって5mSec 毎に数値化した。得られた地面反力の値より膝の最大屈曲時を中心として、NP の方向と PP の方向に、次の台形公式に基づいて数値積分を行った。

$$Ft = 1/2(F1 + F2) \times \Delta t$$

Ft : 力積 (kg s)

F1 : 基準となる力 (kg)

F2 : F1の次にかかった力

Δt : F1から F2までに要した時間
(5mSec)

また膝の最大屈曲時の速度を 0 として同様に数値積分を行い、台からの着地時、および PP 直後の離地時の速度を次の式に基づいて求めた。

$$V2 = Ft/m + V1$$

V2 : 速度 (m/sec)

V1 : 基準となる速度 (m/sec)

m : 被検者の体重 (kg)

さらに求められた速度を積分して、着地時、および離地時の変位を求めた。また離地時の速度から、次の式に基づいて跳躍高を算出した。

$$H = V^2/2g$$

H : 跳躍高 (m)

V : 離地時の速度 (m/sec)

g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

SJ では DJ と同様に、基線 (被検者の体重レベル) が立ち上がった時点から、踏み切り足が地面を離れて基線に戻るまでの地面反力を5mSec 毎に記録し、膝関節角度を90度に保っている状態を 0 として数値積分を行い、離地時の速度を求め、その値から跳躍高を算出した。また等尺性最大筋力は、地面反力の信号をもとに力の最大値を求めた。

4 各群間の差の検定には、一元配置の分散分析を用い、5 % および 1 % 以下の危険率を有意水準とした。

結 果

1 跳躍高

図 2 には、30回の DJ における跳躍高を 5 回ごと (I : 1 ~ 5 回, II : 6 ~ 10 回, III : 11 ~ 15 回, IV : 16 ~ 20 回, V : 21 ~ 25 回, VI : 26 ~ 30 回) に平均し、グループ別に示した。A 群では 0.31 ~ 0.33m の間で比較的安定していたが、V 以降若干低下した。B 群では 0.31 ~ 0.32m の間で安定しており、低下傾向は認められなかった。C 群では II で一度低下するなど、比較的変動が大きく全体的に不安定であった。また A 群と B 群は C 群と比べ、どの局面においても有意に高い値 ($P < 0.05$) を示した。

2 膝関節の最大屈曲時における地面反力

図 3 には、膝の最大屈曲時における地面反力を体重に対する相対値として 5 回ごとに平均し、グループ別に示した。A 群では初期値 (I) は体重の約 6.3 倍であったが、回数が重なるごとに徐々に増加し、IV の時が最も高く体重の約 6.8 倍の力を発揮し、以後やや低下する傾向を示した。B 群では I で体重の約 3.9 倍、最高で約 4.2 倍 (IV) とわずかに増加したがほぼ 4 倍前後で安定していた。C 群では IV でやや減少したものの他の局面では 4.8 ~ 4.9 倍と大きな変化はみられなかった。またどの局面においても、A 群は他の 2 つの群よりも有意に高い値 ($P < 0.01 \sim 0.05$) を示した。

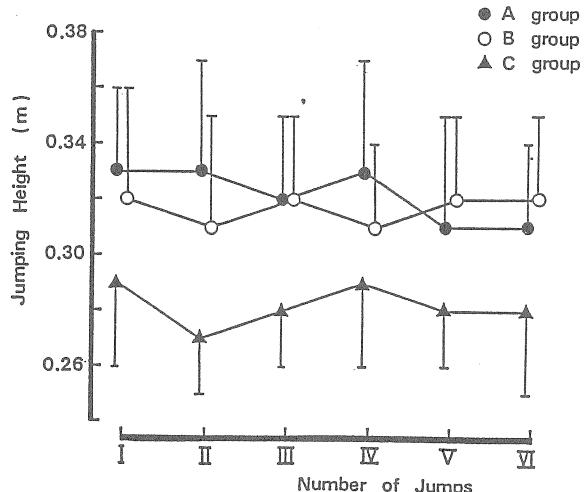


図 2 跳躍高の変化

3 最大屈曲時における膝関節角度

図4には最大屈曲時における膝関節角度を5回ごとに平均し、グループ別に示した。膝関節角度は伸張時を180度としており、この値が大きいほど動作の振幅が小さいことを表している。A群ではIで約117度、その後は119度前後で安定していたが、IVで再び約117度となり減少傾向を示した。B群ではIからIVまでは105度から107度の間で大きな変化はみられなかったが、V以降減少する傾向にあった。C群ではIIの時に最も大きく、それ

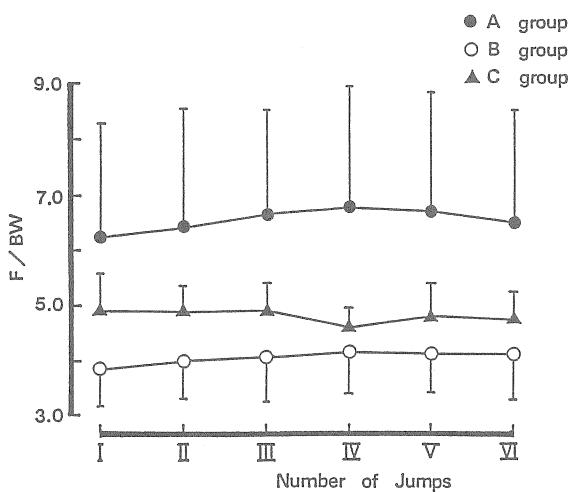


図3 膝関節の最大屈曲時における体重当りの地面反力

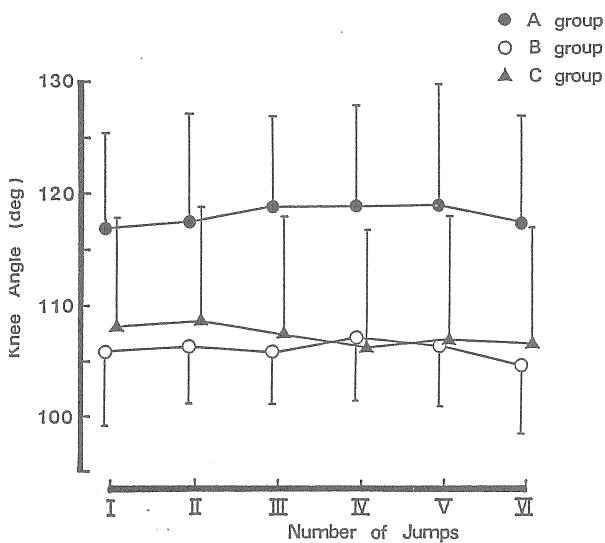


図4 最大屈曲時における膝関節角度

以降は減少傾向を示した。またどの局面においてもA群はB群よりも1%水準で、またC群よりも1%~5%水準で有意に大きかった。

図5は、それぞれA・B・C群の最大屈曲時の膝関節角度を各被検者別に示している。A群では被検者間では値の幅が大きいものの、多くの被検者でIVあるいはVまで反復回数に伴って膝関節角

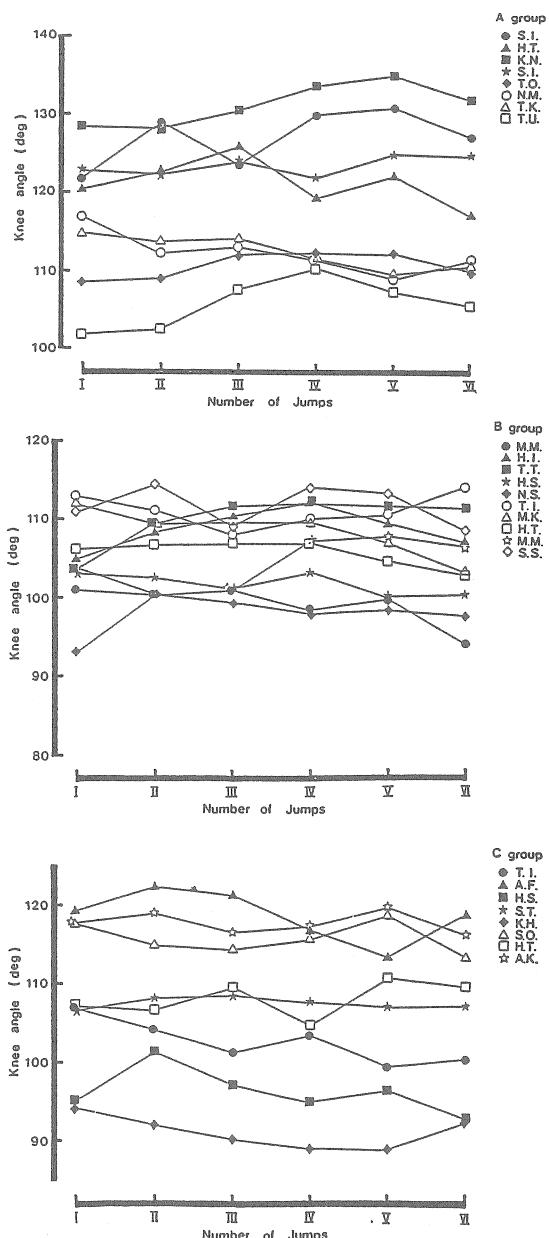


図5 各被検者における膝関節角度

度も増大し、IVで低下する傾向がみられた。B群ではIV以降やや低下する傾向がみられたものの各被検者とも終始安定していた。またC群では終始一定の値を示したものもいれば、最大と最小の差が大きいものもあり、全体として一定の傾向は認められなかった。

