

博士論文

バラステリックな伸張-短縮サイクル運動の  
遂行能力を決定する要因

平成六年夏

筑波大学大学院 体育科学研究科

園子 浩二

寄	贈
高松薫氏	平成 年 月 日

5/27  
2014  
①

博士論文

バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因

平成六年度

筑波大学大学院 体育科学研究科

関子 浩二

指導教官

高松 薫 教授

## 目 次

I . 緒 言	・・・	1
II . 文献研究	・・・	4
1. バリスティックな運動に関する研究	・・・	4
(1) バリスティックな運動	・・・	4
(2) バリスティックな運動における運動制御機構	・・・	4
(3) バリスティックな運動における神経系の調節機構	・・・	6
2. 伸張－短縮サイクル運動に関する研究	・・・	7
(1) 伸張－短縮サイクル運動	・・・	7
(2) 伸張－短縮サイクル運動と弾性エネルギー	・・・	8
(3) 伸張－短縮サイクル運動と神経系の調節機構	・・・	10
(4) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動	・・・	12
3. プライオメトリックスに関する研究	・・・	12
(1) プライオメトリックス	・・・	12
(2) プライオメトリックスの代表的な手段としてのドロップジャンプ	・・・	15
4. ドロップジャンプに関する研究	・・・	16
(1) ドロップジャンプにおける跳躍動作	・・・	16
(2) ドロップジャンプにおける着地動作	・・・	18
(3) ドロップジャンプにおける至適台高	・・・	20
(4) ドロップジャンプトレーニングの効果	・・・	22
(5) ドロップジャンプトレーニングの効果に関する要因	・・・	26

5. 筋力とパワーの測定評価法	・・・ 31
III. 研究目的および研究課題	・・・ 33
IV. ドロップジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響（研究課題1）	・・・ 35
1. 目的	・・・ 35
2. 方法	・・・ 36
(1) 被験者	・・・ 36
(2) 実験試技	・・・ 37
(3) 測定項目および測定方法	・・・ 37
(4) 統計処理	・・・ 38
3. 結果	・・・ 38
(1) 台高の相違がドロップジャンプの跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響	・・・ 39
(2) 膝曲げ動作の相違がドロップジャンプの跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響	・・・ 48
4. 考察	・・・ 49
5. 要約	・・・ 53
V. 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響	

(研究課題 1)	・・・ 55
1. 目的	・・・ 55
2. 方法	・・・ 56
(1) 被験者	・・・ 56
(2) 実験試技	・・・ 57
(3) 測定項目および測定方法	・・・ 59
(4) 統計処理	・・・ 60
3. 結果	・・・ 60
(1) 踏切中点における膝関節角度	・・・ 60
(2) 踏切前半における時間	・・・ 62
(3) 踏切前半における膝関節の平均角速度	・・・ 62
(4) 踏切前半における地面反力	・・・ 62
(5) 踏切前半における筋電図	・・・ 66
(6) 跳躍高	・・・ 66
4. 考察	・・・ 66
5. 要約	・・・ 72
VI. バリスティックな伸張－短縮サイ クル運動の遂行能力からみた各種ス ポーツ選手の特性（研究課題 1 およ び 2）	・・・ 74
1. 目的	・・・ 74
2. 方法	・・・ 76

(1) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を評価する指標 の作成	・・・ 76
(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	・・・ 77
1) 被験者	・・・ 78
2) 試技方法	・・・ 78
3) 測定項目および測定方法	・・・ 79
(3) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種ス ポーツ選手の特性	・・・ 79
1) 被験者	・・・ 79
2) 測定項目および測定方法	・・・ 80
3. 結 果	・・・ 80
(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滞空 時間に及ぼす影響	・・・ 80
1) 台高の相違による影響	・・・ 81
2) 膝曲げ動作の相違による影響	・・・ 81
(2) ドロップジャンプにおける踏切時間, 滞空時間, $F_{index}$ , $P_{index}$ , $DJ_{index}$ の相互関係 (台高0.3mからの浅い膝曲げ動作による場合)	・・・ 81
(3) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種ス ポーツ選手の特性	・・・ 84
(4) $DJ_{index}$ の再現性	・・・ 94
4. 考 察	・・・ 94
(1) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の評価法	・・・ 94
(2) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種ス ポーツ選手の特性	・・・ 99
5. 要 約	・・・ 103

VII. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－その1：筋力および瞬発力に着目して－（研究課題3）	・・・105
1. 目的	・・・105
2. 方法	・・・107
(1) 被験者	・・・107
(2) 測定項目および測定方法	・・・107
1) リバウンドドロップジャンプ能力(RDJ <sub>index</sub> )	・・・107
2) 最大脚伸展力(Smax/BW)	・・・108
3) 垂直跳の跳躍高(CMJh)	・・・109
3. 結果	・・・109
(1) RDJ <sub>index</sub> , Smax/BW, CMJhの相互関係	・・・109
(2) リバウンドドロップジャンプにおけるRDJ <sub>index</sub> , 踏切時間, 滞空時間の相互関係	・・・111
(3) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間および滞空時間とSmax/BWおよびCMJhの相互関係	・・・111
4. 考察	・・・111
5. 要約	・・・116
VIII. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－その2：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して－（研究課題4および課題5）	・・・118

1. 目 的	・ ・ ・ 118
2. 方 法	・ ・ ・ 120
(1) リバウンドドロップジャンプ指数と下肢の各関節の仕事との関係（実 験 1）	・ ・ ・ 120
1) 被験者	・ ・ ・ 120
2) 測定項目および測定方法	・ ・ ・ 120
(2) 開眼と閉眼でのリバウンドドロップジャンプ指数の比較（実験 2）	・ ・ ・ 122
1) 被験者	・ ・ ・ 122
2) 測定項目および測定方法	・ ・ ・ 123
3. 結 果	・ ・ ・ 123
(1) リバウンドドロップジャンプ指数と下肢の各関節の仕事との関係	・ ・ ・ 124
(2) 開眼と閉眼でのリバウンドドロップジャンプ指数の比較	・ ・ ・ 129
4. 考 察	・ ・ ・ 133
(1) 下肢各関節の仕事が踏切時間の短縮に及ぼす影響	・ ・ ・ 133
(2) 着地に対する時間的空間的な予測が踏切時間の短縮に及ぼす影響	・ ・ ・ 136
5. 要 約	・ ・ ・ 139
<b>IX. バリステイックな伸張－短縮サイ     クル運動の遂行能力を決定する要因     －その 3：着地動作に着目して（研     究課題 6）</b>	・ ・ ・ 142
1. 目 的	・ ・ ・ 142



2. 方 法	・・・ 144
(1) 被験者	・・・ 144
(2) 試技方法	・・・ 144
(3) 測定項目および測定方法	・・・ 144
3. 結 果	・・・ 145
(1) 膝関節および足関節の動きからみた着地動作および踏切動作の特徴	・・・ 145
(2) 着地動作の違いがRDJ <sub>index</sub> に及ぼす影響	・・・ 149
(3) 着地動作の違いが踏切動作に及ぼす影響	・・・ 149
4. 考 察	・・・ 149
5. 要 約	・・・ 158
<b>X. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴なう踏切時間と跳躍高の変化パターン（研究課題7）</b>	・・・ 160
1. 目 的	・・・ 160
2. 方 法	・・・ 162
(1) 被験者	・・・ 162
(2) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力(RDJ <sub>index</sub> )の測定	・・・ 162
3. 結 果	・・・ 162
4. 考 察	・・・ 163

5. 要 約	・ ・ ・ 171
XI. 討 論	・ ・ ・ 173
1. バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法	・ ・ ・ 173
2. バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する体力的・技術的要因	・ ・ ・ 174
XII. 総 括	・ ・ ・ 179
1. 研究目的	・ ・ ・ 179
2. 研究課題	・ ・ ・ 179
3. 研究の概要	・ ・ ・ 180
(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跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響（研究課題1）	・ ・ ・ 180
(2) 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響（研究課題1）	・ ・ ・ 180
(3) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性（研究課題1および2）	・ ・ ・ 181
(4) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－その1：筋力および瞬発力に着目して－（研究課題3）	・ ・ ・ 182
(5) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－その2：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して－（研究課題4および5）	・ ・ ・ 182
(6) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－その3：着地動作に着目して－（研究課題6）	・ ・ ・ 183
(7) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴う	

踏切時間と跳躍高の変化パターン（研究課題7）	・・・183
XIII. 結 論	・・・184
謝 辞	・・・186
文 献	・・・187
参考論文	

本論文は、次に示した論文と審査中の論文をもとにしてまとめられたものである。

1. 高松 薫, 関子浩二, 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筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響. 昭和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 NO. IX プリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究 -第2報-, pp 46-55.
2. 関子浩二, 高松 薫, 古藤高良 (1992) 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響. いばらき体育・スポーツ科学 8:11-18.
3. 関子浩二, 高松 薫, 古藤高良 (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. 体育学研究 38:265-278.
4. 関子浩二, 高松 薫 (1995) パリステイックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 -筋力および瞬発力に着目して-. 体力科学 44:掲載予定 (印刷中).
5. 関子浩二, 高松 薫 (1995) リバウンドジャンプ能力の向上に伴う踏切時間と跳躍高の変化パターン. 日本バイオメカニクス学会第12回大会論文集「生体・運動のシステム-スポーツスキルの向上-」 (印刷中).

## 表のタイトル

IV章 ドロップジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響 (研究課題 1)

Table 1. Maximum knee flexion angle during impact phase in drop jump.

Table 2. Contact time during impact phase in drop jump.

VIII章 バリステイックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 - その 2 : 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して - (研究課題 4 および 5)

Table 3. Mechanical work and relative work done by the lower limb joints in rebound drop jump.

Table 4. Correlation coefficients between  $RDJ_{index}$  and mechanical work and relative work done by the lower limb joints in rebound drop jump.

## 図のタイトル

## IV章 ドロップジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響（研究課題1）

- Fig. 1. Maximum knee flexion angle during contact phase in drop jump.
- Fig. 2. Jumping height in drop jump.
- Fig. 3. Contact time in drop jump.
- Fig. 4. Maximum force / body weight and force / body weight at the maximum knee flexion angle (mid point force) in drop jump.
- Fig. 5. Maximum power done by the lower limb joints during former and latter contact phase in drop jump.
- Fig. 6. Relative work done by the lower limb joints during former and latter contact phase in drop jump.
- Fig. 7. The iEMG of m. vastus lateralis and m. gastrocnemius.

## V章 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響（研究課題1）

- Fig. 8. Experimental condition in four different drop jumps.
- Fig. 9. Average knee angular velocity during impact phase in drop jump.
- Fig. 10. Maximum force / body weight (the upper part) and the average force / body weight (the middle part) during impact phase, and the force / body weight at the maximum knee flexion angle (the bottom part) in drop jump.
- Fig. 11. The iEMG and mEMG of m. vastus lateralis, lateral head of

m. gastrocnemius and m. soleus during impact phase in drop jump.

Fig. 12. Jumping height in drop jump.

VI章 バリステイックな伸張—短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手  
の特性（研究課題 1 および 2）

Fig. 13. Contact time and air time in drop jump with small, middle and large angular displacement of the knee from height of 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2m.

Fig 14. Relationships between knee angle at maximum flexion, and contact time and air time in drop jump from height of 0.3m.

Fig. 15. 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 0.3m.

Fig. 16. Relationships between  $F_{index}$ ,  $P_{index}$  and  $DJ_{index}$  in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m.

Fig. 17.  $F_{index}$ ,  $P_{index}$  and  $DJ_{index}$  in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m for several sport athlete.

Fig. 18.  $DJ_{index}$  in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m, height of counter movement jump (CMJh), and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle ( $S_{max}/BW$ ) for several sport athlete.

Fig. 19. Relationship between contact time and air time in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m for several sport athlete.

Fig. 20. T score of  $F_{index}$ ,  $P_{index}$  and  $DJ_{index}$  in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m, height of

counter movement jump (CMJh), and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle ( $S_{max}/BW$ ) for several sport athlete.

Fig. 21. 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 0.3m, height of counter movement jump (CMJh), and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle ( $S_{max}/BW$ ) for seven basketball players.

Fig. 22. Relationship between  $DJ_{index}$  of the first trial and  $DJ_{index}$  of the second trial in a same measurement day.

Fig. 23. Relationship between  $DJ_{index}$  of a trial in the first measurement day and  $DJ_{index}$  of a trial in the second measurement day.

#### VII章 バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 –その1：筋力および瞬発力に着目して– (研究課題3)

Fig. 24. Relationships among  $RDJ_{index}$  in rebound drop jump from height of 0.3m, maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle ( $S_{max}/BW$ ) and height of counter movement jump (CMJh).

Fig. 25. Relationships among contact time ( $RDJt_c$ ), air time ( $RDJt_a$ ) and  $RDJ_{index}$  in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 26. Relationships between contact time ( $RDJt_c$ ) and air time ( $RDJt_a$ ) in rebound drop jump from height of 0.3m, and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle ( $S_{max}/BW$ ) and height of counter movement jump (CMJh).

#### VIII章 バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 –その2：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して– (研究課題4および



5)

Fig. 27. Relationships between the relative values of negative work at hip and ankle to the total work done by the lower limb joints, and contact time ( $RDJt_c$ ) and air time ( $RDJt_a$ ) in rebound drop jump.

Fig. 28. Relationships between the relative values of negative work at the ankle to the total work done by the lower limb joints in rebound drop jump and maximum plantar flexion force to body weight (BW).

Fig. 29. Relationships between contact time ( $RDJt_c$ ) and air time ( $RDJt_a$ ) in relation to  $RDJ_{index}$  of two type of rebound drop jump with visual condition and without visual condition.

Fig. 30. Relationship between  $RDJ_{index}$  with visual condition and the ratio of  $RDJ_{index}$  without visual condition to that with visual condition in rebound drop jump.

Fig. 31. Changes of  $RDJ_{index}$ , contact time ( $RDJt_c$ ) and air time ( $RDJt_a$ ) in series of nine rebound drop jumps.

#### IX章 パリステイックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 -その3: 着地動作に着目して- (研究課題6)

Fig. 32. Example records of the angular displacement at the knee and the ankle joints and the vertical ground reaction force in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 33. Changes of angular displacement at the knee and the ankle joints in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 34. Relationships between angular displacement in flexion at the knee joint during descending phase, and  $RDJ_{index}$ , contact time ( $RDJt_c$ ) and air time ( $RDJt_a$ ) in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 35. Relationship between angular displacement in flexion at the knee

joint during descending phase and the time required from end of flexion at the knee joint to end of dorsiflexion at the ankle joint in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 36. Relationship between angular displacement in flexion at the knee joint during descending phase and angular displacement in extension at the knee joint during floor contact phase in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 37. Sequence of diagrams every 20 ms of typical two forms in rebound drop jump from height of 0.3m.

#### X章 バリステイックな伸張—短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴う踏切時間と跳躍高の変化パターン (研究課題7)

Fig. 38. Changing pattern of contact time ( $RDJt_c$ ) and jumping height ( $RDJh$ ) followed in order of  $RDJ_{index}$  in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 39. Changing patterns of contact time ( $\Delta RDJt_c$ ) and jumping height ( $\Delta RDJh$ ) like the swing of pendulum followed in order of  $RDJ_{index}$  in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 40. Relationship between change of contact time ( $\Delta RDJt_c$ ) and change of jumping height ( $\Delta RDJh$ ) in rebound drop jump from height of 0.3m.

Fig. 41. Relationship between contact time ( $RDJt_c$ ) and air time ( $RDJt_a$ ) with given values of in  $RDJ_{index}$  (1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0) in rebound drop jump from height of 0.3m.

#### XI章 討 論

Fig. 42. Structural model and factors determining ability to achieve ballistic stretch-shortening cycle movement.

## I . 結 言

重力環境下に生きる人間の運動は，そのほとんどが重力に抗して行われている．このために，人間は硬く弾力の少ない地面に屈せず，抵抗となる自らの身体重量を受け止めたり，もとの状態に跳ね戻す能力を持っている．また，人間はバネのように機能する脚筋の働きを有効に利用することによって，合目的かつ経済的に運動を遂行している．マイネル(1980)は，幼児はこの能力に劣っているが，成長するにつれて発達し加齢とともに退化すること，山岳地方で生活する人や優れたスポーツ選手では，この能力が著しく発達していることなどを示している．さらに，マイネル(1980)は，この能力が着地時の衝撃力によって生じる筋・腱・筋膜・関節・骨などの運動器官の損傷を防ぐとともに，大脳などの中枢神経系の疾患を防ぐためにも極めて重要な能力の一つであることも示している．

上述の運動を，筋の収縮特性に注目してみると，下肢筋は強制的に伸張されながらエキセントリックな筋収縮によって身体の持つ運動エネルギーを受け止め，その後コンセントリックな筋収縮によってキック動作を遂行している．このような筋の伸張と短縮が複合された運動は，伸張－短縮サイクル運動(stretch-shortening cycle exercise, SSC)と呼ばれている(Komi and Buskirk, 1972)．この伸張－短縮サイクル運動は，筋の伸張中に貯えられた弾性エネルギーが短縮中に再利用されたり，あるいは伸張反射により筋の興奮水準が高められることから，大きな力をすばやく発揮できるとともに，運動効率を高くすることができることが認められている(Komi and Buskirk, 1972 ; Komi and Bosco, 1978)．

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は、極めて短時間に爆発的に力を発揮することが要求されるバリスティックな運動(ballistic movement)である。このバリスティックな運動は、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ことが認められている(Brooks and Thach, 1981 ; Desmedt and Godaux, 1977, 1978, 1979 ; Marsden, 1976 ; 米田, 1989)。また、これらの運動は、上述した典型的な伸張－短縮サイクル運動でもある。このことは、跳躍選手や球技選手が優れた競技成績を獲得するためには、バリスティックな運動と伸張－短縮サイクル運動の二つの運動を有効に遂行する総合的な能力、すなわち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に高めることが必要であることを示している。

一方、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は、学校体育においてスポーツ活動や体育活動を行っている児童や生徒のためにも非常に重要な能力であると考えられる。したがって、スポーツにおいて優れた成績を獲得するためばかりでなく、一生を通じて健康で豊かな生活を営むためには、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を、発育発達に応じて適切に保持増進させていくことが極めて重要になる。そのためには、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動を、各種スポーツの場におけるトレーニング手段として、あるいは学校体育や社会体育の場における体育手段として適切に導入していくことが重要であると考えられる。

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動を、トレーニング手段や体育手段として適切に導入するためには、何よりもまず、この運動の遂行能力を合理的に高めることのできるトレーニング理論を構築することが

重要である。そのためには、第一に、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に評価することのできる測定評価法を開発すること、第二に、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を明らかにすることが必要であると考えられる。これらの各課題を解決することによって、各種のスポーツ選手の特性に応じたトレーニング法を明確にすることができるようになるとともに、発育発達などの人間の一生と関連づけて、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めることに役立つ新しい視点を提示することができるようになると考えられる。体育科学のねらいの一つが、体育実践やスポーツ実践の場における各種の課題を究明し、実践に役立つ知識を集積し体系化することにあるとすれば、上述の研究課題は、体育科学が取り組むべき極めて重要な研究課題の一つであると考えられる。

## II . 文 献 研 究

### 1. バリスティックな運動に関する研究

#### (1) バリスティックな運動

人間が運動を行う場合には、一気に極限まで力を発揮する場合とゆっくりと力を調節しながら発揮する場合がある。すばやく爆発的な動きが常に要求されるスポーツ運動の大部分は、前者のような力の発揮様式になっていることが考えられる。

Brooks and Thach(1981)は、運動終了までの時間が約0.20秒であり、できるだけすばやく行う運動のことをバリスティックな運動(ballistic movement)として分類している。

一方、Desmedt and Godaux(1977, 1978, 1979)は、0.15秒程度のできるだけすばやく行う力発揮のことをバリスティックな収縮(ballistic contraction)として定義し、ランプ収縮(ramp contraction)とは区別している。

以上のことは、バリスティックな運動を、0.2秒以内にできるだけすばやく一気に行う運動として定義することができることを示している。

#### (2) バリスティックな運動における運動制御機構

Desmedt and Godaux(1977, 1978, 1979)は、力が最大値に達するまでに0.5秒以上の時間を必要とするランプ収縮の場合には、力発揮と同時に

筋放電が開始されるが、力が最大値に達するまでに0.15秒以内の時間しか必要としないバリスティックな収縮の場合には、力の発揮開始前にすでに筋放電が開始されていることを示している。さらに、一定の負荷に対する非常にすばやい外転運動では、動作開始直後に抵抗を取り去っても筋活動パターンは変化しないことから、このような運動では、大脳への感覚神経によるフィードバック機構は働かず、前もって決められたプログラムによって運動が行われており、途中修正を受けていないことを示している。

Hallett(1975), Marsden(1976)は、バリスティックな運動では、主働筋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そのまま実行される神経制御機構、すなわちフィードフォワード型の神経制御機構によって行われていることを示している。

その他にも、Bizzi et al.(1976)は、サルを用いた研究において、バリスティックな運動が、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ことを示している。

Yoneda(1983, 1985)は、力発揮速度(単位時間当たりの力の大きさ)に対する単位時間当たりの筋放電量は、ある時点までは直線的に増大するが、ある速度からは急にそれまでとは異なる一義的でない変化を示すこと、および力発揮時間(筋収縮時間)が短い場合の積分筋電図は、発揮する力の大きさを反映せず、一義的でない筋放電傾向になることを示している。

さらに米田(1989)は、上述のような結果をもとにして、運動や力発生がすばやいといえ、誰もが力の大きさや運動速度を意識するが、その力や速度に達するまでの筋収縮時間の要素が見落されていることを指摘

している。すなわち、バリスティックな運動は、到達する力や速度の大きさではなく、それに到達する運動遂行時間を、極めて短時間にするための運動の開始と停止が組み込まれた運動プログラムによって制御されている可能性があることを示している。そのようなプログラムに切り替わった場合に、いわゆるバリスティックな運動になったといえるのではないかという極めて興味深い推察を行っている。

以上のことは、バリスティックな運動の運動神経制御機構が、ある程度の長さの運動遂行時間を伴う運動とは異なり、フィードフォワード型であることを示している。

### (3) バリスティックな運動における神経系の調節機構

力の発揮に関する運動単位の動員と発射頻度についても、バリスティックな収縮では特徴的な様相が見られる。

Smith(1977,1980)は、ネコの歩行時には速筋線維を多く含む腓腹筋の筋活動は見られないが、ジャンプ時には8倍以上の筋活動が見られること、あるいはネコの急速な手震い動作ではヒラメ筋活動は抑制され、腓腹筋では選択的動員が見られることを示している。

Capaday and Stein(1987)は、ヒトにおける研究において、ヒラメ筋の運動ニューロンの興奮性が歩行時には急速に上昇するが、トレッドミル走行時には、その興奮性が歩行時に比較して有意に低下することを示している。

Moritani et al. (1990)は、つま先ジャンプ中のヒラメ筋と腓腹筋の筋電図およびH-反射振幅値の加算平均の結果から、腓腹筋の運動ニューロンの興奮性は、ある程度選択的に促進を受け、逆にヒラメ筋は抑制



を受けていること、および腓腹筋の興奮性は、力の発揮よりも68ミリ秒ほど先行して出現することを示している。

Desmedt and Godaux(1977,1979)は、バリスティックな収縮における運動単位の発射頻度は、すばやいランプ収縮(fast ramp contraction)の30HZとは異なり、60HZから120HZと極めて高いことを示している。

以上のことは、極めて短時間にすばやく行うバリスティックな運動の遂行能力は、ゆっくりと力を発揮するランプ運動の遂行能力とは異なることを示している。したがって、バリスティックな運動の遂行能力を高めるためには、神経制御機構や神経系の調節機構などに焦点を当てたトレーニング理論、および測定評価法が必要であると考えられる。

## 2. 伸張－短縮サイクル運動に関する研究

### (1) 伸張－短縮サイクル運動

筋の収縮様式は、動的な筋収縮(dynamic contraction)と静的な筋収縮(static contractionまたはisometric contraction)に大別される。さらに、動的な筋収縮(dynamic contraction)は、等張性筋収縮(isotonic contraction)、等速性筋収縮(isokinetic contraction)、等負荷性筋収縮(isoload contraction)に分類できる。さらに、動的筋収縮(dynamic contraction)は、短縮性筋収縮(concentric contraction)と伸張性筋収縮(eccentric contraction)に分類できる。

歩、走、跳、投の日常生活運動の大部分は、エクセントリックな筋収縮がコンセントリックな筋収縮に先立って生じ、それぞれの筋収縮が単独に起こることは極めて少ない。また、スポーツ実践の場では、あらゆる

る場面において、エクセントリックな筋収縮がコンセントリックな筋収縮に先立って生じる運動が、必然的に、あるいは目的を合理的に遂行するために意図的に用いられている。

このような複合運動は、伸張－短縮サイクル運動(stretch-shortening cycle movement)と呼ばれ、以前から多くの研究者の興味を引き続けている(Komi and Buskirk, 1972)。なお、日本における伸張－短縮サイクル運動に関する研究は、1960年代に、跳躍力(金原ら, 1964b)や投てき力(金原ら, 1964c)を大きくする技術として、反動動作に着目して行われた金原らの研究が最初である。

## (2) 伸張－短縮サイクル運動と弾性エネルギー

摘出筋やヒトの単関節運動を用いて、伸張－短縮サイクル運動の有効性を明らかにしたCavagna et al. (1965, 1968)の研究は先駆的な研究である。

Cavagna et al. (1965, 1968)は、カエルの摘出筋を用いた実験、およびヒトの肘屈曲運動を用いた実験において、筋は伸張後に短縮すれば、アイソメトリックな状態からの短縮や休息状態からの短縮よりも大きな張力を発揮でき、しかも主運動の初期から大きな力が発揮できることを示している。また、これらの結果が生じたメカニズムとして、筋の伸張中に貯えられた弾性エネルギーの再利用と筋の収縮要素によるエネルギー出力の増加の可能性を示している。

Jaric et al. (1985)は、膝関節のスイング運動を用いた実験において、反動を用いる場合が用いない場合よりも大きな速度を獲得できることを示している。

Chapman and Caldwell (1985a) は、前腕回外運動において、反動動作を用いる場合が用いない場合よりも大きな速度を獲得できること、またその有効性は運動初期に顕著であることを示している。

跳躍運動などの全身運動を用いて、伸張－短縮サイクル運動の有効性を明らかにしている研究結果は、上述の基礎的研究に関する知見を裏付けている。

Asmussen et al. (1974) は、ドロップジャンプの跳躍高が、ある高さの台高まで増大することから、大きな跳躍高を獲得するための適切な伸張負荷があることを指摘している。また、このメカニズムとして、踏切前半におけるエクセントリックな筋収縮中に、生体のなかの弾性要素に弾性エネルギーが貯えられ、引き続くキック動作中に再利用されることを示している。これらのことは、伸張－短縮サイクル運動に関する有効性は、一つには、弾性エネルギーの貯蔵－再利用機構に大きく依存していることを示している。

Thys et al. (1975) は、連続ホッピングにおいて、負の仕事の60%が弾性エネルギーとして貯えられることを示している。

Bosco et al. (1982a) は、連続ホッピングにおいて、運動振幅が小さい場合には正の仕事の50%、また運動振幅が大きい場合には正の仕事の30%が、解放された弾性エネルギーによって遂行されていることを示している。

伊藤ら (1987) は、連続ホッピングにおいて、正の仕事の70%から80%が解放された弾性エネルギーによって行われていることを示している。

Haxley and Simmons (1971) は、フィラメント滑走説と同時に、直列弾性要素が、従来からの定説であった腱だけでなく、アクチンとミオシンの間にかかるクロスブリッジにも存在するという説を提唱している。

この説をもとにして、Bosco et al. (1981a), およびBosco and Komi (1981b)は、伸張－短縮サイクル運動において、短い距離をすばやく筋が伸張された場合には、腱だけではなく、クロスブリッジにも弾性エネルギーが貯えられ、引き続く短縮中に再利用することができるが、長い距離をゆっくりと筋が伸張された場合には、クロスブリッジが離脱するために、弾性エネルギーを利用することができないことを示している。

Bosco and Komi (1979a)は、伸張－短縮サイクル運動に関する伸張効果を、反動を利用しない垂直跳、反動を利用した垂直跳、強調的な伸張－短縮サイクル運動であるドロップジャンプを比較することによって検討した。反動を利用しない垂直跳は、10kgから160kgまでの付加重量を用いて行わせ、ドロップジャンプは膝曲げ角度の浅い動作と深い動作を用いて行わせた。それらの結果をもとにして、各試技におけるカー速度曲線を示したところ、膝曲げ角度の浅いドロップジャンプ、膝曲げ角度の深いドロップジャンプ、垂直跳、反動を利用しない垂直跳の順に、反動効果が高くなることを明らかにした。これらをもとにして、膝曲げ角度の浅いドロップジャンプでは、弾性エネルギーが有効に再利用されているが、膝曲げ角度の深いドロップジャンプでは、貯えられた弾性エネルギーが熱として放散されていることを示している。

以上のことは、伸張－短縮サイクル運動においては、弾性エネルギーの貯蔵－再利用機構が極めて大きく貢献するが、この貢献の大きさは、短い距離をすばやく筋が伸張される場合に特に著しくなり、ドロップジャンプでは浅い膝曲げ角度ですばやく行う跳躍、すなわちリバウンド型のドロップジャンプの場合に特に著しくなることを示している。

### (3) 伸張－短縮サイクル運動と神経系の調節機構

伸張-短縮サイクル運動に関する効果は、筋の伸張反射にも大きく影響されている。Bosco and Komi (1979a, 1979b), Bosco et al. (1981a), Bosco and Komi (1981b)は、反動付き垂直跳が、反動を伴わない垂直跳よりも高い跳躍高を獲得できることを示し、その有効性が弾性エネルギーの利用だけではなく、伸張反射による筋の興奮水準の増加にも関係していることを示している。

Bosco and Viitasalo (1982a), Bosco et al. (1982b)は、反動なしの垂直跳、反動付き垂直跳、およびドロップジャンプにおける下肢の筋電図を比較検討し、伸張反射による活性化が筋の種類により異なること、また、同一の筋であっても個人差が大きいことなどを示している。特に、ドロップジャンプにおいては、着地前の予備緊張状態の違いが、伸張反射による活性化に大きく影響していることを示している。

Melville Jones and Watt (1971a, 1971b)は、連続ホッピングにおける腓腹筋の筋電図を検討した結果、踏切前半の筋活動は前もってプログラムされており、踏切後半のキック時には伸張反射が有効に働いていることを示している。

以上のことは、伸張-短縮サイクル運動が、大きな力を発揮したり、効率よく仕事をするためには非常に有効であり、そのメカニズムとして、弾性エネルギーや伸張反射が有効に利用されていることを示している。このような伸張-短縮サイクル運動の有効性は、なぜ人間が、様々な場面で無意識的に反動動作を利用しているのかという問いに対する答えでもあると考えられる。さらに、伸張-短縮サイクル運動のメカニズムは、すばやく短い範囲で筋が伸張される場合に、特に顕著に働くことから、伸張-短縮サイクル運動をバリストティックに行った場合には、その有効

性が一層高まるものと考えられる。

#### (4) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動

バリスティックであり伸張－短縮サイクルである運動，すなわちバリスティックな伸張－短縮サイクル運動 (ballistic and stretch-shortening cycle movement) は，各種のスポーツ運動のなかには頻繁に存在している。たとえば，走高跳の踏切時間は0.240秒 (Hay, 1973)，走幅跳の踏切時間は0.117秒 (Karayannis, 1978) であり，非常に短時間に行われるバリスティックな運動である。いずれも，踏切前半では，極めて大きな負荷に抗してエクセントリックな筋収縮によって力を発揮し，その後，コンセントリックな筋収縮によってキック動作を行い，身体を前上方へと投射している。さらに，走幅跳や走高跳の他にも，球技スポーツにおけるすばやい各種のジャンプや左右への方向変換運動，あるいは各種のシュート運動の大部分は，このバリスティックな伸張－短縮サイクル運動である。

したがって，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動を有効に遂行するためには，前述のバリスティックな運動に関する機序と伸張－短縮サイクル運動に関する機序の両面を，総合的に機能させることのできる能力が必要になると考えられる。

### 3. プライオメトリックスに関する研究

#### (1) プライオメトリックス

パリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を有効に高めることができると思われるトレーニングに、プライオメトリックスがある。

プライオメトリックスは、1972年のミュンヘンオリンピックにおいて、男子100m(10.14秒)と200m(20.00秒)に優勝したソ連(当時)のボルゾフ選手が行っていたトレーニングとして脚光を浴び始めた(Wilt, 1975)。

その後、1970年代にはアメリカで一般化され、最近では、我が国でも選手強化の“万能的特效薬”として用いられているが、その効果に関しては多くの賛否両論がある(村木, 1988)<sup>90)</sup>。

プライオメトリックという言葉の意味は、increaseを意味するギリシャ語のplethyeinとisometricに由来する(Wilt, 1975)、plyoはmore greaterを、metricはmeasured quantityを意味する(Clutch et al., 1983)、plethyeinはplethora(英語のfullness)という名詞に対応する動詞であり、to become fullという意味を持つこと(木島ら, 1985)などの解釈がなされている。いずれも強度の高い負荷、しかも非常に大きな負荷という意味の語源が内包されている。

プライオメトリックスとは、筋の伸張反射を引き起こす運動(Wilt, 1975)、スポーツ運動の基本動作の一つである反動動作の局面を取り出して強調的に行う運動(村木, 1985b)、爆発的反動的負荷様式の運動(村木, 1985a ; Verhoshanski, 1968 ; Wilt, 1975)などを用いたトレーニングである。具体的には、負荷重量物や身体の落下などによる機械的エネルギーを利用して、アイソメトリックな筋収縮およびコンセントリックな筋収縮の直前に、筋を急速に伸張させることで、より大きな筋力やパワーを発揮する運動(木島ら, 1985)を用いたトレーニングである。これらのことは、プライオメトリックスが、エクセントリックな筋収縮をトレーニングの手段に用いることに、最も大きな特徴があることを示し

ている。

このエクセントリックな筋収縮によって発揮される力が、アイソメトリックな筋収縮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年にHillが行った摘出筋を用いた実験によって明らかにされている。また、その後には、人体を用いた実験によっても明らかにされている(Doss and Karpovich, 1965 ; Singh and Karpovich, 1966 ; 金原ら, 1964a, 1965, 1966, 1970)。このメカニズムとして、エクセントリックな筋収縮では、筋小胞体が興奮して筋線維動員数が増大することや(谷口ら, 1986)、伸張反射によって運動単位の同期化と動員数の増大が引き起こされること(Verhohanski, 1973)などが推察されている。

以上のことは、プライオメトリックスは、アイソメトリックな筋収縮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、大きな力が発揮できるエクセントリックな筋収縮を利用することによって、神経・筋・腱系に過負荷を与える一般的な筋力・パワートレーニングの一つとして位置づけることができることを示している。

これに対して、プライオメトリックスの研究に関する先駆者であるソ連(当時)のVerhoshanskiは、プライオメトリックスが跳躍選手のための専門的トレーニングであることを示している(Bobbert, 1990)。また、熟練者は未熟練者に比較して、踏切前半のエクセントリックな筋収縮からコンセントリックな筋収縮への切り換えがすばやいこと、力を最大に発揮するまでの時間が短いことなどを示し、跳躍選手が必要とする専門的な筋力を高めることが、プライオメトリックスの主な目的であることを指摘している(Bobbert, 1990)。さらに、ウエイトトレーニングは、最大筋力を高めることはできるが、動作スピードやエクセントリックな筋



収縮からコンセントリックな筋収縮への切り換えの速度を遅らせる可能性のあることを示したうえで、ウエイトトレーニングとプライオメトリックスの違いを明確に示している (Bobbert, 1990)。

以上のことは、プライオメトリックスは、筋に過負荷をかける一般的な筋力・パワートレーニングとして位置づけられると同時に、陸上競技の跳躍選手などが必要とする専門的な筋力・パワーを総合的に高めることのできるトレーニング手段の一つとして位置づけることができることを示している。

