Japanese Society of Physical Education

体育学研究, 38：265-278, 1993.

各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性

図子浩二[1)] 高松 薫[2)] 古藤高良[2)]

The specificity of leg strength and power in several sport athletes

Koji Zushi[1] Kaoru Takamatsu[2] and Takayoshi Kotoh[2]

Abstract

This study clarified the specificity of leg strength and power in several sport athletes. To accomplish this purpose, a new physical fitness test was developed to evaluate the capacity for the ballistic and stretch-shortening cycle (SSC) movements.

1. The drop jump (DJ), a typical SSC movement was used in this test. A few experiments were performed to determine the best dropping height and jumping technique of DJ in 10 college male athletes. These results showed the best method of DJ was rebound DJ with small angular displacement of the knee from 0.3 m because of appearing the shortest contact time and the longest air time, and being ballistic and safe movement.

2. Average force [$F_{index} = \{t_a/2 + (2 \cdot h_d/g)^{1/2}\} / t_c + 1$], average power [$P_{index} = \{g \cdot (t_a/2)^2 - 2 \cdot h_d\} / (2 \cdot t_c)$] and the capacity to jump higher within shorter contact time [$DJ_{index} = (1/8 \cdot g \cdot t_a^2) / t_c$] are calculated by using contact time (t_c), air time (t_a) and dropping height (h_d) of DJ, and g (9.81 m/s^2). Interrelationships between DJ_{index} F_{index}, P_{index} t_c and t_a were examined in 93 male athletes of 14 sport events. These results showed the best index was DJ_{index} because of reflecting both F_{index} and P_{index}, and t_c and t_a.

3. The specificity of leg strength and power was investigated by comparing with DJ_{index} height of counter movement jump (CMJ-H) and maximum strength exerted by squat posture at 90° of knee angle (S-MAX) in 93 male athletes of 14 sport events. This result showed all sport athletes were grouped into A, B and C type. Jumper and sprinter, gymnast and kendo atheletes belonged to A type which showed the character of large in order of DJ_{index}, CMJ-H and S-MAX. Skater, ski jumper and swimmer belonged to B type which showed contrary character of A type. Ball game player and long distance runner belonged to C type which did not show difference among them. But excellent players for jump and footwork in ball games showed the same character as jumper and sprinter.

These results lead to the conclusion that we should evaluate not only the general leg strength and power but also the capacity for the ballistic and SSC movement by measuring DJ_{index} when coaches scout for sport talents and athletes practice the training according to specificity of strength and power. It should also be added that DJ_{index} is a practical index which can be simply and exactly measured by using matswitch.

1) 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305 つくば市天王台1-1-1
2) 筑波大学体育科学系
〒305 つくば市天王台1-1-1

1. *Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba 1-1-1 Tennohdai. Tsukuba. Ibaraki, Japan (305)*
2. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki, Japan (305)*

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

Key words : ballistic movement, stretch-shortening cycle movement, drop jump, strength, power

(Japan J. Phys. Educ., 38 : 265-278, November, 1993)

緒　　言

陸上競技の跳躍種目における走幅跳や走高跳は，踏切時間が0.1秒から0.2秒と極めて短く[20,21]，短い時間内に大きな力を集中的に発揮する運動である．また，球技スポーツにおける各種の跳躍やフットワークにも，これらに類似した運動が内在していると考えられる．このような力を爆発的に極限まで発揮する運動は，バリスティック運動(ballistic movement)と呼ばれ，運動遂行時間が比較的長い運動やゆっくりと力を調節しながら発揮する運動とは，神経制御機構や力発揮に関する調節機序がかなり異なる[9,15-17,26,33]

一方，走幅跳や走高跳は，筋の収縮様式からみると，高強度のエキセントリックな収縮がコンセントリックな収縮に先立って生じる典型的な伸張-短縮サイクル運動(stretch shortening cycle exercise)である[24,25]．この伸張－短縮サイクル運動は，伸張反射機構や弾性エネルギーの貯蔵および再利用機構などの神経・筋・腱系の調節機構が有効に働き，運動初期から大きな力を急激に発揮できたり，あるいは運動効率をよくすることができる[1,5,6,8,11-14,18,23-25,31]

上述のことは，走幅跳や走高跳，あるいは球技スポーツにおける各種の跳躍やフットワークを有効に遂行するためには，バリスティック運動と伸張-短縮サイクル運動の二つの運動を有効に遂行できる総合的な能力が必要であることを示している．

一般に，下肢の筋力の測定には，スクワット運動や膝伸展運動による最大挙上重量などが用いられ，下肢のパワーの測定には，垂直跳の跳躍高や立幅跳の跳躍距離などが用いられている．これらを運動遂行時間と筋の収縮様式からみると，前者では，運動時間の制約を受けずに，主にコンセントリックおよびアイソメトリックな筋収縮によって発揮できる力の上限を評価している．これに対して，後者では，垂直跳の踏切時間が浅い膝曲げ動作の場合には0.546秒，深い膝曲げ動作の場合には0.873秒であることから[30]，比較的長い運動遂行時間内に低強度の伸張-短縮サイクル運動によって発揮できる力積の大きさを評価していると考えられる．このことは，立幅跳についても同様である．したがって，一般に行われている筋力やパワーの測定では，陸上競技の跳躍能力，あるいは球技スポーツにおける各種の跳躍やフットワークを有効に遂行する能力を，必ずしも適切に評価することはできないと考えられる．

そこで本研究では，バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を，高度な精密測定機器を使わずに，スクワット運動や垂直跳と同様に一般的な体力テストとして，だれでも，いつでも，どこでも，簡単に，測定し評価できるテスト方法について検討した．このために，典型的なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動であるドロップジャンプにおける踏切時間と跳躍時間の2変数のみを利用して，力学的に算出できる踏切中の平均力と平均パワー，および跳躍高を踏切時間で除した値の三つの指標を作成し，それらの有効性について検討した．さらに，これらの各指標とスクワット姿勢による筋力および垂直跳の跳躍高を比較することによって，各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワーに関する特性について検討した．

方　　法

1. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価する指標の作成

ドロップジャンプは，スクワット姿勢から反動なしで跳び上がる跳躍や，その場でいったんしゃがみ込んだ後に跳び上がる垂直跳とは，神経・筋・腱系の調節機構が異なることが認められている[1,7,25,32,33]．いずれの研究においても，この違いはドロップジャンプが典型的な伸張-短縮サイクル運動であることによって生じることを指摘し

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

ている．そこで本研究では，ドロップジャンプをバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の評価運動として用いることにした．