4 接地時間

図6には、接地時間をNPとPPに分け、それぞれ5回ごとに平均し、グループ別（A群—a、B群—b、C群—c）に示した。A群では、個人によって差がありばらつきが大きかったが、NPおよびPP両局面とも、DJの回数が増加しても大きな変化はみられず安定していた。B群では両局面において、IVまで短くなりそれ以降はやや長くなる傾向を示した。C群では両局面ともIV以降やや長くなる傾向を示した。またNPは全ての局面においてA群がB群よりも1%水準で有意に短く、C群はB群よりも5%水準で有意に短かった。PPでも同様にA群がB群よりも1%水準で有意に短く、C群もIIIまではB群よりも有意（ $P < 0.01$ ）に短かった。

5 身体重心の変位

図7には、NPおよびPPにおける身体重心の変位を、それぞれ5回ごとに平均し、グループ別（A群—a、B群—b、C群—c）に示した。このパラメーターは膝の最大屈曲時を身体重心の最下点（0）とし、飛び降りてからどの程度沈み込んだか（NP）、あるいは踏み切るまでどの程度伸び上がったか（PP）を表している。A群では個人差が大きく特にPPでそれが顕著であった。DJの回数の増加に伴う変化はNP、PPともみられず、NPで0.13m前後、PPで0.22~0.23mとほぼ一定の値を示した。B群でもNPで0.16~0.17m、PPで0.29~0.31mと比較的安定していた。C群では偏差が大きく個人差があることが伺えるが、NPで0.15~0.16m、PPで0.24~0.26mと大きな変化はみられなかった。またNPではA群がB群よりも1%水準で小さく、C群よりもIを除く5つの局面で有意（ $P < 0.01 \sim 0.05$ ）に小さかった。PPでは全ての局面でB群が他の群よりも1%水準で大きいことが示された。

6 平均力

図8には、NPおよびPPにおける地面反力の総量を要した時間で除した各局面の平均の力（平均力）を、体重に対する相対値で5回ごとに平均し、グループ別（A群—a、B群—b、C群—c）に示した。

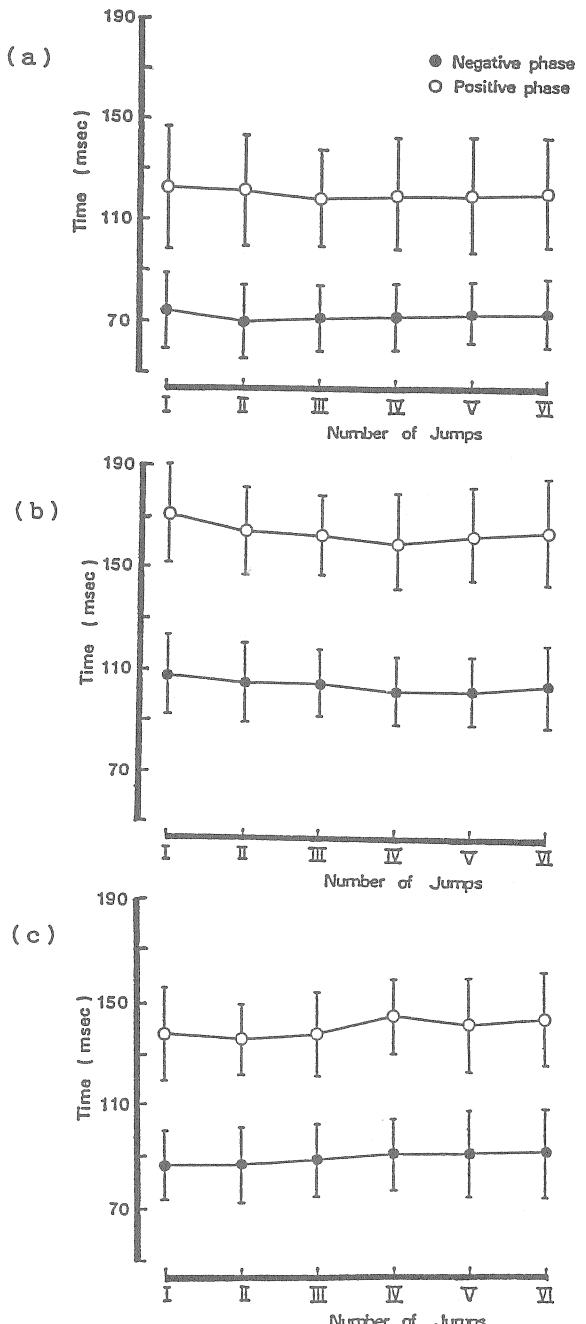


図6 接地時間の変化

c) に示した。A群では個人差が大きかったものの、グループの平均値では全局面を通じてNPで4.78~4.90倍、PPで3.30~3.35倍と、比較的安定していた。B群ではA群と比べて個人差は小さく、NPで3.65倍前後、PPで2.65倍前後とはほぼ一定であった。C群でもNPで4.19~4.37倍、

PPで2.78~2.88倍と大きな変化はみられなかつた。また各群を比較してみると、どの局面においてもA群が他の群より有意 ($P < 0.01 \sim 0.05$) に大きく、IではC群もB群より5%水準で有意に大きかった。