## (2) プライオメトリックスの代表的な手段としてのドロップジャンプ

下肢のプライオメトリックスの代表的な手段として、ドロップジャンプがある。Verhoshanski (1968) は、ドロップジャンプとは、ある高さの台上から跳び下り、負荷重量物としての身体の機械的エネルギーを受け止める運動であり、必要とされる筋の収縮様式、筋力発揮時間、動作スピード、各筋群の活性化状態などが、陸上競技の跳躍種目における踏切の特性に極めて合致していることを示している (Bobbert, 1990)。

しかし、ドロップジャンプは、台上から跳び下りるだけの運動から、台上から跳び下り即座に跳び上がる跳躍運動まで様々なバリエーションがあると同時に、ドロップジャンプを行う場合には、台高の高さ、身体に付加する重りの有無、跳躍動作、運動を行うイメージなどを多様に変化させることもできる。このことは、ドロップジャンプをプライオメトリックスの手段として用いるためには、プライオメトリックスのねらいに合致した運動特性になるように、上述した様々な条件を適切に選択することが極めて重要であることを示している。

#### 4. ドロップジャンプに関する研究

##### (1) ドロップジャンプにおける跳躍動作

ドロップジャンプを，典型的なバリスティックな伸張－短縮サイクル運動にするためには，様々な諸条件を適切に選択する必要がある．このことは，ドロップジャンプの跳躍動作とそれに対するバイオメカニクスに関する知見の重要性を示している．

Bobbert et al. (1987a) は，ハンドボール選手に0.4mの台高からのドロップジャンプと垂直跳を行わせた．その結果，跳躍動作に関する指示を与えていないにもかかわらず，被験者によって実施する跳躍動作がかなり異なり，踏切中点の膝関節角度の大きさが，垂直跳に類似する群と類似しない群に類型化できることを明らかにした．また，これらの被験者群におけるドロップジャンプと垂直跳の特性を比較した結果，類似しない群におけるドロップジャンプは，垂直跳に比較して，踏切時間は短く，膝と足関節のモーメントと平均パワーは大きく，腓腹筋の筋電図の活動も大きいことを明らかにした．これらのことは，類似しない群におけるドロップジャンプは，膝および足関節の伸展筋がより急激に伸張されていることを示している．

Bobbert et al. (1987b) は，ドロップジャンプの跳躍動作の違いを検討するために，0.2mの台高からのドロップジャンプを，着地後できるだけすばやく跳び上がるドロップジャンプと着地後沈み込み跳び上がるドロップジャンプの二つの跳躍動作を用いて，男子バレーボール選手を対象にして行わせた．さらに，垂直跳も同時に行わせた．その結果，いず

れのドロップジャンプも垂直跳に比較して、膝および足関節のパワーが大きいことを示した。また、着地後できるだけすばやく跳び上がるドロップジャンプは、着地後沈み込み、跳び上がるドロップジャンプに比較して、膝および足関節のパワーが大きいことも明らかにした。これらのことは、膝および足関節に関するパワーを改善するためには、着地後できるだけすばやく跳び上がるドロップジャンプが効果的であることを示している。

Bobbert et al. (1987c) は、台高の違いがドロップジャンプのバイオメカニクスに及ぼす影響を検討するために、0.2m, 0.4m, 0.6mの3種類の台高から、着地後できるだけすばやく跳び上がるドロップジャンプを男子大学生を対象にして行わせた。その結果、跳躍高は台高の違いには影響されないこと、各関節の機械的出力は0.2mと0.4mの台高では違いないが、0.6mの台高では踏切後半の足関節のモーメントとパワーが低下することなどを明らかにした。さらに、関節反力が台高の上昇に伴い大きくなり、0.6mの台高になると、踵が地面に接地する瞬間に鋭いピークが出現することを明らかにした。これらのことは、着地後すばやく跳び上がるドロップジャンプでは、トレーニング効果の面からも、あるいは安全性の面からも、0.2mから0.4mまでの低い台高を用いることによって、膝および足関節に関するパワーの改善が期待できることを示している。

以上のことは、ドロップジャンプを、典型的なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動に設定するためには、着地後できるだけすばやく跳び上がるリバウンドドロップジャンプを、低い台高を用いて実施することが重要であることを示している。

Bobbert (Bobbert, et al., 1986a, 1986b) は、着地後できるだけすばやく跳び上がるリバウンドドロップジャンプは、足関節の貢献度が大きい

ことに特徴があり，足関節で発揮されるパワーは2500Wにもなり，等速性最大筋力の約6倍もの大きさになっていることを示している．また，大きなパワーがどのような要因によって発揮されているのかをモデルを用いることによって検討した．その結果，この大きなパワーは筋線維そのものの出力によるものが30%，腱の弾性エネルギーによるものが45%，上位の関節が発揮したパワーが二関節筋などにより伝達されたものが25%であることを示した．これらのことは，着地後できるだけすばやく跳び上がるリバウンドドロップジャンプでは，弾性エネルギーの利用能力，および上位の筋が出力したパワーを，適切に伝達させる技術が極めて重要であることを示している．このことは見方を変えれば，リバウンドドロップジャンプをトレーニング手段に用いると，弾性エネルギーの利用能力，および上位の筋が出力したパワーを適切に伝達させるための技術的要因を改善することができる可能性があることを示している．

## (2) ドロップジャンプにおける着地動作

ドロップジャンプに関する研究には，合理的な着地動作について検討した研究がある．

阿江ら(1979)は，大きな衝撃に耐えることが要求されるドロップジャンプでは，踏切前の空中局面における踏切脚の先取り動作が重要であることを示している．

Aura and Viitasalo(1989)は，ホッピング，ドロップジャンプ，走高跳を含む8種目の異なるジャンプを，着地前の準備局面，踏切前半および後半に分けて，各局面における地面反力，関節角速度，筋電図を検討した．その結果，着地前の準備局面における筋電図と踏切前半および後

半の各パラメータとの間には有意に高い相関関係があることを示したうえで、各種のスポーツ運動における着地動作の重要性について指摘している。

Muraki (1985) は、この踏切前動作を行うための技術として、積極的着地 (active-landing) を提唱している。すなわち、跳躍種目の踏切では、水平スピードのロスを少なくして、助走から踏切へのすばやい動作の切り換えを行うために、積極的着地を有効に利用していることを示している。

稲岡 (1988) は、大学男子陸上競技選手に 0.3m, 0.5m, 0.8m, 1.0m, 1.2m の 5 種類の台高を用いて、通常に着地動作 (normal-landing) と先取りを強調した着地動作、すなわち積極的着地 (active-landing) を用いたドロップジャンプを行わせ、その際のフォームおよび地面反力を検討した。その結果、積極的着地は、通常に着地動作に比較して、踏切中点の膝曲げ角度は大きく、踏切時間は短く、踏切初期から大きな力を発揮できることを示している。これらのことは、積極的着地が、大きな衝撃に抗しながらすばやく踏切を行う場合の有効な着地動作であることを示している。しかし、上述の積極的着地がどのような動きなのか、あるいはなぜその動きが効果的なのかについては明らかになっていない。

山崎ら (1980) は、連続ホッピング中に、足元の台を被験者に知らせずに取り除いて着地面を低下させると、それまで発現していたヒラメ筋の伸張反射が発現しないことを発見し、伸張反射が着地タイミングの予測によって影響されていることを指摘した。これらのことは、ホッピングのような運動において、伸張反射を有効に利用するためには、着地のタイミングを予測することが重要であることを示している。

以上のことは、リバウンドドロップジャンプのようなバリストック

な伸張－短縮サイクル運動では，着地動作が極めて重要であることを示している．また，バリスティックな運動の遂行時間は，極めて短いので，着地してから力を発揮したのでは時間がかかるために，踏切前にすでに，予備的に筋を緊張させておくことによって，すばやい力発揮を可能にしていることを示している．したがって，リバウンドドロップジャンプをトレーニング手段として用いた場合には，着地に対する予測と踏切前動作を改善することによって，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めることができる可能性があると考えられる．

### (3) ドロップジャンプにおける至適台高

ドロップジャンプを実施する場合に，最も注意を要するのは台高の設定である．

Asmussen and Bonde Petersen(1974)は，0.23m，0.4m，0.69mの台高からのドロップジャンプを若い男女に行わせた結果，跳躍高は0.4mまで増加したことを示した．

Verhoshanski(1973)は，0.8mから1.1mの高さが至適台高であるとし，0.8mでは伸張性収縮から短縮性収縮への切り換えの速度を，1.1mでは動的最大筋力をそれぞれ改善できることを示した．

Katschajov(1976)は，ドロップジャンプの至適台高は，伸張性収縮と短縮性収縮の時間が等しくなる0.8mの高さが有効であることを示した．

Dursenev and Raevsky(1978)は，台高が0.75mから1.1mまでのドロップジャンプと2.0mのドロップジャンプを比較した結果，2.0mの台高では最大筋力を大きく改善できることを示した．また，2.2mから2.6m，および2.8mから3.2mの台高から跳び下り，受け止めるだけのドロップジャン

プを比較した結果、最大筋力は台高が高いほど大きく改善できることを示した。

Komi and Bosco (1978) は、0.26mから0.83mの台高を用いたドロップジャンプを男子バレーボール選手を用いて行わせた。その結果、台高が0.62mで最も高い跳躍高が得られることを示した、また、一般学生を対象にした場合には、台高を変化させても跳躍高は有意に変化しなかったことを示した。

Jody and Russell (1985) は、0.18mから1.06mの6種類の台高を用いたドロップジャンプを女子バレーボール選手を用いて行わせた。その結果、0.42mから0.63mの範囲で最も高い跳躍高が得られたことから、この範囲がドロップジャンプに関する至適台高であることを示した。

大高ら (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、垂直跳、0.2m、0.4m、0.6m、0.8mの台高を用いたドロップジャンプを成人男子を用いて行わせた。その結果、滞空時間は、垂直跳と0.2m、0.4m、0.6m、0.8mの台高からのドロップジャンプが、スクワットジャンプに比較して長いこと、腕の振りを使う場合が使わない場合に比較して長いことを示した。しかし、台高の上昇に伴う滞空時間、着地衝撃力の変化の仕方には個人差があり、障害の防止や合理的なトレーニング効果を上げるためには、滞空時間や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必要があることを指摘した。

高松ら (1988) は、スクワットジャンプ、反動垂直跳、0.3m、0.6m、0.9m、1.2m、1.5m、1.8m、2.1mの台高を用いたドロップジャンプを、大学女子ハンドボール選手を用いて行わせた。その結果、最大の跳躍高は、0.75mの台高で得られたが、個人別にみるとそのバラツキは大きいことを示した。そこで、スクワットジャンプ以上の跳躍高が出現した台高と

膝伸展力および反動垂直跳の跳躍高との関係を検討した結果、これらの間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった。これらことから、スクワットジャンプ以上の跳躍高が出現する台高は、個人が身につけている跳躍技術の影響を著しく受けること、および至適台高を決定する際には、個人の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望ましいことを指摘した。

以上のことは、ドロップジャンプの台高と跳躍高との間には一様な関係がなく、トレーニングの際に用いる至適台高も明確になっていないことを示している。この原因として、台高の上昇に伴い跳躍動作が変化していること、あるいは跳躍動作を規定していない場合には、被験者個人の選択する跳躍技術の違いが、ドロップジャンプの跳躍高に大きく影響することを示している。したがって、ドロップジャンプの台高と跳躍高との関係を検討する場合には、ドロップジャンプにおける跳躍動作を十分に管理して行うことが必要であると考えられる。

#### (4) ドロップジャンプトレーニングの効果

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の効果に関する研究は、被験者をいくつかのグループに分け、ドロップジャンプを含めた様々なトレーニングを数週間にわたって行わせ、その前後で垂直跳の跳躍高などを用いたテストを実施し、その向上の割合を比較している。また一方では、トレーニング効果を、力の発揮パターンや下肢の主な筋群から導出した筋電図 (electromyogram, EMG) の様態によっても検討している。

Blattner and Nobel (1979) は、垂直跳に対するアイソカイネティクス (レッグプレス) と 0.86m の台高からのドロップジャンプトレーニング



(4.5~9.0kgのウエイトジャケットを着用)の効果を、男子大学生を用いて比較検討した。その結果、週3回8週間のトレーニングの後には、垂直跳の跳躍高は両群ともに有意に増加したが、両群間に有意な差がなかったことを示した。

Clutch et al. (1983)は、脚伸展力および垂直跳に対するウエイトトレーニングとドロップジャンプトレーニングの効果を、男子大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、ウエ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ず、しかもウエイトトレーニングと垂直跳群、ウエイトトレーニングと0.3mの台高からのドロップジャンプ群、および0.75mと1.10mの台高からのドロップジャンプ群のいずれを比較しても、膝伸展力および垂直跳の跳躍高の効果に顕著な差のないことを示した。また、男子大学生とバレーボール選手の間にも差がないことを示した。

上述の二つの研究は、ドロップジャンプトレーニングは、脚伸展力や垂直跳の跳躍高の改善に関して特異的効果のないことを示している。また、Clutch et al.の研究では、被験者のトレーニング水準が違っても、ドロップジャンプを用いたトレーニングに特異的な効果のないことを示している。

Adams (1984)は、垂直跳、立幅跳、膝関節角度が90°と150°におけるアイソメトリックな脚筋力に対する0.61m, 0.75m, 1.22m, 1.50mの台高からのドロップジャンプを用いたトレーニングの効果を、中学生および高校生の男子と女子を用いて検討した。その結果、ドロップジャンプトレーニングは、垂直跳と立幅跳の向上に有効ではないが、脚筋力の改善には有効であることを示した。

Brown et al. (1986)は、垂直跳に対する0.45mの台高からのドロップ

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，このドロップジャンプ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，ドロップジャンプは効果が速く出現することが期待さ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した．

Scoles (1978) は，垂直跳と立幅跳に対する0.75mの台高からのドロップジャンプと柔軟性トレーニングの効果を，男子大学生を用いて検討した．その結果，ドロップジャンプ群は，柔軟性トレーニング群に比較して，垂直跳と立幅跳の成績がより改善することを示した．

上述の三つの研究は，ドロップジャンプトレーニングは，他のトレーニングに比較して，垂直跳の跳躍高に関して特異的効果のあることを示している．

Steben et al. (1981) は，走高跳，三段跳，走幅跳に対する0.254mの台高からのドロップジャンプ，0.254mの台高を用いた4種のボックスドリル，ホッピング+バウンディング+もも上げ運動によるトレーニングを，中学生の男子と女子を用いて検討した．その結果，各種目に特有のドリル，すなわち走高跳にはドロップジャンプ，三段跳にはボックスドリル，走幅跳にはホッピング+バウンディング+もも上げ運動が記録の向上に有効であることを示した．

Ford et al. (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，ウエイトトレーニング，ウエイトトレーニング+プライオメトリックスの効果を，男子高校生を用いて検討した．その結果，ウエイトトレーニングやプライオメトリックスは，他の運動と組合せる

ことによってより有効になることを示した。この場合のプライオメトリックスの内容は、0.61mの台高から9.1Kgのジャケットを着用したドロップジャンプ、および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。

上述の二つの研究では、ドロップジャンプを用いたトレーニングは、すべての種目に効果を発揮するものではなく、走高跳のような運動に関して特異的効果を発揮すること、あるいは他のトレーニングと組み合わせることによってより効果的になることを示している。

以上のことは、ドロップジャンプを用いたトレーニングは、脚筋力や垂直跳の跳躍高の改善に対して特異的効果がある場合とない場合があり、現時点では一致した見解は得られていないことを示している。

この原因として、第1にトレーニング効果に影響する要因、すなわち1セットの運動強度と反復回数、セット数とセット間の休息时间、1週間あるいは1カ月のトレーニング頻度、他のトレーニングとの組み合わせ方、被験者の性別とトレーニング水準などが、各研究において統一されていないことがあげられる。

第2に、トレーニングに用いたドロップジャンプの動作が管理されていないことがあげられる。前述のように、ドロップジャンプでは、台高や膝曲げ動作が変化すると運動の特性が異なり、期待できるトレーニング効果も大きく変化する。したがって、トレーニング効果を検討する際には、ドロップジャンプにおける跳躍動作の違いに伴う運動特性の違いを十分に把握し、用いる跳躍動作を適切に管理することが必要であると考えられる。

第3に、大部分の研究が、ドロップジャンプトレーニングの効果を垂直跳や脚筋力などによって評価しようとしていることである。Verhosh-

anskiは、ドロップジャンプは、必要とされる筋の収縮様式、筋力発揮時間、スピード、各筋の活性化状態、および行われる仕事が、跳躍種目の踏切の特性に極めて適合したトレーニング運動であることを示している(Bobbert, 1990)。このことは、ドロップジャンプトレーニングに関する特異的効果を、垂直跳の跳躍高や脚筋力によって必ずしも評価することはできないことを示している。

#### (5) ドロップジャンプトレーニングの効果に関する要因

前述の研究では、ドロップジャンプトレーニングの効果を、他のトレーニングの効果と比較することによって検討している。しかし、それらの効果が、どのようなメカニズムによって生じるかについて明らかにしていない。

Hakkinen et al. (1985a, 1985b)は、高強度のウエイトトレーニングとドロップジャンプトレーニングの効果の違いを検討するために、10名の成人男子に、スクワット運動とドロップジャンプを用いたトレーニングを、週に3回24週間行わせた。これらのトレーニング効果の違いをカーブ時間曲線でみると、スクワット運動を用いたトレーニングでは、力の最大値が24%も向上したが、力の立ち上がりの速さは0.4%しか向上しなかった。逆に、ドロップジャンプトレーニングでは、力の最大値は11%しか向上しなかったが、力の立ち上がりの速さは24%も向上した。また、これらのトレーニング効果の違いを、筋電図-時間曲線でみると、スクワット運動を用いたトレーニングでは、力の最大値が出現した時点と力の立ち上がり時点のいずれの筋電図も増大は示さなかった。しかし、ドロップジャンプトレーニングの筋電図は、力の最大値が出現した時点で

は8%、力の立ち上がり時点では38%もの増大を示した。さらに、これらのトレーニングの違いを、0.2mから1.0mの台高を用いたドロップジャンプの跳躍高で評価すると、スクワット運動を用いたトレーニングでは、いずれの台高を用いたドロップジャンプにおいても向上しなかったが、ドロップジャンプトレーニングでは、いずれの台高を用いたドロップジャンプにおいても大きく向上した。

さらに、Hakkinen (1986a) は、上述の研究で得られた効果と筋線維の肥大との関係を検討した。その結果、筋線維はスクワット運動を用いたトレーニングでは肥大したが、ドロップジャンプトレーニングでは肥大しないことを示した。

以上のことは、ドロップジャンプトレーニングは、力の立ち上がり速度の改善に特異的効果を示すこと、およびこの速度の改善は、筋の肥大によるものではなく、神経系の要因の改善によるものであることを示している。これに対して、ウエイトトレーニングは、発揮できる最大力の改善に特異的な効果を示すこと、およびその効果は神経系の要因によるものではなく、筋の肥大によるものであることを示している。

Schmidtbleicher and Martin (1986) は、腕を用いたプッシュアップ運動を用いて、様々なウエイトトレーニングに関する効果を、59名の成人男子を用いて検討した。最大筋力に対する90%以上の高負荷を休息を十分に取りながら低回数行うトレーニング (MAXグループ)、最大筋力に対する45%の低負荷を休息を十分に取りながら5回から8回行うトレーニング (Pグループ)、最大筋力に対する70%の中負荷を12回行うトレーニング (MRグループ) を、それぞれ実施させた。MAXグループとPグループは、常にできるだけ速く持ち上げることを意識させ、MRグループはゆっくりと持ち上げることを意識させた。これらのトレーニング効果の違い

を検討した結果、発揮できる力の最大値は、MRグループ(21%)、MAXグループ(18%)、Pグループ(17%)の順に、力の立ち上がり速度はMAXグループ(34%)、Pグループ(11%)、MRグループ(4%)の順に、筋線維面積はMRグループ(18%)、MAXグループ(10%)、Pグループ(10%)の順に向上することが認められた。これらのことは、MAXトレーニングは、筋線維を肥大させずに力の立ち上がり速度と発揮できる力の最大値を向上させることのできるトレーニング、MRトレーニングは、筋線維の肥大によって発揮できる最大力を向上させることができるが、力の立ち上がり速度の向上は期待できないトレーニング、PトレーニングはMAXトレーニングに近いトレーニングであることを示している。

Hakkinen et al.(1985a, 1985b, 1986a)が示した神経系の改善によって、力の立ち上がりと最大力が向上するということは、ドロップジャンプに関する効果を説明する重要な要因を示している。しかし、この効果は、Schmidtbleicher and Martin(1986)が行ったウエイトトレーニングにおけるMAXトレーニングおよびPトレーニングにおいても認められた。MAXトレーニングおよびPトレーニングとMRトレーニングの違いは、セット間の休息、およびできるだけすばやく負荷を持ち上げるか、あるいはゆっくりと持ち上げるか、すなわちバリスティックに運動を行うかどうかにあった。したがって、これらの神経系の要因に関する効果は、ドロップジャンプトレーニングに特異的なものではなく、バリスティックな運動をトレーニングに用いた場合の効果であり、ウエイトトレーニングにおいても、負荷の強度、回数、休息时间、あるいは負荷の上げ方などを適切に選択して、バリスティックに運動を行うことによって期待できる効果であることが考えられる。

ドロップジャンプトレーニングの効果は、ドロップジャンプがバリス

ティックな運動であると同時に、典型的な伸張－短縮サイクル運動であることに注目することが重要である。

Komi(1986)は、筋力およびパワートレーニングに関するレビューの中において、Schmidtbleicher and Gollhofer(1987)が行った研究の重要性を指摘している。彼らは、1.1mの台高を用いたドロップジャンプの筋電図からみた特性を、鍛練者と非鍛練者について比較した。その結果、着地直後に筋が伸張される局面において、腓腹筋の筋電図が非鍛練者では減少しているが、逆に鍛練者では増大していることを示した。これらのことは、非鍛練者の筋では、大きな伸張負荷を受けることによって抑制効果が生じているが、鍛練者の筋では逆に促進効果が生じていることを示している。

Schmidtbleicher and Gollhofer(1987)は、このような筋の抑制効果や促進効果が、ドロップジャンプトレーニングの効果によっても生じるかどうかを検討するために、ドロップジャンプを用いたトレーニングを、9名の成人男子に4週間行わせた。その結果、トレーニング効果として、着地直後に筋が伸張される局面において、腓腹筋の筋電図の減少傾向は著しく改善されたうえに、跳躍高も向上したことを示した。

Gollhofer and Schmidtbleicher(1988)は、台高の違いによる地面反力、および筋電図の変化を検討するために、ホッピングと0.16m, 0.40m, 1.00mの台高を用いたドロップジャンプを、8名の成人男子を用いて行わせた。その結果、台高が高くなるとともに、地面反力に鋭いピーク波形が出現し始め、それに応じて筋電図は減少していく傾向があることから、神経・筋・腱系の調節機構への過度な負担を回避するための防衛システムが機能していることを示している。しかし、ドロップジャンプを用いたトレーニングを行うことによって、この機能は改善されることも示し

ている。

伊藤(1988)は、主に足関節を用いたリバウンドジャンプと反動を用いないジャンプを、一般人、陸上競技選手、器械体操選手、水泳選手に行わせた。その結果、リバウンドジャンプの跳躍高は、水泳選手が最も小さく、一般人、陸上競技選手、器械体操選手の順に低いことを示した。反動を用いないジャンプの跳躍高は、体操選手が最も高く、その他の選手では差はないことを示した。これらのことは、反動動作の利用能力の優劣が、各選手の日常行っている運動の特性を反映している可能性があることを示している。

Komi(1986)は、Houk(1987)の示した伸張反射に関するメカニズムを考慮して、伸張-短縮サイクル運動を用いた場合のトレーニング効果が生じるメカニズムを推察している。

Houk(1987)は、人体筋が伸張された場合に、長さを感じ取る器官である筋紡錘からの促進性フィードバックにより、筋張力を高めて伸張負荷に抗しようとするが、一方では、力を感じ取るゴルジ腱器官からの抑制性フィードバックにより、筋張力を抑えようとする防衛反応が働き、これらの促進性機能と抑制性機能の効果の差として、実際の伸張反射が表出されることを示している。

Komi(1986)は、伸張-短縮サイクル運動を用いたトレーニングによって、筋紡錘からの促進性機能を高め、ゴルジ腱器官からの抑制性機能を抑制することによって、大きな筋張力を発揮できるようになることを示している。

以上のことは、伸張-短縮サイクル運動をトレーニング手段に用いると、神経・筋・腱系の調節機構を有効に改善できる可能性のあることを示している。



## 5. 筋力とパワーの測定評価法

金子(1988)によると、日本の体育・スポーツの分野に、パワーの概念を最初に導入したCuretonは、「パワーとは非常に爆発的な努力をする運動であり、最大努力で全身を動かす能力である」と定義し、パワーを筋力、持久力、敏捷性、柔軟性、平衡性とともにも、運動能力の構成要素の中のひとつとして位置づけている。このパワーの源流は、1921年に垂直跳テストを考案したSargent, D. A. に行き着く。その後、Sargent, L. W. は、「垂直跳で身体を空中に投射するには、パワー（仕事率）が一定以上の大きさに達しなくてはならない。すなわち、垂直跳は、筋力にスピード、協応性が加わった神経・筋系の能力を示すものである」として、垂直跳をパワーテストとして明確に位置づけている。このような過程を経て、垂直跳は、現在広く一般的な下肢のパワーテストとして定着してきた。また、垂直跳とともに、下肢のパワーテストとして頻繁に使用されている立幅跳も、垂直跳が跳躍高を目指すかわりに跳躍距離を目指すという違いだけで、ほぼ同様な考え方によって考案されたものである。

しかし、本来パワーは、工学などの分野における単位時間当たりに発揮される仕事、あるいはエネルギーの大きさを示す用語である。このために、体育科学、あるいはスポーツ科学の分野では、この二つの意味が混同されて用いられている。したがって、パワーが前者のような人間の能力のことを意味するのか、あるいは工学用語である仕事率のことを意味するのかを明確にすることが必要である。

パワーテストは、垂直跳や立幅跳以外にも多数開発されている。

Margaria(1966)は、階段を全力で駆け上がるフィールドテストとして

マルガリアテストを考案している。このテストは、階段の高さとかけ上がる時間を測定することによって、走運動におけるパワーを評価することができる。

単関節運動における筋パワーの評価には、慣性車輪の牽引が用いられたり、あるいはサイベックスやバイオデックスなどの最新の測定器具が用いられている。また、多関節運動における筋パワーの評価には、自転車エルゴメーターなども用いられている。

これまでのパワーテストが、典型的なバリスティックな伸張－短縮サイクル運動を評価運動として用いていないことを考慮すると、垂直跳の跳躍高や立幅跳の跳躍距離のみでは、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を適切に評価することはできないと考えられる。したがって、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の適切な測定評価法を考案することが重要であると考えられる。

### III. 研究目的および研究課題

本研究の目的は、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法を開発するとともに、この能力を決定する体力的・技術的要因を明らかにすることである。

このために、文献研究から得られた知見をもとにして、以下に示す7つの研究課題を設定した。

#### 【研究課題1】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法を開発する。そのために、この測定に用いる測定運動および指標を考案し、その有効性について検討する（IV・V・VI章）。

#### 【研究課題2】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種のスポーツ選手の特性について検討する（VI章）。

#### 【研究課題3】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を、筋力および瞬発力などの体力要因に着目して検討する（VII章）。

#### 【研究課題4】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を、踏切中における下肢の各関節の力学的仕事に着目して検討する（VIII章）。

章) .

【研究課題 5】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を，着地に対する時間的・空間的な予測に着目して検討する（Ⅷ章）．

【研究課題 6】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を，着地動作に着目して検討する（Ⅸ章）．

【研究課題 7】

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力が向上していく過程を，踏切時間と跳躍高（滞空時間）の変化の仕方に着目して検討する（Ⅹ章）．

#### IV. ドロップジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響（研究課題 1）

##### 1. 目的

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

上述のことは、プライオメトリックスの最も代表的なトレーニング手段であるドロップジャンプを安全に行う場合には、プライオメトリックスの二つの目的と関連づけて、至適台高の範囲を明らかにしておくことが重要であることを意味する。しかし、現在でも、これらの目的に即したドロップジャンプトレーニング手段の至適台高について一致した見解はない。この理由として、トレーニングの目的を明確にしないで、実際のトレーニングが行われている可能性があること、あるいはトレーニングの目的は明確であったとしても、トレーニング者の性、年齢、体力水

準、技術水準などがかなり異なっていることが考えられる。一方、ドロップジャンプの跳躍方法を明確にしないままにトレーニングが行われていたことも、その理由の一つであると考えられる。跳躍方法が異なると、トレーニング負荷の特性は異なり、至適台高の範囲も異なってくるものが予測されるからである。それでは、ドロップジャンプではどのような跳躍方法が用いられるのであろうか。片脚踏切による跳躍と両脚踏切による跳躍、脚の反動動作をスピーディーに行う跳躍と行わない跳躍、腕の振込動作を用いる跳躍と用いない跳躍、着地を先取りした跳躍としない跳躍など、トレーニング者が行っているスポーツ種目の特性に即していくつかの跳躍方法が考えられる。しかし、それらの中でも、だれもが用いる可能性の高い最も基本的な跳躍方法は、膝曲げの浅い跳躍と深い跳躍である。膝曲げ動作の違いによる跳躍高や下肢筋にかかる負荷の違いが、台高と関連づけて明らかになると、トレーニング者が台高と跳躍方法を選択することは容易になると考えられる。

そこで本研究では、台高と膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響について地面反力および筋電図をもとにして検討した。

## 2. 方 法

### (1) 被験者

被験者には、男子体育専攻学生10名を用いた。被験者の年齢、身長、体重は、順に $21.8 \pm 1.1$ 歳、 $1.74 \pm 0.04$ cm、 $21.8 \pm 1.1$ kgであった。これらの被験者の大部分は、トレーニングの場でドロップジャンプを経験し

ているが、その負荷の強度と量、頻度、跳躍方法などは、被験者によってかなり異なっていた。

## (2) 実験試技

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

なお、本研究では、ドロップジャンプとの比較のために、上述の3つの膝曲げ動作による垂直跳も行わせた。

## (3) 測定項目および測定方法

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

本研究では、上記のビデオ画像、地面反力、EMGなどをもとにして、①跳躍高、②踏切前半および後半の時間、③踏切中点（膝の最大屈曲時点）の膝関節角度、④踏切前半の最大力と平均力、⑤踏切前半および後半の腰、膝、足関節のパワー、仕事、⑥踏切前半および後半の大腿直筋、大腿二頭筋（長頭）、前脛骨筋、および腓腹筋（外側頭）の積分筋電図（integrated electromyogram, iEMG）を算出した。

なお、⑤は阿江ら（1986）によるモデルおよび算出式、およびChandler et al.（1975）による身体各部分の質量、重心位置および慣性モーメントを用いて算出した。また、⑥は、別に測定した膝関節伸展（大腿直筋）、膝関節屈曲（大腿二頭筋）、足関節背屈（前脛骨筋）および足関節底屈（腓腹筋）によるアイソメトリックな最大筋力発揮時のiEMG（1000ms）を100%とし、この値で除すことによって相対的に評価した。これらの最大筋力は、いずれも関節角度110度で測定した。

#### （4）統計処理

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

### 3. 結 果



図1に、踏切中点の膝関節角度を示した。踏切中点の膝関節角度には3種の膝曲げ動作間に有意差があった。したがって、3種の膝曲げ動作間には明確な差があったと考えられる。しかし、「浅い」試技では、台高が高くなるにつれて大きくなる落下のエネルギーを、短い運動範囲で受け止めることが困難になるために、徐々に深い膝曲げ動作になった。踏切中点の膝関節角度は、0.3mでは $124.1 \pm 9.6$ 度、1.2mでは $99.8 \pm 11.6$ 度であり、台高間に有意差が認められた。これは、本実験条件を必ずしも満足するものではない。したがって、このことを常に考慮に置いて、本研究の結果を解釈する必要がある。なお、「中くらい」の試技と「深い」試技における踏切中点の膝関節角度には、台高間に有意差は認められなかった。前者の場合は、 $72.9 \sim 78.3$ 度、後者の場合は $41.6 \sim 42.8$ 度の範囲内にあった。

図2に跳躍高、図3に踏切各局面の時間、図4に踏切各局面の地面反力、図5に下肢各関節の最大パワー、図6に踏切各局面の下肢関節の相対仕事、および図7に踏切各局面の下肢筋のiEMGを示した。ここでは、ドロップジャンプの特徴を台高の相違による影響と膝曲げ動作の相違による影響とに分けて示す。

(1) 台高の相違がドロップジャンプの跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響

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

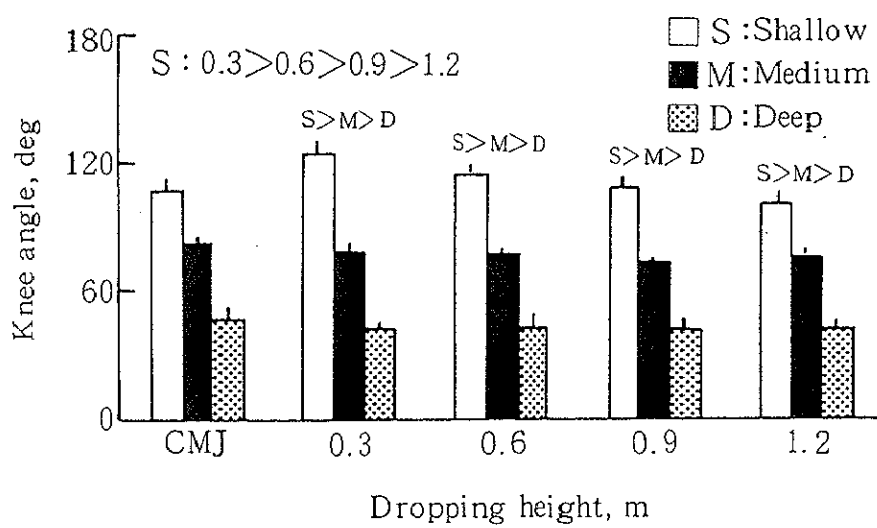


Fig.1. Maximum knee flexion angle during contact phase in drop jump (> ; p < 0.05).

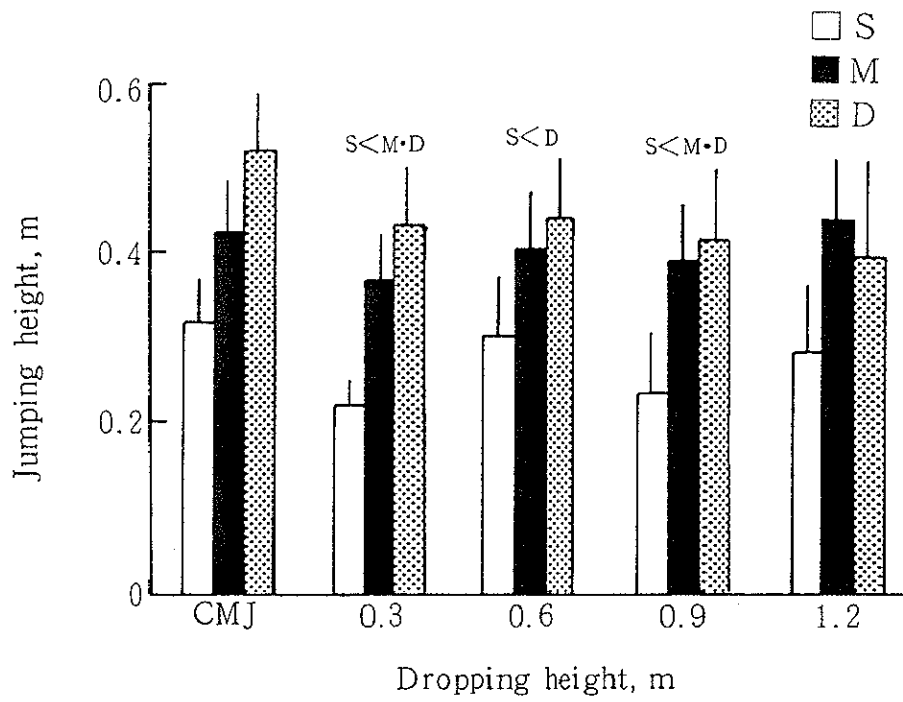


Fig.2. Jumping height in drop jump ( < ; p < 0.05 ).