ドロップジャンプにおける踏切中の身体重心運動の変化は，力学的にみると，運動量の変化と力学的エネルギーの変化によってとらえることができる．そこで，踏切時間(t_c)と跳躍時間(t_a)，初期条件としての跳び下りる台高(h_d)，および重力加速度($g=9.81\ m/s^2$)を用いて，踏切中における体重当たりの平均力(F_{index})と平均パワー(P_{index})の二つの指標を，次式によって算出した．

$$F_{index}=\{t_a/2+(2\cdot h_d/g)^{1/2}\}/t_c+1\cdots(1)$$

$$P_{index}(m/s)=\{g\cdot(t_a/2)^2-2\cdot h_d\}/(2\cdot t_c)\cdots(2)$$

ドロップジャンプでは，踏切中の平均力や平均パワーが同じであっても，技術と体力の両面を反映した跳躍高は異なる場合がある．また一方では，跳躍高が同じであっても，踏切前半のブレーキ動作や緩衝動作，あるいは伸張から短縮への切り換え動作などの優劣によって，踏切時間はかなり異なる場合がある．そこで本研究では跳躍時間から求められる跳躍高と踏切時間を用いて，ドロップジャンプの遂行能力を評価する指標(DJ_{index})を，次式によって算出した．

$$DJ_{index}(m/s)=(1/8\cdot g\cdot t_a^2)/t_c\cdots(3)$$

上述の3つの指標は，簡単な測定装置であるマットスイッチを用いて，踏切時間と跳躍時間を測定すれば，体育やスポーツの現場において，だれでも，いつでも，どこでも，簡単に得ることができる．後述するように，本研究の実験はすべてフォースプレートを用いて行った．しかし，今後マットスイッチを用いて行うことを考慮したために，本研究では，フォースプレートから得られたデータは，踏切時間と跳躍時間のみを利用した．

なお本研究では，台上から跳び下りた後の着地，踏切直後の離地，跳躍後の着地の各時点における姿勢は同じである，すなわちこれらの各時点における身体重心高は同じであるとみなした．

2. 評価運動として用いるドロップジャンプの台高と膝曲げ動作の決定

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を，適切かつ安全に評価するためには，ドロップジャンプの台高と跳躍動作を決定する必要がある．そのために，実験1では，ドロップジャンプにおける台高の相違が踏切時間と跳躍時間に及ぼす影響について検討した．

また実験2では，台高0.3mからのドロップジャンプにおける膝曲げ動作の相違が踏切時間と跳躍時間に及ぼす影響について検討した．

(1) 被験者

実験1の被験者には，大学男子体育専攻学生10名(21.0±1.1歳，174.2±4.3cm，68.1±4.1kg)を用いた．被験者の大部分は，トレーニングの場においてドロップジャンプを経験していた．しかし，経験数や経験したドロップジャンプの動作は，各被験者によって異なっていた．

実験2の被験者には，実験1の被験者の中の3名(22.0±0.0歳，174.7±3.1cm，69.4±1.4kg)を用いた．

(2) 試技方法

実験1と実験2のいずれにおいても，ドロップジャンプは，腕の振込み動作の影響がないように，腰に手を当てた姿勢で全力で行わせた．

実験1では，被験者に，0.3m，0.6m，0.9m，1.2mの4種類の台高から3種類の膝曲げ動作，すなわち浅い(Small-DJ)中くらい(Middle-DJ)，深い(Large-DJ)，膝曲げ動作によるドロップジャンプを行わせた．実際には，各試技における膝の最大屈曲角度は，浅い試技では110－130°，中くらいの試技では70－90°，深い試技では30－50°の範囲内にあった．

実験2では，被験者に，0.3mの台高から様々な膝曲げ動作によるドロップジャンプを，十分な休息を取らせながらランダムに25－30回行わせた．なお試技回数は，ドロップジャンプの至適回数を検討している先行研究[22]をもとにして決定した．

(3) 測定項目および測定方法

実験1，2ともに，踏切中の膝関節角度を左膝

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

関節外側に取り付けたゴニオメータ(P and G社製)により，また踏切中の地面反力をフォースプレート(Kistler 社製 AG：9821 type)により，それぞれ1 msごとに測定した．これらのデータをもとにして，踏切中点の膝関節角度(膝の最大屈曲時点の角度)と，踏切時間および跳躍時間を算出した．

3. 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性

台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作によるドロップジャンプの F_{index}，P_{index}，DJ_{index} と，垂直跳の跳躍高(CMJ-H)，およびスクワット姿勢によるアイソメトリックな最大筋力(S-MAX/BW)を比較することによって，各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性について検討した．

(1) 被験者

被験者には，14種目のスポーツ選手93名(21.0±1.5歳，172.5±8.0 cm，67.3±7.5 kg)を用いた．図5に，各スポーツ種目の被験者数を示した．スキージャンプ選手を除く他の種目の選手は，高い競技水準を持つ大学生であった．なお，スキージャンプ選手は，極めて高い競技水準を持つ日本代表選手であった．

(2) 測定項目および測定方法

F_{index}，P_{index}，DJ_{index} の測定では，被験者に，0.3 m の台高からの浅い膝曲げ動作によるドロップジャンプを全力で行わせた．その際に得られた踏切時間と跳躍時間を，前述の式(1)～(3)に代入し，F_{index}，P_{index}，DJ_{index} を求めた．

CMJ-H の測定では，被験者に，腕の振込み動作を用いないように，腰に手を当てた姿勢で全力で垂直跳を行わせた．その際に得られた跳躍時間をもとにして，CMJ-H を算出した．

S-MAX/BW の測定では，被験者に，膝関節角度90°のスクワット姿勢によって，肩にかついだ固定式のシャフトを全力で5秒間押し上げさせた．その際に得られた力－時間曲線の最も高い部分を1秒間にわたって平均し，S-MAX/BW を求めた．

上述の各試技は，いずれフォースプレート(kistler 社製 AG：9821 type)上で行わせた．なお，試技中の地面反力は，いずれも 1 ms ごとに測定した．

結　　果

1. ドロップジャンプにおける台高と膝曲げ動作の相違が踏切時間と跳躍時間に及ぼす影響

(1) 台高の相違による影響

図1に，4種類の台高と3種類の膝曲げ動作によるドロップジャンプの踏切時間と跳躍時間を示した．ここでは，踏切時間と跳躍時間の台高間の差を比較するために，3種類の膝曲げ動作ごとに一元配置の分散分析を行った．その結果，F値が有意であった膝曲げ動作については，さらにライアンの方法を用いて多重比較を行った．統計処理の有意性は，危険率5％水準で判定した．

踏切時間は，浅い膝曲げ動作の場合にのみ，台高が高くなるほど有意に長くなった．また，踏切時間の平均値が0.2秒以内であったのは，台高0.3 m からの浅い膝曲げ動作の場合のみであった．跳躍時間は，いずれの膝曲げ動作においても，

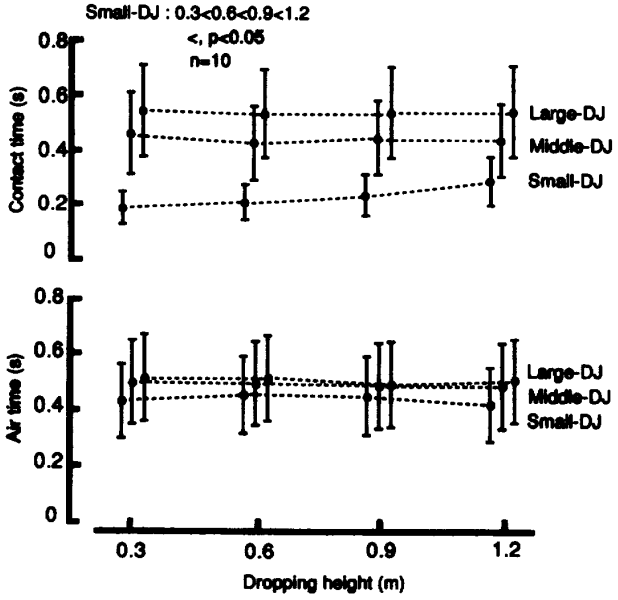

Fig 1. Contact time and air time in drop jump with small, middle, large anguler displacement of the knee from height of 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 m.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