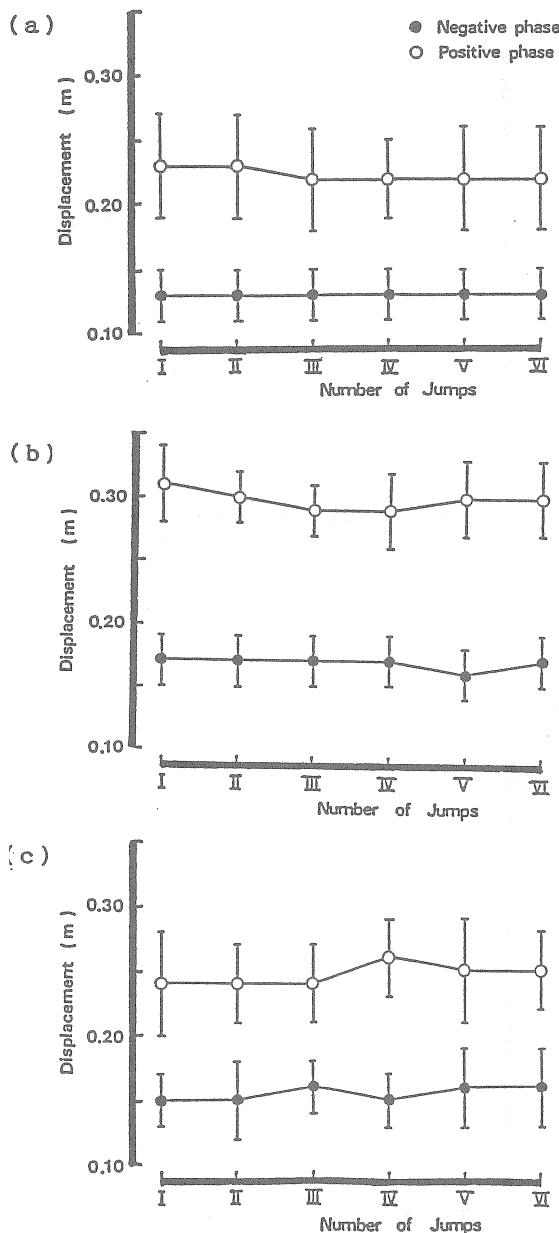


図7 身体重心の変位の変化

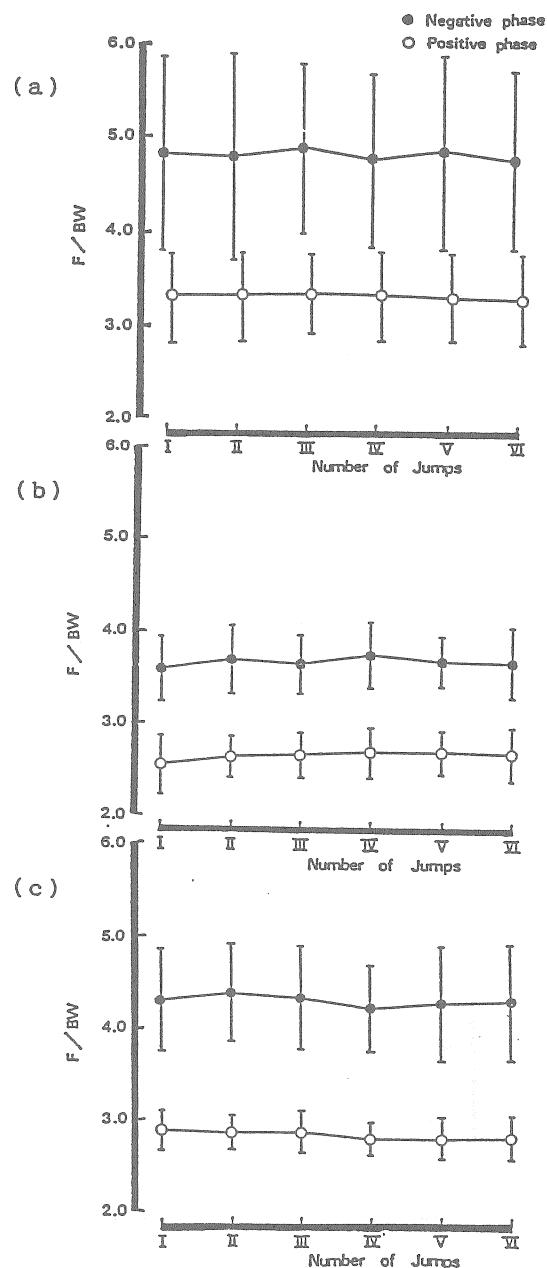


図8 体重当りの平均力の変化

7 最大力

図9には、NPおよびPPにおける地面反力の最大値（最大力）を、体重に対する相対値で5回ごとに平均し、グループ別（A群—a, B群—b, C群—c）に示した。A群ではNPでI以外では約9倍、PPで約6倍であった。B群ではNPのVIでやや増加したが、その後は初期値と同じ約7倍、またPPは4.3倍前後で安定していた。

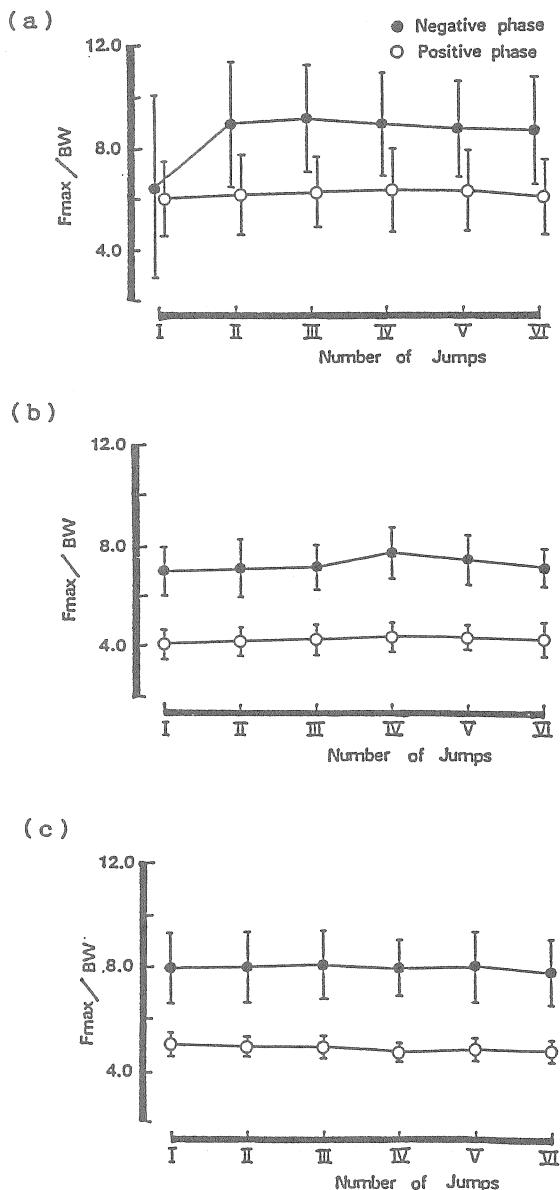


図9 体重当りの最大力の変化

C群ではNPで約8倍、PPで約5倍であり大きな変化はみられなかった。またA群は他の群と比べて個人差が大きかったが、PPはどの局面においても他の2群と比べて有意（P < 0.01~0.05）に大きな値を示し、NPはIV, Vを除く4つの局面でもB群より有意に大きい値を示した。一方B群は個人差が小さく、3群の中で最も小さな値を示した。

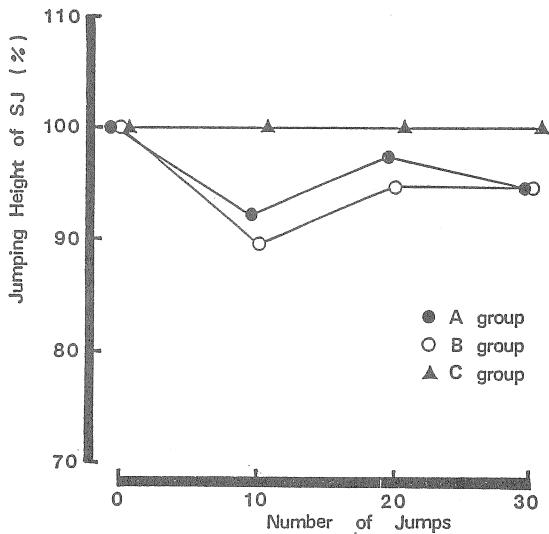


図10 スクワットジャンプにおける跳躍高の変化

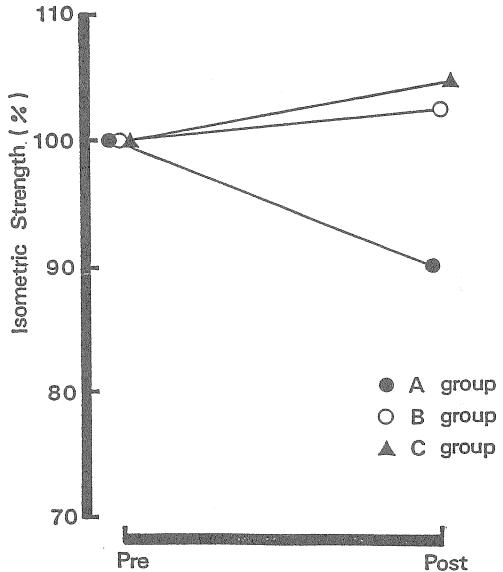


図11 等尺性最大筋力の変化

8 等尺性最大筋力およびスクワットジャンプにおける跳躍高

図10には、DJ 前に行った SJ の跳躍高を100%として、DJ10回終了後、20回終了後、30回終了後の跳躍高の割合を示した。A群では10回終了後で初期値の92.1%まで低下したものの、20回終了後では97.4%となり、最終的には94.7%となつた。B群でもA群とほぼ同様の傾向にあり10回終了後で初期値の89.5%と低下し、20および30回終了後では94.7%を示した。C群ではDJの反復回数には影響されず、ほぼ一定の値を示した。

また図11には、DJ 前に測定した等尺性最大筋力 (pre) を100%として、30回のDJ 後に測定した値 (post) の割合を示した。A群ではDJ後10%の低下がみられたが、B、C群ではそれぞれ2.4%，4.6%の上昇を示した。