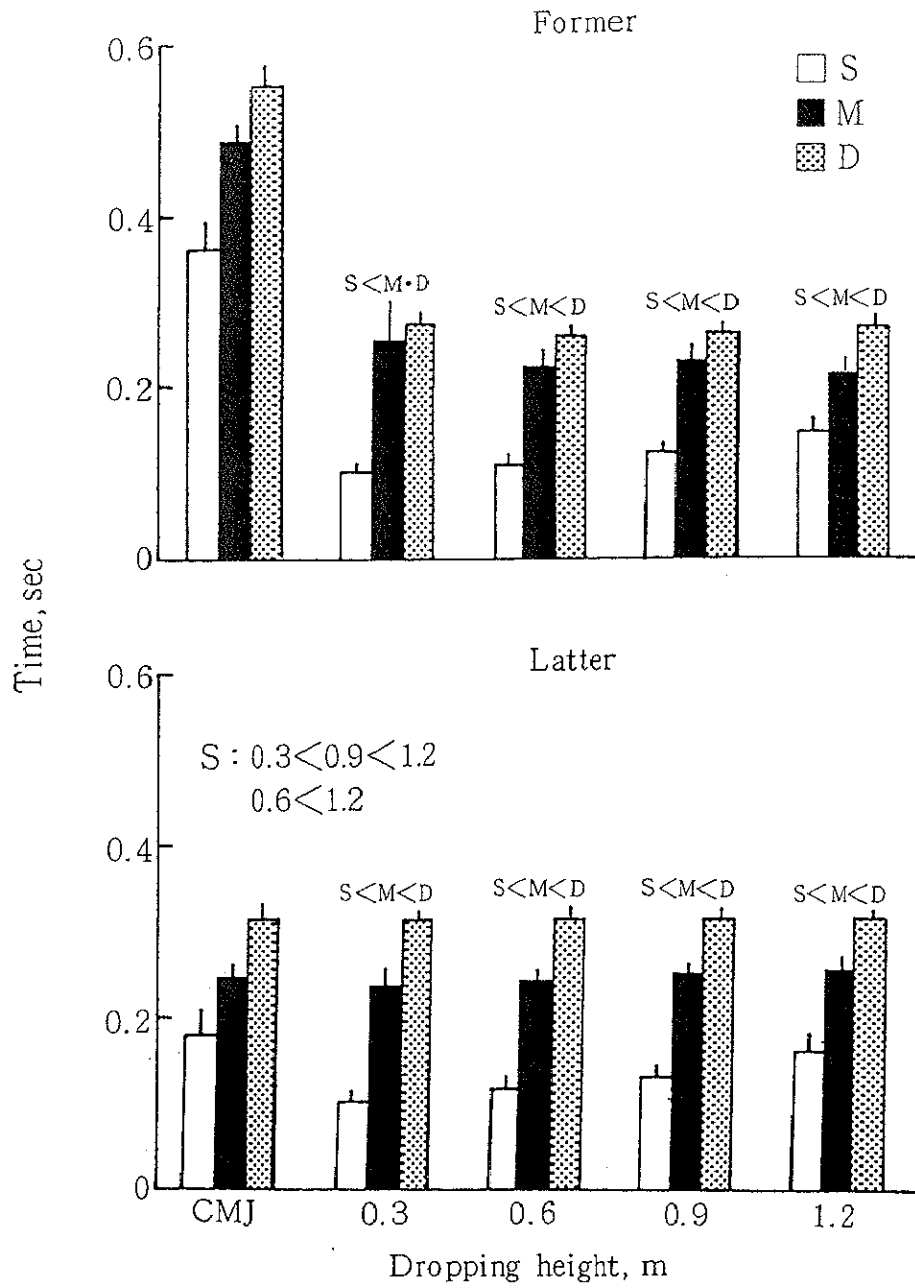


Fig.3. Contact time in drop jump ( $< ; p < 0.05$ ).

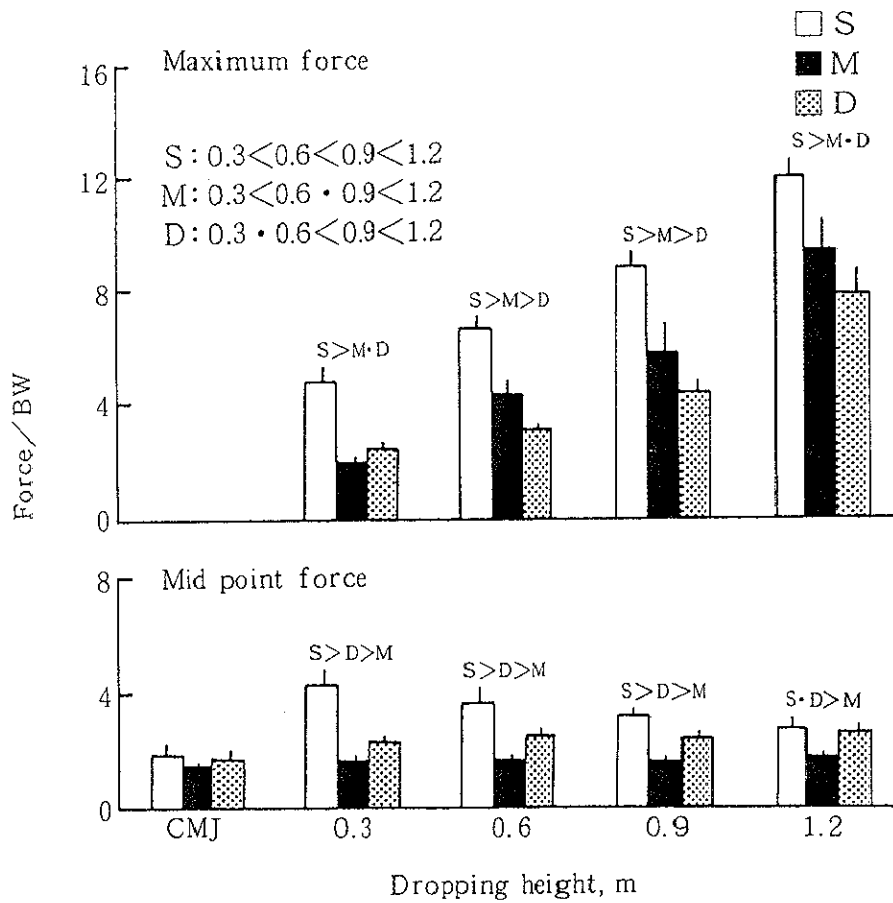


Fig.4. Maximum force / body weight and force / body weight at the maximum knee flexion angle ( mid point force ) in drop jump (>, < ; p < 0.05).

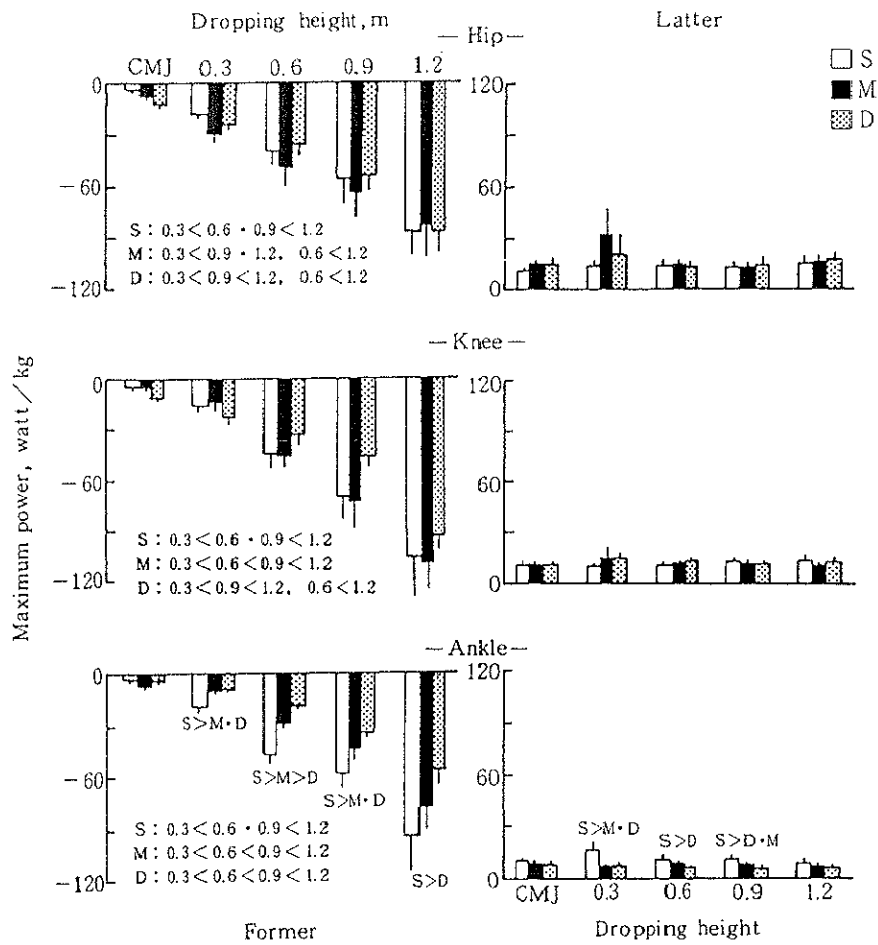


Fig.5. Maximum power done by the lower limb joints during former and latter contact phase in drop jump ( $< < p < 0.05$ ).



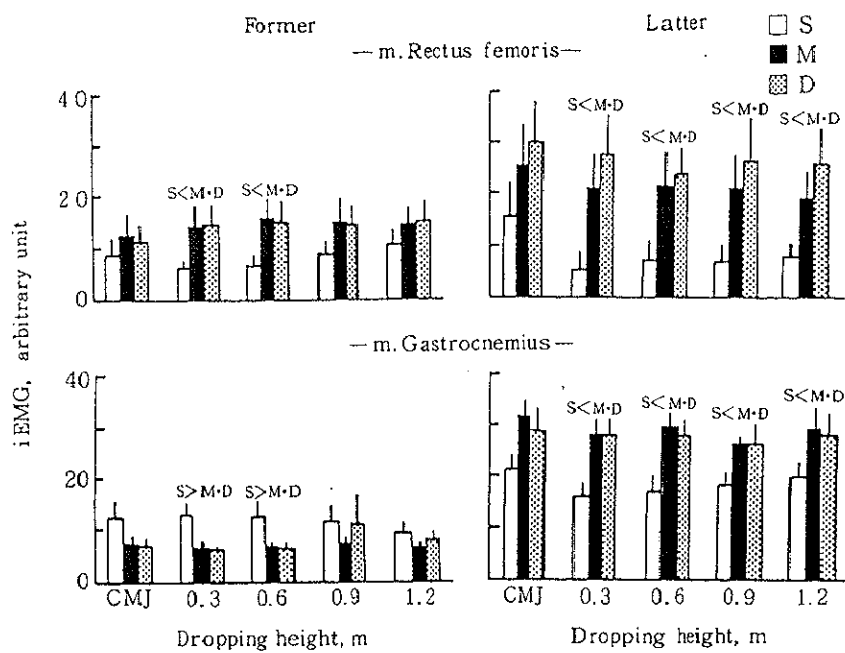


Fig.7. iEMG of m.vastus lateralis and m.gastrocnemius (< ; p < 0.05).



(a) 跳躍高には，有意な差は認められなかった（図 2）。

(b) 踏切前半；

① 踏切前半の時間には，有意な差は認められなかった（図 3）。

② 地面反力でとらえた最大力および平均力は，いずれも有意に大きくなることが認められた（図 4）。

③ 腰，膝，足関節の最大パワー（負）は，有意に大きくなることが認められた（図 5）。

④ 足関節の相対仕事は有意に小さくなり，腰，膝関節の相対仕事には，有意な差は認められなかった（図 6）。

⑤ 大腿直筋，大腿二頭筋，前脛骨筋，腓腹筋のmEMGには，有意な差は認められなかった（図 7）。

(c) 踏切中点；

① 地面反力でとらえた力には，有意な差は認められなかった（図 4）。

(d) 踏切後半；

① 踏切後半の時間には，有意な差は認められなかった（図 3）。

② 地面反力でとらえた平均力には，有意な差は認められなかった（図 4）。

③ 腰，膝，足関節の最大パワーには，有意な差は認められなかった（図 5）。

④ 足関節の相対仕事は有意に小さくなり，腰，膝関節の相対仕事には，有意な差は認められなかった（図 6）。

- ⑤ 大腿直筋，大腿二頭筋，前脛骨筋，腓腹筋のiEMGには，有意な差は認められなかった（図7）。

(2) 膝曲げ動作の相違がドロップジャンプの跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響

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

- (a) 跳躍高は有意に高くなるが，その増加の程度は徐々に小さくなることが認められた（図2）。
- (b) 踏切前半；
  - ① 踏切前半の時間は，有意に長くなることが認められた（図3）。
  - ② 地面反力でとらえた最大力および平均力は，有意に小さくなることが認められた（図4）。
  - ③ 腰，膝関節の最大パワーには，有意な差は認められなかった。これに対して，足関節の最大パワー（負）は有意に小さくなることが認められた（図5）。
  - ④ 腰関節の相対仕事は，有意に大きくなるが，足関節の相対仕事は，有意に小さくなることが認められた。また，膝関節の相対仕事には，有意な差は認められなかった（図6）。
  - ⑤ 大腿直筋，大腿二頭筋，前脛骨筋のiEMGは，有意に大きくなるが，

腓腹筋のiEMGは、有意に小さくなることが認められた（図7）。

(c) 踏切中点

- ① 地面反力でとらえた力は、有意に小さくなり、その後再び有意に大きくなること、すなわち、膝関節角度と膝伸展力との関係にしたがって変化することが認められた（図4）。

(d) 踏切後半；

- ① 踏切後半の時間は、有意に長くなることが認められた（図3）。
- ② 地面反力でとらえた平均力は、有意に小さくなることが認められた（図4）。
- ③ 腰および膝の最大パワーには有意な差は認められなかった。これに対して、足関節の最大パワーは、有意に小さくなることが認められた（図5）。
- ④ 腰、膝関節の相対仕事は、有意に大きくなるが、足関節の相対仕事は、有意に小さくなることが認められた（図6）。
- ⑤ 大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGは、有意に大きくなるが、大腿二頭筋のiEMGには、有意な差は認められなかった（図7）。

#### 4. 考 察

著者は、これまでに安全に合理的に行うことができるドロップジャンプの至適台高について、“ドロップ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”（高松ら，1988）という立場から検討してきた。この主な理由は、ドロップジャンプトレーニング

の目的の一つは、伸張－短縮サイクル運動における神経－筋・腱系の反応の改善であり、そのためにはエキセントリックな筋収縮を用いないスクワットジャンプ以上の跳躍高を用いることができる台高の範囲を確認することが重要になると考えたからである。この研究では、女子ハンドボール競技者を対象にして、膝曲げ動作を規定しない全力跳躍を行わせた。その結果、スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる台高には著しい個人差があり、その個人差は被験者の脚筋力よりも跳躍技術の影響を大きく受けることが認められた。しかし、台高の上昇に伴って、跳躍方法が変化していること、特に踏切中点の膝関節角度が変化していることも認められた。後者の結果は、ドロップジャンプトレーニングについて、二つの問題を提起していると考えられる。

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

他の一つは、ドロップジャンプの至適台高の指標として何を用いるとよいかに関するものである。著者らは、“スクワットジャンプ以上の跳躍高が得られる高さ”を至適台高の指標とした。確かに、このことは、安全性を配慮し、しかも伸張－短縮サイクル運動の特性を生かした全力跳躍、すなわち脚の反動動作をスピーディに行う全力跳躍の指標になりうると考えられる。しかし、これのみでは多様な目的を持っているトレーニング者に対して必ずしも十分とはいえないであろう。なぜなら、至適台高の範囲内でも、台高の相違によって、改善が期待される身体部位がかなり異なるからである。

トレーニング者の立場にたてば、ドロップジャンプでは、台高の相違

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

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

その結果、ドロップジャンプの台高が高くなると、踏切前半では地面反力でとらえた最大力は大きくなり、腰、膝、足関節の最大パワーも大きくなるが、踏切後半では腰、膝、足関節の最大パワーは変化せず、跳躍高も変化しないことが認められた。また、下肢筋のiEMGは、踏切後半のみでなく、前半も変化しないことが認められた。なお、台高が高くなると、踏切前半および後半の足関節の相対仕事は小さくなった。

一方、ドロップジャンプの踏切中の膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では、身体全体の緩衝動作を合理的に使いながら着地できるようになるので、地面反力でとらえた最大力は小さくなることが認められた。また、踏切後半では、地面反力でとらえた平均力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大パワーも変化しないかまたは小さくなるが、踏切時間は長くなり、跳躍高も高くなることが認められた。なお、膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では大腿直筋と前脛骨筋、踏切後半では大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGが大きくなった。また、踏切前半および後半の足関節の相対仕事は小さくなった。

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

本研究の結果をもとにすると、地面反力および筋電図のデータをもとにして得られた膝曲げ動作の「浅い」ドロップジャンプにおける台高の「高い」場合の特徴は、次のとおりである。（ ）のなかは、台高の「低い」場合の特徴である。

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

一方、地面反力および筋電図のデータをもとにして得られた膝曲げ動作が「深い」ドロップジャンプにおける台高が「高い」場合の特徴は、次のとおりである。（ ）のなかは、台高の「低い」場合の特徴である。

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

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

⑤ 傷害の危険性は大きい（小さい）。

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

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

② 足関節に関与する伸筋群の筋力およびパワーの強化を目的とする場合には、低い台高からの浅い膝曲げ動作のドロップジャンプが有効である。

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

上述のドロップジャンプは、いずれも脚の反動動作をスピーディに行うことを前提にしているので、伸張－短縮サイクル運動の特性である神経－筋・腱系の反応の改善は、トレーニングに用いる台高や膝曲げ動作に即して、特異的に期待できると考えられる。

## 5. 要 約

ドロップジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が、跳躍高や下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響を明らかにするために、男子体育専攻学生10名を対象にして、0.3, 0.6, 0.9, 1.2mの台高から、「浅い（110～130度）」、「中くらい（70～90度）」、「深い（30～50度）」

」の3種の膝曲げ動作によるドロップジャンプを全力で行わせた。結果は次のとおりである。

① 台高が高くなるにつれて、踏切前半では、地面反力でとらえた最大力は大きくなり、腰、膝、足関節の最大パワー（負）も大きくなった。しかし、踏切後半では、腰、膝、足関節の最大パワー、絶対仕事は変化せず、跳躍高も変化がなかった。また、大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGは、踏切前半、後半ともに変化がなかった。

② 踏切中の膝曲げ動作が大きくなると、踏切前半では、地面反力でとらえた最大力は小さくなった。踏切後半では、地面反力でとらえた平均力は小さくなり、腰、膝、足関節の最大パワーは変化しないか、または小さくなったが、踏切時間が長くなり、跳躍高も高くなった。また、踏切前半では大腿直筋と前脛骨筋、踏切後半では大腿直筋、前脛骨筋、腓腹筋のiEMGが大きくなった。

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

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



## V. 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響（研究課題1）

### 1. 目的

重力環境下に生きる人間の移動運動中における脚伸展筋の収縮特性に着目すると、主働筋は、着地直後から体重を受け止めるために強制的に伸張され、エキセントリックな収縮により張力を発揮する。さらに、その後、コンセントリックな収縮により張力を発揮しながら、身体を前方および上方へと移動させている。このような筋の伸張と短縮が組み合わされた運動は、伸張-短縮サイクル運動(stretch-shortening cycle movement)と呼ばれ、走る、跳ぶなどの人間の移動運動のほとんどはこの運動に属している(Bosco et al., 1981a)。この伸張-短縮サイクル運動は、伸張反射機構や筋および腱に貯えられた弾性エネルギーの貯蔵-解放機構などが有効に機能するために、大きな力を瞬間的に発揮できることや長時間の運動を効率よく継続できることが認められている(Komi and Bosco, 1978 ; Komi, 1986)。

これらの伸張-短縮サイクル運動における有効性は、筋が短縮の直前に伸張されることによって引き出される。この移動運動において、脚伸展筋を伸張させる着地瞬間の運動エネルギー(E)の大きさは、受け止める必要のある身体、あるいは保持する物体の質量(m)とその速度(v)の二つの要因によって決定されると考えられる( $E = 1/2 \cdot mv^2$ )。例えば、走運動についてみると、走速度が増大するほど、着地瞬間の運動エネルギー

ーは大きくなるし、一方では、走速度は増大しなくても、重りを保持して走るような場合にも、やはり着地瞬間の運動エネルギーは大きくなると考えられる。したがって、この着地瞬間の運動エネルギーが同じであっても、質量と速度の各要素の大きさの割合が異なれば、上述したような伸張－短縮サイクル運動における接地中の神経・筋系の調節機構が異なる可能性が考えられる。

そこで本研究では、伸張－短縮サイクル運動において、接地中に筋を伸張させる運動エネルギーの要素の違いが、脚伸展筋における神経・筋系の調節機構に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。このために、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、すなわち、ある高さの台高から跳び下り即座に跳び上がる跳躍運動を、実験運動として用いた。このドロップジャンプでは、落下開始時点の位置エネルギーは、落下中に運動エネルギーに変換される。そこで、ドロップジャンプにおける着地瞬間の運動エネルギーが一定であるという条件で、台高と身体に付加する重量、すなわち速度と質量の二つの要素を同時に変化させた場合における踏切前半のフォーム、地面反力および脚伸展筋の筋電図の変化について検討した。

## 2. 方 法

### (1) 被験者

被験者には、大学男子体育専攻学生9名を用いた。被験者の年齢、身長および体重は順に、 $22.0 \pm 1.3$ 歳、 $174.5 \pm 3.9$ cm、 $70.3 \pm 2.8$ kgであった。

## (2) 実験試技

実験には、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。ドロップジャンプは、着地後にすばやく跳び上がるリバウンド型ジャンプ (Rebound jump) と、着地して深くしゃがみ込んだ後に跳び上がるプレス型ジャンプ (Press jump) の二つを行なわせた。これらの二つのジャンプにおける運動範囲は異なり、リバウンド型ジャンプにおける踏切中の膝関節最大屈曲角度は、 $111^{\circ}$  から  $130^{\circ}$ 、プレス型ジャンプでは、 $80^{\circ}$  から  $100^{\circ}$  の範囲にあった。

図 8 に、本研究で用いた 4 種類のドロップジャンプにおける台高と身体に付加する重量の条件を示した。踏切前半において、受け止める必要のある運動エネルギーが、試技 A (台高  $0.3\text{m}$ －負荷なし) の場合と同一になるように、B, C, D の各試技における台高と付加重量をそれぞれ設定した。B, C, D のそれぞれにおける付加重量は、ウエイトジャケットを着用させることによって、順に、体重の  $1.2$  倍,  $1.4$  倍,  $1.6$  倍の重さに設定した。これによって、台高は計算上では、B, C, D の順に、 $0.25\text{m}$ ,  $0.21\text{m}$ ,  $0.19\text{m}$  に設定することになった。しかし、実際には、ウエイトジャケット着用のために生じる身体重心の上昇高を測定し、その値を考慮した上で、各被験者ごとに、重心が上昇した高さだけ計算上の高さよりも低く台高を設定した。

被験者には、各試技ともに、腰に手を当てた姿勢で、「できるだけすばやく高く跳ぶ」ことを指示した。また、台上から跳び下りる際には、左脚でゆっくりと身体を前方へと送り出し、台の高さ以上に跳び上がったり、あるいは身体が前方へ大きく移動することのないように注意させ

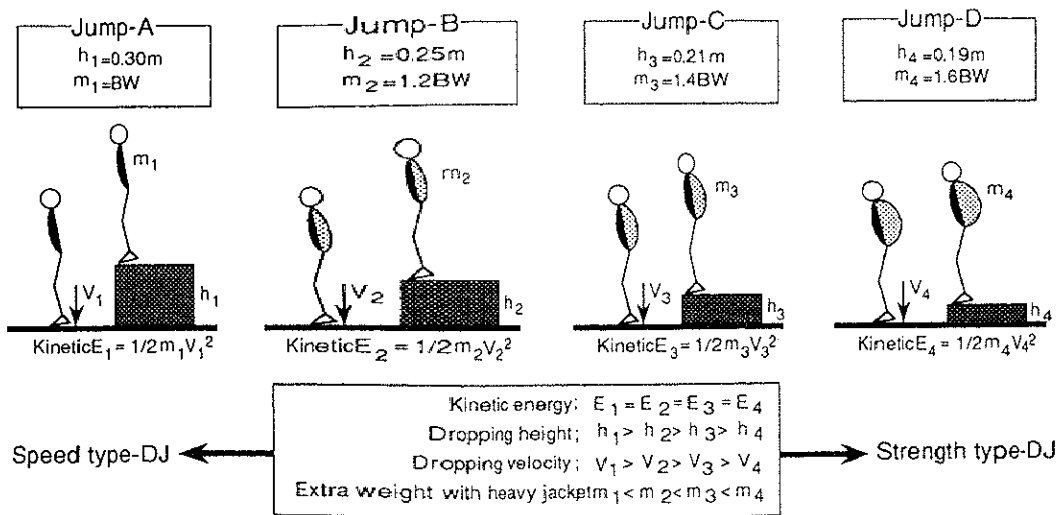


Fig.8. Experimental condition in four different drop jumps.

た。なお、試技が正確に行なえるように、事前に数日間にわたって練習を行わせた。

### (3) 測定項目および測定方法

各試技における踏切中の地面反力をフォースプレート (Kistler AG-9281 type) を用いて、また、踏切中の膝関節角度を、左膝関節に装着したゴニオメータ (P and G 社製) を用いて測定した。EMG は、外側広筋、腓腹筋外側頭およびヒラメ筋から、表面双極誘導法によって導出した。電極には、直径 8 mm のミニチュア皿電極 (NE-512G, 日本光電社製) を用いた。皮膚への電極の付着は、電極間の抵抗を 10 K $\Omega$  以下にしたうえで、下記の部位に電極間距離を 20 mm にして付着した。各筋における電極付着部位は、外側広筋では膝蓋骨上縁より 5 横指近位部、腓腹筋外側頭では膝窩皮線より 5 指遠位部、ヒラメ筋ではアキレス腱内側前面であった。また、増幅器の時定数は、0.03 s とした。これらの信号は、いずれもサンプリング周波数 1 KHZ で A/D 変換した後に、コンピューター (NEC, 9801vm) に取り込んだ。

本研究では、膝関節が最大に屈曲した時点を、脚伸展筋が運動エネルギーを受け止めて切り換えしキック動作に移行する瞬間、すなわち踏切中点とし、これより前の踏切局面を踏切前半、後の踏切局面を踏切後半とした。上述した測定方法によって得られたデータをもとにして、①踏切中点の膝関節角度、②踏切前半の時間、③踏切前半の膝関節平均角速度、④踏切前半の最大力および平均力、⑤跳躍高、⑥踏切前半の腓腹筋とヒラメ筋の積分筋電図 (integrated EMG; iEMG) と筋電図の平均振幅値 (mean EMG ; mEMG) を算出した。⑤の跳躍高は、踏切後半における地面

反力の垂直成分を、時間積分して得られた有効力積をもとに算出した。  
⑥の踏切前半の腓腹筋外側頭およびヒラメ筋における筋電図の平均振幅 (mean EMG ; mEMG) は、全波整流した筋電図波形から求めた踏切前半の積分筋電図を、踏切前半の時間で除すことにより算出した。筋電図の評価では、各被験者ごとに、1 kgの力を発揮する場合における筋電図の振幅が異なり、発揮される力とiEMGおよびmEMGの関係が異なるために、測定値を定量的に比較することはできない。そこで、iEMGおよびmEMGの値を、被験者間や試技間においても定量的に評価するために、リバウンド型ジャンプにおける試技Aの値を基準にし、各試技の値をこの基準値で除した値 (arbitrary unit; AU) を用いた。

#### (4) 統計処理

各測定項目における試技間の差を検定するために、リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプに分けて、一元配置の分散分析を行なった。その結果、F値が有意であった項目に関しては、ライアンの方法により多重比較を行なった。なお、統計処理の有意性は危険率5%で判定した。

### 3. 結 果

#### (1) 踏切中点における膝関節角度

表1に踏切中点における膝関節角度の結果を示した。

踏切中点の膝関節角度は、プレス型ジャンプでは試技条件間に差は認められなかったが、リバウンド型ジャンプでは試技Aから試技Dになる

Table 1. Maximum knee flexion angle during impact phase in drop jump

Jumping technique	Experimental condition				F value	Difference
	Jump A	Jump B	Jump C	Jump D		
Rebound jump	131.8±9.5	127.6±9.0	122.7±6.5	120.0±10.1	3.034 *	A > C, D
Press jump	91.3±8.9	88.9±6.0	87.8±5.7	87.3±4.8	0.676	

Values are means ±SD (deg).

\* ; p<0.05, > ; p <0.05.

につれて小さくなり，有意差が認められた。

## (2) 踏切前半における時間

表 2 に踏切前半における時間の結果を示した。

踏切前半の時間は，リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのいずれにおいても，試技 A から試技 D になるにつれて長くなり，有意差が認められた。

## (3) 踏切前半における膝関節の平均角速度

図 9 に踏切前半における膝関節の平均角速度の結果を示した。

膝関節の平均角速度は，リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのいずれにおいても，試技 A から試技 D になるにつれて小さくなり，有意差が認められた。

## (4) 踏切前半における地面反力

図 10 に踏切前半における地面反力の結果を示した。

踏切前半における地面反力の体重当たりの最大力および踏切中点の力は，リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのいずれにおいても，試技 A から試技 D になるにつれて小さくなる傾向があり，プレス型ジャンプにおいては有意差が認められた。しかし，踏切前半における地面反力の体重当たりの平均力は，リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのいずれにおいても，試技 A から試技 D になるにつれて逆に大きくなる傾



Table 2. Contact time during impact phase in drop jump.

Jumping technique	Experimental condition				F value	Difference
	Jump A	Jump B	Jump C	Jump D		
Rebound jump	0.100±0.022	0.110±0.017	0.138±0.022	0.161±0.021	16.258**	A < B < C, D
Press jump	0.231±0.023	0.259±0.019	0.302±0.035	0.331±0.050	15.278**	A < B < C, D

Values are means ±SD (sec).

\*\* ; p < 0.01, < ; p < 0.05.

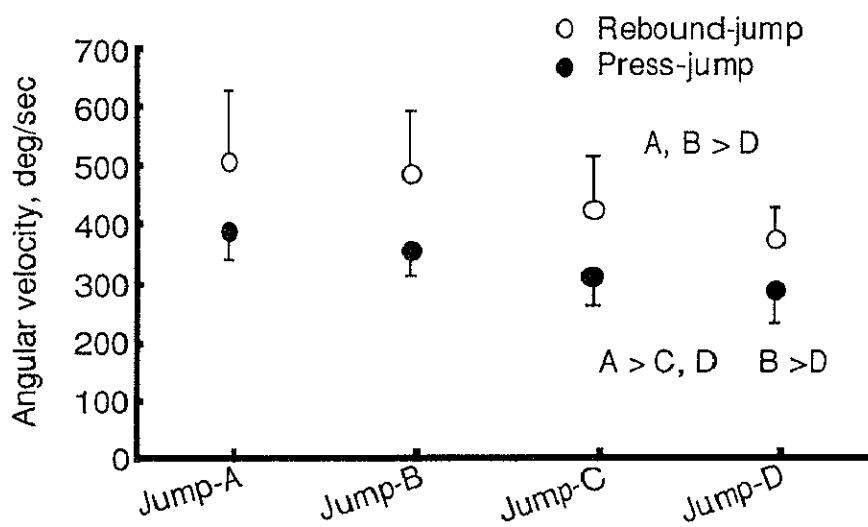


Fig.9. Average knee angular velocity during impact phase in drop jump (> ; p<0.05 ).

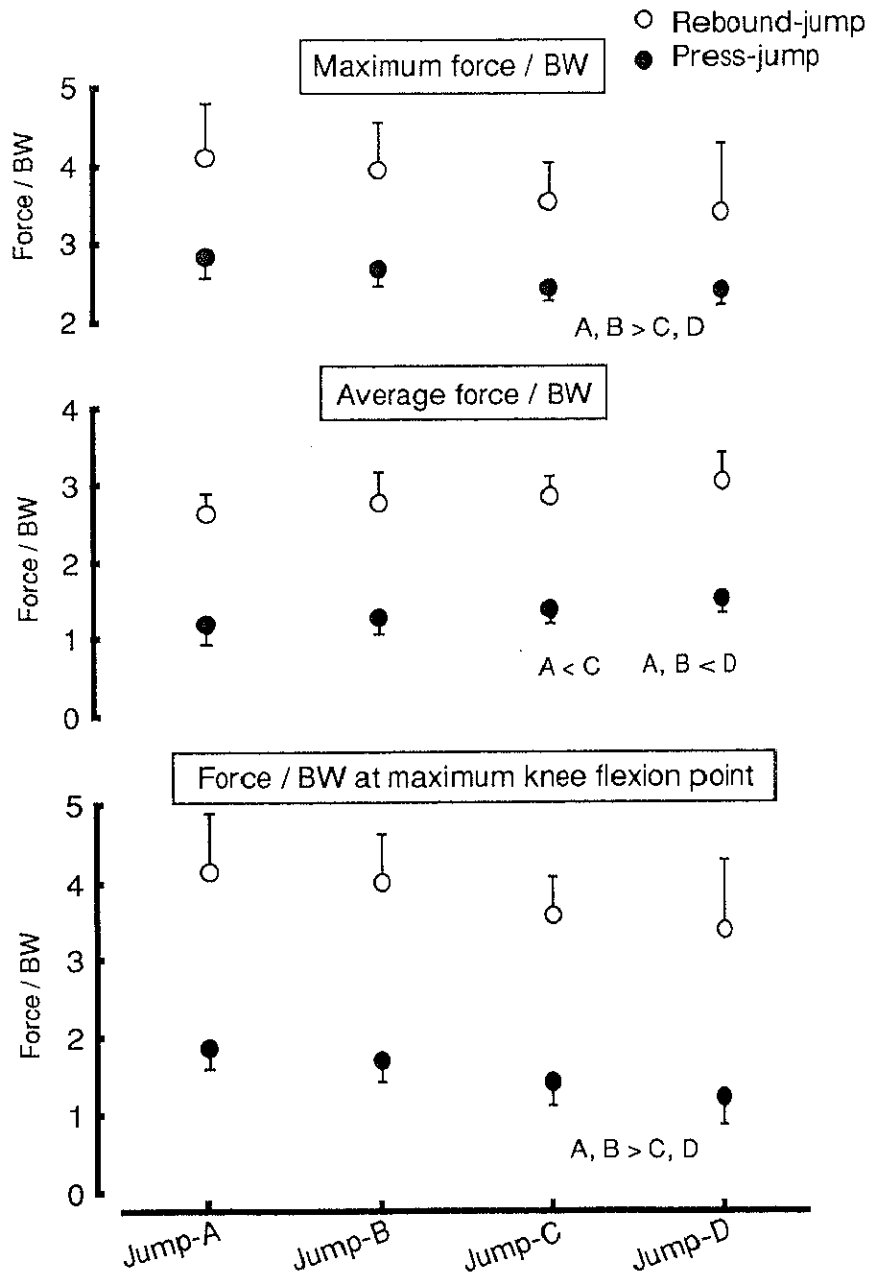


Fig.10. Maximum force / body weight ( the upper part ) and the average force / body weight ( the middle part ) during impact phase, and the force / body weight at the maximum knee flexion angle ( the bottom part ) in drop jump (>, < ; p < 0.05).