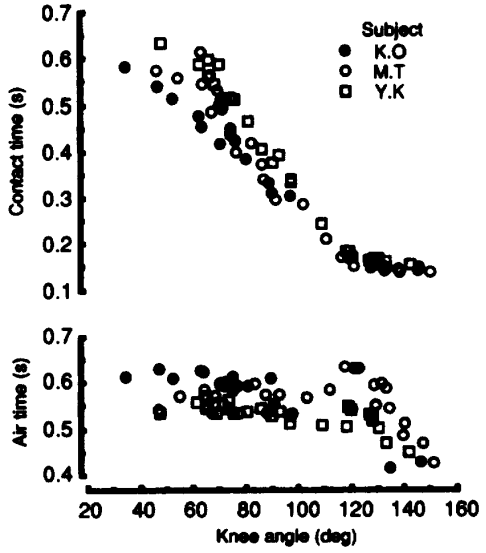

Fig 2. Relationships between knee angle at maximum flexion, and contact time and air time in drop jump from height of 0.3 m.

台高間に有意な差はなかった.

(2) 膝曲げ動作の相違による影響(台高 0.3 m の場合)

図2に，様々な膝曲げ動作によるドロップジャンプの踏切中点の膝関節角度と，踏切時間および跳躍時間との関係を示した.

被験者3名ともに，踏切時間は，踏切中点の膝関節角度が120°までは直線的に低下し，それ以降は一定になる傾向にあった．これに対して，跳躍時間は，踏切中点の膝関節角度が120°までは一定であるが，それ以降は急激に低下する傾向にあった.

2. ドロップジャンプにおける踏切時間，跳躍時間，F_{index}，P_{index}，DJ_{index} の相互関係(台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作による場合)

図3に，踏切時間および跳躍時間と，F_{index}，P_{index}，DJ_{index} との関係を示した．F_{index} と踏切時間との関係は二次曲線によく近似でき，両者間には極めて高い有意な相関関係が認められた($r = 0.958$, $P<0.001$)．しかし，F_{index} と跳躍時間との間には有意な相関関係が認められたが，相関係数は低い値であった($r = 0.456$, $P<0.001$)．これとは逆の結果が，P_{index} と踏切時間および跳躍時間との間に認められた．すなわち，P_{index} と踏切時間との間には有意な相関関係が認められたが，相関係数は低い値であり($r = -0.269$, $P<0.05$)，これに対して，P_{index} と跳躍時間との

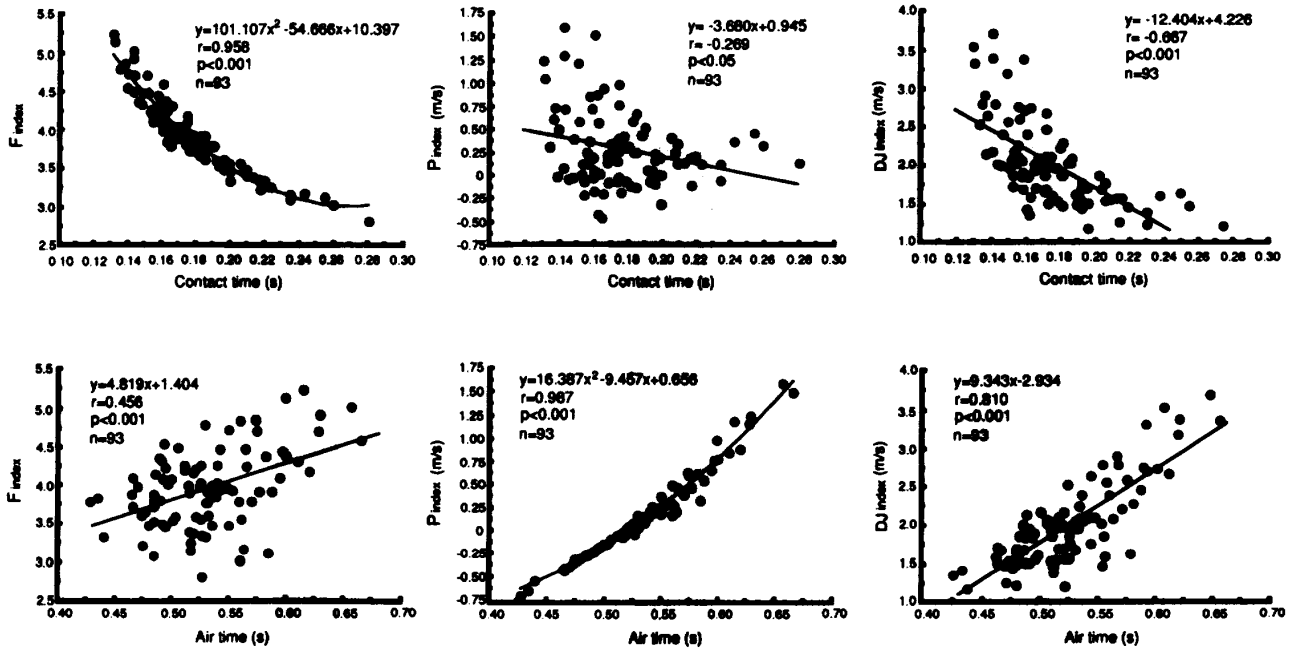

Fig 3. Relationships between contact time and air time, and F_{index}, P_{index} and DJ_{index} in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

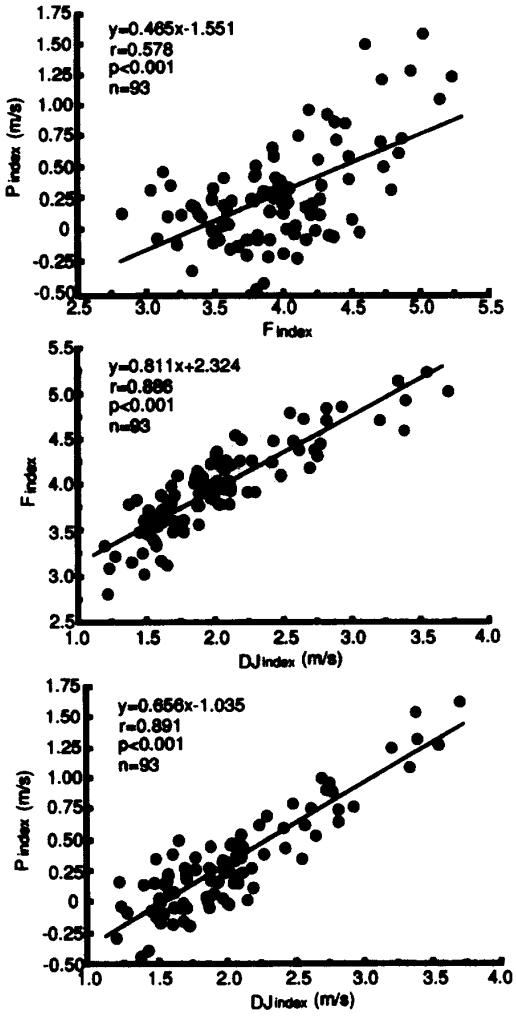

Fig 4. Relationships between F_{index}, P_{index} and DJ_{index} in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m.