考 察

プライオメトリックスの負荷様式は「反動的動作による主働筋群の急速な強制伸張で運動の始まりから大きな張力を生み出しておき、即座に爆発的な短縮性収縮に切り換え最大の短縮力を生み出す」もの¹⁴⁾であり、高い運動強度は重要な要素である。そのためこのトレーニングを行うとき、外力により筋骨格系の大部分が瞬間に極度の負荷にさらされ障害の危険性が高くなる。コーチ達の中には「得るものよりもリスクの方が大きい」という理由から、プライオメトリックスに異論を唱える者もいる⁹⁾。それに対してプライオメトリックスの理論的、実践的研究者達は「このトレーニングは、適切に正しい方法で行えば決して他の運動プログラムやスポーツと比べて危険性の高いものではない。」としていくつかの実施の指針を示している。

Radcliffe と Farentinos¹⁹⁾はプライオメトリックスを処方する際の留意点として、負荷（量と距離）、時間および空間的（動きの大きさ）配慮をしたオーバーロードが必要であると述べている。このオーバーロードはDJでは飛び降りる高さや用いるウェイトの重さ、そして移動距離（振幅）によって規定することができる。また反復回数については1セッション中40回より多くしてはいけ

ないこと、1セット8回から10回の範囲で3セットから6セット実施することを推薦している¹⁹⁾²³⁾。そして反復回数はドリルの強さだけではなく競技者のコンディションや、各自の反復の実施状態および実施結果などを評価して決定しなければならないが、目的とする動作が正確に行えなくなればその時点で中止すべきであると結語している¹⁹⁾。しかしこれらはいずれも経験に頼るものが多く、理論的に裏付けようとした報告は少ない¹¹⁾。

本研究のDJにおける動作様式には各群間で特徴的な傾向が示された。A群のDJの特徴として、接地時間が短いこと、膝の最大屈曲時における地面反力および膝関節角度が大きく、身体重心の変位が小さい（動作の振幅が小さい）ことが示された（図3，4，5，6，7）。これらのことから跳躍選手のDJは、エキセントリックな局面（NP）からコンセントリックな局面（PP）への切り換えが速いリバウンドタイプ⁴⁾¹⁵⁾の跳躍であるといえる。また振幅動作が小さいほど弾性エネルギーの利用率は高くなるという報告²¹⁾から、このタイプの跳躍はエキセントリックな局面で蓄えられた弾性エネルギーを、コンセントリックな局面で効率的に利用しているであろうと考えられる。その他の特徴としては、地面反力の平均値（平均力）、および最大値（最大力）が大きいことがあげられる。これは接地時間が短く運動の振幅が小さい時は、大きな力を得られるという報告⁵⁾⁶⁾と一致している。したがってA群では、落下時の衝撃力を反動的にそのままコンセントリックな局面で利用していると考えられる。

B群のDJの特徴として接地時間が長いこと、膝の最大屈曲時における地面反力および膝関節角度が小さく、身体重心の変位が大きい（動作の振幅が大きい）こと、さらに平均力、および最大力が小さいことなどが示された（図3，4，5，6，7，8，9）。これらのことから本研究の球技選手は、着地してから十分に沈み込んで、コンセントリックな局面で大きな力を発揮する（コンセントリックな収縮を中心の）プレスタイル⁴⁾¹⁶⁾の跳躍形態であるといえる。この様な動作様式は落下衝撃を和らげ身体を保護するという意味にお

いて合目的的であり、競技時間が長くジャンプの回数が多いという球技の特性を反映しているものと考えられる。

またC群の特徴として、B群と比較して地面反力（平均力、最大力）が大きい傾向を示した（図8、9）にもかかわらず、跳躍高は他の2群よりも有意に低い値を示したことがあげられる。このことは、跳躍時に部位から部位へのエネルギーの伝達効率が動作の巧拙によって変化するという報告¹³⁾¹⁷⁾により説明できると思われる。

以上のようにスポーツ種目によってDJの動作様式が異なるのは、長年に渡るトレーニングによって各種目毎に合目的的な動作を習得した結果であると思われる。このことからDJを行う際、膝関節の屈曲を大きくしたり長い踏切動作を意図することでいろいろな種目のトレーニング（プライオメトリックスの狙いとは別のトレーニングになると考えられるが）として用いられうると思われる。しかし特定のプライオメトリックス運動の処方は競技者自身の望むパフォーマンスの目標により決定されるという報告¹¹⁾¹⁹⁾²²⁾から、DJを処方した時に動作様式を管理して行わないと適切な効果が得られないばかりか障害の危険性もあることが示唆されている。

Bobbertら³⁾はDJをトレーニング様式として実施する際、動作様式はその効果の大きな影響因子になるとして、沈み込みの大きいDJと小さいDJとの比較を行った。その結果、沈み込みの大きいDJの方が膝や足関節のモーメントおよびパワー出力が大きかったことから、力やパワー向上のためのトレーニング刺激として適していることを示唆した。またThysら²¹⁾およびBoscoとKomi⁴⁾も沈み込みの小さいDJの方が弾性エネルギーの利用効率が良く高いパワーが発揮できることを示唆しており、跳躍競技の踏切動作にみられるような爆発的筋力の改善に役立つことが予想される。

反復施行に伴う変化を各種パラメーターについてみてみると、A群では跳躍高が20回を過ぎて若干低下する傾向が認められた（図2）。また最大屈曲時の膝関節角度からみると、25回を超えるとやや沈み込みが深くなり、負荷（落下衝撃）に耐

える力が弱くなる傾向を示した（図4、5）。跳躍選手では、走り高跳びや走り幅跳びの踏み切り時のように極めて短い時間内に大きなパワーを発揮する能力を獲得すること²⁰⁾、あるいは踏み切り時の衝撃に抗して即座に爆発的な筋力やパワーを発揮する能力を得ること²⁵⁾などが、DJをはじめとするプライオメトリックスの目的であると考えられるため、踏み切り動作を意識的にとらえることが必要となってくる。このことから跳躍選手では、跳躍高のみならず接地時間あるいは膝関節角度を指標として、トレーニング回数を設定すべきであると考えられる。本研究からは、跳躍選手におけるDJの至適回数は、跳躍高がIV以降低下する傾向にあること、膝関節角度がV、VIで減少していることから20～25回以内であることが示唆された。

B群においてもDJの反復施行に伴う各種パラメーターの有意な変化はみられなかったものの、膝関節角度についてみると、IVでわずかではあるが増加する傾向にあり、動作の振幅が小さくなっていることが示された。しかしそれ以降は再び角度が小さくなっている。膝関節角度が大きくなるのは、あまり深く沈み込んでしまうと負荷に耐えられず体勢が崩れる恐れがあることから、疲労してきたことの現れであると考えられる。また再び小さくなるのは、膝関節角度を大きくしていくても着地による負荷に耐えられなくなった時の状態ではないかと思われる。また接地時間（PP）についても同様で、膝関節角度が大きくなった時は短くなり、逆に膝関節角度が小さくなった時は長くなっている（図4、6）。しかし球技選手の場合、種目特性を考慮すると膝関節角度の大小あるいは接地時間の長短にかかわらず、「より高い跳躍高を得ることが最も重要なこと」⁸⁾ではないかと考えらる。したがって球技選手では、主に跳躍高を指標としてDJの至適回数を決めることが望ましいと思われる。しかし30秒間隔で30回反復施行という形式の本研究では、これらの選手の跳躍高に低下傾向は認められなかった（図2）。そのため今後の研究において台高、休息時間および運動様式等を変えた形式のDJを行わせ、検討する必要があると思われる。C群で

は、跳躍高がIIで一度低下したもののが再び上昇するなど変動が大きくて不安定だったこと、膝関節角度が初期の段階で低下傾向を示したこと、膝の最大屈曲時における地面反力や平均力、最大力に關しては、どの局面においてもA群より小さく、B群より大きいことなどが示された。村木¹⁷⁾は強度の高いプライオメトリックスを行う前に導入トレーニングとして自己の体重のみを負荷とした跳躍運動、次いでウェイト・トレーニング、そして軽い重量負荷を加えての跳躍運動へと、段階的なトレーニングを行わなければならぬと述べている。以上のことから、跳躍運動に慣れていないと思われるC群に關しては、0.7mの台高から飛び降りた時の負荷が大きすぎたため、膝関節角度において初期の段階で低下傾向を示したと思われる。

等尺性最大筋力については、A群では30回のDJ終了後、筋力の低下がみられたが、B群およびC群ではDJ前よりDJ後の方が大きな筋力を発揮した。プライオメトリックスの効果は神経系が改善されることで、具体的には活動に参加する運動単位の増加、あるいは活動に参加する諸筋群の協調性の向上などがあげられる²⁴⁾。また Boscoら¹⁸⁾は、正確な運動動作のトレーニングを行うことによって、神経筋のパターン化がなされると報告している。このことから、普段大きな負荷をかけた衝撃法トレーニングを行うことの少ないB群とC群では、30回のDJによって神経系の改善がなされたのかもしれないと推察される。しかし、一過性の運動によってこのようなトレーニング効果が得られるのかについては明かではなく、さらに研究が必要である。