向があり，プレス型ジャンプにおいては有意差が認められた。

#### (5) 踏切前半における筋電図

図11に踏切前半における外側広筋，腓腹筋外側頭およびヒラメ筋のiEMGおよびmEMGの結果を示した。

腓腹筋では，リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのmEMGのいずれにおいても，試技Aから試技Dになるにつれて有意に小さくなった。しかし，外側広筋とヒラメ筋では，リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのiEMGとmEMGのいずれにおいても，有意差は認められなかった。

#### (6) 跳躍高

図12に各試技における跳躍高の結果を示した。

跳躍高は，リバウンド型ジャンプでは試技条件間に差は認められなかったが，プレス型ジャンプでは試技Aから試技Dになるにつれて小さくなり，有意差が認められた。

### 4. 考 察

ドロップジャンプにおける踏切前半の脚伸展筋の収縮特性は，エキセントリックな収縮である。したがって，踏切前半において，脚伸展筋は伸張されながら力を発揮し運動エネルギーを受け止めている。本研究では，試技Aから試技Dのドロップジャンプになるにつれて，踏切前半に受け止める必要のある運動エネルギーを，速度優先型から質量優先型へ

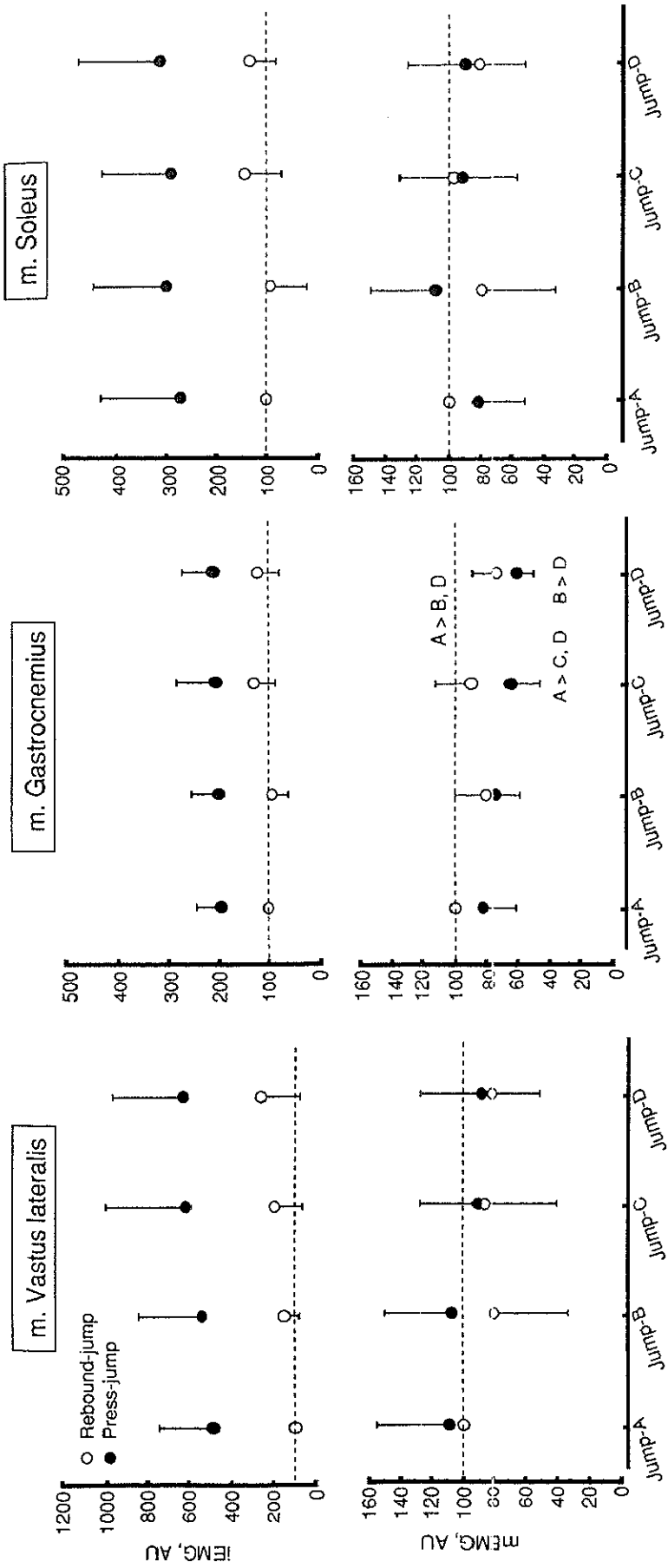


Fig.11. The iEMG and mEMG of m.vastus lateralis, lateral head of m.gastrocnemius and m.soleus during impact phase in drop jump (> ; p < 0.05).

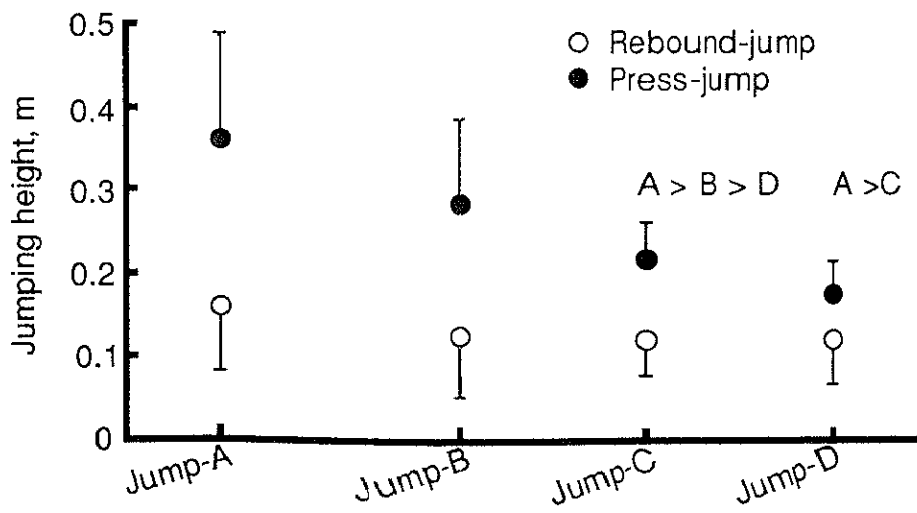


Fig.12. Jumping height in drop jump ( $>$  ;  $p < 0.05$  ).

と変化させた。その結果、踏切中点の膝関節角度は、運動範囲の小さいリバウンド型ジャンプでは有意に小さくなり、屈曲する傾向が認められたが、運動範囲の大きいプレス型ジャンプでは差は認められなかった。また、踏切前半の時間は、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに著しく、しかも有意に長くなった。このために、踏切前半の膝関節の平均角速度は、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに有意に小さくなった。これらの結果は、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに、着地瞬間の運動エネルギーが同じ大きさであっても、その要素を速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、踏切前半における脚伸展筋の伸張速度が小さくなることを示すものである。

踏切前半における地面反力の結果について見ると、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに、速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、体重当たりの最大力は小さくなり、逆に体重当たりの平均力は大きくなる傾向が認められた。摘出筋や単関節運動による実験では、エキセントリックな筋収縮によって発揮される筋張力は、筋の伸張速度が大きいほど大きくなる (Cavagna et al., 1965, 1968)。一方、錘内筋線維内に存在する筋紡錘は、速度を感知する受容器であり、筋の伸張速度が速い場合には、促進的に働くことが認められている (Komi, 1986)。

これらのことを考慮すると、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに、運動エネルギーが同じであっても、その要素を速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、脚伸展筋の伸張速度が小さくなり、筋紡錘からの促進的情報が働かず、伸張反射が有効に利用できないために、エキセントリックな筋収縮によって発揮される筋張力の最大値を大きくできないのではないかと考えられる。また、これを補償するために、長時間に渡って平均的に筋張力を発揮することによって、運動エ

エネルギーを受け止めているのではないかと考えられる。逆に、運動エネルギーを質量優先型から速度優先型へと変化させた場合には、脚伸展筋の伸張速度が大きくなり、筋紡錘からの促進的情報が働き、伸張反射を有効に利用できるために、エキセントリックな筋収縮によって発揮される筋張力の最大値を大きくして、瞬間的にエネルギーを受け止められるのではないかと考えられる。

脚伸展筋の活性化状態を反映すると考えられる筋電図の結果について見ると、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに、運動エネルギーを速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、腓腹筋外側頭のmEMGのみが有意に小さくなった。腓腹筋とヒラメ筋は、いずれも足底屈筋である。しかし、腓腹筋はヒラメ筋と比較して速筋線維占有率の高い筋である。この腓腹筋の活動状態に関する特性を検討した研究では、大きな速度と力が要求される繰り返しホッピング運動中においては、腓腹筋の活動が選択的に増大することが認められている(Moritani et al., 1990)。また、動物実験においては、catによる静止、歩行、走行時の腓腹筋とヒラメ筋の筋張力と筋電図を測定した結果、走行速度を高めるほど、腓腹筋の筋張力と筋電図の活性化が選択的に高まることが認められている(Walmsley, 1978)。本研究では、足関節角度に関する測定を行っていない。しかし、足関節角速度の結果が、前述した膝関節角速度の結果と一致すると仮定すると、運動エネルギーを速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、上述の研究結果が示すように、足底屈筋のエキセントリックな筋収縮による伸張速度が小さくなるために、すばやく大きな力を発揮するのに適している腓腹筋の働きは顕著に小さくなってしまわないかと考えられる。逆に、質量優先型から速度優先型へと変化させた場合には、足底屈筋のエキセントリックな筋収縮に



よる伸張速度が大きくなるために、すばやく大きな力を発揮するのに適している腓腹筋の働きが顕著に大きくなるのではないかと考えられる。一方、腓腹筋は、膝関節の屈曲と足関節の底屈に作用する二関節筋であり、この構造と機能に関する特性が、上述の結果に影響している可能性も考えられる。しかし、本研究結果からは、そのことに関する考察はできなかつた。

踏切中点の力は、リバウンド型ジャンプ、プレス型ジャンプともに、脚伸展筋を伸張させる運動エネルギーを、速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、小さくなる傾向が認められた。踏切中点の力は、エキセントリックな筋収縮からコンセントリックな筋収縮へと切り換わる時点の力であり、この力の大きさは、踏切前半において脚の筋および腱に貯えられた弾性エネルギーの大きさを反映することが認められている(Komi and Buskirk, 1972 ; Komi and Bosco, 1978)。このことを考慮すると、運動エネルギーを速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、脚伸展筋の伸張速度が小さくなるために、弾性エネルギーの貯蔵-解放機構が有効に働かないのではないかと考えられる。逆に、質量優先型から速度優先型へと変化させた場合には、脚伸展筋のエキセントリックな筋収縮による伸張速度が大きくなるために、前述したようなすばやく大きな力の発揮に適する神経・筋系の調節機構が有効に働き、脚筋の硬度(stiffness)を高め、弾性エネルギーの貯蔵-解放機構を有効に働かせるのではないかと考えられる。

本研究では、脚伸展筋を伸張させる運動エネルギーを一定に設定した上で、その要素を速度優先型から質量優先型へと変化させることが重要であった。したがって、負荷を一定に設定できない踏切後半の結果に関しては、図12に踏切後半の仕事を反映する跳躍高の結果のみを示した。

跳躍高は、運動範囲の大きいプレス型ジャンプでは、運動エネルギーを速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、踏切後半における負荷が大きくなるために、有意に小さくなる傾向が認められた。しかし、リバウンド型ジャンプでは、差は認められなかった。リバウンド型ジャンプでは、表1に示したように、運動エネルギーを速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、踏切中点の膝関節角度が有意に小さくなった。このために、踏切後半における膝関節の運動範囲は逆に大きくなり、仕事を獲得しやすくなった。したがって、リバウンド型ジャンプでは、運動エネルギーを速度優先型から質量優先型へと変化させた場合には、踏切後半における付加重量は大きくなり、跳躍高を獲得するためには不利な条件になったが、上述したように膝関節の運動範囲が大きくなったことが、その不利な条件を相殺したのではないかと考えられる。

本研究結果から、脚伸展筋を伸張させる運動エネルギーが同じ大きさであっても、その要素が質量優先型に比較して、速度優先型の場合には、脚伸展筋の伸張速度が大きくなり、それが原因して、伸張反射機構や速筋線維の選択的利用などの神経系の調節機構が有効に働き、エキセントリックな収縮によって、すばやく大きな力を発揮できることが認められた。その場合には、弾性エネルギーの貯蔵-解放機構が、有効に働く可能性も認められた。これらのことは、重力環境下に生きる人間の伸張-短縮サイクル運動における脚伸展筋が、質量優先型の負荷よりも速度優先型の負荷の場合によりよく機能することを示唆するものである。

## 5. 要 約

本研究では伸張-短縮サイクル運動において、脚伸展筋を伸張させる

着地瞬間の運動エネルギーを作る要素が、速度優先型か、あるいは質量優先型かによって、地面反力や筋電図からみた脚伸展筋の力発揮に関する特性がどのように変化するかについて検討した。大学男子体育専攻学生 9 名に、着地瞬間の運動エネルギー量が常に一定であるという条件で、台高と身体に付加する重量の二つの要素を同時に変化させた 4 種類のドロップジャンプを、リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプの二つの動作様式で行なわせた。

その結果、リバウンド型ジャンプとプレス型ジャンプのいずれのドロップジャンプにおいても、脚筋を伸張させる運動エネルギーが、質量優先型の場合に比較して、速度優先型の場合には、①踏切前半の時間は短くなり、膝関節の平均角速度は大きくなること、②踏切前半の地面反力の最大力は大きくなり、平均力は小さくなること、③踏切中点の力は大きくなること、④腓腹筋における筋電図の平均振幅 (mEMG) は大きくなること、などが認められた。

上述の結果は、ドロップジャンプのような伸張-短縮サイクル運動では、脚伸展筋を伸張させる運動エネルギーが、速度優先型の場合には、質量優先型の場合に比較して、伸張反射機構が有効に利用でき、速筋線維占有率の高い腓腹筋が選択的に動員できることなどから、神経・筋系の調節機構が有効に働き、すばやく大きな力を発揮できることを示唆するものである。

## VI. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性（研究課題1および2）

### 1. 目的

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秒以内にあり、大きな力を集中的に発揮する運動である(Karayanis, 1978 ; Hay, 1973). 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(Brooks and Thach, 1981 ; Desmedt and Godaux, 1977, 1978, 1979 ; Marsden, 1976 ; 米田, 1989)。

一方、上述の各運動は、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 movement)である(Komi and Buskirk, 1972 ; Komi and Bosco, 1978)。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、運動効率をよくすることができる(Asmussen and Bonde-Petersen, 1974 ; Bosco, and Komi, 1979b ; Bosco and Viit-

asalo, 1982b ; Chapman and Caldwell, 1985a ; Gollhofer et al., 1992 ; 小嶋, 1989 ; Komí and Bosco, 1978 ; 高松ら, 1991).

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を必要とす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、下肢の瞬発力の測定には、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(高松ら, 1989)、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。これらのことは、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瞬発力の測定では、跳躍選手の跳躍能力、あるいは球技選手の跳躍能力やフットワーク能力を、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滞空時間の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，それらの有効性および再現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最大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．

## 2. 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 (Asmussen and Bonde-Petersen, 1974 ; Bosco and Viitasalo, 1982a ; Komi and Bosco, 1978 ; Viitasalo, 1984 ; 米田, 1989)．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ている．そこで，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 ( $t_c$ ) と滞空時間 ( $t_a$ )，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 ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) 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2つの指

標を，次式によって算出した．

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

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

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．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，滞空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．

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

上述の三つの指標は，簡単な測定装置であるマットスイッチを用いて，踏切時間と滞空時間を測定すれば，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，簡単に精度よく得ることができる．後述するように，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，フォースプレートから得られたデータは，踏切時間と滞空時間のみを利用した．

なお，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すべて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滞空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滞空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（年齢：21.0±1.1歳，身長：174.2±4.3cm，体重：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、経験年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（年齢：22.0±0.0歳，身長：174.7±3.1cm，体重：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(勝田ら, 1988)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 AG-9821type)により, それぞれ1ms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), 踏切時間, および滞空時間を算出した。

### (3) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性

台高0.3m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(CMJh), 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, バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性について検討した。

なお,  $DJ_{index}$ の再現性をみるために, 同じ日に行った二回の試技, あるいは異なった日に行った二回の試技について検討した。

### 1) 被験者

被験者には, 14種目のスポーツ選手93名(年齢:  $21.0 \pm 1.5$ 歳, 身長:  $172.5 \pm 8.0$ cm, 体重:  $67.3 \pm 7.5$ kg)を用いた。図17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。

なお、 $DJ_{index}$ の再現性は、上述の被験者から4名を除く89名（年齢： $21.0 \pm 1.3$ 歳，身長： $172.4 \pm 7.0$ cm，体重： $67.0 \pm 7.1$ kg）を用いて検討した。

## 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、0.3m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滞空時間を、前述の式(1)～(3)に代入し、 $F_{index}$ 、 $P_{index}$ 、 $DJ_{index}$ を求めた。

CMJh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。その際に得られた滞空時間をもとにして、CMJhを算出した。

$S_{max}/BW$ の測定では、被験者に、膝関節角度 $90^\circ$ 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、いずれもフォースプレート(Kistler AG:9281 type)上で行わせた。なお、試技中の地面反力は、いずれも1msごとに測定した。

## 3. 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

## 滞空時間に及ぼす影響

### 1) 台高の相違による影響

図13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滞空時間を示した。ここでは、踏切時間と滞空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0.3mからの浅い膝曲げ動作の場合のみであった。滞空時間は、いずれの膝曲げ動作においても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0.3mの場合）

図14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、踏切時間および滞空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、滞空時間は、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、滞空時間、 $F_{index}$ 、 $P_{index}$ 、 $DJ_{index}$ の相互関係（台高0.3mからの浅い膝曲げ動作による場合）

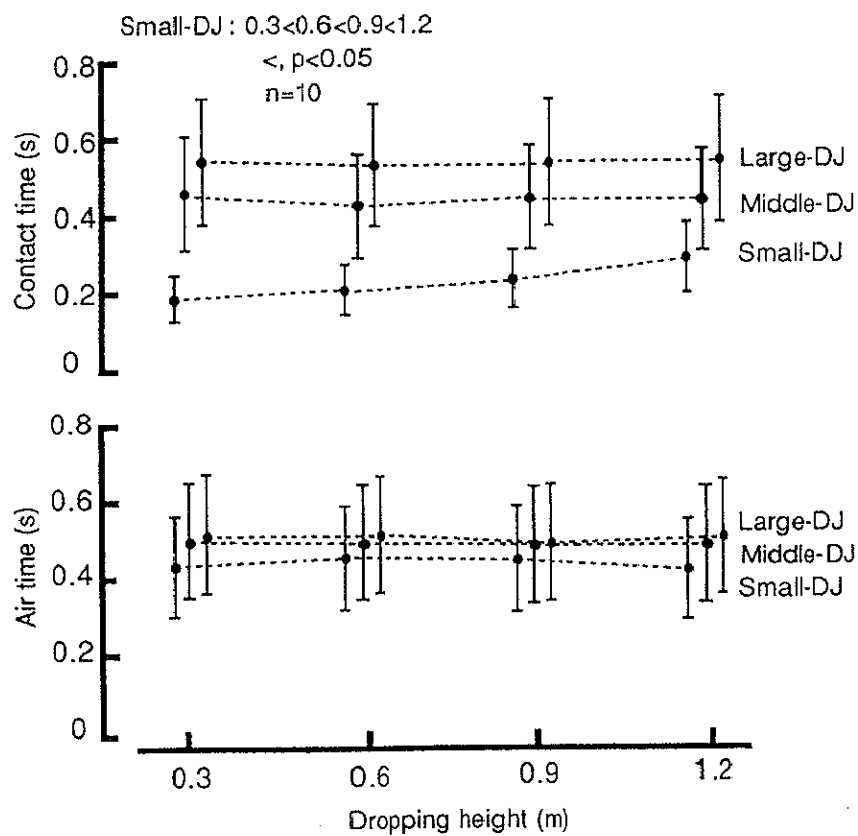


Fig. 13. Contact time and air time in drop jump with small, middle, large angular displacement of the knee from height of 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2m.

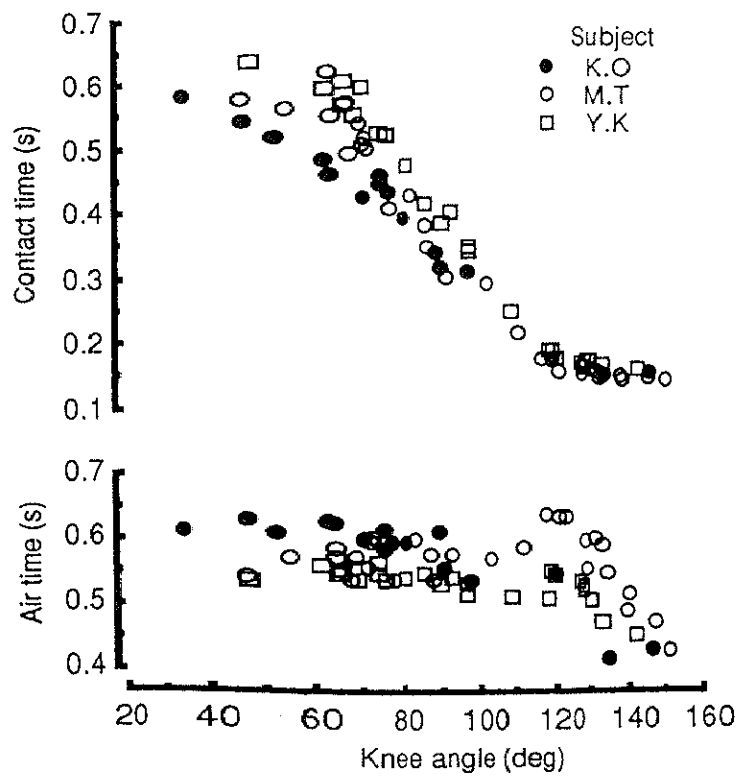


Fig.14. Relationships between knee angle at maximum flexion, and contact time and air time in drop jump from height of 0.3m.

図15に、踏切時間および滞空時間と、 $F_{index}$ 、 $P_{index}$ 、 $DJ_{index}$ 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、 $F_{index}$ と滞空時間との間には有意な相関関係は認められたが、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、 $P_{index}$ と踏切時間および滞空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は認められたが、相関係数は低い値であり( $r=-0.269$ ,  $P<0.05$ )、これに対して、 $P_{index}$ と滞空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( $r=0.987$ ,  $P<0.001$ )。一方、 $DJ_{index}$ と踏切時間( $r=-0.667$ ,  $P<0.001$ )、および $DJ_{index}$ と滞空時間( $r=0.810$ ,  $P<0.001$ )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16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) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性

ここでは、台高0.3m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・滞空時間・ $F_{index}$ ・ $P_{index}$ ・ $DJ_{index}$ 、CMJh、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

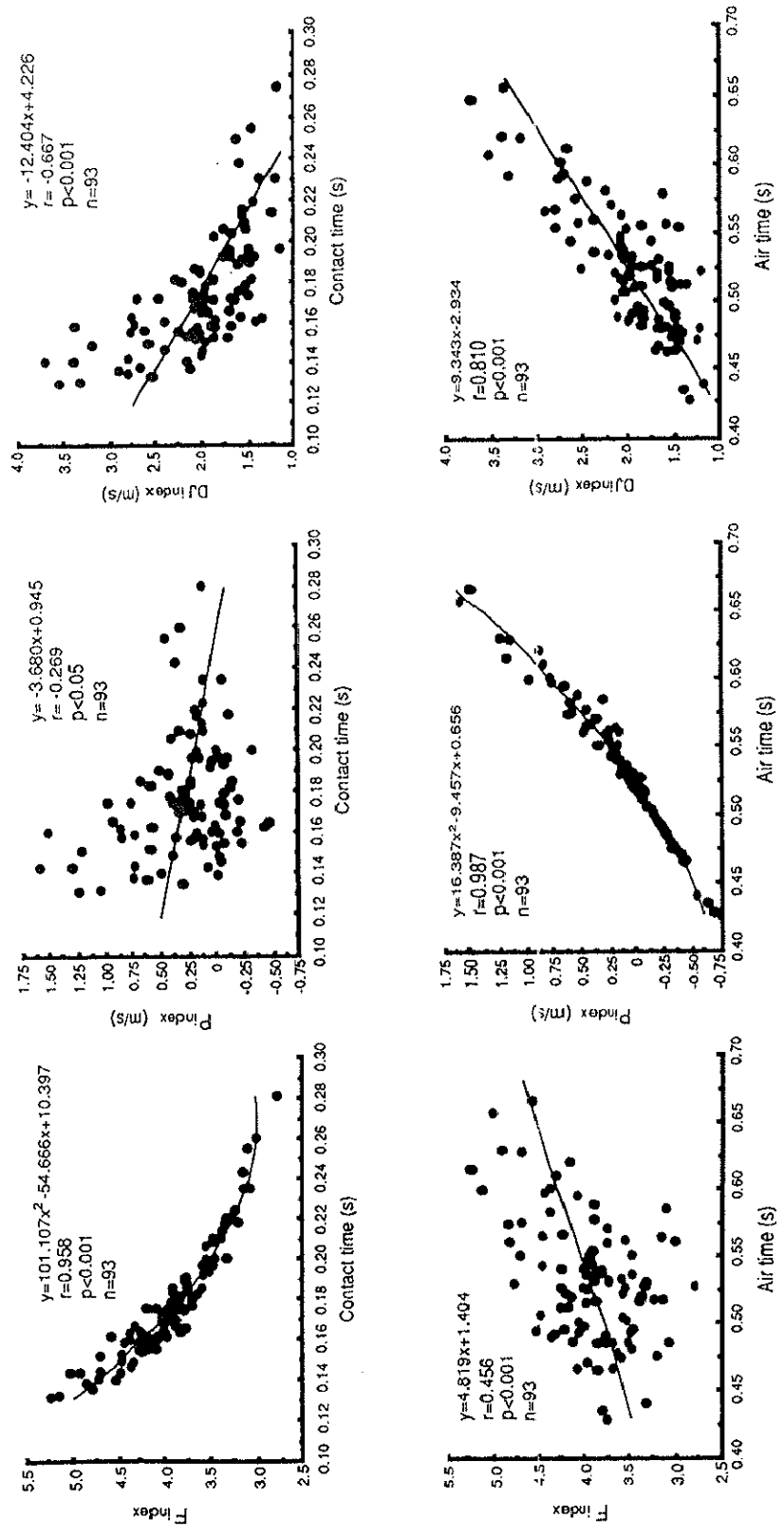


Fig. 15. Relationships between contact time and air time, and F\_index, P\_index and DJ\_index in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m.

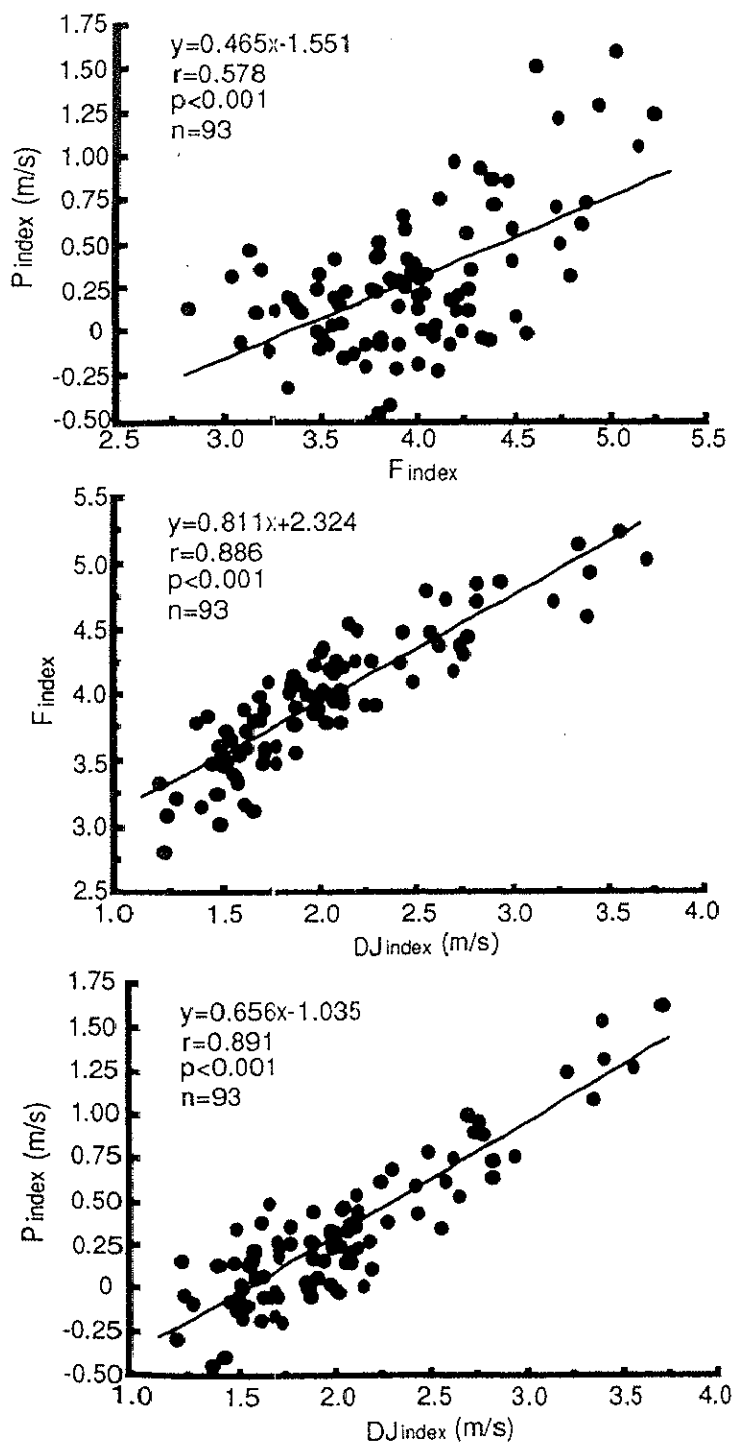


Fig.16. Relationships between F<sub>index</sub> , P<sub>index</sub> and DJ<sub>index</sub> in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m.



する特性について検討した。

図17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18に、各種スポーツ選手におけるドロップジャンプの $DJ_{index}$ 、 $CMJh$ 、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 $S_{max}/BW$ 、 $CMJh$ 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。 $CMJh$ 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、バドミントン選手、陸上競技の短距離選手の順に高い値を示した。

なお、図19に、 $F_{index}$ 、 $P_{index}$ 、 $DJ_{index}$ の計算に用いた踏切時間と滞空時間からみた各種スポーツ選手の特性を示した。

踏切時間は短いほど、滞空時間は長いほど、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、滞空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、滞空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、滞空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、滞空時間に優れているタイプとして特徴づけられた。

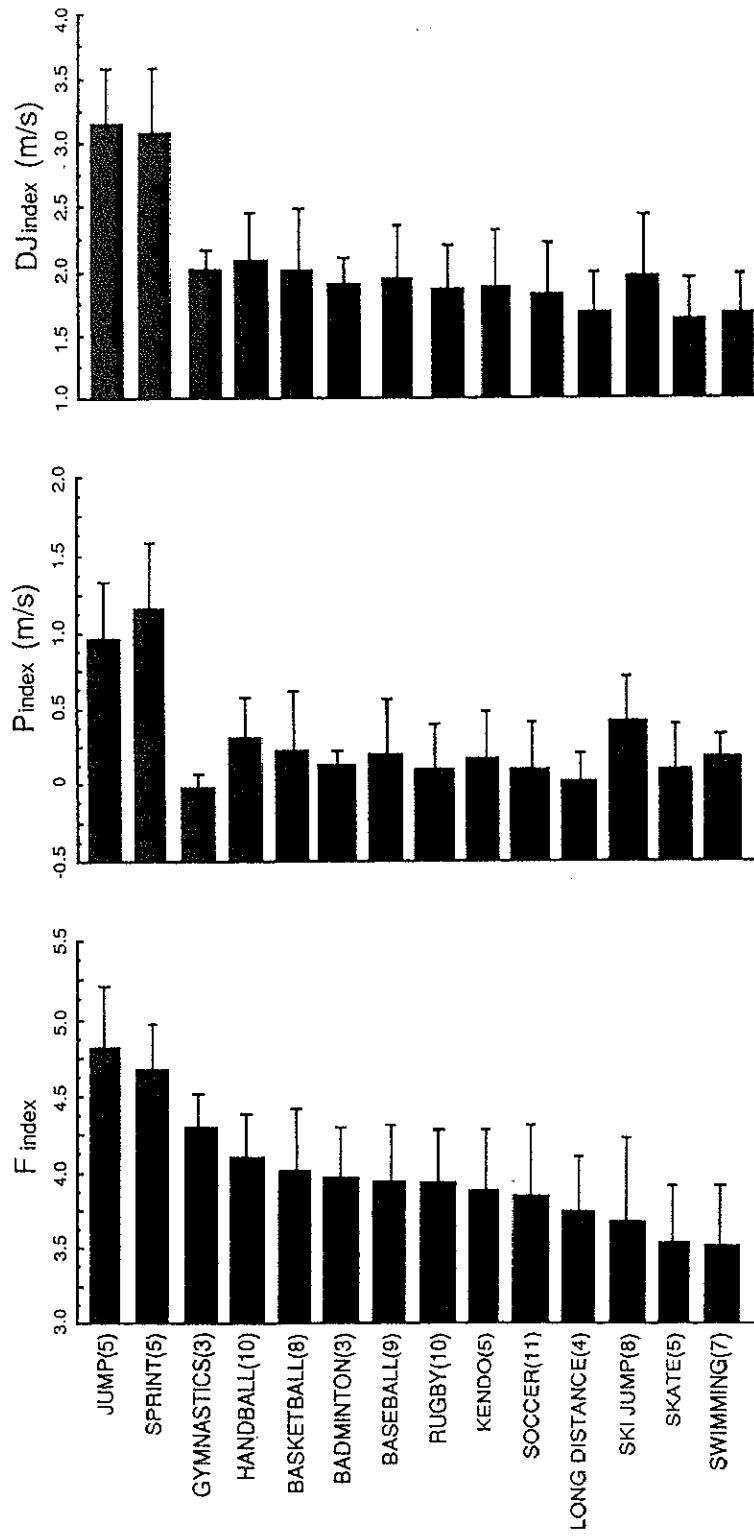


Fig.17. F index, P index and DJ index in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m for several sport athlete.