関係は二次曲線によく近似でき，両者間には極めて高い有意な相関関係が認められた（r＝0.987, P＜0.001）．一方，DJ_{index} と踏切時間（r＝−0.667, P＜0.001），および DJ_{index} と跳躍時間（r＝0.810, P＜0.001）との間には，いずれも比較的高い有意な相関関係が認められた．

図4に，F_{index}，P_{index}，DJ_{index} の相互関係を示した．

F_{index} と P_{index} との間には有意な相関関係が認められたが，相関係数は高い値ではなかった（r＝0.578, P＜0.001）．しかし，DJ_{index} と F_{index}（r＝0.886, P＜0.001），および DJ_{index} と P_{index}（r＝0.891, P＜0.001）との間には，いずれも有意な高い相関関係が認められた．

3. 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性

ここでは，台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作によるドロップジャンプの踏切時間・跳躍時間・F_{index}・P_{index}・DJ_{index}，CMJ-H，および S-MAX/BW を用いて，各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性について検討した．

図5に，各種スポーツ選手におけるドロップジャンプの F_{index}，P_{index}，DJ_{index} を，F_{index} の高

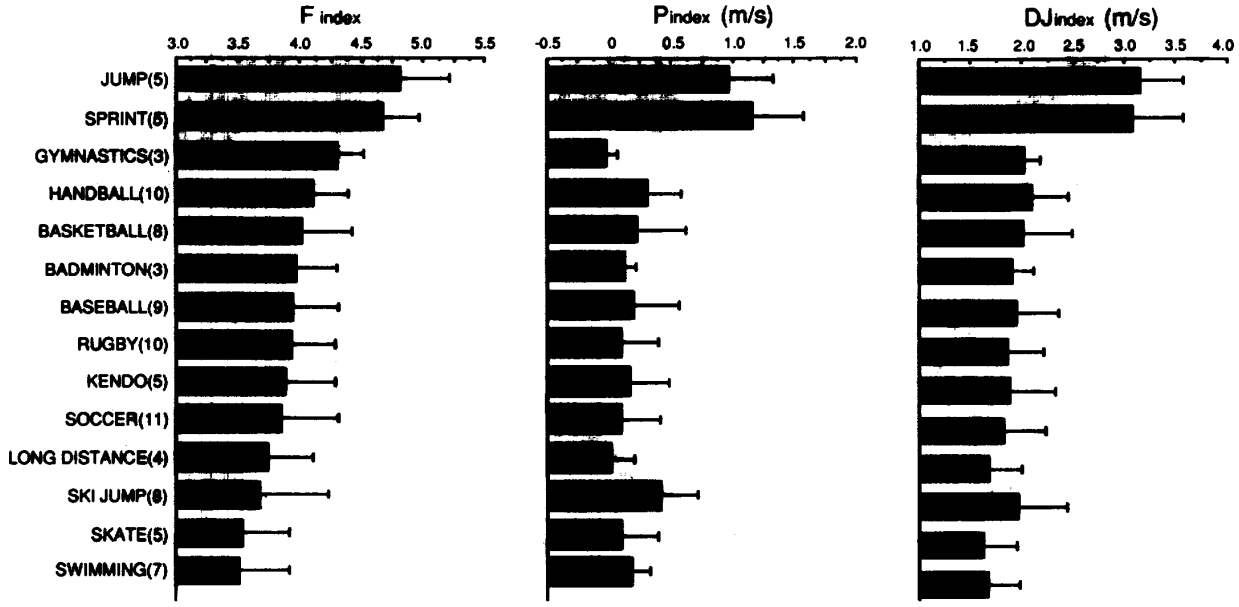

Fig 5. F_{index}, P_{index} and DJ_{index} in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m for several sport athletes.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

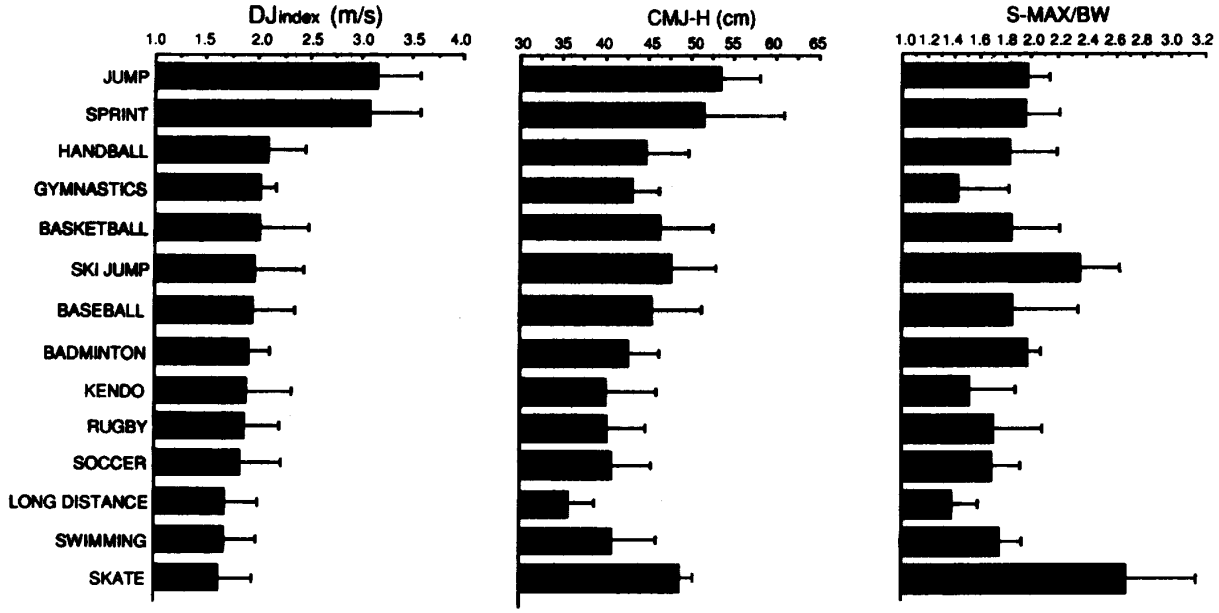

Fig 6. DJ_{index} in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m, height of counter movement jump (CMJ-H), and maximum strenght/body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (S-MAX/BW) for several sport athletes.

い順に並べて示した.

F_{index} の順位と P_{index}, DJ_{index} の順位とはかなり異なることが認められた.

図6に, 各種スポーツ選手におけるドロップジャンプの DJ_{index}, CMJ-H および S-MAX/BW を, DJ_{index} の高い順に並べて示した.

DJ_{index} の順位と CMJ-H, S-MAX/BW の順位もかなり異なることが認められた.