本研究において同じ負荷条件で各群の被検者に固有のフォームでDJを反復施行させた結果、動作様式が著しく異なっていたことと共に、各種パラメーターにおいて個人差が大きいことが認められた。特にA群でそれが顕著だったのは、同じ跳躍種目ながら動作種式の異なる走り高跳びと走り幅跳び選手を一つの群としてまとめたためであると考えられる。また他の二群においても個人間ににおいて過去の運動経験に起因すると思われる差が認められた。これらのこととは、各被検者が長年に

わたるトレーニングによって各種目毎に合目的的な動作を獲得してきた結果であろうと考えられる。

以上のことから、DJをトレーニングドリルとして用いる際には動作様式を管理して行うこと、至適回数は競技種目の特性、個人の跳躍技能や筋力レベルを考慮して決めることが、適切な効果を得、障害を防止する意味においても重要であることが示唆された。

総 括

本研究では、プライオメトリックスにおけるデプス・ジャンプの至適回数について検討することを目的とした。

被検者には筑波大学の男子学生26名（A群：陸上競技・跳躍選手8名、B群：バスケットボール選手5名、バレーボール選手5名、計10名、C群：テニス選手5名、バドミントン選手2名、野球選手1名、計8名）を用いた。各被検者には（固有のフォームで）0.7mの台高からフォースプラットフォーム上に、全力でデプス・ジャンプを30回反復施行（30秒間隔）させ、跳躍高および力学的变量を測定した。

結果は次の通りである。

(1) 跳躍高は、A群では20回以降若干低下すること、B群では比較的変化の少ない安定した跳躍がみられたこと、C群では変動の大きいことが示された。A群とB群はC群と比べ、どの局面においても有意に高い値を示した。

(2) 地面反力（膝関節の最大屈曲時、平均力、最大力）はどの局面においてもA群は他の群より有意に大きかった。

(3) 最大屈曲時の膝関節角度は、A群は25回以降減少する傾向にあり、また他の群よりどの局面においても有意に大きかった。B群は20回まで増加し、それ以降減少する傾向にあった。C群は初期の段階で減少する傾向を示した。

(4) 接地時間については、着地から膝の最大屈曲まで、および膝の最大屈曲から離地までの両局面においてA群がB群よりも有意に短く、C群もB群より短い傾向にあった。

(5) 身体重心の変位は、B群が他の二群よりも

有意に大きかった。

以上の結果から、デプス・ジャンプをトレーニングドリルとして用いる場合の至適回数は、跳躍選手では膝関節角度および跳躍高を指標とすると、20~25回以内であることが示された。また球技選手などについては跳躍高や力学量に変化が認められなかったため、至適回数を明らかにすることはできなかった。また各群間で運動様式が大きく異なることから、各自の目的に応じた動作様式を管理して行う必要があることが示唆された。そして技能や筋力レベルについても十分考慮してトレーニングに臨むことが大切であると考えられる。

参考文献

- 1) 新井重信, 田島東海男, 大高敏弘, 福留彰教, 木村昌彦, 木島晃, 片尾周造, 村松茂, 野坂和則: 反復ドロップ・ジャンプに伴うパフォーマンスの変化について. 日本体育学会神奈川支部会紀要, 19: 6-12, 1986.
- 2) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen: Storage of elastic energy in skeletal muscle in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91: 385-392, 1974.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) Bosco, C. and P. V. Komi: Influence of countermovement amplitude in potentiation of muscular performance. *Biomechanics*, 7: 129-135, 1981.
- 6) Bosco, C., P. V. Komi, and A. Ito: Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.*, 111: 135-140, 1981.
- 7) Bosco, C., P. V. Komi, M. Pulli, C. Pittera and H. Montonev: Considerations of the training of the elastic potential of the human skeletal muscle. *F. I. V. B. official Magazine*, 2: 22-30, 1981.
- 8) Brown, M. E., J. L. Mayhew and L. W. Boleach: Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 26: 1-4, 1986.
- 9) Brzycki, M.: Plyometrics: A giant step backwards. *Ath. J.*, 66: 22-23, 1986.
- 10) Katchajov S., K. Gomberaze and A. Revson: Rebound jumps. *Modern Athlete and Coach*, 14: 23, 1976.
- 11) 木島晃, 田島東海男, 大高敏弘, 福留彰教, 新井重信, 野坂和則, 村査茂, 片尾周造: ジャンプ・トレーニングの周辺—プライオメトリックの負荷様式を中心として—. 日本体育学会神奈川支部会紀要, 18: 1-19, 1985.
- 12) 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.
- 13) Luhtanen, P. and P. V. Komi: Segmental contribution to force in vertical jump. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 38: 181-188, 1978.
- 14) 村木征人: 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, 1985.
- 15) 村木征人: 跳躍競技者の専門的筋力トレーニングの理論と実際—上級ジャンパーの競技力向上を目指して—. 月刊陸上競技, 19: 190-196, 1985.
- 16) 村上征人: プライオメトリック・トレーニングの基礎. トレーニング・ジャーナル, 8 (5): 28-29, 1986.
- 17) 小野三嗣, 高橋泰光, 木村一彦, 原田邦彦, 生田香明, 宮本洋子, 笹部桂子: 垂直跳び及び立幅跳の練習効果に関する筋電図学的研究. 体力科学, 16: 45-56, 1967.
- 18) 大高敏弘, 田島東海男, 福留彰教, 片尾周

- 造, 村松茂, 木島晃: 異なる台高からのドロップ・ジャンプと床反力との関係。防衛大学紀要, (体育学編) 50: 229-242, 1985.
- 19) ラドクリフ, J.C., ファレンチノス R.C. (村松茂, 野坂和則訳): 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, 1987.
- 20) タンスレーション: 短距離・跳躍のトレーニング・コーチング。陸上競技マガジン, 36: 178-182, 1986.
- 21) Thys, H., G. A. Cavagna and R. Margaria: The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. Pflügers Arch., 354: 281-286, 1975.
- 22) Verhoshanski, Y.: Perspectives in the improvement of speed-strength preparation of jumpers. Track & Field, 9: 11-12, 1966.
(Translated in Yessis review of Soviet physical education and sport, 4 (2): 28-34, 1969.)
- 23) Verhoshanski, Y.: Are depth jumps useful?. Tarck & Field, 12: 9, 1967. (Translated in Yessis review of Soviet physical education and sport, 3 (3): 75-78, 1968.)
- 24) 湯浅景元: プライオメトリック・トレーニング。トレーニング・ジャーナル, 8: 72-74, 1986.
- 25) Wilt, F.: Plyometrics. What it is. How it works. Ath. J., 55: 89-90, 1975.

VII 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

報告者 高松 薫

研究協力者 宮坂 雅昭¹⁾ 図子 浩二¹⁾ 石島 繁¹⁾

緒 言

各種のスポーツトレーニングでは、プライオメトリックスの一つであるデプスジャンプを、跳躍技術の改善、あるいは脚の筋力、パワーの養成のために積極的に用いるようになってきた。デプスジャンプトレーニングを安全に、しかも合理的に行うためには、トレーニングで用いる至適台高（至適強度）、1セットの至適回数と至適セット数、1度または1日のトレーニングにおける至適時間帯、1週間のトレーニングにおける至適頻度数と至適間隔、1年間の各期のトレーニングにおける至適な取り入れ方、トレーニングの至適開始年齢などを、このトレーニングの目的とも関連づけて明らかにすることが重要である。

しかし、デプスジャンプをトレーニング手段として用いる場合には、一方においてデプスジャンプの合理的な技術についても明らかにしておくことが重要である。

そこで本研究では、デプスジャンプの台高の上昇にともなう跳躍高と踏切各局面の力学量の変化、および各台高における跳躍高と踏切各局面の力学量との関係について検討した。

方 法

1. 被検者

被検者にはT大学女子ハンドボール競技選手14名を用いた。被検者の年齢、身長、体重の各平均値は 20.6 ± 1.1 歳、 1.64 ± 0.04 m、 58.2 ± 4.2 kgであった。これらの被検者は、鍛錬期にパワートレ

