

# 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—

**報告者** (財)日本体育協会研究プロジェクトチーム  
＝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班＝

**班長** 勝田 茂<sup>1)</sup>

**班員** 松井 秀治<sup>2)</sup> 高松 薫<sup>1)</sup> 伊藤 章<sup>3)</sup> 伊坂 忠夫<sup>4)</sup>  
金久 博昭<sup>2)</sup>

**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かか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、プリオメトリック・トレーニング(プリオメトリックス)が注目を集めるようになった。

た。

プリオメトリックとは、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、そのあとにより大きな力の短縮性収縮を引き起こさせる(伸張—短縮サイクル)ような運動のことを指す。プリ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に進められてきた。当時、ソビエトではプリ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（反動動作）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）、トレーニングの実践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に中心を置き、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、文献研究を中心に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、台高と跳躍高などと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—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0m（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。

#### 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いが、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単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群では比較的变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。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局面の力学量（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っ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っ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. 用語の使い方

① plyometric 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った。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「ある高さから跳び降り直ちに垂直方向に跳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<sup>1)</sup> 会田 宏<sup>1)</sup> 関子浩二<sup>1)</sup>

## 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、① increase を意味するギリシャ語の *plethyein* と *isometric* に由来する (Wilt<sup>57)</sup>, 1975), ② *plyo* は *more, greater* を, *metric* は *measured quantity* を意味する (Clutch<sup>ら</sup><sup>26)</sup>, 1983), ③ *plethyein* 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写し替えたもので, *to become full* (いっぱいになる) という意味を持つ (木島<sup>ら</sup><sup>36)</sup>, 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 (Wilt<sup>57)</sup>, 1975), 爆発的・反動的負荷様式の運動 (Verhoshanski<sup>56)</sup>, 1968; Wilt<sup>57)</sup>, 1975; 村木<sup>47)</sup>, 1985) を用いるトレーニングである。言い換えると, Bosco と Komi<sup>ら</sup><sup>14)</sup> (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, および動的な最大筋力を高めること (Verhoshanski<sup>56)</sup>, 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

(Wilt<sup>57)</sup>, 1975), 爆発的・反動的筋力とその発揮能力を高めること (村木<sup>47)</sup>, 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<sup>ら</sup> を中心に行われてきた (村木<sup>47)</sup>, 1985)。1972年, ミュンヘンオリンピックの100, 200mで優勝したポロゾフがこのトレーニングを行っていた (Wilt<sup>57)</sup>, 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<sup>ら</sup>: 村松<sup>ら</sup>訳<sup>50)</sup>, 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 (Brzycki<sup>23)</sup>, 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と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<sup>8)</sup> (1979) は、垂直跳に対するアイソカネティックス (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<sup>26)</sup> (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<sup>51)</sup> (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<sup>53)</sup> (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-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-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<sup>28)</sup> (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<sup>22)</sup> (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<sup>1)</sup> (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。これらのなかで、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<sup>3)</sup> (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(0.4 m)まで増加することを示した。

Komiら<sup>45)</sup>(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、および男子バレーボール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<sup>29)</sup>(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<sup>46)</sup>(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は、滞空時間、着地衝撃力など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<sup>34)</sup>(1985)は、0.18~1.06mの台高からのデプスジャンプの特性を、女子バレーボール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0.4~0.7 mの範囲であると示唆した。

新井ら<sup>2)</sup>(1986)は、0.2m(4秒間隔)、0.4 m(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

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<sup>10)</sup>(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<sup>32)</sup>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<sup>27)</sup>(1965)、Singhら<sup>52)</sup>(1966)、金原ら(1964<sup>37)</sup>、1966<sup>41)</sup>、1970<sup>42)</sup>、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-Petersen<sup>11)</sup>(1960)、金原ら<sup>40)</sup>(1965)、小野ら<sup>49)</sup>(1970)、Komiら<sup>44)</sup>(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, Ito<sup>14)</sup> (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.<sup>35)</sup> (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<sup>38)</sup> (1964b)、投てき力<sup>39)</sup> (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与え、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<sup>24)</sup>と1968年<sup>25)</sup>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証し、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<sup>7)</sup> (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<sup>54)</sup> (1972)、Asmussen ら<sup>3)</sup> (1974)、Komi ら<sup>45)</sup> (1978a)、Bosco ら<sup>12)</sup> (1979a)、小島 ら<sup>43)</sup> (1983)、伊藤 ら<sup>33)</sup> (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 (1979a<sup>12)</sup>, 1981a<sup>14)</sup>, 1982a<sup>16)</sup>, 1982b<sup>17)</sup>) は、弾性エネルギーの再利用に加えて、筋紡錘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<sup>55)</sup> (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<sup>12)</sup> (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<sup>9)</sup> (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<sup>45)</sup> (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<sup>19)</sup> (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<sup>14)</sup> (1981a) は、カップリングタイムと、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プリングタイムは短くなり、カップリ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り、大きな力を出せないことを示唆した。なお、Bosco ら<sup>20)</sup> (1983) は、底の柔らかい靴を用いて、人為的にカップリングタイムを長くした研究も行っている。一方、Aura ら<sup>9)</sup> (1987) は、カップリングタイムが短いほどそりエルゴメータ (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プリングタイムが短い運動の機械的効率がよく、遅筋 (ST) 線維の比率の高い者はカップリングタイムが比較的長い運動の機械的効率がよいことを示した。

#### ④ 筋線維組成

Komi ら<sup>46)</sup> (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<sup>13)</sup> (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<sup>18)</sup> (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<sup>21)</sup> (1986) は、低い伸張速度と長いカップリングタイムを持つ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、そり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<sup>30)</sup>、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<sup>31)</sup>などを示した。

#### ⑥ 筋温

Asmussen ら<sup>9)</sup> (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<sup>45)</sup> (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<sup>5)</sup> (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<sup>19)</sup> (1982d) は、スキージャンプ選手、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連のある研究報告、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なか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、鍛練度差などに関連づけて、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. Huijting 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. Huijting 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. Huijting 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 countermovement 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. *Electromyography*, 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—床反力と膝関節角度および台高との関係について—. 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, 斉藤昌久, 金子公宥 (1987): 跳躍運動における反動効果—下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用. *J. J. Sports Sci.*, 6 : 232-238.
- 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—. 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) —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.
- 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) —反動動作と振込動作について—. 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) —反動動作について—. 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, 高松薫 (1966): 筋力トレーニング手段に関する生理学的研究—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.
- 42) 金原勇, 高松薫, 渋川侃二 (1970): 筋の力の出し方に関する基礎的研究 (その2) —技術やトレーニングから見た Eccentric な筋力の特性について—. 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! Dese 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.