DJ_{index} は, 陸上競技の跳躍選手と短距離選手が他の種目の選手に比較して著しく高く, ついでハンドボール選手, 器械体操選手, バスケットボール選手の順に高い値を示した. CMJ-H は, 陸上競技の跳躍選手と短距離選手が最も高く, ついでスケート選手, スキージャンプ選手, バスケットボール選手, 野球選手の順に高い値を示した. S-MAX/BW は, スケート選手とスキージャンプ選手が他の種目の選手に比較して著しく高く, ついで陸上競技の跳躍選手, バトミントン選手, 陸上競技の短距離選手の順に高い値を示した.

なお, 図7に, F_{index}, P_{index}, DJ_{index} の計算に

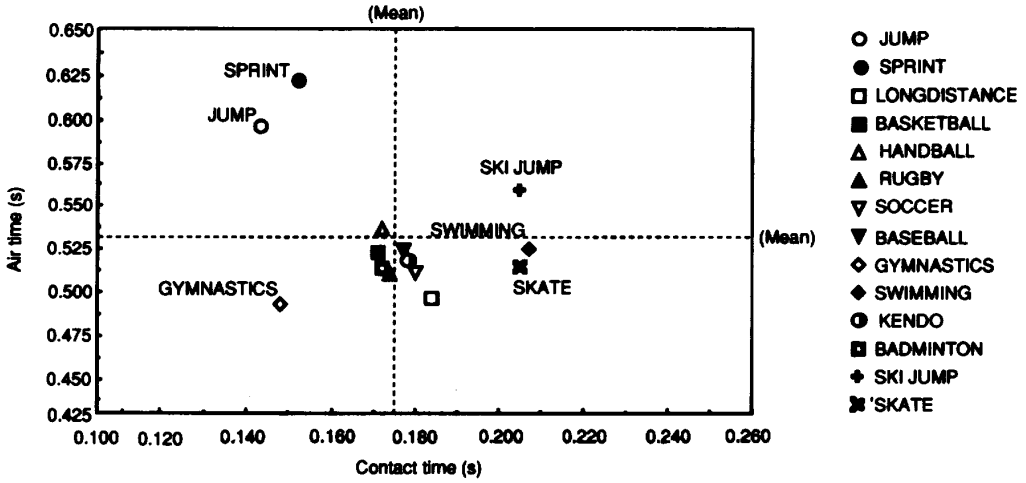

Fig 7. Relationship between contact time and air time in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m for several sport athletes.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

選手の特性を示した.

用いた踏切時間と跳躍時間からみた各種スポーツ

踏切時間は短いほど，跳躍時間は長いほど，それぞれの課題に対して優れていることにすると，陸上競技の跳躍選手と短距離選手は踏切時間，跳躍時間ともに優れているタイプ，スケート選手と水泳選手は踏切時間，跳躍時間ともに劣っているタイプ，器械体操選手は踏切時間に優れ，跳躍時間に劣っているタイプ，スキージャンプ選手は踏切時間に劣り，跳躍時間に優れているタイプとして特徴づけられた.

図8に，ドロップジャンプの F_{index}・P_{index}・DJ_{index}，CMJ-H および S-MAX/BW をそれぞれ標準得点化して，各種スポーツ選手がこれらのいずれに優れているかを示した．ここでは，DJ_{index}，CMJ-H，S-MAX/BW をもとにして，各種スポーツ選手を3群に分けた．A群は DJ_{index} が最も高く，ついで CMJ-H，S-MAX/BW の順に高い得点を示したグループ，B群はその逆の傾向を示したグループ，C群はA群とB群のいずれにも属さないその他のグループとした.

A群には，陸上競技の跳躍選手と短距離選手，器械体操選手および剣道選手，B群には，スキージャンプ選手，スケート選手および水泳選手，C群には，バスケットボール，ハンドボール，野球，バトミントン，サッカー，ラグビーなどの球技ス

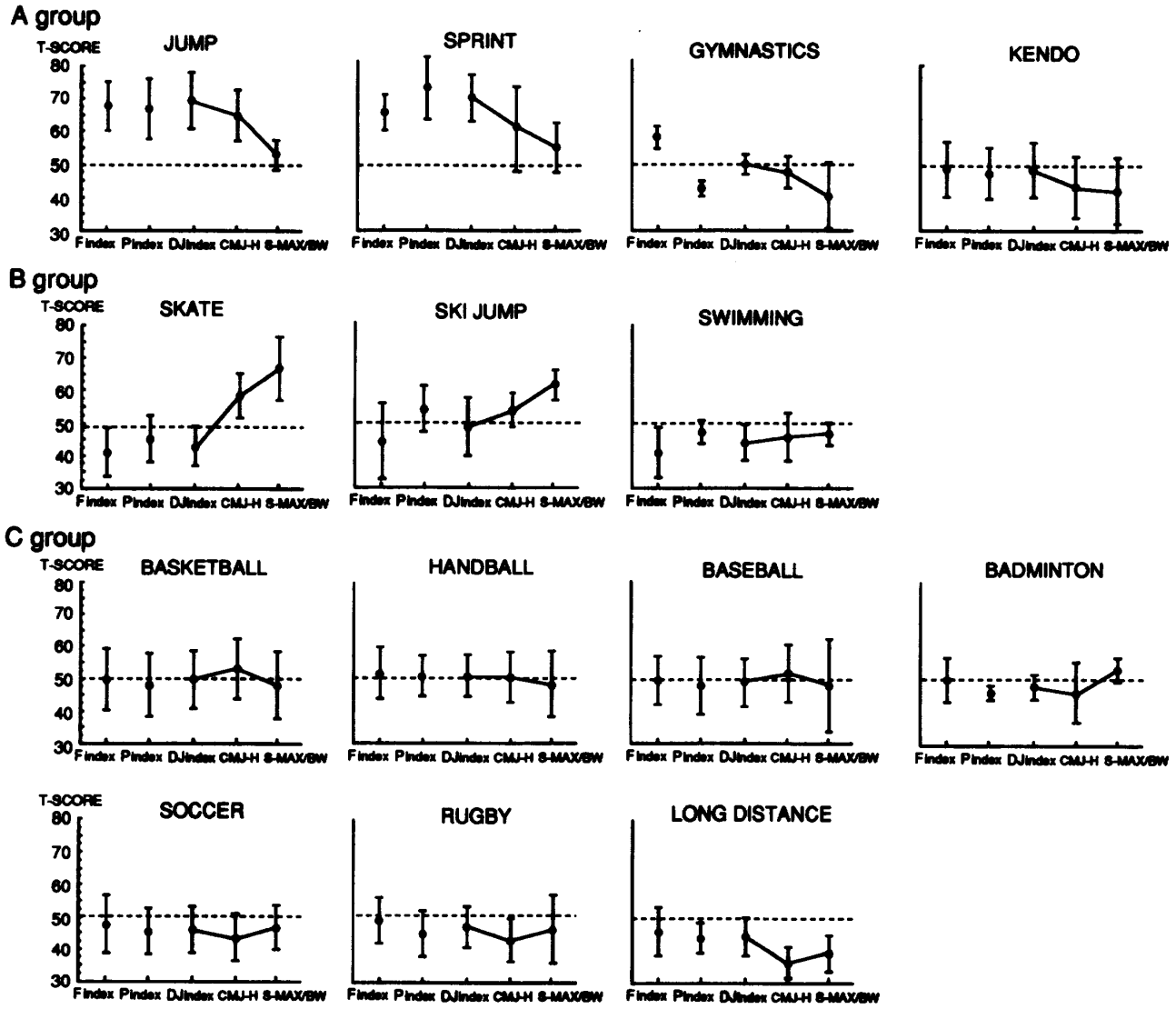

Fig 8. T score of F_{index}, P_{index} and DJ_{index} in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m, height of counter movement jump (CMJ-H), and maximum strength/body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (S-MAX/BW) for several sport athletes.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