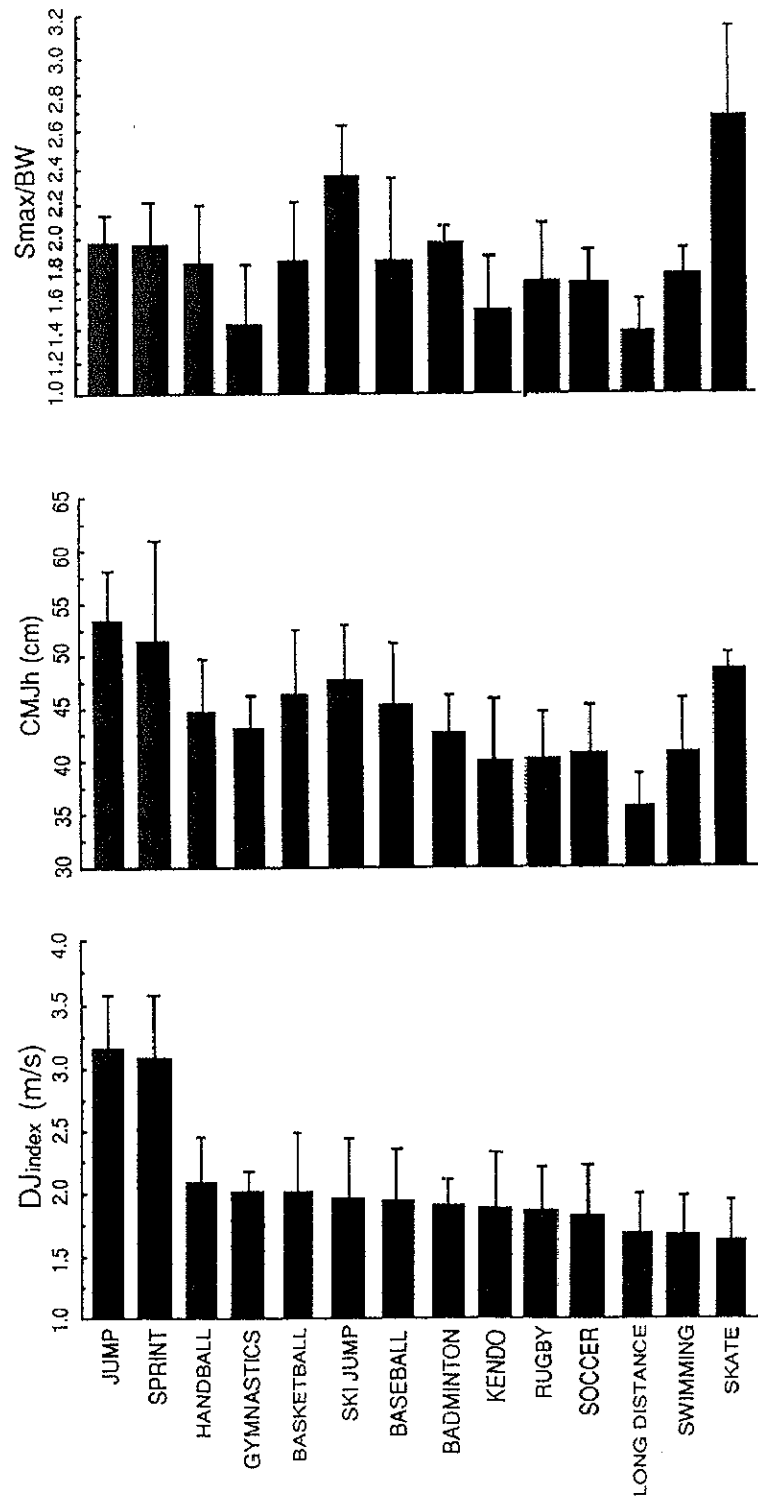


Fig.18. DJindex in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m, height of counter movement jump (CMJh), and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (Smax/BW) for several sport athlete.

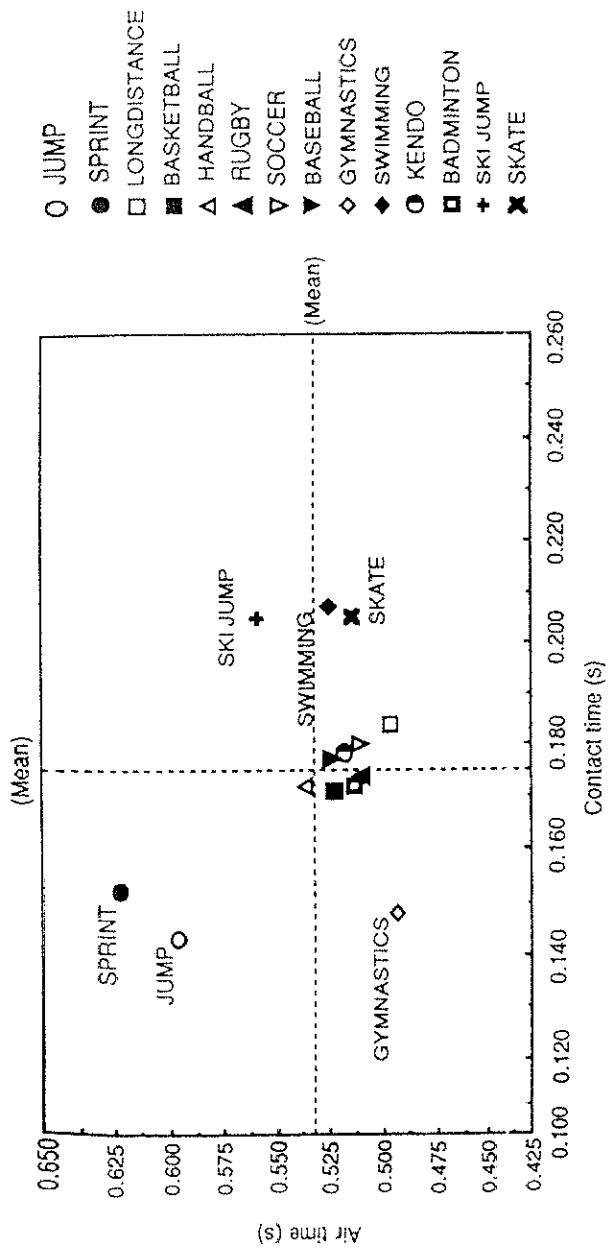


Fig.19. Relationship between contact time and air time in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m for several sport athlete. Dotted lines are average values of contact time and air time.

図20に、ドロップジャンプの  $F_{index} \cdot P_{index} \cdot DJ_{index}$ ,  $CMJh$ , 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、 $DJ_{index}$ ,  $CMJh$ ,  $S_{max}/BW$  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  $CMJh$ ,  $S_{max}/BW$  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、バドミントン、サッカー、ラグビーなどの球技ス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にして、ドロップジャンプの  $F_{index} \cdot P_{index} \cdot DJ_{index}$ ,  $CMJh$ , 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  $F_{index} \cdot P_{index} \cdot DJ_{index}$ ,  $CMJh$ , 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21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、 $CMJh$  ( $r=0.193$ , ns) や  $S_{max}/BW$  ( $r=0.343$ , ns) に比較すると、 $F_{index}$  ( $r=0.406$ , ns),  $P_{index}$

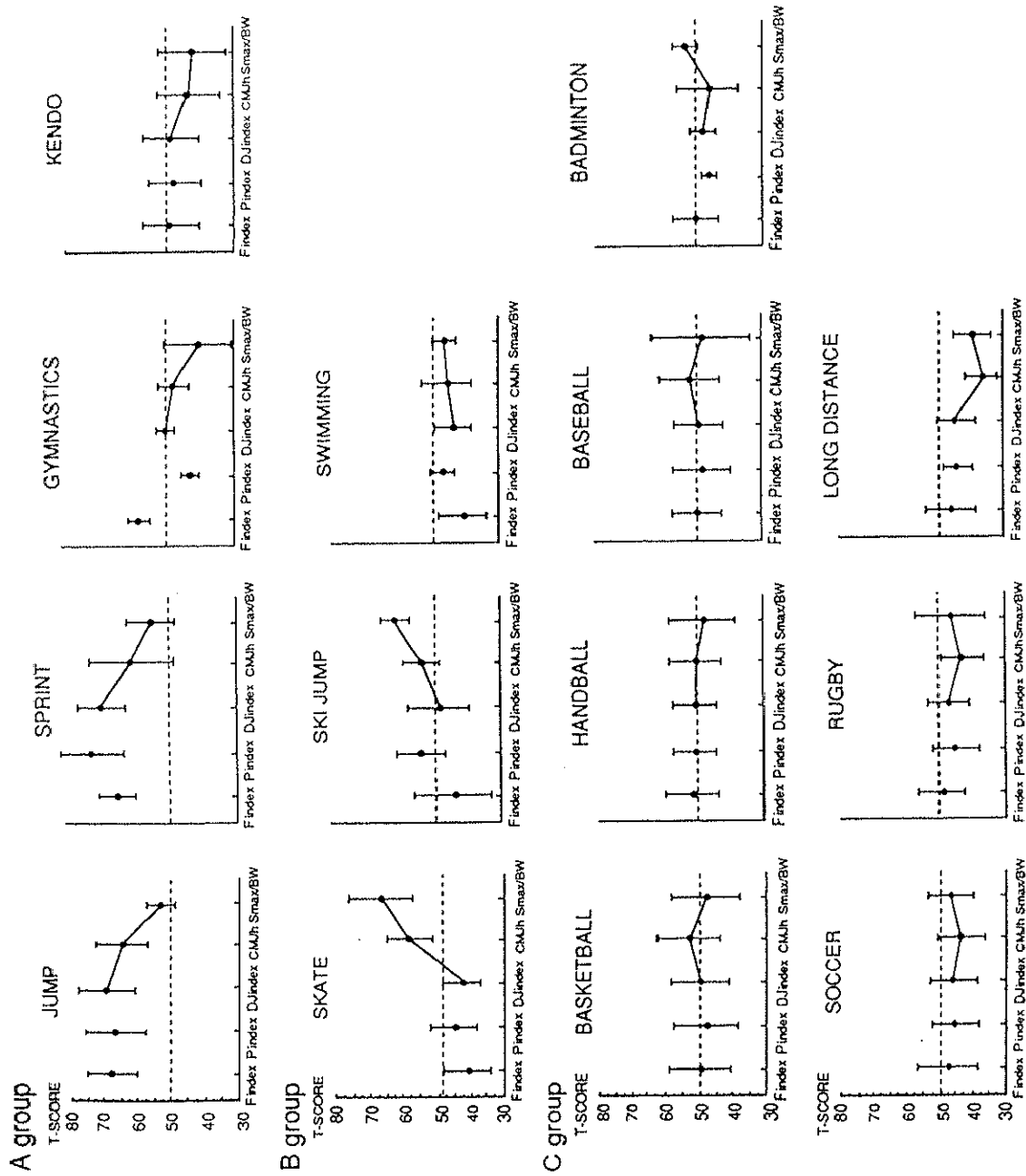


Fig.20. T score of Findex , Pindex and DJindex in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m, height of counter movement jump (CMJh), and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (Smax/BW) for several sport athlete.

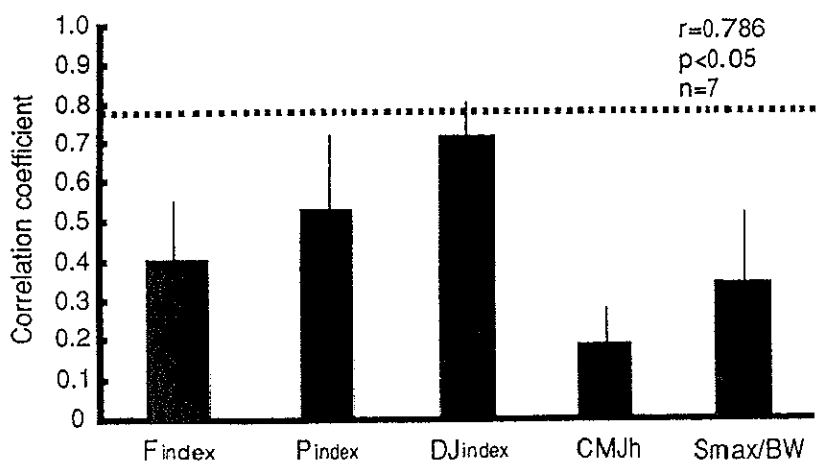


Fig.21. Spearman's correlation coefficient (by ranks) between the jump and footwork capacity in basketball depending on subjective evaluation, and F<sub>index</sub>, P<sub>index</sub> and DJ<sub>index</sub> in drop jump with small angular displacement of the knee from height of 0.3m, height of counter movement jump (CMJh), and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (Smax/BW) for seven basketball players.

A dotted line is significant level ;  $p<0.05$ .

( $r=0.528$ , 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.

#### (4) $RDJ_{index}$ の再現性

図22に, 同じ日に行った二回の試技, 図23に異なった日に行った二回の試技における $DJ_{index}$ の関係を示した.

相関係数は, 同じ日の場合が $0.984$  ( $p<0.001$ ), 異なった日の場合が $0.974$  ( $p<0.001$ )であり, いずれも有意に高いことが認められた. さらに, 回帰直線の傾きは, 同じ日の場合が $0.998$ , 異なった日の場合が $0.991$ であることが認められた.

## 4. 考 察

### (1) 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

まず最初に, 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(1981), Desmedt and Godaux(1977, 1978, 1979)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ブ運動や $0.5$ 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, 主動筋の活動は,



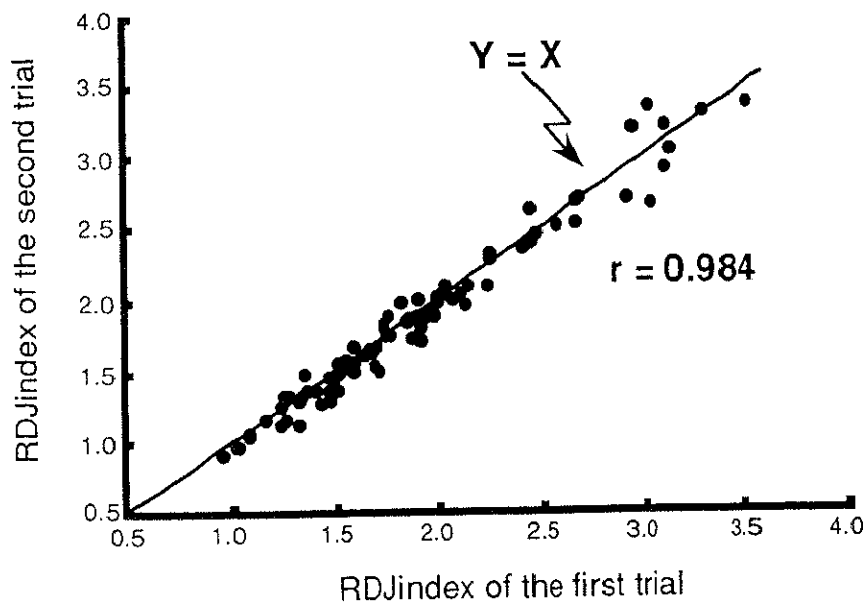


Fig. 22. Relationship between RDJindex of the first trial and RDJindex of the second trial in a same measurement day.

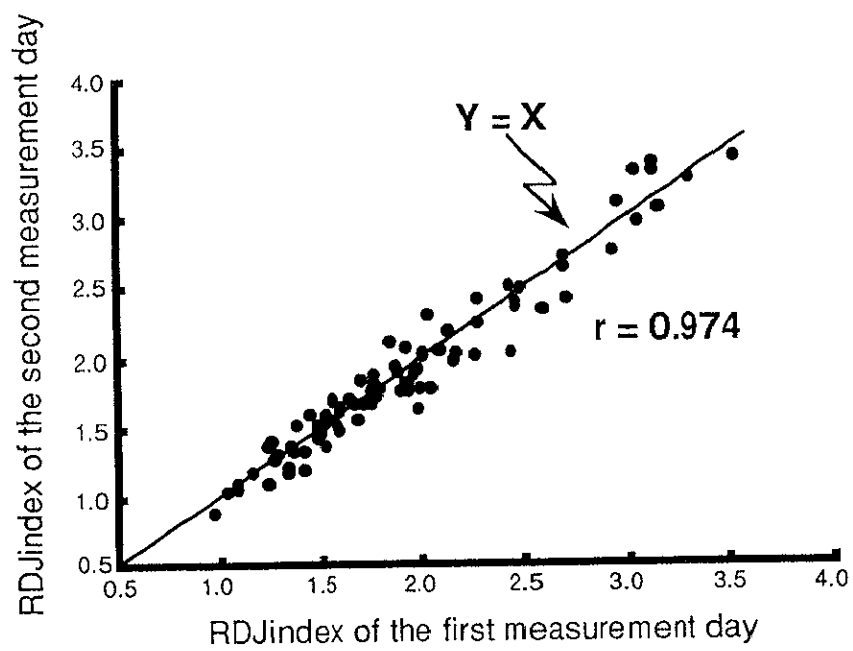


Fig. 23. Relationship between RDIndex of a trial in the first measurement day and RDIndex of a trial in the second measurement day.

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 (Bizzi et al., 1976 ; Brooks and Thach, 1981 ; Desmedt and Godaux, 1977, 1978, 1979 ; Hallet, 1975 ; Marsden, 1976 ; 米田, 1986)。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 (Capady and Stein, 1987 ; Gollhofer et al., 1992 ; Smith, 1977, 1980 ; 高松ら, 1989)。

これらのことは、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を、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。

図13の結果から、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0.3mからの浅い膝曲げ動作のみであることが認められた。台高を0.3m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、ドロップジャンプにおける踏切時間と滞空時間は、いずれも踏切中点の膝関節角度が約  $120^\circ$  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、最も長い滞空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  $120^\circ$  の場合であることが認められた

(図14) . 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. (1987b, 1987c)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も、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、0.3mの台高から浅い膝曲げ動作で行うリバウンド型の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

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0.3m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滞空時間を用いて、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滞空時間との関係を見ると、 $DJ_{index}$ は踏切時間および滞空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、 $P_{index}$ は滞空時間との間にのみ有意な高い相関関係が認められた (図15)。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16)。

上述の結果は、 $F_{index}$ と $P_{index}$ は踏切時間と滞空時間のどちらか一方を反映しているのに対して、 $DJ_{index}$ は踏切時間と滞空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を示している。この $DJ_{index}$ は、同じ日に行った二回の試技(図22)、あるいは異なった日に行った二回の試技(図23)から、高い再現性のあることが認められた。したがって、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ると考えられる(図17)。

## (2) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性

台高0.3m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(CMJh)、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、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20)。

A群は $DJ_{index}$ が最も高く、ついでCMJh、 $S_{max}/BW$ の順に高くなるタイプであり、これには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、しかも勝敗を決定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。その最も顕著な例は、極めて高い $DJ_{index}$ を示した跳躍選手と短距離選手である（図18）。

一方、B群は、A群とは逆に、 $S_{max}/BW$ が最も高く、ついで $CMJh$ 、 $DJ_{index}$ 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な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18）。

C群は $DJ_{index}$ 、 $CMJh$ 、 $S_{max}/BW$ 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（図20）。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、エキセントリックな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。そこで、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、 $CMJh$  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 (図21)。この結果は、球技スポーツ選手が跳躍選手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エーションな伸張-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、踏切時間と滞空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、踏切時間と滞空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、滞空時間は長いほど、それぞれの課題に対して優れているとすると、跳躍選手や短距離選手は踏切時間、滞空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、滞空時間とも

に劣っているタイプ，器械体操選手は踏切時間に優れ，滞空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，滞空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19）．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滞空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－短縮サイクル運動の遂行能力を，台高0.3m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，踏切時間と滞空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，簡単に精度よく測定できる．したがって，今後，バリスティックな伸張－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0.3mからの浅い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（阿江ら，1986；Adams, 1984；Chapman and Caldwell, 1985a）．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．



## 5. 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の測定評価法を開発するとともに、それを用いることによって、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の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、0.3m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のドロップジャンプは、最も短い踏切時間で最も長い滞空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( $t_c$ )と滞空時間( $t_a$ )を用いて、踏切中の平均力 ( $F_{index} = \{t_a/2 + (2 \cdot h/g)^{1/2}\} / t_c + 1$ ) と平均パワー ( $P_{index} = \{g \cdot (t_a/2)^2 - 2 \cdot h\} / (2 \cdot t_c)$ )、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滞空時間との関係を、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、踏切時間と滞空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。なお、 $DJ_{index}$ には、高い再現性のあることが認められた。

③14種目のスポーツ選手の特徴を、 $DJ_{index}$ 、垂直跳の跳躍高(CMJh)、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、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、CMJh、 $S_{max}/BW$ 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。C群は、球技選手や長距離選手のように、 $DJ_{index}$ 、CMJh、 $S_{max}/BW$ 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、一般に行なわれている筋力や瞬発力の評価に加えて、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滞空時間は、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、 $DJ_{index}$ は実用的な指標であると考えられる。

## VII. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因　－その1：筋力および瞬発力に着目して－（研究課題3）

### 1. 目的

重力環境下に生きる人間の移動運動において、脚伸展筋は、着地直後から強制的に伸張され、エキセントリックな筋力を発揮しながら体重を受けとめ、その後コンセントリックな筋力を発揮しながら身体を前方または上方へと移動させている。このような筋の伸張と短縮が組み合わされた運動は、伸張－短縮サイクル運動(stretch-shortening cycle movement)と呼ばれており(Komi and Buskirk, 1972 ; Komi and Bosco, 1978), 人間が安全性を確保しながら活動的に生きるためには、この運動の遂行能力は極めて重要である。

走高跳や走幅跳、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は、上述の伸張－短縮サイクル運動が、極めて短時間にバリスティックに遂行される運動である。そのために、優れた跳躍選手や球技選手は、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を高度に高めていることが認められている(図子ら, 1993)。

一方、一般に、脚の筋力の測定には、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、脚の瞬発力の測定には、垂直跳の跳躍高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が

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または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、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秒を要していることから(高松ら, 1989)、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。これらのことは、跳躍選手や球技選手の持つバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を、上述した筋力や瞬発力では必ずしも適切に評価することはできないことを示すものである。

しかし、スポーツ実践の場では、跳躍選手や球技選手が、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めることをねらいとして、筋力やパワートレーニングに多くの時間を費やしているにもかかわらず、その効果を評価する際には、上述したように、運動特性のかなり異なっている脚伸展力や垂直跳の跳躍高などが用いられている。そのために、脚伸展力や垂直跳の跳躍高が高まっても、ねらいとする跳躍能力やフットワーク能力は必ずしも十分に改善していないことがある。

したがって、跳躍選手や球技選手のための合理的な筋力・パワートレーニング法を明確にするためには、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めることに対して、筋力および瞬発力を高めることが、どのような意味を持つのかについて明らかにすることは極めて重要な課題であると考えられる。

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評価するために有効であることが認められている指標(図子ら, 1993)と、筋力を評価するための指標であるスクワット姿勢による最大脚伸展力、および瞬発力を評価するための指標である垂直跳の跳躍高と

の関係について検討した。なお、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は、台高0.3 mからの浅い膝曲げ動作によるリバウンドドロップジャンプを用いることが適切であることが認められている。これらのことを考慮して、本研究からは用語をより正確に用いるために、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の指標であるDJ<sub>index</sub>(drop jump index)をRDJ<sub>index</sub>(rebound drop jump index)、踏切時間( $t_c$ )を踏切時間(RDJ $t_c$ )、跳躍時間( $t_a$ )を滞空時間(RDJ $t_a$ )に、それぞれ改めて使用した。

## 2. 方 法

### (1) 被験者

被験者には、14種目のスポーツ選手99名(年齢:  $21.0 \pm 1.4$  歳, 身長:  $1.75 \pm 0.05$  m, 体重:  $68.2 \pm 8.5$  kg)を用いた。

### (2) 測定項目および測定方法

#### 1) リバウンドドロップジャンプ能力(RDJ<sub>index</sub>)

リバウンドドロップジャンプとは、ある高さの台上から跳びおり即座に高く跳びあがる跳躍運動のことであり、踏切中に足底屈筋群が大きく貢献し、弾性エネルギーの貯蔵・再利用機構、あるいは伸張反射機構などが極めて有効に機能する典型的なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動のことである(Bobbert, 1990; Komi and Buskirk, 1972; Komi and Bosco, 1978; Komi, 1986)。しかし、これらの複雑で精巧な個々の

メカニズムも、相互に影響し合いながらシステム化された結果、最終的には踏切時間と跳躍高の優劣として集約されることになる。これらのことは、リバウンドドロップジャンプの踏切時間と滞空時間を用いることによって、これまでに十分に評価できなかった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ことができる可能性のあることを意味している。

上述の考え方にもとづいて、これまでに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の測定評価法を開発した(岡子ら, 1993)。この評価に用いる指標は、0.3 mの台高からのリバウンドドロップジャンプの踏切時間(RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>)と滞空時間(RDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>)の二つの変数を測定することによって算出できるものであり、できるだけ短い踏切時間で高い跳躍高を獲得するための能力、いわゆるリバウンドドロップジャンプ能力を示すものである [rebound drop jump index ; RDJ<sub>index</sub> =  $(1/8 \cdot g \cdot \text{RDJ}_{t_a}^2) / \text{RDJ}_{t_c}$ ]。

したがって、本研究においても、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、このRDJ<sub>index</sub>を測定した。

被験者に、0.3 mの台高からの浅い膝曲げ動作によるリバウンドドロップジャンプを、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行わせた。また、被験者には、試技の際に、できるだけすばやく高く跳ぶことを指示した。各試技における踏切時間(RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>)と滞空時間(RDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>)を測定し、これらをもとにしてRDJ<sub>index</sub>を算出した。

## 2) 最大脚伸展力 (S<sub>max</sub>/BW)

脚の筋力を評価するために、スクワット姿勢による最大脚伸展力 (S<sub>max</sub>/BW ; maximum strength/body weight)を測定した。

被験者に、膝関節角度 $90^\circ$ 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。地面反力の波形が、最大まで立ち上がりプラトになった部分を1秒間にわたって平均し、それを体重で除すことによって、体重当たりの最大脚伸展力を求めた。

### 3) 垂直跳の跳躍高 (CMJh)

脚の瞬発力を評価するために、垂直跳の跳躍高 (CMJh ; height of counter movement jump) を測定した。

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をとらせ、自由な膝曲げ角度によって全力で垂直跳を行わせた。各試技における滞空時間 (CMJt<sub>a</sub>) を測定し、それをもとにして垂直跳の跳躍高 ( $CMJh = 1/8 \cdot g \cdot CMJt_a^2$ ) を算出した。

上述の測定は、いずれもフォースプレート (Kistler AG: 9821 type) 上で行った。また、1) 2) 3) の成績は、いずれも1msごとに記録した地面反力から得られた力-時間曲線をもとにして算出した。

## 3. 結 果

### (1) RDJ<sub>index</sub>, Smax/BW, CMJhの相互関係

図24に、RDJ<sub>index</sub>, Smax/BW, CMJhの相互関係を示した。

Smax/BWとRDJ<sub>index</sub> ( $r=0.219$ ,  $p<0.05$ ), CMJhとRDJ<sub>index</sub> ( $r=0.584$ ,  $p<0.001$ ), およびCMJhとSmax/BW ( $r=0.487$ ,  $p<0.001$ ) との間にはいずれも有意な正の相関関係が認められた。

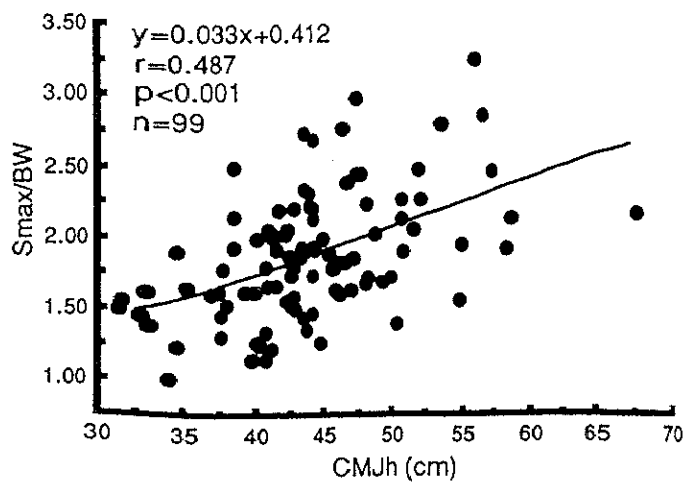
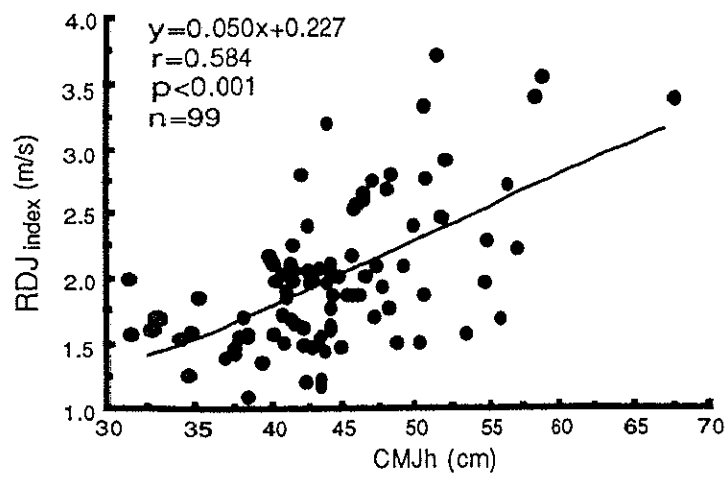
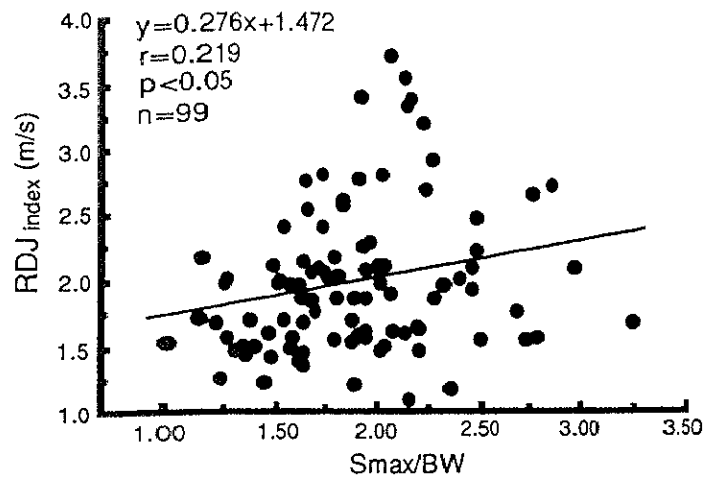


Fig.24. Relationships among  $RDJ_{index}$  in rebound drop jump from height of 0.3m, maximum strenght / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle ( $S_{max}/BW$ ) and height of counter movement jump (CMJh).



(2) リバウンドドロップジャンプにおけるRDJ<sub>index</sub>, 踏切時間, 滞空時間の相互関係

図25に, リバウンドドロップジャンプにおけるRDJ<sub>index</sub>, RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>, RDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>の相互関係を示した.

RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>とRDJ<sub>index</sub> ( $r=-0.676$ ,  $p<0.001$ ), RDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>とRDJ<sub>index</sub> ( $r=0.805$ ,  $p<0.001$ ) との間にはいずれも有意な高い相関関係が認められた. しかし, RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>とRDJ<sub>t<sub>a</sub></sub> ( $r=-0.145$ ,  $ns$ ) との間には有意な相関関係は認められなかった.

(3) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間および滞空時間とS<sub>max</sub>/BWおよびCMJhとの相互関係

図26に, リバウンドドロップジャンプにおけるRDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>およびRDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>とS<sub>max</sub>/BWおよびCMJhとの相互関係を示した.

RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>とS<sub>max</sub>/BW ( $r=0.035$ ,  $ns$ ), RDJ<sub>t<sub>c</sub></sub>とCMJh ( $r=-0.187$ ,  $ns$ ) 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. しかし, RDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>とS<sub>max</sub>/BW ( $r=0.340$ ,  $p<0.001$ ), RDJ<sub>t<sub>a</sub></sub>とCMJh ( $r=0.647$ ,  $P<0.001$ ) との間にはいずれも有意な相関関係が認められた.

#### 4. 考 察

RDJ<sub>index</sub>は, リバウンドドロップジャンプにおいて, できるだけ短い踏切時間で高い跳躍高を獲得するための能力を示すものであり, 優れた跳躍選手や球技選手の持っているパリスティックな伸張-短縮サイクル

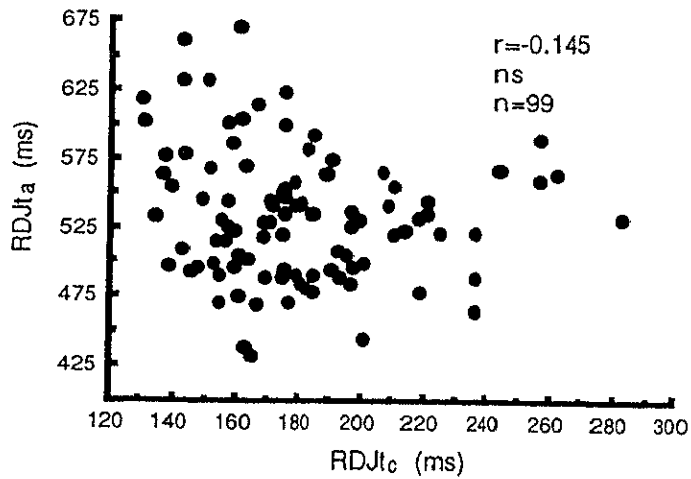
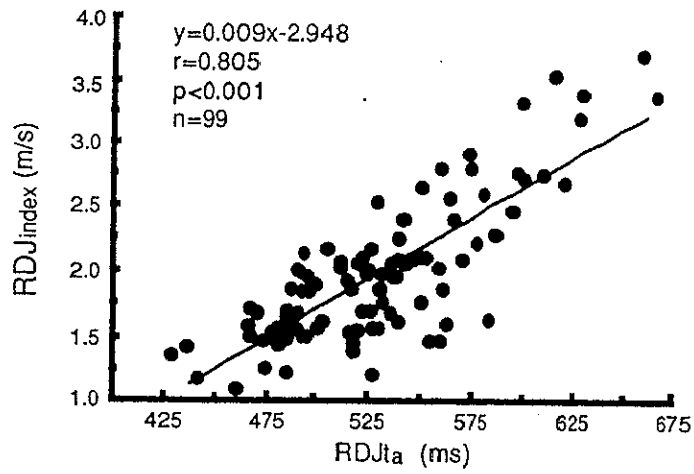
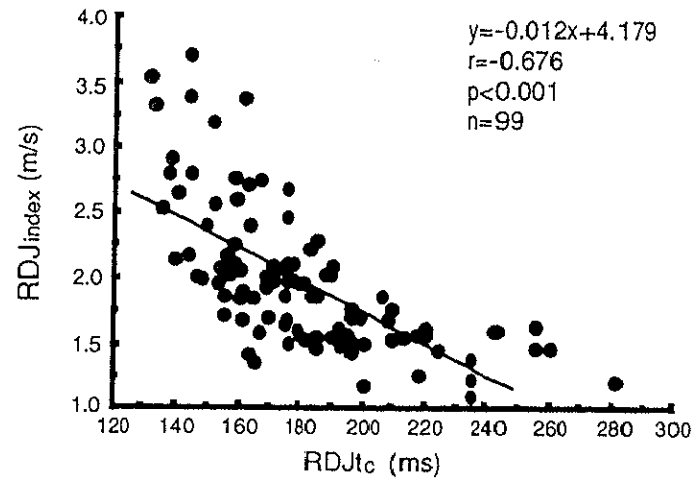


Fig.25. Relationships among contact time (RDJ<sub>tc</sub>), air time (RDJ<sub>ta</sub>) and RDJ<sub>index</sub> in rebound drop jump from height of 0.3m.