ーニングの一つとしてデプスジャンプを行っていた。

2. 測定項目および測定法

被検者に、0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1mの台高から全力でデプスジャンプを行わせた。腕および脚の反動振込み動作は被検者の固有の方法で行わせた。各台高からのデプスジャンプの実施順序はアトランダムとした。また被検者に、両腕を水平にあげた姿勢から、腕および脚の反動動作を用いる垂直跳（CMJ）を全力で行わせた。このCMJを台高0mからのデプスジャンプとした。

踏切中の地面反力をフォースプレート（キスラー社製）を用いて測定した。5msecごとに記録した力から、①着地時点における身体重心（CG）の速度、②沈み込みの局面における時間、変位、平均力、最大力、③踏切中のCGの最下時点における力、④立ち上がりの局面における時間、変位、平均力、最大力、⑤離地時点におけるCGの速度およびそれから求めた跳躍高、などを求めた（図1）。

また、跳躍フォームをハイスピードカメラを用いて200コマ／秒で撮影した。得られた画像から、①着地時点から踏切中のCGの最下時点までの時間、②踏切中のCGの最下時点における膝関節角度、などを求めた（図1）。①は力の波形との同期化のために用いた。

試技はデプスジャンプ、CMJとともに原則として2回ずつ行わせ、跳躍高の高い試技の結果を成績として用いた。

1) 筑波大学

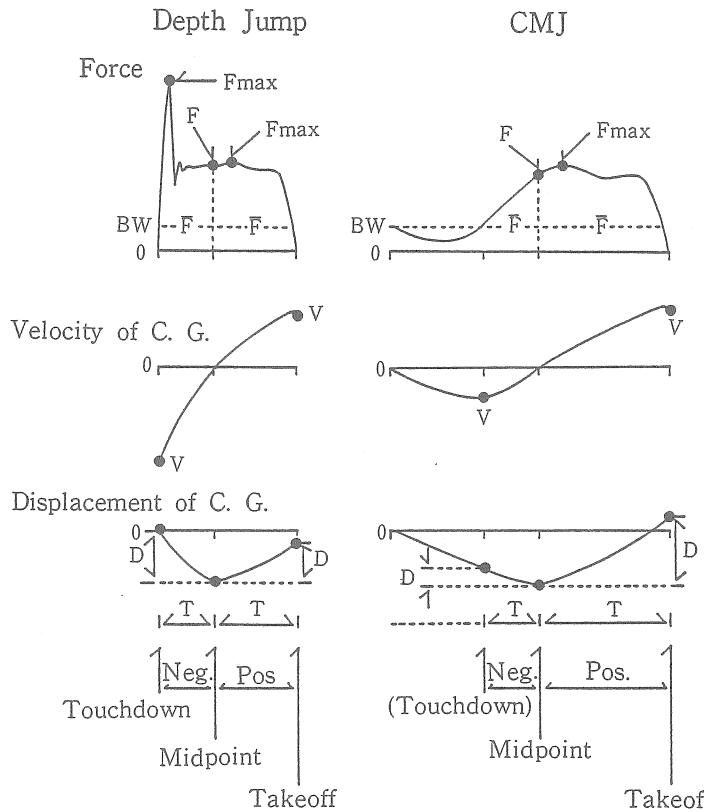


図1 デプスジャンプおよび反動垂直跳(CMJ)において分析した項目

Touchdown: 着地時点
 Midpoint: 身体重心の最下点
 Takeoff: 離地時点
 Neg.: 沈み込みの局面
 Pos.: 立ち上がりの局面
 Fmax: 最大力
 F: 平均力
 V: 身体重心の速度
 D: 変位
 T: 時間
 BW: 体重

結果

1. 台高の上昇とともにデプスジャンプの跳躍

高と踏切各局面の力学量の変化

表1, 図2に、各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の平均値を示した。図2は各変量とともにCMJに対する比で示した。なお、2.1mからのデプスジャンプが可能であった被検者は1名のみであった。

① 跳躍高

跳躍高は、0.3mからのデプスジャンプで最大値が出現した。0.3m以上では台高が高くなるにつれて若干小さくなり、0.9m以上ではCMJよ

りも小さくなつた。離地時点におけるCGの速度でみると、0.3, 1.8mの場合はCMJの1.04±0.16, 0.68±0.17倍であった。

② 着地時点におけるCGの速度

CGの速度は、台高が高くなるにつれて著しく大きくなつた。0.3, 1.8mにおける速度はCMJの1.74±0.57, 3.70±1.16倍であった。なおCMJの値には、踏切中の下方への速度の最大値を用いた(図1)。

③ 沈み込みの局面における時間、CGの下方への変位、平均力および最大力

時間は、0.3mからのデプスジャンプで最小値が出現した。0.3m以上では台高が高くなるにつ

表1 デプスジャンプにおける跳躍高と踏切各局面の力学量

| Dropping height m | N | Jumping height m | Touchdown | | Negative phase | | | Takeoff Velocity of C.G. m/s |
|----------------------|----|---------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | | | Velocity of C.G. m/s | Time msec | Displacement of C.G. m | Average force /Body weight | Maximum force /Body weight | |
| 0(CMJ) | 14 | 0.276±0.026 | -0.62±0.14 | 220±62 | 0.17±0.03 | 1.89±0.13 | 3.14±0.41 | |
| 0.3 | 14 | 0.283±0.046 | -1.01±0.16 | 151±47 | 0.18±0.07 | 2.32±0.19 | 5.06±0.95 | |
| 0.6 | 14 | 0.270±0.044 | -1.30±0.15 | 170±41 | 0.22±0.08 | 2.41±0.16 | 7.61±1.54 | |
| 0.9 | 14 | 0.258±0.055 | -1.62±0.16 | 190±41 | 0.28±0.07 | 2.50±0.19 | 9.40±1.67 | |
| 1.2 | 11 | 0.235±0.077 | -1.85±0.14 | 212±42 | 0.33±0.08 | 2.51±0.20 | 11.83±2.53 | |
| 1.5 | 11 | 0.228±0.073 | -2.00±0.15 | 221±17 | 0.36±0.08 | 2.55±0.08 | 13.53±3.88 | |
| 1.8 | 13 | 0.181±0.048 | -2.10±0.21 | 232±24 | 0.41±0.10 | 2.61±0.16 | 15.18±3.56 | |
| 2.1 | 1 | 0.246 | -2.33 | 195 | 0.41 | 2.91 | 14.89 | |

| Dropping height m | Midpoint | | | Positive phase | | | Takeoff Velocity of C.G. m/s |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | Force /Body weight | Knee angle deg | Time msec | Displacement of C.G. m | Average force /Body weight | Maximum force /Body weight | |
| 0(CMJ) | 3.14±0.41 | 64.6±10.3 | 547±89 | 0.48±0.07 | 1.71±0.09 | 3.36±0.28 | 1.21±0.12 |
| 0.3 | 3.90±0.46 | 95.4±11.3 | 221±34 | 0.34±0.06 | 2.24±0.18 | 3.91±0.47 | 1.25±0.21 |
| 0.6 | 3.54±0.25 | 88.6±13.7 | 258±39 | 0.39±0.08 | 2.16±0.12 | 3.59±0.30 | 1.20±0.20 |
| 0.9 | 3.52±0.33 | 84.0±18.0 | 276±61 | 0.40±0.12 | 2.17±0.12 | 3.54±0.32 | 1.14±0.24 |
| 1.2 | 3.40±0.54 | 72.6±16.9 | 296±63 | 0.38±0.17 | 2.12±0.13 | 3.46±0.46 | 1.04±0.34 |
| 1.5 | 3.54±0.75 | 55.1±18.5 | 335±39 | 0.47±0.16 | 2.07±0.12 | 3.73±0.89 | 1.01±0.32 |
| 1.8 | 3.94±0.69 | 46.4±14.5 | 367±42 | 0.44±0.11 | 2.02±0.10 | 3.96±0.68 | 0.83±0.19 |
| 2.1 | 4.69 | 36.4 | 325 | 0.48 | 2.11 | 4.69 | 1.09 |

れて若干長くなったが、1.2mまではCMJよりも短かった。0.3, 1.8mにおける時間は、CMJの0.73±0.28, 1.14±0.29倍であった。なお、CMJの値には、沈み込みの局面において体重以上の力を発揮した区間の時間を用いた(図1)。

CGの下方への変位は、台高が高くなるにつれて大きくなかった。0.3, 1.8mにおける変位は、CMJの1.06±0.42, 2.45±0.82倍であった。なおCMJの値には、時間と同じように、体重以上の力を発揮した区間の変位を用いた(図1)。