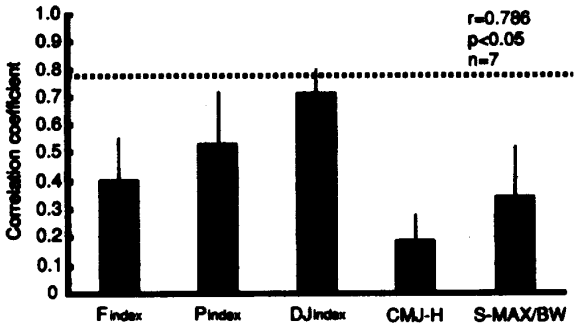

Fig 9. Spearman's correlation coefficient (by ranks) between the jump and footwork capacity in basketball depending on subjective evaluation, and F_{index}, P_{index} and DJ_{index} in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3 m, height of counter movement jump (CMJ-H), and maximum strenght/body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (S-MAX/BW) for seven basketball players. A dotted line is significant level ; $p<0.05$.

ポーツ選手と陸上競技の長距離選手がそれぞれ属した.

なお, C群に含まれる球技スポーツ選手の中から, バスケットボール選手を対象して, ドロップジャンプの F_{index}・P_{index}・DJ_{index}, CMJ-H および S-MAX/BW などの指標と, 実際のプレー中における跳躍やフットワークの優劣との関係について検討した. このために, まず, 被験者8名のうち7名に対して, 日常のトレーニングや試合中における跳躍やフットワークを互いに評価させ, これらの優れる順に序列をつけさせた. ついで, この序列とドロップジャンプの F_{index}・P_{index}・DJ_{index}, CMJ-H および S-MAX/BW の各順位との間の順位相関係数を各選手ごとに算出し, それをもとにして平均相関係数を算出した. 図9にその結果を示した.

跳躍やフットワークの序列と上述の各指標との間には, いずれも有意な平均相関係数は認められなかった. しかし, CMJ-H ($r=0.193$, ns) や S-MAX/BW ($r=0.343$, ns) に比較すると, F_{index} ($r=406$, ns), P_{index} ($r=0.528$, ns), DJ_{index} ($r=0.716$, ns) との平均相関係数は高く, その中でも DJ_{index} との平均相関係数は最も高い値であった.

考　　察

1. バリスティックな伸張ー短縮サイクル運動の遂行能力の評価法

(1) 評価運動として用いるドロップジャンプの台高と膝曲げ動作

本研究では, まずバリスティックな伸張ー短縮サイクル運動の遂行能力を, 適切に評価できるドロップジャンプの台高と膝曲げ動作について検討した.

Brooks and Thach[9], Desmedt and Godaux[15-17] は, 運動終了までの時間が0.15秒から0.20秒程度の極めて短時間に, 力を爆発的に極限まで発揮する運動のことをバリスティック運動として定義し, ゆっくりと力を発揮するランプ運動や0.5秒以上の長い時間を要する運動とは区別している. このバリスティック運動では, 主働筋の活動は外乱によって影響されず, あらかじめ運動中枢でプログラムされた予定の出力量や, 運動遂行時間が補正されずに実行されるフィードフォワード型の神経制御機構によって制御されている可能性が認められている[2,9,15-17,19,26,33]. また, バリスティック運動では, 運動単位の動員や神経衝撃の発射頻度が他の運動とは異なり, すばやい力発揮に適したパターンになっていることも認められている[10,18,27-29].

これらのことは, バリスティックな伸張ー短縮サイクル運動の遂行能力を, 適切に測定できる台高と膝曲げ動作を決定するためには, 一つには, 運動遂行時間, すなわち踏切時間を手がかりにすることが有効であることを示している.

本研究では, ドロップジャンプにおいて, 踏切時間が陸上競技の跳躍種目と同程度に短く, しかも0.2秒以内であったのは, 台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作のみであることが認められた (図1). 台高を 0.3 m より高くすると, 踏切前半で受け止める力学的エネルギーが大きくなるために, 踏切時間は長くなり, また, 膝曲げ動作を深くすると, 垂直跳と同様に, 踏切時間は0.5秒よりも長くなった. これらの結果は, 台高の高いドロップジャンプ, あるいは膝曲げ動作の深いドロ

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

ップジャンプは，バリスティック運動の条件に合わないことを示している．

また本研究では，ドロップジャンプにおける踏切時間と跳躍時間は，いずれも踏切中点の膝関節角度が約120°で急激に変化すること，言い換えると，最も短い踏切時間で，最も長い跳躍時間を獲得できるドロップジャンプは，踏切中点の膝関節角度が約120°の場合であることが認められた(図2)．この踏切中点の膝関節角度は，浅い膝曲げ動作の場合と同じであった．

Bobbert et al.[3,4]は，このようなあまり高くない台高から，浅い膝曲げ動作で行うドロップジャンプは，身体の中の最も大きい弾性体であるアキレス腱を含む足関節を有効に利用できるので，弾性エネルギーの貯蔵および再利用機構を有効に活用できる運動であること，あるいは高い台高による場合と比較して，地面反力や関節にかかる力に鋭いピークが出現しないので，安全な運動であることなどを指摘している．

本研究では，上述の理由から，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価する運動として，0.3 m の台高から浅い膝曲げ動作で行うドロップジャンプを用いることにした．

(2) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価する指標

本研究では，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価するために，台高0.3 m から浅い膝曲げ動作で行うドロップジャンプの踏切時間と跳躍時間を用いて，力学的に算出できる踏切中の平均力(F_{index})と平均パワー(P_{index})，および短い踏切時間の中で高い跳躍高を獲得する能力(DJ_{index})の3つの指標を作成した．この3つの指標と踏切時間および跳躍時間との関係をみると，DJ_{index} は踏切時間および跳躍時間との間にいずれも有意な高い相関関係が認められたが，F_{index} は踏切時間，P_{index} は跳躍時間との間にのみに有意な高い相関関係が認められた(図3)．また，3つの指標の相互関係をみると，DJ_{index} は F_{index} および P_{index} との間にいずれも有意な高い相関関係が認められたが，F_{index} と P_{index} との間には高い相関関係は認められなかった(図4)．

上述の結果は，F_{index} と P_{index} は踏切時間と跳躍時間のどちらか一方を反映しているのに対して，DJ_{index} は踏切時間と跳躍時間の両者を反映した指標であるとともに，平均力と平均パワーのいずれも反映した指標であることを示している．本研究では，このような特性を持つ DJ_{index} を，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価する指標として用いることにした．

なお，上述したように，各指標の持つ意味が異なるために，各種スポーツ選手における F_{index}，P_{index}，DJ_{index} の大きさとその順位はかなり異なったと考えられる(図5)．