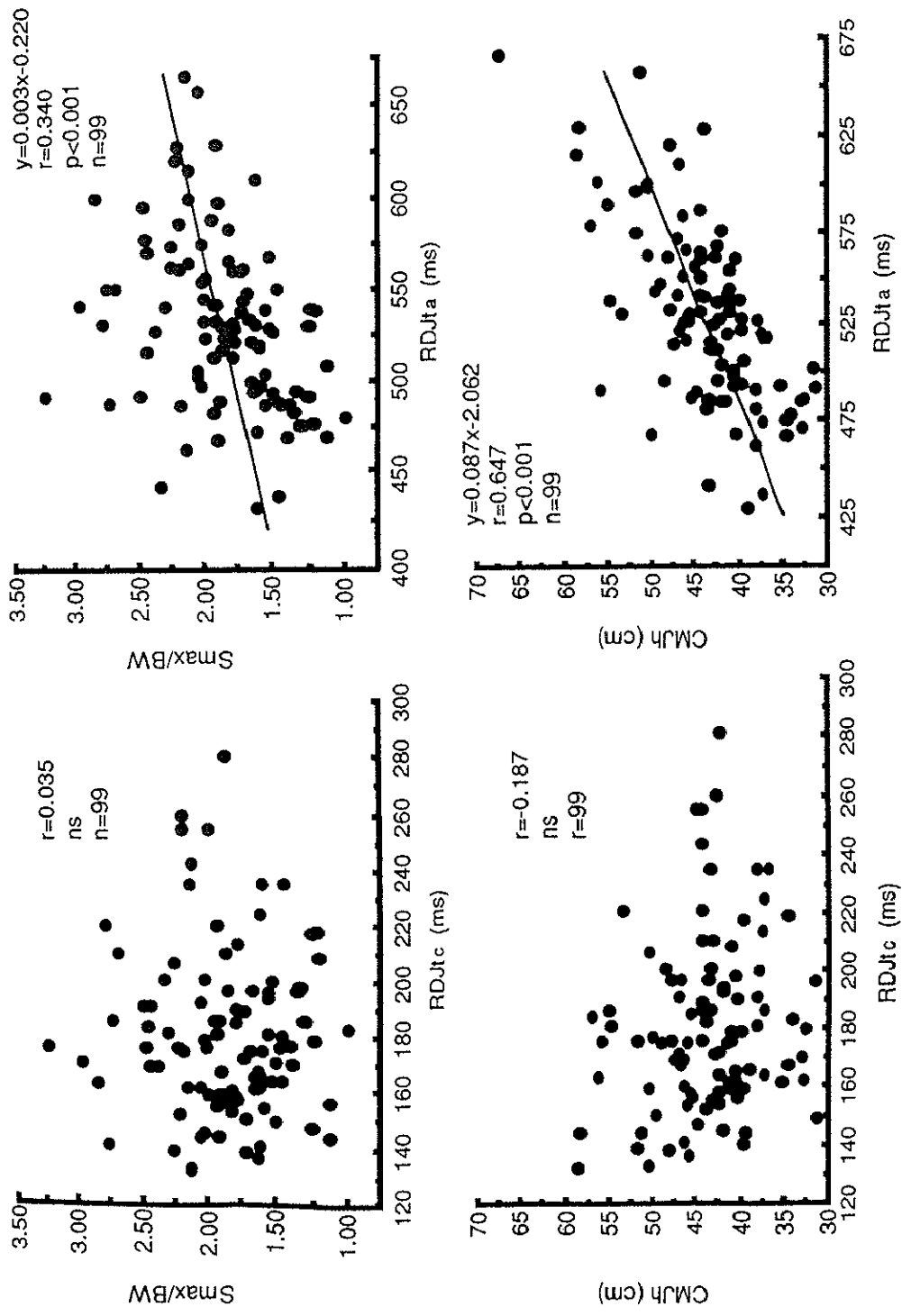


Fig.26. Relationships between contact time (RDJtc) and air time (RDJta) in rebound drop jump from height of 0.3m, and maximum strength / body weight exerted by squat posture at 90 degree of knee angle (Smax/BW) and height of counter movement jump (CMJh).

運動の遂行能力を適切に評価することのできる指標である（図子ら，1993）。一方，スクワット姿勢による最大脚伸展力 ( $S_{max}/BW$ ) は脚の筋力を，垂直跳の跳躍高 ( $CMJh$ ) は脚の瞬発力を，それぞれ評価できる一般的な指標である。そこで本研究では，まず最初に， $RDJ_{index}$  と  $S_{max}/BW$  および  $CMJh$  との関係について検討した（図24）。その結果，各指標間にはいずれも有意な相関関係が認められたが，相関係数はあまり高い値ではなかった。この原因には，運動遂行時間や筋の収縮様式から見た特性にかなりの相違のあることがあげられる（図子ら，1993）。このことは，三つの指標はいずれも筋力およびパワー発揮に関する特性を表すものであるが，相互の類似性は必ずしも大きくないことを示すものであると考えられる。

$RDJ_{index}$  は，リバウンドドロップジャンプの踏切時間 ( $RDJt_c$ ) と滞空時間 ( $RDJt_a$ ) をもとにして算出した指標である。このために，図25に示したように， $RDJ_{index}$  と  $RDJt_c$  および  $RDJt_a$  との間にはいずれも有意な高い相関関係が認められた。しかし， $RDJt_c$  と  $RDJt_a$  との間には有意な相関関係はなく，これらの二つの変数は互いに独立していることが認められた。 $RDJt_c$  が運動遂行時間の短縮能力の優劣を意味し， $RDJt_a$  が大きなエネルギーの発揮能力の優劣を意味しているとする，この結果は，両者の能力が互いに独立した異なる能力であることを示すものであると考えられる。したがって，パリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は，上述の二つの能力に分けることによって，さらに詳細に検討することができる。

そこで本研究では，次に， $RDJ_{index}$  を  $RDJt_c$  と  $RDJt_a$  の二つに分け，それらと  $S_{max}/BW$  および  $CMJh$  との関係について検討した（図26）。その結果， $RDJt_a$  と  $S_{max}/BW$  および  $CMJh$  との間にはいずれも有意な正の相関関係

が認められた。しかし、RDJt。とSmax/BWおよびCMJh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。これらのことは、筋力および瞬発力は、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定するための一要因である大きなエネルギーの発揮能力には大きく関係しているが、他の一要因である運動遂行時間の短縮能力には関係していないことを示すものであると考えられる。このことは、言い換えると、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めることに対して、筋力および瞬発力を高めることは、必要条件にはなっても十分条件にはならないことを示すものであると考えられる。

したがって、跳躍選手や球技選手が、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるためには、脚伸展力を高める筋力トレーニング(福永, 1978a ; 福永と杉山, 1978b ; 金久, 1983 ; Kanehisa and Miyashita, 1983 ; 金子, 1988), あるいは垂直跳の跳躍高を高めるパワートレーニング(Berger, 1963 ; Bobbert, 1990 ; 金子と大塚, 1973 ; 金子ら, 1983, 1984, 1986, 1987 ; 金子と田路, 1993 ; Viitasalo, 1985 ; 田路, 1983)などを行うことによって、高い跳躍高の獲得能力を高めることに加えて、運動遂行時間の短縮能力を高めるトレーニングを行うことが極めて重要であると考えられる。しかし、この能力を合理的に高めることのできるトレーニング法は、現在までに十分に明らかにされていない。今後、バリスティック運動とランブ運動による力発揮の相違(Desmedt and Godaux, 1977, 1978, 1979 ; Hallet, 1975 ; Marsden, 1976 ; Smith, 1977, 1980 ; 米田, 1989), 力の立ち上がりの速度(Hakkinen et al., 1981, 1985a, 1985b ; Komi, 1986 ; Sale, 1988), あるいは伸張-短縮サイクル運動における神経・筋・腱系の調節機構(Komi, 1986 ; Moritani, 1990 ; Sale, 1988 ; 米田, 1989)などの神経系

の諸要因と運動遂行時間の短縮能力との関係を検討することによって、このトレーニング法の原則を明らかにしていくことが必要であると考えられる。

## 5. 要 約

本研究では、跳躍選手や球技選手が必要とするパリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を高めることに対して、筋力および瞬発力を高めることが、どのような意味を持つのかについて、健康な男子体育専攻学生99名を用いて検討した。

パ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の指標として、 $RDJ_{index}$ を測定した。また、筋力を評価するための指標として、スクワット姿勢による最大脚伸展力( $S_{max}/BW$ )、瞬発力を評価する指標として、垂直跳の跳躍高( $CMJh$ )をそれぞれ測定した。なお、 $RDJ_{index}$ は、台高0.3mからのリバウンドドロップジャンプにおける滞空時間( $RDJt_a$ )から求めた跳躍高を、踏切時間( $RDJt_c$ )で除すことによって算出するものであり、できるだけ短い踏切時間によって高い跳躍高を獲得するための能力を評価するものである。

本研究の結果は次の通りである。

① $RDJ_{index}$ と $S_{max}/BW$ および $CMJh$ の間には、いずれも有意な相関関係が認められたが、相関係数はあまり高い値ではなかった。このことは、三つの指標は、いずれも脚の筋力およびパワー発揮に関する特性を表すものであるが、相互の類似性は必ずしも大きくないことを示すものである。

② $RDJ_{index}$ を構成する要因である $RDJt_c$ と $RDJt_a$ の間には、有意な相

関関係は認められなかった。このことは、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力の二つの独立した異なる能力によって決定されることを示すものである。

③RDJt<sub>0</sub>とSmax/BWおよびCMJhとの間には、いずれも有意な相関関係が認められた。しかし、RDJt<sub>0</sub>とSmax/BWおよびCMJh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。これらのことは、筋力や瞬発力は、大きなエネルギーの発揮能力には関係するが、運動遂行時間の短縮能力には関係しないことを示すものである。

本研究で明らか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と、筋力および瞬発力との関係は、跳躍選手や球技選手のための筋力・パワートレーニング法に関する一つの有用な知見になるものと考えられる。

## VIII. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 — その 2 : 下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して — (研究課題 4 および 5)

### 1. 目的

陸上競技の跳躍種目、球技スポーツなどにおける各種のジャンプやフットワークは、下肢筋の伸張と短縮が、極めて短時間にバリスティックに遂行される典型的な伸張－短縮サイクル運動 (stretch-shortening cycle movement) である。このために、優れた跳躍選手や球技選手の持つバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は、一般的な筋力や瞬発力の指標である最大脚伸展力や垂直跳の跳躍高では、必ずしも適切に評価することはできない (図子ら, 1993)。この原因の一つは、筋の収縮様式や運動遂行時間が、上述のスポーツ運動と測定運動との間でかなり異なっているからである。これに対して、リバウンドドロップジャンプ指数、すなわちリバウンドドロップジャンプの踏切時間と滞空時間を用いて求めた指数 (rebound drop jump index ; RDJ<sub>index</sub>) は、踏切中の平均パワーを意味するものであり、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に評価するものである (図子ら, 1993)。

上述のことは、跳躍選手や球技選手のための合理的な筋力・パワートレーニング法を確立するためには、一つに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めるためのトレーニング法を明らかにす



ることが極めて重要であることを示すものである。そのためには、この運動の遂行能力を決定する要因について検討することが重要であると考えられる。

著者ら(凶子と高松, 1994b)は,  $RDJ_{index}$ は大きなエネルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力(滞空時間)と運動遂行時間を短縮する能力(踏切時間)の二つの独立した異なる能力によって決定されること, また, 前者の能力は, 筋力や瞬発力などの体力要因に大きく影響されることを報告している。しかし, これまでのところ, 後者の能力に影響する要因については不明である。したがって, 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めるトレーニング法を確立するためには, 運動遂行時間の短縮能力に影響する要因を明らかにすることが重要であると考えられる。

リバウンドドロップジャンプの踏切時間は極めて短く, 約0.2秒である(Bobbert et al., 1987b ; Bobbert et al., 1987c ; 高松ら, 1989 ; 凶子ら, 1993)。このような極めて短時間に, 身体の持つ大きな運動エネルギーを瞬時に受け止め, 即座に切り返して爆発的なキック動作を遂行するためには, 下肢の各関節が大きな仕事を適切に行うことが必要であると考えられる。一方, 最大筋力を発揮するために要する時間は, 約0.5秒から1.0秒であり(Komi, 1986 ; Sale, 1988), 上述の踏切時間に比較してかなり長い。このことは, 下肢の各関節が, 着地と同時に大きな仕事を短時間に適切に行うためには, 着地に対する時間的空間的な予測とそれを手がかりにして行われる主働筋の予備緊張(阿江ら, 1979 ; Aura and Viitasalo, 1989 ; Gollhofer and Schmidtbleicher, 1988 ; Gollhofer et al., 1992 ; Melvill Jones and Watt, 1971a, 1971b ; Moritani et al., 1990 ; Poulsen and Laursen, 1983 ; Sale, 1988 ;

Schmidtbleicher and Gollhofer, 1987 ; Yamamoto and Ohtsuki, 1989 ; 山崎ら, 1980) が極めて重要であることを示すものである。

そこで本研究では, リバウンドドロップジャンプにおける下肢の各関節の仕事と着地に対する時間的空間的な予測が踏切時間の短縮に及ぼす影響について検討した。

## 2. 方 法

### (1) リバウンドドロップジャンプ指数と下肢の各関節の仕事との関係 (実験 1)

#### 1) 被験者

被験者は大学男子体育専攻学生 10 名 (年齢:  $21.0 \pm 1.1$  歳, 身長:  $1.74 \pm 0.04$  m, 体重:  $68.1 \pm 4.1$  kg) であった。

#### 2) 測定項目および測定方法

被験者に, 典型的なバリストティックな伸張-短縮サイクル運動である台高 0.3 m からの浅い膝曲げ動作によるリバウンドドロップジャンプ (Bobbert, 1987b ; Bobbert, 1987c ; 関子ら, 1993) を, 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行わせた。試技の際には, 被験者にできるだけすばやく高く跳ぶことを指示した。なお, 被験者は, 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, 経験した回数や動作は, 各被験者によって異なっていた。そのために, リバウンドドロップジャンプの動作を, 事前に数日間にわたって練習させた。各試技におけるフォームをハイスピードビデオカメラ (NAC 社製,

HSV-200) を用いて、被験者の左側方から毎秒200コマで撮影した。また、踏切中の地面反力（水平前後、水平左右、鉛直方向の力および力の作用点）を、フォースプレート（Kistler社製：9281型）を用いて測定した。これらのデータは、サンプリング周波数1 KHzでA/D変換した後に、フロッピーディスクに記録した。

得られた画像から各関節の力学量を算出するために、耳珠点、大転子、大腿骨外側顆、外果、足先の分析点の座標をデジタイザーによって読み取り、身体を胴体（頭、両腕、体幹）、大腿、下腿、足の4つの剛体にモデル化した。各座標のデータを実長に換算し、バターース型デジタルフィルターによって16Hzの遮断周波数で平滑化した。

上述のようにして得られた画像に関するデータと地面反力のデータを、リンクセグメントモデルに関する剛体運動方程式に入力して、腰、膝、足関節のモーメントを算出した。この各関節のモーメントに角速度を乗じて力学的パワーを算出し、これらを踏切開始時点から離地時点まで積分することによって力学的仕事を算出した。力学的仕事は、符号をもとにして正の仕事と負の仕事に分け、両者の絶対値の和を総仕事とした。さらに、下肢の各関節の正の仕事、負の仕事、および総仕事を、下肢の3つの関節における仕事の総和で除すことによって、各関節の相対仕事を算出した。これらの算出には、阿江ら(1986)によるモデルと算出式、および Chandler et al. (1975)による身体各部分の質量、重心位置、慣性モーメントを用いた。

地面反力のデータをもとにして、踏切時間(RD $J_t$ )と滞空時間(RD $J_t$ )を求めた。踏切時間は、着地によって地面反力が基線から急峻に立ち上がり始めた踏切開始時点から、離地によって地面反力が基線の水準へ低下した踏切終了時点までの時間とした。また、滞空時間は、上述の離地

時点から、再び着地によって地面反力が基線から急峻に立ち上がり始めた時点までの時間とした。

得られた滞空時間をもとにして跳躍高 ( $RDJh = 1/8 \cdot g \cdot RDJt_a^2$ ) を算出し、これを踏切時間で除すことによってリバウンドドロップジャンプ指数 ( $RDJ_{index} = RDJh / RDJt_a$ ) を算出した(図子ら, 1993)。なお、 $g$  は重力加速度 ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) を示す。

この実験では、各被験者の最大足底屈力も測定した。

被験者を下肢の各関節が固定できる椅子に座らせ、腰、膝、足関節角度を、それぞれ  $130^\circ$ 、 $110^\circ$  および  $80^\circ$  に固定し、足底屈運動によるアイソメトリックな最大力を5秒間にわたって発揮させた。

足底屈運動によって発揮された力は、ワイヤーロープの途中に取り付けたストレインゲージによって測定し、サンプリング周波数1KHzでA/D変換した後に、フロッピーディスクに記録した。このようにして得られた力波形のデータを画面上に映し出し、力が最大に立ち上がった後のプラトーになっている局面を1秒間にわたって測定し、その平均値を最大足底屈力とした。なお、測定に用いた関節角度は、リバウンドドロップジャンプにおけるキック開始時点の角度を参考にした(Bobber et al., 1987a ; Bobber et al., 1987b ; Bobber et al., 1987c ; 高松ら, 1989)。

## (2) 開眼と閉眼でのリバウンドドロップジャンプ指数の比較

### (実験2)

#### 1) 被験者

被験者は大学男子体育専攻学生6名(年齢： $21.0 \pm 1.1$ 歳，身長：

1.73±0.08 m , 体重66.9±4.2kg)であった。なお、これらの被験者は、実験1の被験者とは異なっている。

## 2) 測定項目および測定方法

被験者に、実験1と同様の台高、試技動作および指示によるリバウンドドロップジャンプを、開眼と閉眼によって行わせた。実験は二つに分けて行った。最初の実験では、被験者にアイマスクを付けさせ、閉眼での試技を行わせた。閉眼での試技がすべて終了した後に、開眼での試技を行わせた。各試技は、いずれも試技間に十分な休息を取りながら3回づつ行わせた。なお、閉眼の試技では、着地時における身体のバランスが崩れたり、不安のために過度な緊張状態が生じる可能性がある。これらを取り除くために、実際の実験に用いた高さとは異なる0.2 mと0.4 mの台高を用いて、事前に数日間にわたって閉眼での試技を練習させた。このために、すべての被験者は、閉眼での実際的な試技を不安なく行うことができた。このことは実験終了後の内省報告において確認した。

この実験の一週間後に、開眼でのRDJ<sub>index</sub>が高い被験者(3.203 m/s)と低い被験者(1.968 m/s)の2名を対象にして、閉眼での試技を試技間に30秒の休息を取りながら9回行わせた。なお、閉眼での試技が終了した後に、開眼での試技を行わせた。

上述の二つの実験では、いずれも踏切中の地面反力(鉛直方向の力)を、実験1と同様の方法によって測定し記録した。また、各試技における踏切時間と滞空時間を求め、それらをもとにしてRDJ<sub>index</sub>を算出した。

## 3. 結 果

(1) リバウンドドロップジャンプ指数と下肢の各関節の仕事との関係

表3に、下肢の各関節の仕事（体重当たり）とその全仕事に対する各関節の仕事の割合（相対仕事）を、正の仕事、負の仕事および総仕事に分けて示した。

仕事についてみると、足関節は膝関節に比較して、負の仕事において有意に大きな値を示した。相対仕事についてみると、負の仕事は足関節が最も大きく、ついで膝、腰関節の順に有意に大きい値を示した。また、総仕事は足関節が膝および腰関節よりも有意に大きな値を示した。

表4に、 $RJ_{index}$ と下肢の各関節の仕事および相対仕事との相関係数を、正の仕事と負の仕事に分けて示した。

$RJ_{index}$ と腰関節における負の仕事（ $r = -0.671$ ,  $p < 0.05$ ）および負の相対仕事（ $r = -0.640$ ,  $p < 0.05$ ）の間には、いずれも有意な負の相関関係が認められた。これに対して、 $RJ_{index}$ と足関節における負の仕事（ $r = 0.711$ ,  $p < 0.05$ ）および負の相対仕事（ $r = 0.726$ ,  $p < 0.05$ ）の間には、いずれも有意な正の相関関係が認められた。

図27に、 $RJ_{index}$ と有意な相関関係の認められた腰および足関節における負の相対仕事と、踏切時間および滞空時間との関係を示した。

腰関節における負の相対仕事と踏切時間（ $r = 0.487$ , ns）および滞空時間（ $r = -0.333$ , ns）の間には、いずれも有意な相関関係は認められなかった。これに対して、足関節における負の相対仕事と滞空時間との間には有意な相関関係は認められなかったが（ $r = 0.226$ , ns）、踏切時間との間には有意な負の相関関係が認められた（ $r = -0.823$ ,  $p < 0.01$ ）。

図28に、足関節における負の相対仕事と最大足底屈力（体重当たり）

Table 3. Mechanical work and relative work done by the the lower limb joints in rebound drop jump.

	Lower limb joints			F value	Difference
	Hip	Knee	Ankle		
<b>Mechanical work (J/kg)</b>					
Positive	1.19±0.60	1.44±0.50	1.41±0.43	0.72	ns
Negative	-1.47±0.68	-1.04±0.52	-1.98±0.53	6.68*	Ankle > Knee #
Total	2.66±1.14	2.48±0.93	3.40±0.43	3.02	ns
<b>Relative work (%)</b>					
Positive	28.8±14.0	36.0±11.6	35.2± 8.4	1.15	ns
Negative	32.6±12.1	22.4± 7.7	45.0±12.0	10.94*	Ankle > Hip > Knee
Total	30.2±10.5	28.9± 8.2	40.9± 8.7	5.19*	Ankle > Hip, Knee

1. Value shows mean±SD.

2. N=10, \* : p < 0.05, > : p < 0.05

3. # is compared with absolute values

Table 4. Correlation coefficients between RDJindex , and mechanical work and relative work done by the lower limb joints in rebound drop jump.

RDJindex			RDJindex		
Mechanical work (J/kg)			Relative work (%)		
Positive	Hip	- 0.137	Positive	Hip	- 0.073
	Knee	- 0.343		Knee	- 0.217
	Ankle	0.189		Ankle	0.483
Negative #	Hip	- 0.671*	Negative	Hip	- 0.640*
	Knee	0.193		Knee	- 0.178
	Ankle	0.711*		Ankle	0.726*

1. N=10, \* :  $p < 0.05$

2. # : Correlation coefficients show relationships between RDJindex and absolute values of negative work.



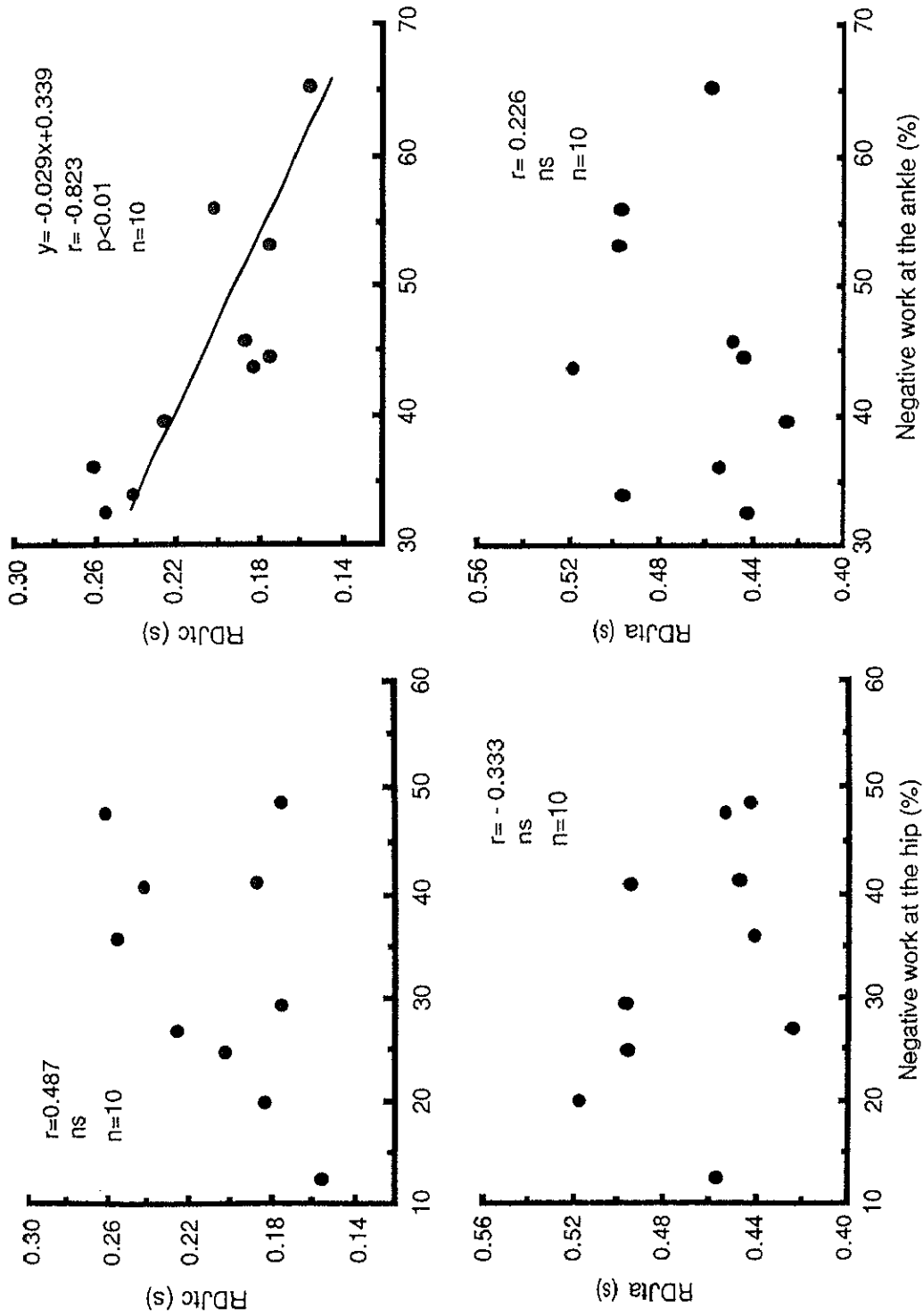


Fig.27. Relationships between the relative values of negative work at hip and ankle to the total work done by the lower limb joints, and contact time (RDJtc) and air time (RDJta) in rebound drop jump.

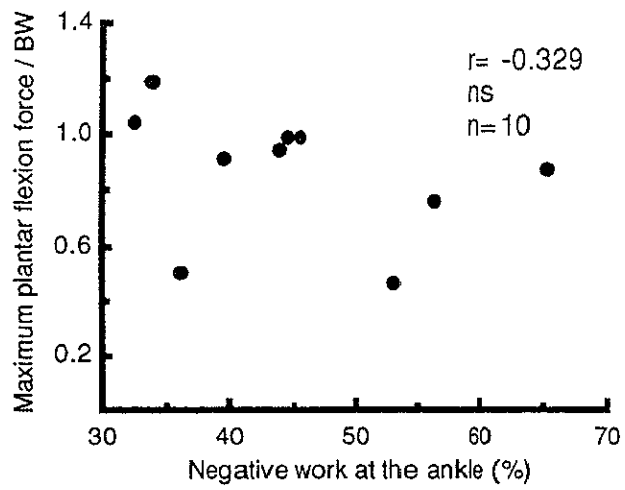


Fig. 28. Relationship between the relative value of negative work at the ankle to the total work done by the lower limb joints in rebound drop jump and maximum plantar flexion force to body weight (BW).

との関係を示した。両者間には有意な相関関係は認められなかった ( $r = -0.329$ , ns)。

## (2) 開眼と閉眼でのリバウンドドロップジャンプ指数の比較

開眼での試技は閉眼での試技に比較して、踏切時間は有意に短く（順に、 $0.164 \pm 0.033$  s,  $0.210 \pm 0.023$  s）、滞空時間は有意に長い（順に、 $0.500 \pm 0.084$  s,  $0.388 \pm 0.048$  s）ことから、 $RDJ_{index}$ は有意に大きい（順に、 $2.003 \pm 0.803$  m/s,  $0.900 \pm 0.229$  m/s）ことが認められた。

図29に、開眼と閉眼での踏切時間と滞空時間の関係を、各被験者における $RDJ_{index}$ の変化の仕方と関連づけて示した。

開眼と閉眼での踏切時間と滞空時間の変化の仕方には個人差が認められた。しかし、 $RDJ_{index}$ は、開眼での値が高い被験者ほど、閉眼での値が著しく低下する傾向のあることが認められた。そこで、これらの関係を検討するために、図30に、開眼での $RDJ_{index}$ と閉眼に対する開眼での $RDJ_{index}$ の割合（閉眼／開眼）との関係を示した。

両者間には有意な高い負の相関関係が認められた ( $r = -0.906$ ,  $p < 0.05$ )。すなわち、開眼での $RDJ_{index}$ の高い被験者ほど、開眼に対する閉眼での $RDJ_{index}$ の低下率が大きいことが認められた。

図31に、閉眼での $RDJ_{index}$ 、および踏切時間と滞空時間の9試技の変化を、いずれも開眼に対する割合（閉眼／開眼）で示した。

$RDJ_{index}$ の高い被験者Aの場合には、踏切時間の割合は7試技目までかなり短くなり、滞空時間の割合は試技を重ねるごとにわずかに高くなった。その結果、 $RDJ_{index}$ の割合も試技を重ねるごとに徐々に高くなり、

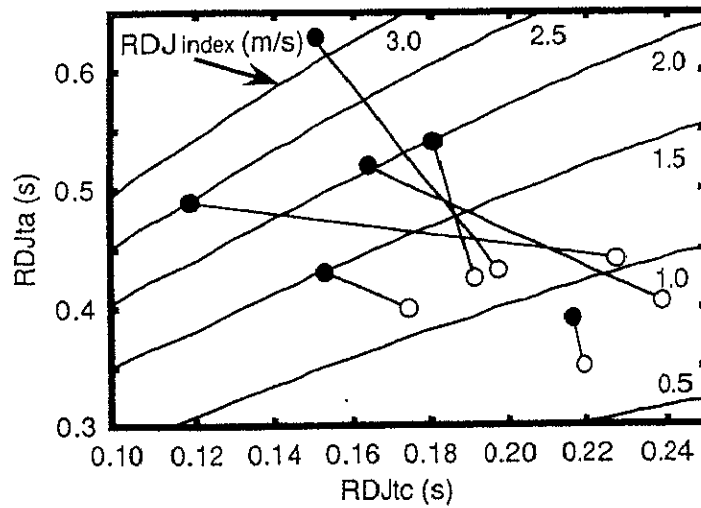


Fig.29. Relationship between contact time (RDJtc) and air time (RDJta) in relation to RDJindex of two type of rebound drop jumps with visual condition (●) and without visual condition (○).

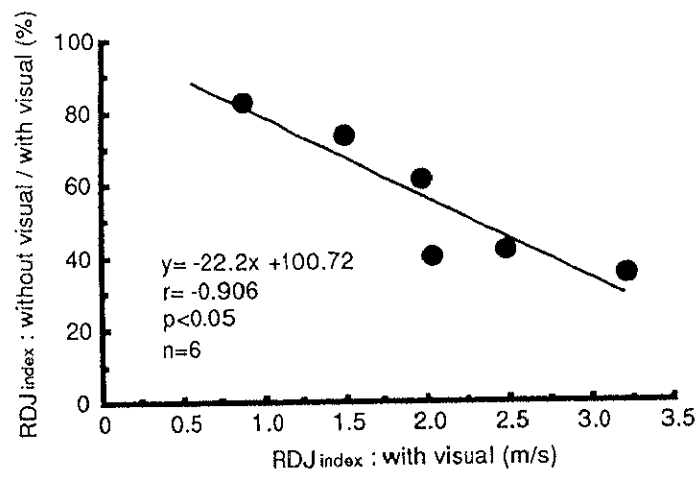


Fig.30. Relationship between RDJ<sub>index</sub> with visual condition and the ratio of RDJ<sub>index</sub> without visual condition to that with visual condition in rebound drop jump.

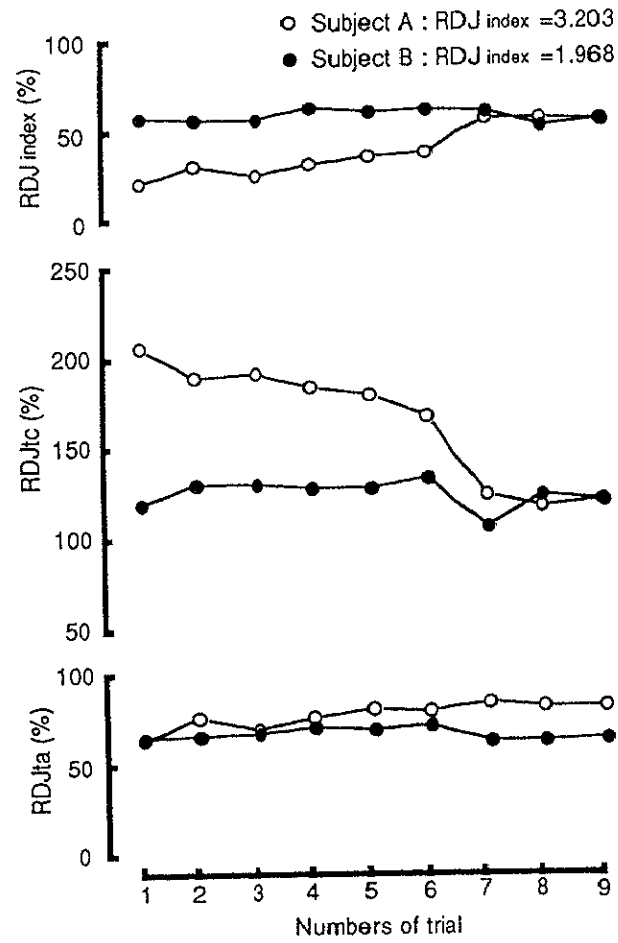


Fig.31. Changes of RDJ index, contact time (RDJtc) and air time (RDJta) in series of nine rebound drop jumps. Parameters of vertical line show the ratio of without visual condition to that with visual condition, respectively.