平均力は、台高が高くなるにつれて若干大きくなつたが、台高間の差はわずかであった。しかし、いずれの場合もCMJよりも大きく、0.3, 1.8mにおける平均力はCMJの1.23±0.11, 1.39±0.11倍であった。

最大力は、台高が高くなるにつれて著しく大きくなつた。0.3, 1.8mにおける最大力はCMJの1.63±0.32, 4.91±1.48倍であった。なおCMJの値には、後述するCGの最下時点の力を用い

た。

④ CGの最下時点における力および膝関節角度

力は、0.3, 1.8mからのデプスジャンプで最大値が出現したが、台高間の差はわずかであった。しかし、いずれの場合もCMJよりも大きく、0.3, 1.8mにおける力はCMJの1.25±0.15, 1.25±0.19倍であった。

膝関節角度は、0.3mからのデプスジャンプで最大値が出現した(膝曲げは最も浅い)。0.3m以上では台高が高くなるにつれて小さくなつた(膝曲げは深くなつた)が、1.2mまではCMJよりも大きい値であった(膝曲げは浅い)。0.3, 1.8mにおける膝関節角度は、CMJの1.55±0.49, 0.71±0.23倍であった。

⑤ 立ち上がりの局面における時間、CGの上方への変位、平均力および最大力

時間は、0.3mからのデプスジャンプで最小値が出現した。0.3m以上では台高が高くなるにつ

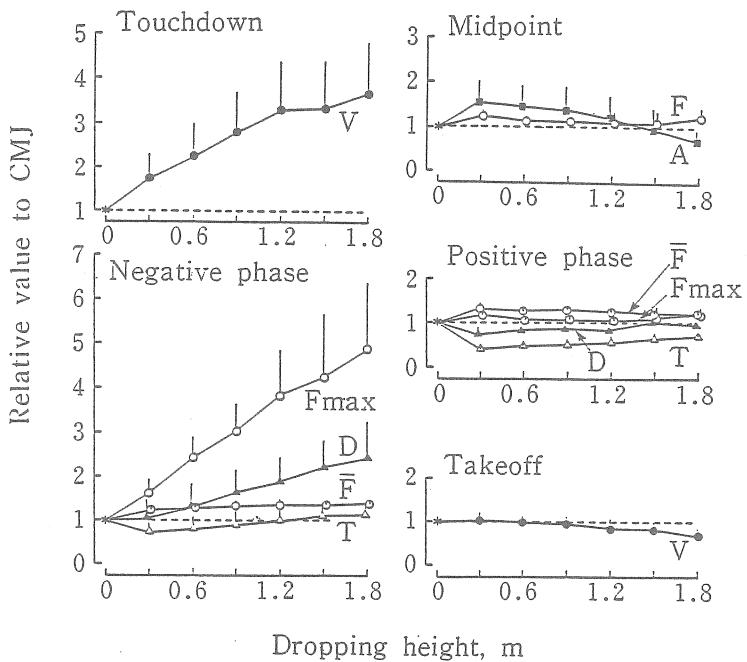


図2 デプスジャンプにおける踏切各局面の力学量
 一反動垂直跳（台高0m：CMJ）に対する比
 Fmax：最大力 D：変位
 F：平均力 T：時間
 V：身体重心の速度 A：膝関節角度

れて若干長くなった。しかし、いずれの場合も CMJ よりも短かく、0.3, 1.8mにおける時間は CMJ の 0.41 ± 0.10 , 0.69 ± 0.13 倍であった。

CG の上方への変位も、0.3mからのデプスジャンプで最小値が出現した。0.3m以上では台高が高くなるにつれて若干大きくなかった。しかし、いずれの場合も CMJ よりも小さく、0.3, 1.8mにおける変位は CMJ の 0.74 ± 0.17 , 0.94 ± 0.25 倍であった。

平均力は、0.3mからのデプスジャンプで最大値が出現した。0.3m以上では台高が高くなるにつれて若干小さくなかった。しかし、いずれの場合も CMJ よりも大きく、0.3, 1.8mにおける平均力は CMJ の 1.32 ± 0.12 , 1.19 ± 0.07 倍であった。

最大力は、台高による差は認められなかった。しかし、いずれの場合も CMJ より大きく、0.3, 1.8mにおける最大力は CMJ の 1.17 ± 0.13 , 1.17 ± 0.19 倍であった。

2. 各種台高におけるデプスジャンプの跳躍高と踏切各局面の力学量との関係

表2に、デプスジャンプの跳躍高と踏切各局面の力学量との相関係数を台高ごとに示した。

- ① 跳躍高と沈み込みの局面における時間、CG の下方への変位、平均力および最大力との関係

跳躍高と平均力との間には正の相関関係が認められた。0, 1.2, 1.5mにおける相関係数は有意であった。これに対して、跳躍高と最大力との間には負の相関関係が認められた。0.9, 1.2, 1.5, 1.8mにおける相関係数は有意であった。

跳躍高と時間との間には、すべての台高において負の相関関係が認められた。一方、跳躍高と CG の下方への変位との間には、大部分の台高において正の相関関係が認められた。しかし、相関係数はいずれも有意ではなかった。

- ② 跳躍高と CG の最下時点における力および膝関節角度との関係

表2 デプスジャンプにおける跳躍高と踏切各局面の力学量との相関係数

| | | Dropping height | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 0m(CMJ) (N=14) | 0.3m (N=14) | 0.6m (N=14) | 0.9m (N=14) | 1.2m (N=11) | 1.5m (N=11) | 1.8m (N=13) |
| <u>Negative phase</u> | Jumping height vs | | | | | | | |
| | Time | -0.329 | -0.520 | -0.156 | -0.179 | -0.462 | -0.585 | -0.003 |
| | Displacement of C.G. | 0.095 | -0.222 | 0.154 | 0.246 | 0.312 | 0.397 | 0.465 |
| | Average force/Body weight | 0.588* | 0.410 | 0.465 | 0.210 | 0.660* | 0.823** | 0.305 |
| | Maximum force/Body weight | 0.496 | -0.134 | -0.320 | -0.657* | -0.758** | -0.732* | -0.582* |
| <u>Midpoint</u> | Jumping height vs | | | | | | | |
| | Force/Body weight | 0.496 | 0.813** | 0.808** | 0.759** | 0.821** | 0.773** | 0.235 |
| | Knee angle | -0.292 | 0.269 | -0.056 | -0.136 | -0.454 | -0.371 | -0.467 |
| <u>Positive phase</u> | Jumping height vs | | | | | | | |
| | Time | -0.310 | -0.550* | -0.125 | -0.169 | -0.090 | -0.250 | 0.030 |
| | Displacement of C.G. | 0.354 | 0.597* | 0.624* | 0.719** | 0.882** | 0.839** | 0.734** |
| | Average force/Body weight | 0.487 | 0.915** | 0.850** | 0.753** | 0.831** | 0.975** | 0.450 |
| | Maximum force/Body weight | 0.592* | 0.806** | 0.740** | 0.804** | 0.764** | 0.753** | 0.244 |

* p<0.05, ** p<0.01

跳躍高と力との間には、0, 1.8mを除くすべての台高において有意な正の相関関係が認められた。跳躍高と膝関節角度との間には、大部分の台高において負の相関関係が認められたが、相関係数はいずれも有意ではなかった。

③ 跳躍高と立ち上がりの局面における時間、CGの上方への変位、平均力および最大力との関係

跳躍高とCGの上方への変位、平均力、最大力との間には、いずれもほとんどすべての台高において有意な正の相関関係が認められた。跳躍高と時間との間には、大部分の台高において負の相関関係が認められたが、相関係数はいずれも有意ではなかった。

考 察

本研究では、被検者として女子ハンドボール選手を用いた。これらの選手は、鍛錬期に種々の台高からのデプスジャンプを行っていた。その内容はデプスジャンプ（着地後できるだけ高く跳躍する）のほかに、落下の衝撃を受け止めるだけのトレーニングも含んでいた。デプスジャンプの跳躍方法は、リバウンド型（bounce drop jumpまたはundamped drop jump）とプレス型（counter-movement drop jumpまたはdamped drop jump）に大別される^{2,3)}。本研究の被検者の跳躍

方法は、CGの最下時点における膝関節角度が最も大きい場合（膝曲げが最も浅い場合）でも約95度であったことから判断すると、プレス型のデプスジャンプを行っていたと考えられる。この跳躍方法は、脚の筋力、パワーの養成、および膝曲げの比較的深い跳躍の踏切技術の改善をおもなねらいとする場合に有効であると考えられる。