2. 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性

本研究では，台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作におけるドロップジャンプの DJ_{index}，垂直跳の跳躍高(CMJ-H)，およびスクワット姿勢によるアイソメトリックな最大筋力(S-MAX/BW)の実測値とその標準得点化した値を用いて，各種スポーツ選手の下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性について検討した．標準得点化した値をもとにすると，本研究における被験者は大きくA，B，Cの3群に分けられることが認められた(図8)．

A群は DJ_{index} が最も高く，ついで CMJ-H，S-MAX/BW の順に高くなるタイプであり，これには陸上競技の跳躍選手と短距離選手，器械体操選手および剣道選手が属していた．これらのスポーツでは，競技中における一動作の時間が非常に短く，しかも勝敗を決する瞬間や重要な局面で，力を爆発的に発揮することが要求される．このような各種目の特性が，上述した結果に反映されたものと考えられる．この最も顕著な例は，極めて高い DJ_{index} を示した陸上競技の跳躍選手と短距離選手である(図6)．

一方B群は，A群とは逆に，S-MAX/BW が最も高く，ついで CMJ-H，DJ_{index} が高くなるタイプであり，これにはスケート選手，スキージャンプ選手および水泳選手が属していた．スケートや水

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

泳には，競技中における一動作の時間が比較的長く，ゆっくりした速度で力を発揮する局面が多いこと，競技を行う環境が氷上や水中であるために，外力に抗してエキセントリックな筋力を爆発的に発揮する場面が少ないこと，あるいは勝敗は瞬間的な力の発揮よりも仕事の大きさに左右されることなどの特性がある．また，スキージャンプには，滑走局面では，アイソメトリックな筋力を発揮しながら，深くしゃがみこんだスクワット姿勢を維持し，踏切局面では，できるだけ短時間にコンセントリックな筋力を発揮しながらキック動作が行われることなどの特性がある．このような各種目の特性が，上述した結果に反映されたものと考えられる．その最も顕著な例は，極めて高いS-MAX/BW を示したスケート選手とスキージャンプ選手である(図6)．

C群は DJ_{index}，CMJ-H，S-MAX/BW に顕著な差のない群であり，これには各種の球技スポーツ選手および長距離選手が属していた．球技スポーツでは，A群，B群の種目とは異なり，競技中に走，跳，投，打，蹴などの様々な動きが要求される．これらの動きには，大きな力を爆発的に発揮することが要求されるものもあれば，大きなスピードを出さなければならないものもある．また，そこでは，アイソメトリック，コンセントリック，エクセントリックな3つの筋収縮が，その場の状況において使い分けられる．このように，球技スポーツでは，様々な能力が総合的に要求されるので，上述のように特徴のない結果が得られたものと考えられる．この結果は，ある意味では球技スポーツの特徴を反映している．しかし，球技スポーツ選手の中には，他の選手に比較して，フェイントによって瞬間的に敵をかわしたり，巧みなステップをきってすばやく敵をかわしながら走り抜けたり，跳躍することができる選手がいることもまた事実である．本研究では，このような選手がどのような能力に優れているかを明らかにするために，跳躍やフットワークに優れる選手の序列と各指標の順位との平均相関係数を求めた．その結果，跳躍やフットワークに優れる選手の序列とドロップジャンプの F_{index}，P_{index}，DJ_{index} との平均相関係数は，CMJ-H や S-MAX/BW に比較して高く，その中でも DJ_{index} との平均相関係数は最も高いことが認められた．この結果は，球技スポーツ選手が跳躍やフットワークに優れるためには，陸上競技の跳躍選手や短距離選手と同じような能力を身につけていなければならないことを示すものである．このことは，球技スポーツにおける跳躍やフットワークにも，様々な方向へ急激に移動するバリスティックな伸張ー短縮サイクル運動が内在していることを考慮すると十分に理解できる．

ドロップジャンプにおける DJ_{index} は，踏切時間と跳躍時間によって求められる．そこで本研究では，各種スポーツ選手の DJ_{index} の優劣が，踏切時間と跳躍時間のどちらに大きく影響されるかについて検討した．踏切時間は短いほど，跳躍時間は長いほど，それぞれの課題に対して優れているとすると，陸上競技の跳躍選手や短距離選手は踏切時間，跳躍時間ともに優れているタイプ，スケート選手と水泳選手は踏切時間，跳躍時間ともに劣っているタイプ，器械体操選手は踏切時間に優れ，跳躍時間に劣っているタイプ，スキージャンプ選手は踏切時間に劣り，跳躍時間に優れているタイプとして特徴づけられることが認められた(図7)．上述した結果は，DJ_{index} をもとにして，スポーツタレントを発掘したり，トレーニング効果を評価する場合には，その基礎になる踏切時間と跳躍時間を評価することが重要であることを示している．

本研究では，バリスティックな伸張ー短縮サイクル運動の遂行能力を，台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作のドロップジャンプにおける DJ_{index} を用いて評価した．この DJ_{index} は，踏切時間と跳躍時間によって算出できるので，安価な測定装置であるマットスイッチがあれば，だれでも，いつでも，どこでも，簡単に測定できる．したがって，今後，バリスティックな伸張ー短縮サイクル運動の遂行能力からみたスポーツ適性やトレーニング効果を，手軽にしかも精度よく測定・評価する際には有用になると考えられる．

なお，本研究で用いた台高 0.3 m からの浅い

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

膝曲げ動作によるドロップジャンプは，腰関節や膝関節に比較して，足関節に関与する筋群が大きく貢献する運動である[3,4,30]．これに対して，垂直跳やスクワット姿勢による筋力の発揮は，足関節に比較して，腰関節や膝関節に関与する筋群が大きく貢献する運動である．したがって，本研究で認められた各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性には，運動遂行時間や筋の収縮様式に加えて，運動様式に対する被験者の特性も反映していると考えられる．このことについては，今後さらに検討する必要がある．

要　　約

本研究では，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を測定・評価できる方法を作成し，各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性について検討した．

1．評価運動には，典型的な伸張－短縮サイクル運動であるドロップジャンプを用いた．ドロップジャンプの台高と膝曲げ動作を，大学男子体育専攻学生10名を対象にして検討した．その結果，0.3 m の台高から浅い膝曲げ動作によって行われるリバウンド型ドロップジャンプは，最も短い踏切時間で最も長い跳躍時間が得られること，バリスティックな運動であること，安全性が高いことなどから評価運動として適切であることが認められた．

2．ドロップジャンプの遂行能力を評価するために，踏切時間(t_c)と跳躍時間(t_a)を用いて，踏切中の平均力〔$F_{index} = \{t_a/2 + (2 \cdot h_d/g)^{1/2}\}/t_c + 1$〕と平均パワー〔$P_{index} = \{g \cdot (t_a/2)^2 - 2 \cdot h_d\}/(2 \cdot t_c)$〕，および短い踏切時間の中で高い跳躍高を獲得する能力〔$DJ_{index} = (1/8 \cdot g \cdot t_a^2)/t_c$〕の３つの指標を作成した．３つの指標の相互関係，および３つの指標と踏切時間および跳躍時間との関係を，14種目のスポーツ選手男子93名を対象にして検討した．その結果，DJ_{index} は，踏切時間と跳躍時間の両者を反映した指標であるとともに，平均力と平均パワーのいずれをも反映した指標であることなどから，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価する最も適切な指標であることが認められた．