7 試技目には開眼での試技の約60%に達した。これに対して，RDJ<sub>index</sub>の低い被験者Bの場合には，踏切時間，滞空時間の割合ともに，試技を重ねても大きな変化は認められなかった。その結果，RDJ<sub>index</sub>の割合にも変化はなく，常に開眼での試技の約60%であった。

#### 4. 考 察

##### (1) 下肢の各関節の仕事が踏切時間の短縮に及ぼす影響

著者らは，パリストティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を，リバウンドドロップジャンプにおける踏切中の平均パワーを意味する指標，すなわちリバウンドドロップジャンプ指数 (RDJ<sub>index</sub>) によって評価している (図子ら，1993)。本研究では，最初に，このRDJ<sub>index</sub>の増大に対する下肢の各関節の仕事からみた特性について検討した。

そのためにまず，下肢の各関節の仕事からみたリバウンドドロップジャンプの特徴について検討した。その結果，リバウンドドロップジャンプでは，下肢の各関節の仕事（体重当たり）とその全仕事に対する各関節の仕事の割合，すなわち相対仕事のいずれにおいても，足関節は膝および腰関節に比較して，大きな負の仕事を行っていることが認められた (表3)。Bobbert et al. (1987a, 1987b, 1987c)<sup>14-16)</sup> は，着地後にすばやく跳び上がるドロップジャンプ (bounce drop jump) における足関節の仕事は，着地後に沈み込み跳び上がるドロップジャンプ (counter movement drop jump) に比較して大きいことを示している。これは本研究の結果と同じである。一方，上述した各関節の負の仕事の大部分は，着地から身体重心が最も低くなった時点までの踏切前半に遂行されたも

のであった。特に、足関節では、負の仕事の $98.0 \pm 0.03\%$ が踏切前半に遂行されたものであった。

リバウンドドロップジャンプでは、できるだけ短時間に高く跳ぶことが要求される。高く跳ぶためには、各関節の運動範囲を大きくすること、あるいは大きな筋群を動員することによって地面反力を大きくし、大きな力積を獲得することが重要であると考えられる。しかし、これらのことは、運動遂行時間を短縮するためには必ずしも有利な条件にはならない。したがって、可動範囲の小さい足関節が大きな仕事を、特に踏切前半で遂行することは、できるだけ短時間に高く跳ぶリバウンドドロップジャンプの一つの特徴であると考えられる。

本研究では次に、 $RDJ_{index}$ と下肢の各関節の仕事との関係について検討した。その結果、仕事および相対仕事のいずれにおいても、 $RDJ_{index}$ と腰関節の負の仕事との間には有意な負の相関関係が認められ、足関節の負の仕事との間には有意な正の相関関係が認められた(表4)。これらのことは、 $RDJ_{index}$ を増大するためには、踏切前半において腰関節の負の仕事を経減し、足関節の負の仕事を増大することが重要であることを示唆していると考えられる。

$RDJ_{index}$ は、運動遂行時間を短縮する能力を示す踏切時間と大きな運動エネルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力を示す滞空時間に分けることができる(関子ら, 1993 ; 関子と高松, 1994b)。そこで、 $RDJ_{index}$ の構成要因である踏切時間と滞空時間に分けて、上述の腰および足関節の負の相対仕事との関係について検討した。その結果、腰関節の負の相対仕事と踏切時間および滞空時間との間、および足関節の負の相対仕事と滞空時間との間には、いずれも有意な相関関係は認められなかった。しかし、足関節の負の相対仕事と踏切時間との間には有意な負の



相関関係が認められた(図27)。これらのことは、踏切前半における足関節の負の仕事を増大することは、滞空時間を長くして高く跳ぶことよりも、踏切時間を短縮することに対して有効になることを示している。また、踏切前半における腰関節の負の仕事を軽減することは、 $RDJ_{index}$ を増大することに対して有効であるが、その構成要因である踏切時間と滞空時間に分けてみた場合には、そのどちらにも有効ではなくなることを示している。これらのことには、次に述べる腰関節や足関節の特性が反映していることが考えられる。その一つの特性は、足関節が強靱な弾性体であるアキレス腱を持っていることである。伸張-短縮サイクル運動では、筋の伸張速度が速いほど多くのエネルギーを弾性要素に貯蔵し再利用することができる(Aura and Viitasalo, 1989; Bobbert et al., 1987b; Komi, 1986)。このことは、リバウンドドロップジャンプでは、足関節が身体の持つ運動エネルギーを短時間に受け止めて大きな負の仕事を行うことによって、アキレス腱はすばやく伸張されて多くの弾性エネルギーを貯蔵し、短縮中に再利用することができること、およびそのことによって、足関節はばねが引き伸ばされ弾かれるようなカタパルト運動を遂行することができることを意味すると考えられる。他の一つの特性は、解剖学的な特性である。すなわち、足部の可動範囲は狭く、質量や慣性モーメントは小さいことから、足関節は大きなエネルギーを発揮し、大きな仕事を遂行することには不適であるが、運動遂行時間を短縮することには適していることが考えられる。これとは逆に、胴体の質量や慣性モーメントは大きいことから、腰関節は大きなエネルギーを発揮し、大きな仕事を遂行することには適しているが、運動遂行時間を短縮することには不適であることが考えられる。

一方、上述した足関節の負の仕事の増大には、足底屈力の大きいこと

が一つの重要な要因であると考えられる。しかし、足関節の負の相対仕事とアイソメトリックな最大足底屈力との間には、有意な相関関係は認められなかった(図28)。このことは、最大足底屈力に優れることが、踏切前半における足関節の仕事を増大することにも、 $RDJ_{index}$ を増大することにも必ずしも有利な条件にはならないことを示している。このような結果が得られた理由として、二つのことが考えられる。その一つの理由は、リバウンドドロップジャンプにおける足関節の負の仕事が、主にエキセントリックな筋収縮によって行われていたことに対して、最大足底屈力の測定がアイソメトリックな筋収縮によって行われていたことが考えられる。しかし、このことは、エキセントリックな筋力とアイソメトリックな筋力との間に高い相関関係があること(高松ら, 1990)を考慮すると、必ずしも大きな理由にはならないと考えられる。他の一つの理由は、足関節は腰および膝関節に比較して、関与する筋群の発揮する力が小さく、可動範囲も小さいこと、およびそのために直列多関節系である身体各部のエネルギーを、最終的に地面に伝える際の制限要因になっていることが考えられる。特に、踏切時間の極めて短いリバウンドドロップジャンプ(Bobbert et al., 1987b ; Bobbert et al., 1987c ; 高松ら, 1989 ; 関子ら, 1993)においては、着地に対する時間的空間的な予測をもとにして、主働筋が適切な予備緊張を行っていない状態では、優れた足底屈力を十分に発揮することはできないことが考えられる。ここでは、このことが主な理由であると考えられる。

## (2) 着地に対する時間的空間的な予測が踏切時間の短縮に及ぼす影響

リバウンドドロップジャンプの踏切時間は極めて短いので、着地と同

時に大きな負荷が瞬間的に下肢筋群にかかる。このような負荷に即座に対応するためには、着地に対する時間的空間的な予測と着地直前の予備緊張(阿江ら, 1979 ; Aura and Viitasalo, 1989 ; Gollhofer and Schmidtbleicher, 1988 ; Melvill Jones and Watt, 1971a, 1971b ; Moritani et al., 1990 ; Poulsen and Laursen, 1983 ; Schmidtbleicher and Gollhofer, 1987 ; Yamamoto and Ohtsuki, 1989 ; 山崎ら, 1980)が極めて重要であると考えられる。

そこで本研究では、着地に対する時間的空間的な予測がRDJ<sub>index</sub>の増大に及ぼす影響について明らかにするために、最初に、開眼と閉眼でのRDJ<sub>index</sub>を比較検討した。その結果、被験者全員の平均値でみると、閉眼での試技は開眼での試技に比較して、踏切時間は有意に増大し、滞空時間は有意に短縮することから、RDJ<sub>index</sub>は有意に低下することが認められた。また被験者ごとにみると、閉眼での踏切時間の増大と滞空時間の短縮の割合には大きな個人差が認められたが、RDJ<sub>index</sub>の低下の割合は開眼でのRDJ<sub>index</sub>が高い者ほど大きくなることが認められた(図29および図30)。

そこで次に、開眼でのRDJ<sub>index</sub>が高い被験者1名と低い被験者1名に、9回のリバウンドドロップジャンプを閉眼で行わせ、RDJ<sub>index</sub>および踏切時間と滞空時間の変化について比較検討した。その結果、開眼でのRDJ<sub>index</sub>が高い被験者は、閉眼での試技を重ねると、RDJ<sub>index</sub>は徐々に高くなること、また、その増大には、踏切時間の短縮が滞空時間の増大よりも著しく貢献していることが認められた。これに対して、開眼でのRDJ<sub>index</sub>が低い被験者は、閉眼での試技を重ねても、踏切時間と滞空時間はいずれもほとんど変化しないことから、RDJ<sub>index</sub>もほとんど変化しないことが認められた(図31)。

閉眼での試技では、着地に対する時間的空間的な予測が抑制されるので、着地と同時にかかる大きな負荷に対して大きな力をすばやく発揮することができなくなる。そのために、着地と同時に踵が地面につき、踏切前半における足関節の負の仕事が軽減されることから、踏切時間も長くなったことが考えられる。特に、そのような現象は、 $RDJ_{index}$ が高い被験者において顕著であった。しかし、この被験者も、試技を重ねることによって、着地に対する時間的空間的な予測ができるようになると、閉眼でも足関節の仕事を増大し、踏切時間を短縮することができるようになるので、その結果として $RDJ_{index}$ も増大したと考えられる。

Yamamoto et. al. (1989)は、肘関節の屈曲-伸展運動を用いた実験において、視覚情報がある場合とない場合における伸張反射の大きさを比較検討した。その結果、大脳中枢における制御機構が伸張反射を円滑にさせるためには、視覚情報を手がかりにして、その開始時点を時間的にセットするための機能(chronographic set)が働いている可能性のあることを示している。また、Melvill Jones et al. (1971a, 1971b)は、リバウンドジャンプでは、踏切前半の伸張性収縮における腓腹筋の筋活動が、着地に対する時間的空間的な予測をもとにして前もってプログラムされており、それに伴う伸張反射が引き続くキック中に効果的に働くことを示している。ほぼ同様なことは山崎ら(1980)も示している。また、Moritani et. al. (1990)は、連続リバウンドジャンプでは、つま先が地面に着地する直前の空中局面中において、すでに速筋線維占有率の高い腓腹筋を支配していると考えられる脊椎 $\alpha$ 運動ニューロンの選択的な活性化が生じることを示している。これらの知見を考慮すると、 $RDJ_{index}$ が高い被験者は、開眼の試技では、着地に対する時間的空間的な予測をもとにして、伸張反射や速筋線維占有率の高い筋の選択的な動員などの

諸機能，すなわちすばやい運動に適した神経・筋・腱系の調節機構を有効に機能させることによって， $RDJ_{index}$ を増大させていることが推察できる。

したがって，本研究の結果をもとにすると， $RDJ_{index}$ の増大には，着地に対する時間的空間的な予測が一つの重要な限定要因になること，およびその予測は滞空時間の増大よりも踏切時間の短縮に対して有効であることが考えられる。

著者らは，本研究とすでに報告した研究(図子ら，1993；図子と高松，1994b)を通して，陸上競技の跳躍選手，球技選手，器械体操選手に必要な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に評価することのできるリバウンドドロップジャンプ指数，すなわち $RDJ_{index}$ を作成し，その有効性について明らかにした。また，このバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力が，大きなエネルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力と運動遂行時間を短縮する能力によって決まるとともに，前者の能力には，筋力や瞬発力などの体力要因が影響していること，および後者の能力には，足関節の仕事と着地に対する時間的空間的な予測が影響していることを明らかにした。これらのバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因は，跳躍選手や球技選手のための合理的な筋力やパワーのトレーニング法に関する有用な知見になると考えられる。

## 5. 要 約

本研究では，リバウンドドロップジャンプにおける下肢の各関節の仕事と着地に対する時間的空間的な予測が踏切時間の短縮に及ぼす影響に

ついて検討した。

①大学男子体育専攻学生10名を対象にして、台高0.3 mからのリバウンドドロップジャンプを行わせ、 $RDJ_{index}$ 、踏切時間、滞空時間と下肢の各関節の仕事との関係について検討した。その結果、 $RDJ_{index}$ と足関節の負の相対仕事との間には有意な正の相関関係が認められた。一方、この足関節の負の相対仕事と踏切時間との間には有意な負の相関関係が認められたが、滞空時間との間には有意な相関関係は認められなかった。なお、足関節の負の相対仕事と最大足底屈力との間には有意な相関関係は認められなかった。

②着地に対する時間的空間的な予測が、 $RDJ_{index}$ の増大に及ぼす影響について明らかにするために、大学男子体育専攻学生5名を対象にして、開眼と閉眼でのリバウンドドロップジャンプを行わせ、 $RDJ_{index}$ 、踏切時間、滞空時間を比較検討した。閉眼での試技は、着地に対する時間的空間的な予測を抑制したものとみなした。その結果、閉眼での試技は開眼での試技に比較して、踏切時間は有意に増大し、滞空時間は有意に短縮することから、 $RDJ_{index}$ も有意に低下することが認められた。また、開眼での $RDJ_{index}$ が高い者ほど、閉眼での $RDJ_{index}$ はより大きく低下することが認められた。一方、 $RDJ_{index}$ の高い被験者Aと低い被験者Bの2名を対象にして、閉眼での試技を30秒間の休息を取りながら9回行わせ、 $RDJ_{index}$ 、および踏切時間と滞空時間の変化について検討した。その結果、被験者Aは、試技を重ねるごとに、踏切時間は徐々に短縮し、滞空時間もわずかに増大することから、 $RDJ_{index}$ も増大することが認められた。これに対して、被験者Bは、 $RDJ_{index}$ 、および踏切時間と滞空時間のいずれにも顕著な変化は認められなかった。

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は、大きなエネ

ルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力と運動遂行時間を短縮する能力に分けることができる。本研究の結果から、後者の能力には、足関節の仕事と着地に対する時間的空間的な予測が大きく影響していることが認められた。これらのことは、跳躍選手や球技選手のための合理的な筋力やパワーのトレーニング法を確立するために有用になると考えられる。

## IX. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 — その3 : 着地動作に着目して — (研究課題6)

### 1. 目的

走高跳や走幅跳、あるいは球技における各種の跳躍やフットワークは、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－短縮サイクル運動である。また、約0.2秒(Hay, 1973 ; Karayannis, 1978)という極めて短い踏切時間内に、大きな力を集中的に発揮するバリスティック運動でもある。これらのことは、優れた跳躍選手や球技選手は、上述の二つの運動を有効に遂行できる総合的な能力、すなわち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に高めることが必要であることを示している。

著者らは、この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、リバウンドドロップジャンプ指数(rebound drop jump index ;  $RDJ_{index}$ )を作成している(図子ら, 1993)。この $RDJ_{index}$ は、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リバウンドドロップジャンプ(Bobbert, 1987b, 1987c ; Komi, 1986 ; Schmidtbleicher and Gollhofer, 1987 ; 高松ら, 1989)の踏切時間と滞空時間の2変数のみによって求めることができるものであり、踏切中の平均パワーを意味する指数である。



バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるためのトレーニング法を確立するためには、この運動の遂行能力を決定する要因を明らかにすることが重要になる。そこで著者らは、これまでに最大筋力や瞬発力などの体力要因との関係(図子と高松, 1994), あるいは下肢の各関節の仕事および着地に対する時間的空間的な予測(図子と高松, 1994c)に着目して,  $RDJ_{index}$ を大きくするための要因について検討してきた。一般に, リバウンドドロップジャンプの踏切時間は, 0.1秒から0.2秒であり(Bobbert, 1987a, 1987b, 1987c ; 高松ら, 1989), 弛緩状態からアイソメトリックな筋力を最大に立ち上げるために要する時間の0.6秒から1.0秒(Hakkinen et al., 1985a ; Hakkinen et al., 1985b ; Hakkinen and Komi, 1986b)に比較するとかなり短い。このような短時間の踏切動作を適切に遂行するためには, 着地に対する時間的空間的な予測をもとにして, 合理的な着地動作を遂行することが必要になる。

着地動作に関するこれまでの研究は, ある高さの台上から跳び下りた時の着地中の地面反力をもとにして, できるだけ柔らかく安全に着地するための着地緩衝能について検討したものが多し。これらの研究では, 着地緩衝能に優れた者は, 接地瞬間から最大力が出現するまでの時間が長い, 体重当たりの最大力が小さい, 最大力が体重以下に減衰するまでの時間が長い, 出現する力の大きさの分散が小さいことなどが報告されている(室ら, 1978 ; 永田ら, 1979a ; 永田ら, 1979b ; 末利と千駄, 1976 ; 末利ら, 1978)。しかし,  $RDJ_{index}$ を大きくするための着地動作は, 上述のこととは異なり, 安全性を確保することだけでなく, 着地衝撃をできるだけ短時間に緩衝するとともに, すばやく爆発的なキック動作に移行できるものでなくてはならない。そこで, 本研究では,  $RDJ$

indexを大きくするための合理的な着地動作を，膝関節および足関節の動きからみた特性をもとにして検討した。

## 2. 方 法

### (1) 被験者

被験者は，陸上競技の男子跳躍選手 9名 ( $21.0 \pm 3.5$ 歳， $1.76 \pm 0.05$  m， $66.0 \pm 4.2$  kg) であった。

### (2) 試技方法

被験者に，典型的なパリストティックな伸張－短縮サイクル運動である台高0.3 mからの浅い膝曲げ動作によるリバウンドドロップジャンプ (Bobbert, 1987b, 1987c ; 高松ら, 1989)を，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行わせた。試技の際には，まず被験者を台上に立たせ，ついで身体重心の上下動がないように，片方の脚でゆっくりと身体を前方へ送り出すことによって落下運動を開始させた。また，その後の両脚による着地動作および踏切動作は，できるだけすばやく高く跳ぶことを目的として行わせた。なお，いずれの被験者も，トレーニングの場ではリバウンドドロップジャンプを経験していたが，上述の方法で正確に試技が遂行できるようにするために，事前に数日間にわたって練習させた。

### (3) 測定項目および測定方法

着地動作における膝関節角度と足関節角度を、両関節の左外側に取り付けたゴニオメータ(P and G 社製)を用いて、また、踏切中の地面反力をフォースプレート(Kistler 社製 :9281型)を用いて測定した。これらのデータは、サンプリング周波数 1kHzでA/D変換した後に、フロッピーディスクに記録した。さらに、着地フォームを高速ビデオカメラ(NAC 社製, HSV-200)を用いて、被験者の左側方から毎秒200コマで撮影した。

図32に示したように、最初に、膝関節と足関節のゴニオグラムおよび地面反力曲線を画面上に映し出し、それらをもとにして、膝関節では、屈曲開始時点(K1)、接地瞬間(K2)、屈曲停止時点(K3)、伸展開始時点(K4)、伸展終了時点(K5)を、また足関節では、底屈開始時点(A1)、接地瞬間(A2)、背屈開始時点(A3)、背屈停止時点(A4)、底屈開始時点(A5)、底屈終了時点(A6)をそれぞれ決定した。ついで、各時点間の所要時間および各時点における膝関節角度と足関節角度を求めた。また、地面反力をもとにして、踏切時間(RDJt<sub>c</sub>)と滞空時間(RDJt<sub>a</sub>)を求め、リバウンドドロップジャンプ指数〔RDJ<sub>index</sub>(m/s) = (1/8 · g · RDJt<sub>a</sub><sup>2</sup>) / RDJt<sub>c</sub>〕を算出した(図子ら, 1993)。なお、gは重力加速度(9.81 m/s<sup>2</sup>)を示す。

### 3. 結 果

#### (1) 膝関節および足関節の動きからみた着地動作および踏切動作の特徴

図33に、リバウンドドロップジャンプの着地動作および踏切動作にお

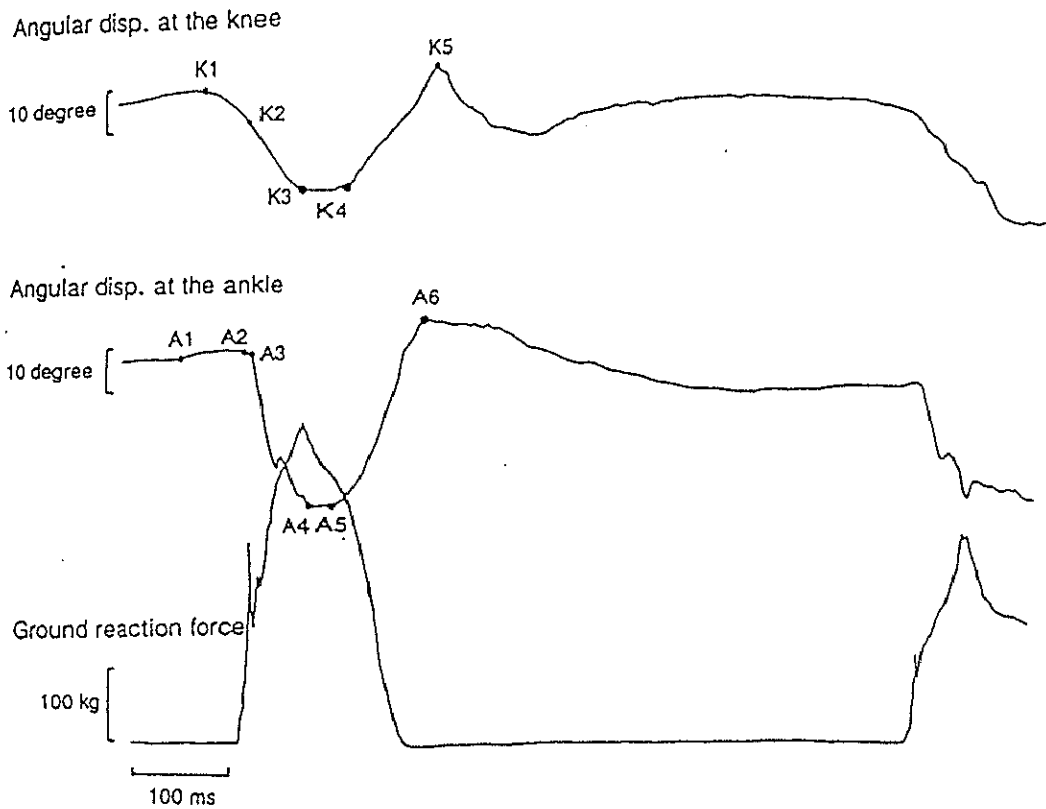


Fig. 32. Example records of the angular displacement at the knee and ankle joints and the vertical ground reaction force in rebound drop jump from height of 0.3 m.

Points from K1 to K5 show the start of flexion (K1), the instant of touchdown (K2), the end of flexion (K3), the start of extension for kick (K4), the end of extension (K5) in relation to the angle at the knee joint, respectively.

Points from A1 to A6 show the start of plantar flexion (A1), the instant of touchdown (A2), the start of dorsiflexion (A3), the end of dorsiflexion (A4), start of plantorflexion for kick (A5), the end of plantorflexion (A6) in relation to the angle at the ankle joint, respectively.

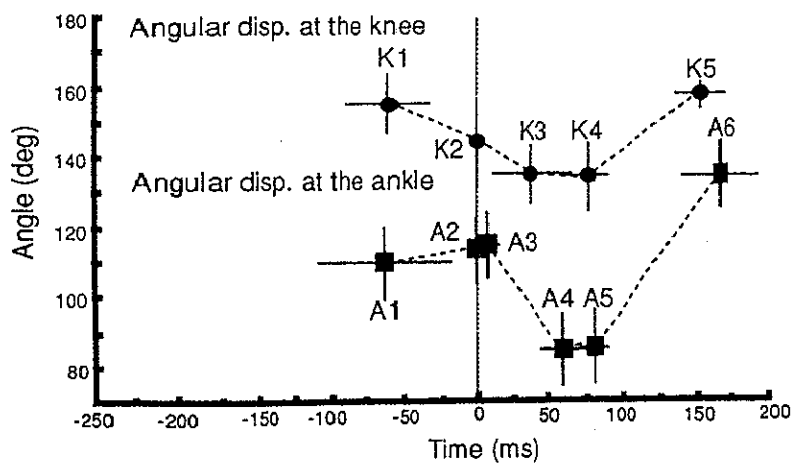


Fig.33. Changes of angular displacement at the knee and the ankle joints in rebound drop jump from height of 0.3 m. Zero shows the instant of touchdown.

ける膝関節角度と足関節角度の変化について示した。

### ① 着地動作の特徴

着地動作中における足関節の背屈は，接地瞬間の $6.2 \pm 4.3$  ms 後から急激に開始していることが認められた。しかし，膝関節の屈曲は，接地瞬間の $53.6 \pm 22.6$  ms 前からすでに開始しており，接地瞬間には，全屈曲変位に対する接地前の屈曲の割合  $\{(K1 \sim K2) / (K1 \sim K3) \cdot 100\}$  は， $48.6 \pm 25.4\%$  になっていることが認められた。ここでは，この割合を膝関節屈曲率と呼び，着地動作の大きさを示す指標とみなした。

実際の膝関節角度は，屈曲開始時点では $157.2 \pm 6.8^\circ$ ，接地瞬間では $147.8 \pm 8.5^\circ$ ，屈曲停止時点では $136.9 \pm 6.1^\circ$ であった。また，膝関節の角度変位は，屈曲開始時点から接地瞬間までが $9.4 \pm 4.1^\circ$ ，接地瞬間から屈曲停止時点までが $10.8 \pm 8.2^\circ$ であった。

### ② 踏切動作の特徴

踏切中における膝関節の屈曲および足関節の背屈停止時点(K3, A4)，キックのための膝関節の伸展および足関節の底屈開始時点(K4, A5)，膝関節の伸展および足関節の底屈終了時点(K5, A6)は，いずれも膝関節が足関節に比較して早い傾向が認められた。特に，膝関節屈曲と足関節背屈の停止時点(K3～A4)は，膝関節が足関節より $13.3 \pm 29.7$  ms 早く出現することが認められた。

一方，踏切中における膝関節のキックのための伸展変位および足関節の底屈変位は，ともに屈曲変位  $\{(K4 \sim K5) / (K2 \sim K3) \cdot 100\}$  および背屈変位  $\{(A5 \sim A6) / (A2 \sim A4) \cdot 100\}$  に比較して大きく，膝関節では $361.9 \pm 343.7\%$ ，足関節では $184.2 \pm 31.5\%$ であった。

## (2) 着地動作の違いがRDJ<sub>index</sub>に及ぼす影響

図34に、膝関節屈曲率とRDJ<sub>index</sub>、踏切時間および滞空時間との関係を示した。膝関節屈曲率とRDJ<sub>index</sub> ( $r = 0.891, p < 0.01$ )、踏切時間 ( $r = -0.784, p < 0.05$ )、および滞空時間 ( $r = 0.874, p < 0.01$ )との間にはいずれも有意な相関関係が認められた。

## (3) 着地動作の違いが踏切動作に及ぼす影響

図35に、膝関節屈曲率と踏切中における膝関節の屈曲停止時点から足関節の背屈停止時点までの所要時間 (K3~A4) との関係を示した。両者の間には有意な正の相関関係が認められた ( $r = 0.830, p < 0.01$ )。また、膝関節屈曲率が小さくなると、これらの所要時間は負の値を示し、膝関節の屈曲停止時点と足関節の背屈停止時点のタイミングが逆転することが認められた。

図36に、膝関節屈曲率と膝関節の屈曲変位に対する伸展変位の割合との関係を示した。両者間の関係は2次曲線に近似することができ、有意に高い正の相関関係が認められた ( $r = 0.945, p < 0.001$ )。

## 4. 考 察

陸上競技の跳躍選手は、他のスポーツ選手と比較して、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力に優れていることが報告されている(図子ら, 1993)。本研究ではこの跳躍選手を対象にしているが、その中には日本記録保持者から一般的な学生選手まで含まれていた。その

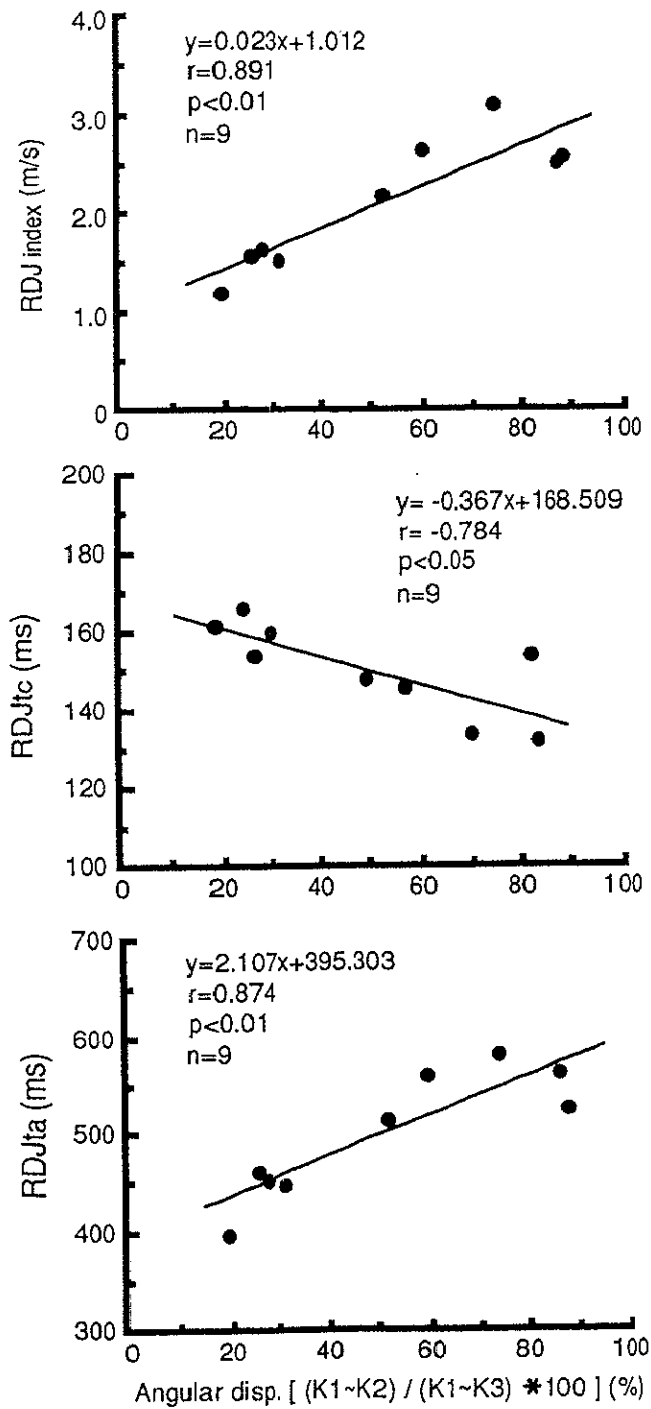


Fig.34. Relationships between angular displacement in flexion at the knee joint during descending phase [ (K1~K2) / (K1~K3) \* 100 ], and RDJindex, contact time (RDJtc) and air time (RDJta) in rebound drop jump from height of 0.3 m.



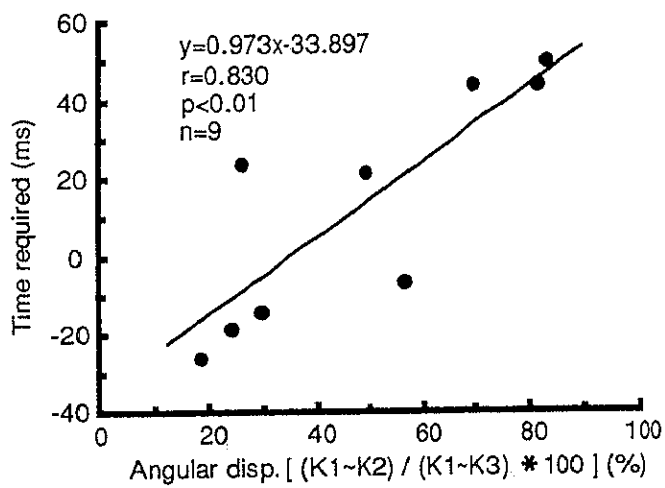


Fig.35. Relationship between angular displacement in flexion at the knee joint during descending phase [ (K1~K2) / (K1~K3) \* 100 ] and the time required from end of flexion at the knee joint to end of dorsiflexion at the ankle joint in rebound drop jump from height of 0.3m.

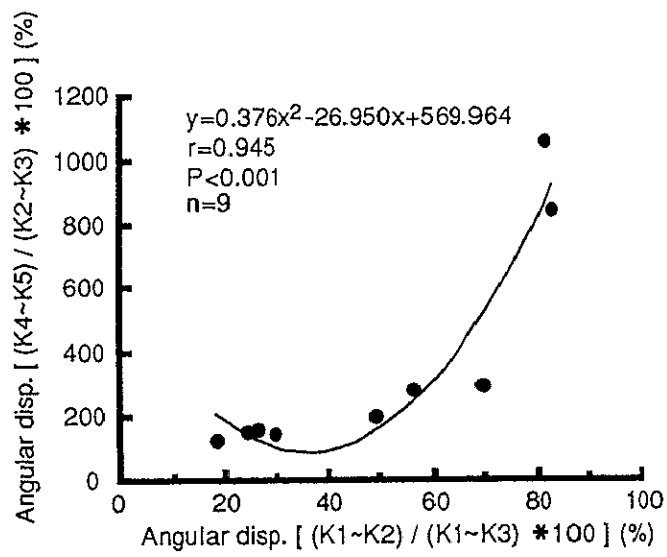


Fig.36. Relationship between angular displacement in flexion at the knee joint during descending phase [ (K1~K2) / (K1~K3) \* 100 ] and angular displacement in extension at the knee joint during floor contact phase [ (K4~K5) / (K2~K3) \* 100 ] in rebound drop jump from height of 0.3 m.

ために、 $RDJ_{index}$ の値は、最も高い日本記録保持者の3.10 m/s から、最も低い学生選手の1.54 m/s までの広範囲にわたっていた。したがって、 $RDJ_{index}$ を大きくするための合理的な着地動作を検討するために、これらの被験者を対象にしたことは必ずしも不適切ではなかったと考えられる。

本研究では、リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の特徴について検討した。その結果、着地動作の特徴として、接地の53.6 ms 前から接地瞬間までに、膝関節が全屈曲変位の48.6%も屈曲することが認められた(図33)。また、この接地直前の膝関節屈曲率が大きくなるほど、踏切時間は短くなり、滞空時間は長くなるために、 $RDJ_{index}$ は大きくなることが認められた(図34)。これらのことは、 $RDJ_{index}$ を大きくするためには、接地直前に膝関節をすばやく屈曲する動作が重要であることを示していると考えられる。接地後の踏切動作では、膝関節は屈曲しついで伸展することから、上述の接地直前の膝屈曲は、接地後の膝屈曲をすでに接地前から先取りした動作であると考えられる。

この先取り動作における膝関節角度は、実際には、先取り開始時点では $157.2^\circ$ 、接地瞬間では $147.8^\circ$ 、屈曲終了時点では $136.9^\circ$ であった。また、先取り動作のための膝関節の屈曲変位は小さく $9.4^\circ$ であった。また、踏切中の屈曲変位も小さく $10.8^\circ$ であった。したがって、上述の膝屈曲の先取り動作は、実際には、大きな膝関節角度と小さな角度変位によって行われていた。また、この接地瞬間と屈曲終了時点の大きな膝関節角度は、スクワット姿勢によって最大脚伸展力が発揮される角度<sup>2)</sup>とほぼ一致するものであった。このことは、膝屈曲の先取り動作によって、接地瞬間の膝関節を最大の伸展力が発揮できる角度に設定することができるために、接地直後からエキセントリックな筋収縮によって大き

な伸展力を発揮できることを示していると考えられる。

これまでに示したような着地動作に対して、引き続く踏切動作では次の二つの特徴が認められた。

その一つの特徴は、膝関節における屈曲運動と伸展運動の変化が、足関節の背屈運動と底屈運動よりも早いタイミングで行われていることであつた。特に、これを膝関節の屈曲終了時点から足関節の背屈終了時点までの所要時間でみると、膝関節は足関節よりも13.3 ms 早く屈曲運動を終了して伸展運動へ移行することが認められた(図33)。ここでは、この踏切動作に対する着地動作の影響について検討するために、膝屈曲の先取り動作の大きさを示す膝関節屈曲率と膝関節の屈曲終了時点から足関節の背屈終了時点までの所要時間との関係について検討した。その結果、膝屈曲の先取り動作が大きくなるほどこの時間は長くなったが、先取り動作が小さくなるとこの時間は負の値になり、両関節における屈曲終了時点のタイミングは逆転することが認められた(図35)。このようなタイミングの逆転現象は、リバウンドドロップジャンプにおける台高を、低い台高から高い台高に変化させ、より大きな運動エネルギーを持つようにした場合にも認められている(Bobbert, 1987c)。そのような場合には、足関節に関与する筋群が大きな力に対応できなくなり、接地とともに踵が地面につき、地面反力に鋭いピーク値が出現し始めること、またそのために、足底屈筋群の興奮は抑制されて、弾性エネルギーの貯蔵-再利用機構などが有効に機能しなくなることが認められている(Bobbert, 1987c ; Gollhofer and Schmidtbleicher, 1988 ; Komi, 1986 ; Schmidtbleicher and Gollhofer, 1987)。これらのことは、膝屈曲の先取り動作が大きくなると、膝関節が屈曲してから足関節が背屈するタイミングで踏切動作を遂行することができるようになるために、足底屈

筋群に許容範囲を越えた過度の力がかからなくなることを示していると考えられる。

図37に示したRDJ<sub>index</sub>に優れた被験者Aと劣った被験者Bの対照的なフォームは、上述のことをよく表していると考えられる。すなわち、被験者Aのフォームでは、膝屈曲の先取り動作が行われており、足関節の背屈は大きいですが、踵が地面に着くことなしに、即座にキック動作へと移行している。これに対して、被験者Bのフォームでは、被験者Aに見られるような膝屈曲の先取り動作はほとんどなく、接地とともに即座に足関節が背屈して踵が地面につき、その後に膝関節が屈曲する運動タイミングになっており、キック動作への移行にもかなりの時間がかかっている。したがって、この膝屈曲の先取り動作が遂行されないと、膝関節における緩衝に先立って、足関節が大きな力に対応できなくなり、足底屈筋群が過度に伸張されて興奮の抑制が生じていること(Gollhofer and Schmidtbleicher ; Komi,1986 ; Schmidtbleicher and Gollhofer,1987)が考えられる。このことが原因して、直列多関節系の身体各部が発揮したエネルギーを、最終的に地面に伝えている足関節の仕事が小さくなった場合には、RDJ<sub>index</sub>を大きくすることができなくなること(図子と高松, 1994c)が考えられる。

踏切動作の他の一つの特徴は、膝関節および足関節ともに、踏切中の屈曲変位よりもキック動作のための伸展変位が大きくなっていることであつた。特に、その傾向は膝関節では著しく、屈曲変位に対する伸展変位の割合は361.9%にもなっていることが認められた(図33)。

そこで、前述の膝屈曲の先取り動作が、この踏切動作の特徴に及ぼす影響を検討するために、膝関節屈曲率と屈曲変位に対する伸展変位の割合との関係について検討した。その結果、これらの関係には有意な相関

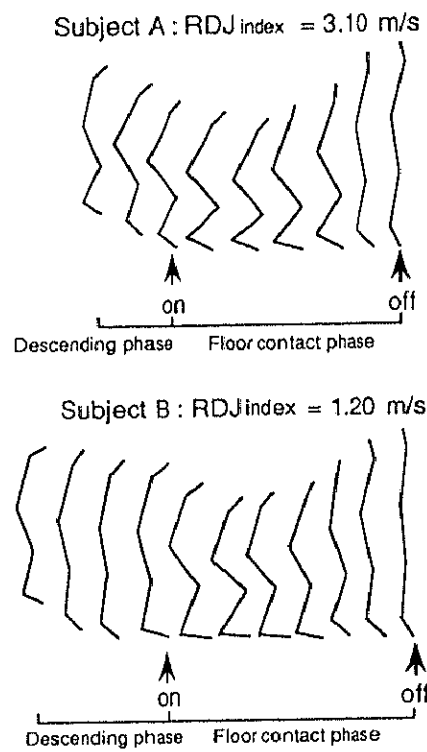


Fig.37. Sequence of diagrams every 20 ms of typical two forms in rebound drop jump from height of 0.3 m. Points of on and off show the instances of touchdown and takeoff, respectively.