上述のことを前提にして、本研究では最初に、デプスジャンプの台高の上昇にともなう跳躍高と踏切各局面の力学量の変化を、被検者全員の平均値をもとにして検討した。

最大跳躍高が得られた台高は0.3mであった。0.3m以上になると跳躍高は徐々に減少し、0.6m以上ではCMJより小さくなった。

着地時のCGの速度は台高が高くなるにつれて著しく大きくなり、それにはほぼ比例して沈み込みの局面における最大力（着地の衝撃力）も著しく大きくなかった。1.8mからの最大力はCMJの約4.9倍であった。このことは、デプスジャンプにおけるエキセントリックな局面の負荷がいかに大きいかを示すものである。したがって、安全性を考慮すると実際のトレーニングでは無理のない台高を選択することと同時に、衝撃を緩衝する技術を身につけさせることも重要であると考えられる。

沈み込みの局面では、台高が高くなるにつれて

CGの下方への変位は大きくなり、それにともなってCGの最下時点、すなわち脚の主働筋がエキセントリックな収縮からコンセントリックな収縮にほぼ切り替る時点の膝関節角度は小さくなったり（膝曲げは深くなったり）。なお、1.2mまではCMJよりも膝関節角度は大きい（膝曲げは浅い）にもかかわらずCGの沈み込みの変位は大きいという一見矛盾するような結果が得られたが、この理由の一つにはデプスジャンプの着地時点ではかかとが接地していないこと、すなわち爪先立ちになっていることがあげられる。

CGの最下時点の力は、コンセントリックな局面、すなわち立ち上がりの局面のスタート時点の力でもあるので、跳躍高を大きくするために極めて重要である^{5,4)}。各台高におけるこの時点の力はCMJの約1.25倍であったが、台高間の差はわずかであった。したがって、Asumussenら¹⁾、Komiら⁶⁾が指摘しているように、台高が高くなつたとしても、stretch-shortening cycle運動における神経一筋・腱系の諸効果を必ずしも十分に利用できるものではないと考えられる。

立ち上がりの局面では、いずれの台高においても平均力と最大力はCMJの約1.2~1.3倍であったが、時間はCMJの0.4~0.7倍、変位はCMJの0.7~0.9倍であった。この結果は、踏切後半の立ち上がりの局面では、大きな力を長い時間にわたって発揮することができないことを示唆している。この原因の一つとして、沈み込みの局面における負荷が大きくなりすぎて、立ち上がりの局面で腰、膝、足関節などを十分に伸展できないことが考えられる。

以上のことまとめると、デプスジャンプの台高が高くなつても跳躍高が必ずしも高くならない原因として、台高が高くなつてもCGの最下時点の力はある水準以上には大きくならないこと、および台高が高くなると沈み込みの局面における負荷が大きくなりすぎて、立ち上がりの局面で腰、膝、足関節などを十分に伸展できないことなどが考えられる。

本研究では次に、各種台高からのデプスジャンプの跳躍高と踏切各局面の力学量との関係について検討した。

沈み込みの局面では、すべての台高において跳躍高と最大力との間に負の相関関係が認められた。このうち0.9、1.2、1.5、1.8mなどの高い台高における相関係数は有意であった。この結果は、高い跳躍高を得るためにには着地時の衝撃力をできるだけ小さくすることが重要であることを示唆している。各台高で高い跳躍高を得た選手は、衝撃力を緩衝する身体各部位の使い方に優れていることが推察される。

一方、跳躍高と沈み込みの局面における平均力との間には、最大力の場合とは逆に、すべての台高において正の相関関係が認められた。また、跳躍高とCGの最下時点の力との間にも、すべての台高において正の相関関係が認められた。前者の場合は0(CMJ)、1.2、1.5m、後者の場合は0.3、0.6、0.9、1.2、1.5mの台高における相関係数は有意であった。これらの結果は、高い跳躍高を得るためにには沈み込みの局面における平均力を、最大力とは逆に大きくすることが重要であることを示唆している。またそれ以上に、CGの最下時点の力を大きくすることが重要であることを示唆している。跳躍高が高いほど沈み込みの局面のCGの下方への変位は大きく（跳躍高との相関係数は正）、CGの最下時点の膝曲げは深い（跳躍高との相関係数は負）傾向にあったが、沈み込みの局面の時間は短い（跳躍高との相関係数は負）傾向にあったことから判断すると、高い跳躍高を得た選手は、着地から沈み込みの局面の前半にかけて衝撃力を緩衝し、この局面の後半では集中的に大きな力を発揮していることが推察される。言い換えると、高い跳躍高を得た選手は、Boscoら⁴⁾が示唆しているように、カップリングタイムの短い踏切をしていることが推察される。

立ち上がりの局面では、大部分の台高において跳躍高とCGの上方への変位、平均力、最大力との間にいずれも有意な正の相関関係が認められた。また、時間との間には有意ではないが負の相関関係が認められた。これらの結果は、高い跳躍高を得るためにには、踏切の後半の立ち上がりの局面では、CGの上方への変位を短時間で大きくして、平均力、最大力を大きくすることが重要であることを示唆している。高い跳躍高を得た選手

は、踏切の後半において身体各部位を上方に大きく、しかも短時間で振り込む技術に優れていることが推察される。

以上のことまとめると、デプスジャンプにおいて高い跳躍高を得るためにには、いずれの台高においても①沈み込みの局面における最大力を小さくして、平均力を大きくすること、②CGの最下時点の力を大きくすること、③立ち上がりの局面におけるCGの上方への変位を短時間で大きくして、平均力、最大力を大きくすること、などが重要であると考えられる。今後、これらのこと達成できる跳躍技術を明らかにする必要がある。その際には、膝曲げの比較的浅いリバウンド型のデプスジャンプと比較的深いプレス型のデプスジャンプとの相違を、トレーニング者の技術特性や体力特性とも関連づけて明らかにする必要がある。

要 約

本研究では、デプスジャンプの合理的な技術を明らかにするために、台高の上昇にともなう跳躍高と踏切各局面の力学量の変化、および各台高における跳躍高と踏切各局面の力学量との関係を、大学段階にある女子ハンドボール選手14名を用いて検討した。これらの選手は、鍛錬期に種々の台高からのデプスジャンプを行っていた。その跳躍方法は、本研究におけるデプスジャンプの膝関節角度から判断すると、膝曲げの比較的深いプレス型のデプスジャンプであったと考えられる。実験に用いたデプスジャンプの台高は、0(反動垂直跳び、CMJ)、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、1.8、2.1mの7種であった。なお、2.1mの台高から試行できた被検者は1名のみであった。

本研究から、デプスジャンプの技術に関連して次のことが認められた。

- (1) デプスジャンプの台高が高くなても跳躍高が必ずしも高くならない原因として、①CGの最下時点の力は台高が高くなってしまってある水準以上には大きくならないこと、②台高が高くなると沈み込みの局面における負荷が大きくなりすぎて、立ち上がりの局面で腰、膝、足関節などを十分に伸展できないことなどがあげられる。

- (2) デプスジャンプにおいて高い跳躍高を得るためには、いずれの台高においても①沈み込みの局面における最大力を小さくして、平均力を大きくすること、②CGの最下時点の力を大きくすること、③立ち上がりの局面におけるCGの上方への変位を短時間で大きくして、平均力、最大力を大きくすることなどが重要である。今後、これらのこと達成できる跳躍技術を、膝曲げの比較的浅いリバウンド型のデプスジャンプと膝曲げの比較的深いプレス型のデプスジャンプに分けて、トレーニング者の技術特性や体力特性とも関連づけながら検討することが必要である。

文 献

- 1) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen (1974) : Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.*, 91 : 385-392.
- 2) Bobbert, M. F., P. A. Huijing and G. J. Van Ingen Schenau (1987) : Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19 : 332-338.
- 3) Bosco, C. and P. V. Komi (1979) : Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand.*, 106 : 467-472.
- 4) Bosco, C., P. V. Komi and A. Ito (1981) : Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.*, 111 : 135-140.
- 5) 金原勇, 春山国広, 三浦望慶 (1964) : 跳躍力を大きくする基礎的技術の研究 (その1) 一反動々作と振込動作について一. 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 2 : 21-31.
- 6) Komi, P. V. and C. Bosco (1978) : Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports*, 10 : 261-265.