3．14種目のスポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性を，DJ_{index}，垂直跳の跳躍高(CMJ-H)，およびスクワット姿勢によるアイソメトリックな最大筋力(S-MAX/BW)を比較することによって検討した．その結果，実測値を標準得点化した値をもとにすると，被験者は大きくA・B・Cの３群に分けられることが認められた．A群は，陸上競技の跳躍選手と短距離選手，器械体操選手および剣道選手などのように，DJ_{index} が最も高く，ついで，CMJ-H，S-MAX/BW の順に高くなるタイプであった．B群は，スケート選手，スキージャンプ選手および水泳選手などのように，A群とは逆のタイプであった．またC群は，球技選手や陸上競技の長距離選手のように，DJ_{index}，CMJ-H，S-MAX/BW に顕著な差のないタイプであった．なお，球技選手の中で，跳躍やフットワークの能力に優れた選手は，DJ_{index} に優れる傾向が認められた．

上述の結果は，各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性を明らかにするためには，一般に行われている筋力やパワーの評価に加えて，本研究で対象にしたバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力も評価することが有効であることを示している．そのことによって，各種スポーツ選手の下肢の筋力およびパワー発揮からみたスポーツタレントの発掘およびトレーニング効果の評価は，より合理的に実施できると考えられる．なお，DJ_{index} の算出に用いる踏切時間と跳躍時間は，マットスイッチを用いて簡単に，しかも精度よく測定できるので，DJ_{index} による下肢の筋力およびパワー発揮に関する評価は実用的であると考えられる．

文献 (References)

1) Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. Acta Physiol. Scand. 91：385-392.

2) Bizzi, E., Polit, A. and Morsso, P. (1976) Mechanisms underlying achievement of final head position. J. Neurophysiol. 39：435-444.

3) Bobbert, M. F., Huijing, P. A. and Van Ingen Sche-

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

nau, G. J. (1987) Drop Jumping I : The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. Med. Sci. Sports and Exerc. 19 : 332-338.

4) Bobbert, M. F., Huijing, P. A. and Van Ingen Schenau, G. J. (1987) Drop Jumping II : The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. Med. Sci. Sports and Exerc. 19 : 339-346.

5) Bosco, C. and Komi, P. V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. Acta Physiol. Scand. 106 : 467-472.

6) Bosco, C., Komi, P. V. and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. Acta Physiol. Scand. 111 : 135-140.

7) Bosco, C. and Viitasalo, J. T. (1982) Potentiation of myoelectric activity in human muscles in vertical jumps. Electromyogr. Clin. Neurophysiol. 22 : 549-562.

8) Bosco, C., Viitasalo, J. T., Komi, P. V. and Luhtanen, P. (1982) Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. Acta Physiol. Scand. 114 : 557-565.

9) Brooks, V. B. and Thach, W. T. (1981) Cerebellar control of posture and movement. In : Brooks, V. B. (Eds.) Handbook of physiology, The nervous system, vol. II, part 2. American physiological Society : Bethesds. pp. 889-891.

10) Capaday, C. and Stein, R. B. (1987) Difference in the amplitude of human soleus H-reflex during walking and running. J. Physiol. 392 : 513-522.

11) Cavagna, G. A., Saibene, F. P. and Margaria, R. (1965) Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. J. Appl. Physiol. 20 : 157-158.

12) Cavagna, G. A., Dusman, B. and Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. J. Appl. Physiol. 24 : 21-32.

13) Chapman, A. E. and Caldwell, G. E. (1985) The use of muscle stretch in inertial loading. Biomechanics IV-A. 44-49.

14) Chapman, A. E., Caldwell, G. E. and Selbie, W. S. (1985) Mechanical output following muscle stretch in forearm supination against inertial loads. J. Appl. Physiol. 59 : 78-86.

15) Desmedt, J. E. and Godaux, E. (1977) Ballistic contraction in man : Characteristic recruitment pattern of single motor unit of tibialis anterior muscles. J. Physiol. 264 : 673-693.

16) Desmedt, J. E. and Godaux, E. (1978) Ballistic skilled movements : Load compensation and patterning of the motor commands. Desmedt, J. E. (Eds.) Cerebral motor control in man : Long loop mechanism. Prog. Clin. Neurophysiol. 4 : 21-55.

17) Desmedt, J. E. and Godaux, E. (1979) Voluntary motor commands in human ballistic movements. Ann. Neurol. 5 : 415-421.

18) Gollhofer, A., Strojnik, W., Rapp, W. and Schweizer, L. (1992) Behaviour of triceps surae muscle-tendon complex in different jump condition. Eur. J. Appl. Physiol. 64 : 283-291.

19) Hallett, M. (1975) EMG analysis of steleotyped voluntary movement in man. J. Neurosurg. Phychiat. 38 : 1154-1162.

20) Hay, J. G. (1973) The Hay technique ultimate in jump style. Athletic Journal. 53(7) : 113-115.

21) Karayannis, M. (1978) A Cinematographical analysis of long jump take off : The best nine long jumpers at the 1974 NCAA championship. Track and Field Quart. Review 78 : 17-24.

22) 勝田 茂・酒井俊郎・河原志津子 (1988) プライオメトリックスに関する基礎的研究—競技種目別にみたデプスジャンプの至適回数について—. 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—, 44-55.

23) 小嶋武次 (1989) 跳躍動作における伸張性筋収縮の意義. J. J. Sports Sci. 3 : 123-129.

24) Komi, P. V. and Buskirk, E. R. (1972) Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. Ergonomics. 15 : 427-434.

25) Komi, P. V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med. Sci. Sports and Exerc. 10 : 261-265.

26) Marsden, G. D (1976) Servoactin in human thumb. J. Physiol. 257 : 1-44.

27) Moritani, T., Oddsson, L. and Thorstensson, A. (1990) Differences in modulation of the gastrocnemius and soleus H-reflexes during hopping in man. Acta Physiol. Scand. 138 : 575-576.

28) Smith, J. L. (1977) EMG of slow and fast ankle extensors of cat during posture, locomotion and jumping. J. Neurophysiol. 40 : 503-513.

NII-Electronic Library Service

Japanese Society of Physical Education

29) Smith, J. L. (1980) Rapid ankle extension during paw shakes : Selective recruitment of fast ankle extensors. J. Neurophysiol. 13 : 612-620.

30) 高松　薫・図子浩二・会田　宏・吉田　亨・石島繁 (1989) デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢にかかる負荷特性に及ぼす影響. 昭和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No.Ⅸ プライオメトリックリアクティブ筋力トレーニングに関する研究—第2報—, 46-55.

31) 高松　薫・会田　宏・図子浩二 (1991) Isometric および eccentric な予備緊張が肘屈曲速度に及ぼす影響—Concentric な収縮中の負荷重量および動作範囲に着目して—. 体育学研究 36 : 127-139.

32) Viitasalo, J. T. (1984) Electromechanical behaviour of the knee extensor musculature in maximal isometric and concentric contractions and in jumping. Electromyogr. clin. Neurophysiol. 24 : 293-303.

33) 米田継武 (1989) すばやい力発揮の制御. J. J. Sports Sci. 10 : 657-662.

(平成4年7月23日受付
平成5年7月24日受理)

NII-Electronic Library Service