関係が認められた。このことは、膝関節の先取り動作によって、踏切中における膝関節の屈曲範囲を小さくしても、キック動作のための伸展範囲を大きく確保することができるために、踏切時間を短縮すると同時に、大きな力積を獲得することができることを示していると考えられる。

なお、本研究の結果は、稲岡ら(阿江ら, 1979 ; 稲岡ら, 1992)の接地直前に踏切脚を積極的に伸展しながら、地面をたたく着地動作である active landing の結果、すなわち踏切時間は短くなるが、跳躍高も低くなるという結果とは異なっていた。両者の相違については、今後さらに検討することが必要である。

本研究の結果をまとめると、接地直前に膝関節を屈曲する先取り動作が行われると、その後の踏切動作では、①接地瞬間から瞬時にかかる大きな運動エネルギーに対して、最も大きな伸展力が発揮できる膝関節角度によって即座に対応できること、②膝関節と足関節の適切な屈曲タイミングを引き出すことができ、大きな運動エネルギーを適切に受け止め、即座にキック動作に移行できること、③膝関節の屈曲を小さくしてもキック動作を大きくすることができ、短時間に大きな力積を獲得できること、などが認められた。これらのことは、接地直前における膝屈曲の先取り動作は、 $RJ_{landex}$  を大きくするための一つの合理的な着地動作であることを示唆するものである。

本研究の結果に、これまでに著者らが行った一連の研究結果(図子ら, 1992, 1993 ; 図子と高松, 1994b, 1994c, 1994d)を加えることによって、跳躍選手や球技選手に要求されるバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を明らかにすることができるとともに、この能力を合理的に高めるトレーニング法がより明確になると考えられる。

## 5. 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の指標であるリバウンドドロップジャンプ指数，すなわちRDJ<sub>index</sub>を大きくする合理的な着地動作を明らかにするために，陸上競技の男子跳躍選手9名に，台高0.3 mからのリバウンドドロップジャンプを行わせ，膝関節角度と足関節角度の変化からみた着地動作および踏切動作の特徴について検討した。

結果は次の通りであった。

①着地動作の特徴として，接地の53.6 ms前から接地瞬間までに，膝関節が全屈曲変位の48.6%も屈曲する先取り動作が認められた。また，この膝屈曲の先取り動作が大きくなるほど，踏切時間は短くなり，滞空時間は長くなるために，RDJ<sub>index</sub>は大きくなることが認められた。これらのことは，RDJ<sub>index</sub>を大きくするためには，接地直前に膝屈曲の先取り動作が重要であることを示すものである。

②踏切動作の一つの特徴として，膝関節における屈曲運動と伸展運動の変化が，足関節の背屈運動と底屈運動よりも早いタイミングで行われていることが認められた。これを膝関節の屈曲終了時点と足関節の背屈終了時点の間の時間でみると，膝関節は足関節よりも13.3 ms早く屈曲を終了してキック動作へ移行することが認められた。また，①で述べた膝屈曲の先取り動作が大きくなるほどこの時間は長くなり，逆に，先取り動作が小さくなるとこの時間は負の値になり，膝関節の屈曲終了時点と足関節の背屈終了時点の間のタイミングが逆転することが認められた。これらのことは，膝屈曲の先取り動作によって，膝関節と足関節の適切



な屈曲と背屈のタイミングを引き出すことができ、大きな運動エネルギーを短時間に適切に緩衝して、即座にキック動作に移行できることを示すものである。

③踏切動作の他の一つの特徴として、膝関節および足関節ともに踏切中の屈曲変位および背屈変位よりも、キック動作のための伸展変位および底屈変位が大きくなっていることが認められた。特に、膝関節では、屈曲変位に対する伸展変位の割合が361.9%にもなっていた。また、①で示した膝屈曲の先取り動作の大きさとこの割合との間には有意な相関関係が認められた。このことは、膝屈曲の先取り動作は、踏切中の膝関節の屈曲範囲を小さくしても、キック動作のための伸展範囲を大きく確保することができるために、踏切時間を短縮すると同時に、大きな力積を獲得することができることを示すものである。

上述のことは、接地直前における膝屈曲の先取り動作は、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の指標であるRDJ<sub>index</sub>を大きくするための一つの合理的な着地動作であることを示唆するものである。

## X. バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴う踏切時間と跳躍高の変化パターン（研究課題7）

### 1. 目的

走幅跳，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の踏切は，極めて短時間に遂行されるバリスティック運動である。また，身体の持つ大きな運動エネルギーを，エキセントリックな筋収縮によって急速に受け止め即座にバネが解放されたように，コンセントリックな筋収縮によってキック動作が遂行される伸張－短縮サイクル運動（stretch-shortening cycle movement）でもある。このようなバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は，各種のスポーツ競技で高い成績を獲得するためには極めて重要であることが認められている（図子ら，1993）。

この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めるトレーニングとして，プライオメトリックスが注目されてきた。しかし，プライオメトリックスの原則は，現在でも十分に明確にされてはおらず，その有効性についても不明な点が多い。

これらの原因の一つは，プライオメトリックスの効果を，垂直跳や最大脚伸展運動などを用いて評価していたことである。この二つの運動は，筋の収縮様式，運動遂行時間，あるいは力の発揮様式とその大きさがバリスティックな伸張－短縮サイクル運動とは著しく異なっている。

これに対して、低い台高から跳び下り、即座に高く跳びあがるリバウンドドロップジャンプは、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。このために、リバウンドドロップジャンプを用いた研究が、神経・筋生理学や力学的な面からさかんに行われており、弾性エネルギーの再利用、伸張反射機構、足関節周りの筋群の働き、力学的なエネルギーの流れなどのメカニズムが有効に機能していることが明らかにされている (Bobbert, 1990 ; Komi and Buskirk, 1972 ; Komi and Bosco, 1978)。

著者らは、上述の知見を考慮しながら、優れた跳躍選手や球技選手が持つ共通の能力、すなわちバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を、リバウンドドロップジャンプ指数 (rebound drop jump index) を用いて評価するとともに、その有効性について検討した (図子ら, 1993)。また、この能力を決定する要因とその構造関係について実験的に検討してきた (図子と高松, 1992, 1993, 1994b, 1994c, 1994d)。

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるトレーニング法について明らかにするためには、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動を決定する要因とその構造を明らかにするとともに、これらの各要因がどのような変化パターンによって向上していくのかを知ることも重要な課題であると考えられる。特に、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力、すなわちリバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮することと、跳躍高を増大することは、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める場合の主なトレーニング目標であるので、これらの二つの要因の変化パターンを、RDJ<sub>index</sub>の向上と関連づけて明らかにすることは極めて重要であると考えられる。

そこで本研究では，リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間と跳躍高がどのような変化パターンを相互に示しながら， $RDJ_{index}$ が向上していくのかについて，横断的なデータをもとにして検討した。

## 2. 方 法

### (1) 被験者

被験者は，健康な男子体育専攻学生99名であった（年齢： $21.0 \pm 1.4$ 歳，身長： $1.75 \pm 0.05$ m，体重： $68.2 \pm 8.5$ kg）。

### (2) バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力( $RDJ_{index}$ )の測定

被験者に，台高0.3mからのリバウンドドロップジャンプを，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行わせた。試技の際には，できるだけすばやく高く跳びあがることを指示した。

その際の滞空時間( $RDJt_a$ )から求めた跳躍高(jumping height； $RDJh = 1/8 \cdot g \cdot RDJt_a^2$ )を，踏切時間( $RDJt_c$ )で除すことによって， $RDJ_{index}$ を算出した（図子ら，1993）。

上述の各時間は，フォースプレートを用いて1 msごとに記録した力－時間曲線をもとにして求めた。

## 3. 結 果

図38に、リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間(RDJt。)と跳躍高(RDJh)との関係を示した。

これらの間には、有意な相関関係は認められなかった ( $r = -0.154$ , ns)。しかし、図38の各点をRDJ<sub>index</sub>の優劣によって序列化してみると、特徴のある変化パターンが認められた。すなわち、RDJ<sub>index</sub>の向上に伴って、図38の各点は右上と左下の間を振れながらも、全体としては左上方に変化していることが認められた。

そこで、RDJ<sub>index</sub>の優劣ごとに序列化した前後の値の差をそれぞれ計算し、踏切時間の変化量 ( $\Delta RDJt. = RDJt.^n - RDJt.^{n-1}$ ) と跳躍高の変化量 ( $\Delta RDJh = RDJh^n - RDJh^{n-1}$ ) を求めることによって、RDJ<sub>index</sub>の向上に伴う $\Delta RDJt.$ と $\Delta RDJh$ の変化パターンについて検討した。図39にその結果を示した。

$\Delta RDJt.$ と $\Delta RDJh$ のいずれにおいても、0点を中心にして左右に振動しながら、すなわち正の変化と負の変化を交互に繰り返しながら、上方へと変化していることが認められた。また、 $\Delta RDJt.$ は $\Delta RDJh$ に比較して、RDJ<sub>index</sub>が向上していくほど、変化の幅が小さくなっていく傾向が認められた。

つぎに、図40に $\Delta RDJt.$ と $\Delta RDJh$ の関係について検討した。これらの間には極めて高い正の相関関係が認められた ( $r = 0.961$ ,  $p < 0.001$ )。なお、 $\Delta RDJt.$ は負の値が大きくなるほど、踏切時間が短縮することを意味している。

#### 4. 考 察

リバウンドドロップジャンプでは、①主運動前に適切な先取り動作が

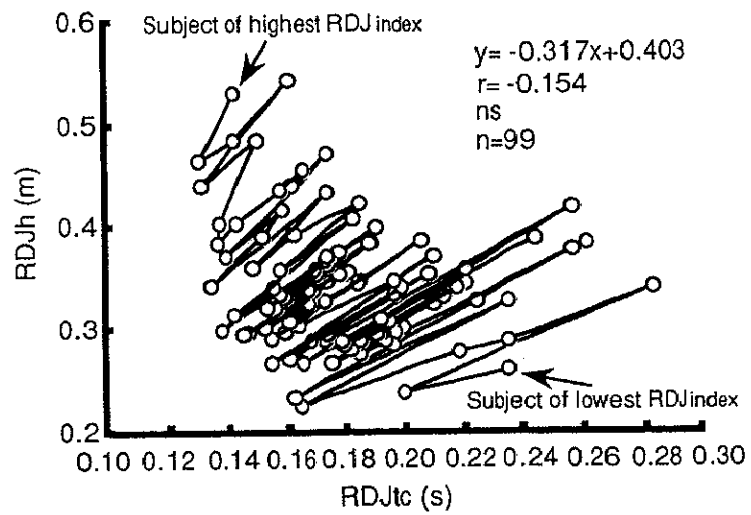


Fig.38. Changing pattern of contact time and jumping height followed in order of RDJindex in rebound drop jump from height of 0.3m.

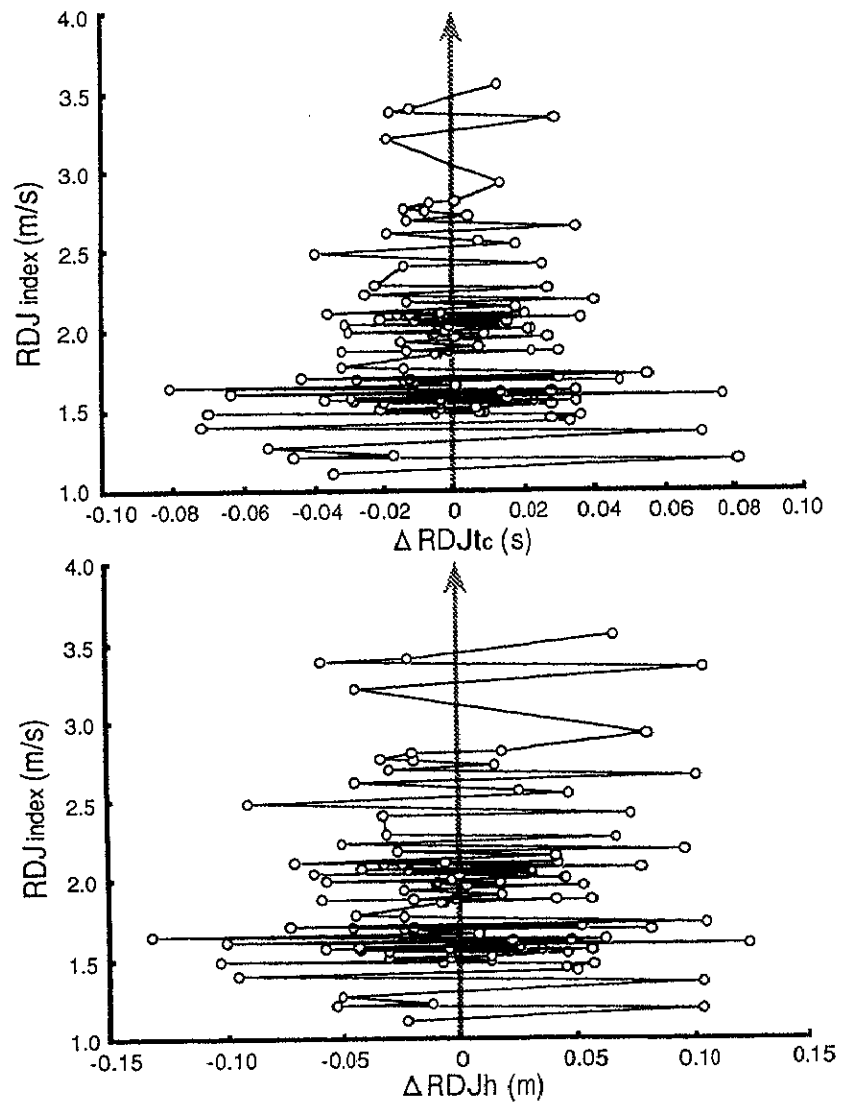


Fig.39. Changing patterns of contact time ( $\Delta RDJtc$ ) and jumping height ( $\Delta RDJh$ ) like the swing of pendulum followed in order of RDJ index in rebound drop jump from height of 0.3m.

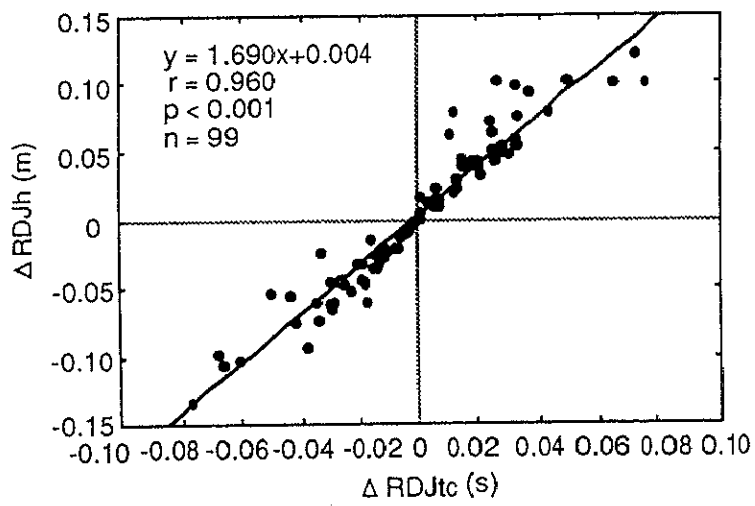


Fig. 40. Relationship between change of contact time ( $\Delta RDJtc$ ) and change of jumping height ( $\Delta RDJh$ ) in rebound drop jump from height of 0.3m.



できること（先取り能力），②運動開始直後から力を瞬間的に発揮できること（バリスティックな力発揮），③その力をエクセントリックな収縮によって著しく高め，その後にはばやくコンセントリックな収縮に切り換えられること（エクセントリックな筋力発揮，伸張反射の有効利用，および弾性エネルギーの再利用），④高まる収縮速度に屈することなく，どこまでも力を加えることができ，キックし続けられること（スピード型のパワー発揮）などが影響していると考えられる。しかし，これらの複雑なメカニズムも，相互に影響し合いながらシステム化された結果，踏切時間と跳躍高の優劣として集約される。

この踏切時間の優劣（短いほど優れる）が運動遂行時間の短縮能力を，跳躍高の優劣が大きなエネルギーの発揮能力を反映しているとする，図38の結果はこれらの二つの能力が独立した異なるものであること示していると考えられる。

したがって，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるためには，これらの二つの能力を適切な方法によって相互に高めていくことが必要であると考えられる。これらのことは，上述の二つの能力が異なる決定要因によって構造化されていることが認められていることから十分に理解できる（図子と高松，1994c）。

しかし，図38では，踏切時間と跳躍高の関係を示す各点が，バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴って規則的な変化パターンを示した。これらのことは，二つの能力は互いに独立しているが，これらに変化していく過程にはなんらかの関係があることを示していると考えられる。

そこで，踏切時間 ( $\Delta RDJt.$ ) と跳躍高 ( $\Delta RDJh$ ) の変化量を算出し，それらの変化パターンについて検討した結果， $\Delta RDJt.$  と  $\Delta RDJh$  のいずれ

も、0を中心にして左右へと振動しながら、 $RDJ_{index}$ が向上していることが認められた(図39)。特に、 $\Delta RDJ_t$ は $\Delta RDJ_h$ に比較して、 $RDJ_{index}$ が向上するほど、変化は小さくなる傾向のあることが認められた。なお、 $\Delta RDJ_t$ は負の値が大きくなるほど、踏切時間が短縮することを意味している。

これらのことは、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴って、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力の両者は、ともに常に向上していくだけではなく、向上と減退が交互に繰り返されていくことを示していると考えられる。さらに、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が向上すると、運動遂行時間の短縮能力に限っては、人間が発揮することのできる限界に近づいているためか、変化が小さくなることも示していると考えられる。

一方、 $\Delta RDJ_t$ と $\Delta RDJ_h$ の間には極めて高い正の相関関係が認められたことから(図40)、運動遂行時間の短縮能力の変化と大きなエネルギーの発揮能力の変化は、常に相反した関係にあることが考えられる。すなわち、このことは、二つの能力が同時に高まることによって、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が向上することのないことを示していると考えられる。言い換えると、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が向上していく過程では、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力が、交互に向上と減退を繰り返しながら変化していく可能性のあることが考えられる。

これらのことが生じる原因には、運動遂行時間の短縮能力が、主に神経系の体力要因によって影響されていることに対して、大きなエネルギーの発揮能力が、主にエネルギー系の体力要因に影響されていることが考えられるが(図子と高松, 1992, 1993, 1994b, 1994c, 1994d)、その詳細

については、今後さらに検討していく必要がある。

本研究の結果は、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるトレーニングでは、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力の両者を、同時に高めようとはせず、両者に分けてタイミングよく適切に高めていくことが有効であることを示していると考えられる。そのためには、これまでに明らかにしてきたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因とその構造関係(岡子と高松, 1992, 1993, 1994b, 1994c, 1994d)が役立つと考えられる。

一方、上述の二つの能力のどちらを高めることが有効であるかは、個人の特性によってもかなり異なることが考えられる。

図41に示したように、 $RJ_{index}$ が同じでも、踏切時間と滞空時間は被験者によってかなり異なる。すなわち、 $RJ_{index}$ が1.5の線上にあり、右上方に位置している被験者は、滞空時間を長くして跳躍高を増大することよりも、踏切時間を短縮することが、 $RJ_{index}$ を向上させるには有効であると考えられる。これに対して、 $RJ_{index}$ が1.5の線上にあっても、左下方に位置している被験者は、上述とは逆に、踏切時間を短縮することよりも、滞空時間を長くして跳躍高を増大することが、 $RJ_{index}$ を向上させるには有効であると考えられる。

したがって、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるトレーニングでは、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力のどちらを高めることが有効であるかを、個人の特性に応じて適切に決定することも重要であると考えられる。

本研究の結果は、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるための一つの原則を示している可能性がある。しか

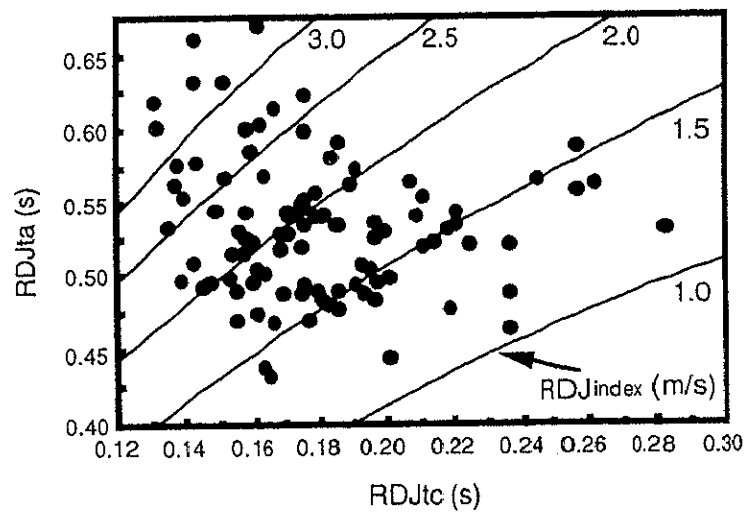


Fig.41. Relationship between contact time (RDJtc) and air time (RDJta) with given values of RDJindex (1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0) in rebound drop jump from height of 0.3m.

し、本研究の結果は、横断的なデータにもとづいて得られた知見であるので、今後、縦断的なトレーニング実験を実施することによって、さらに検証していくことが必要である。

## 5. 要 約

リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮することと、跳躍高を増大することは、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める場合の主なトレーニング目標である。そこで本研究では、健康な男子体育専攻学生99名を対象にして、これらの二つの要因の変化パターンを、リバウンドドロップジャンプ指数 ( $RDJ_{index}$ ) の向上と関連づけて検討した。

結果は次の通りである。

①  $RDJ_{index}$  を構成する一要因である踏切時間の優劣は、運動遂行時間の短縮能力を、他の一要因である跳躍高の優劣は、大きなエネルギーの発揮能力をそれぞれ反映していると考えられるが、これらの二つの能力は互いに独立していることが認められた。このことは、 $RDJ_{index}$  を合理的に高めるためには、これらの二つの能力を適切な方法によって相互に高めていくことが必要であることを示している。

② 踏切時間と跳躍高の関係は、 $RDJ_{index}$  の向上に伴って規則的な変化パターンになることが認められた。このことは、上述のように、二つの能力は互いに独立しているが、これらに変化していく過程にはなんらかの関係があることを示している。

③  $RDJ_{index}$  の向上に伴って、踏切時間の変化量と跳躍高の変化量の両者は、ともに常に向上していただくだけではなく、向上と減退が交互に繰

り返されていくことが認められた。また、両者の変化量の間には極めて高い正の相関関係が認められた。これらのことは、二つの能力が同時に高まることによって、 $RDJ_{index}$ が向上することのないことを示している。

④ $RDJ_{index}$ が同じでも、踏切時間と滞空時間は被験者によってかなり異なることが認められた。このことは、 $RDJ_{index}$ を合理的に高めるトレーニングでは、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力のどちらを高めることが有効であるかを、個人の特性に応じて適切に決定することが重要であることを示している。

本研究の結果は、跳躍選手や球技選手に必要なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるためのトレーニングでは、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力の両者を、同時に高めようとはせず、両者に分けてタイミングよく適切に高めていくことが有効であることを示唆するものである。

## XI. 討 論

### 1. バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法

バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を測定評価するために、ある高さの台上から跳び下り跳び上がる跳躍運動、すなわちドロップジャンプを用いた。これはドロップジャンプが、典型的なバリステイックな伸張－短縮サイクル運動だからである。このドロップジャンプは、片脚による跳躍と両脚による跳躍、脚の反動動作をスピーディーに行う跳躍と行わない跳躍、腕の振込み動作を用いる跳躍と用いない跳躍、着地を先取りした跳躍としない跳躍など、トレーニング者が行っているスポーツ種目の特性に即していくつかの跳躍方法が考えられる。しかし、そのなかでも、だれもが用いる可能性の高い最も基本的な跳躍方法は、膝曲げ動作の浅い跳躍と深い跳躍、あるいはからだに重りを付加する跳躍としない跳躍である。そこで、まず最初に、バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を、適切に測定評価することのできるドロップジャンプの跳躍方法について検討した（IV, V, VI章）。その結果、①台高を高くしないこと、②膝曲げ動作を浅くすること、③からだに重りを付加しないこと、などの条件を満たしたドロップジャンプ、すなわち低い台高(0.3m)からのリバウンドドロップジャンプが、バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を最も適切に測定することのできる跳躍方法であることが認められた。

次に、バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を適切に評価するための指標、すなわちリバウンドドロップジャンプ指数 (re-

bound drop jump index,  $RDJ_{index}$ ) を考案し、その有効性について検討した (VI章)。この  $RDJ_{index}$  は、リバウンドドロップジャンプの踏切時間 ( $RDJt_c$ ) と滞空時間 ( $RDJt_a$ ) の2つの変数によって算出することのできる指数であり [ $RDJ_{index} = (1/8 \cdot g \cdot RDJt_a^2) / RDJt_c$ ]、踏切中の平均パワーを意味するものであるが、できるだけ短い踏切時間で高い跳躍高を獲得するための能力を評価できるものである。本研究では、この  $RDJ_{index}$  を、一般的な筋力や瞬発力の指標である最大脚伸展力や垂直跳の跳躍高と併用することによって、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性について検討した。その結果、優れたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が要求される跳躍選手、器械体操選手、剣道選手および球技選手は、いずれも他のスポーツ選手に比較して、 $RDJ_{index}$  の値が高いことが認められた。さらに、 $RDJ_{index}$  は、高い再現性のあることが認められた。このことは、 $RDJ_{index}$  による測定評価法を、一般的に行われている筋力やパワー (瞬発力) の測定評価法と併用することによって、下肢の筋力およびパワーからみたスポーツタレントの発掘やトレーニング効果の評価はより合理的に実施できることを示唆するものである。なお、 $RDJ_{index}$  の算出に用いる踏切時間と滞空時間は、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、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価は、 $RDJ_{index}$  を用いて極めて実行的に行うことができる。

## 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決定する体力的・技術的要因



バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は、筋力や瞬発力などの体力要因、神経・筋・腱系の調節機構、中枢神経系の運動制御機構と運動技術・調整力などの各要因が、相互に影響し合っている一つのシステムとしてとらえることができる。そこで、リバウンドドロップジャンプ指数 ( $RDJ_{index}$ ) を手がかりにして、このバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する体力的・技術的要因について検討した (VII, VIII, IX章)。図42は、本研究結果をもとにして、その構造モデルを示したものである。

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力は、大きなエネルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力 (滞空時間) と運動遂行時間を短縮する能力 (踏切時間) の二つの異なる能力によって構成されている。また、前者の能力には、筋力や瞬発力などの体力要因が影響し、後者の能力には、着地に対する時間的空間的な予測、接地の直前に膝をすばやく屈曲させる着地動作、および踏切前半の足関節の仕事を増大させる踏切動作とそれらに関連した神経・筋・腱系の調節機構などが影響する。なお、この着地動作は、踏切における膝屈曲を、接地前に先取りして行う動作のことであり、この動作が着地に対する時間的空間的な予測をもとにして遂行されると、その後の踏切動作では、着地と同時にかかる極めて大きな力に対して、①最も大きな力が発揮できる膝関節角度によって即座に対応できる、②膝関節と足関節を各関節の特性に応じた適切なタイミングで屈曲できる、③大きな運動エネルギーを適切に吸収することができるとともに、即座にキック動作に移行できる、④膝関節の屈曲範囲を小さくしてもキックの動作範囲を大きくできる、などの効果を引き出すことが可能である。直列多関節系を形成している下肢が踏切中に短時間に大きな力を発揮するためには、制限要因となる足関節の

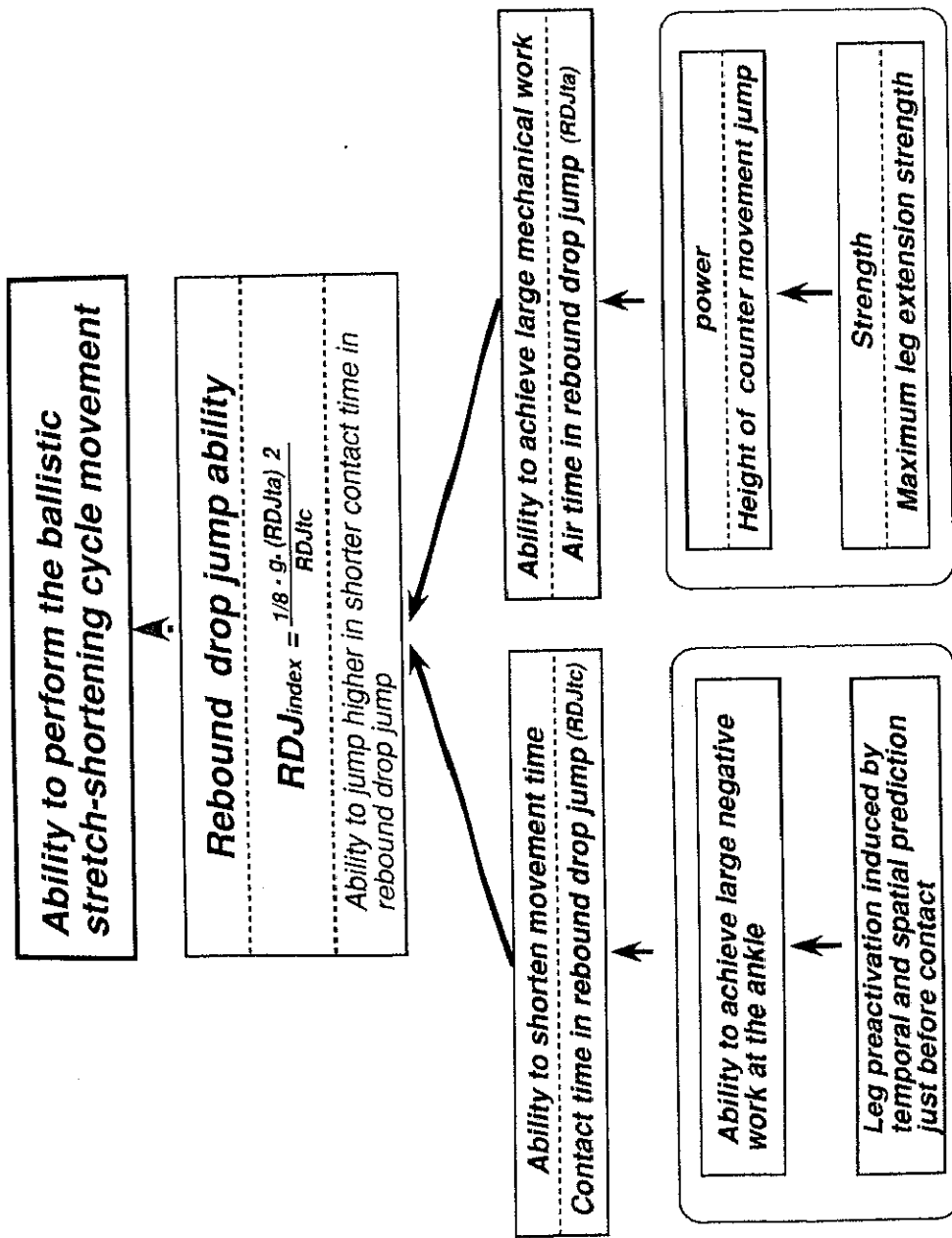


Fig.42 Structural model and factors determining ability to achieve ballistic stretch-shortening cycle movement .

仕事を増大することが重要であるが、このことは、上述の着地に対する時間的空間的な予測にもとづく膝屈曲の先取り動作によって可能になると考えられる。

以上のことは、パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を合理的に高めるためのトレーニングのあり方を示している。すなわち、跳躍選手や球技選手がパリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を効果的に高めるためには、一つには、大きなエネルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力を高めるために、最大脚筋力を高めることを目的とした筋力トレーニング、あるいは垂直跳の跳躍高などを高めることを目的としたパワートレーニングを行うことが極めて重要であることを示している。また、他の一つには、運動遂行時間を短縮する能力を高めるために、接地の直前に膝をすばやく屈曲させる着地動作や踏切前半の足関節の仕事を増大させる踏切動作を改善すること、およびそれらに関連した神経・筋・腱系の調節機構や中枢神経系の運動制御機構を適切に機能させることを目的としたトレーニングを行うことが極めて重要であることを示している。

一方、パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が向上していく過程では、大きなエネルギーを発揮して高い跳躍高を獲得する能力と運動遂行時間を短縮する能力が、交互に向上と減退を繰り返しながら変化していく可能性のあることが認められた。この結果は、パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を効果的に高めるためには、これらの二つの能力をどのようなタイミングで高めていくとよいかを考える一つの示唆を与えるものである。

パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力は、跳躍選手や球技選手が優れた競技成績を獲得するためには極めて重要な能力の一つ

であるとともに、学校体育においてスポーツ活動や体育活動を行っている児童や生徒のためにも非常に重要な能力でもある。本論文におけるバリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法、およびこの運動の遂行能力を決定する要因とその構造モデルは、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動を、各種スポーツの場におけるトレーニング手段として、あるいは学校体育や社会体育の場における体育手段として適切に導入していく場合の一つのあり方を示唆するものであるとともに、重力環境下に生きる人間の運動能力を考える場合の一つの重要な視点を提示するものである。

## XII . 総 括

### 1. 研究目的

本論文では、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の適切な測定評価法を開発するとともに、この運動の遂行能力を決定する体力的・技術的要因を明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究課題

上述の研究目的を達成するために、以下に示す7つの研究課題を設定した。

研究課題1：バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法を開発する。

研究課題2：バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の筋力・パワー発揮に関する特性について検討する。

研究課題3：バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を、筋力および瞬発力などの体力要因に着目して検討する。

研究課題4：バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を、踏切中における下肢の各関節の仕事に着目して検討する。

研究課題 5 : バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を、着地に対する時間的空間的な予測に着目して検討する。

研究課題 6 : バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因を、着地動作に着目して検討する。

研究課題 7 : バリステイックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力が向上していく過程を、踏切時間と跳躍高（滞空時間）の変化の仕方に着目して検討する。

### 3. 研究の概要

(1) ドロップジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢筋にかかる負荷の特性に及ぼす影響（研究課題 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、跳躍高や踏切中の運動フォーム、地面反力、腰・膝・足関節のパワー・仕事、および下肢筋の表面筋電図に及ぼす影響について、男子体育専攻学生10名を対象にして検討した。その結果、台高が高くなる、あるいは膝曲げ動作が変化すると、身体にかかる外的な負荷の特性が変化するために、それに応じて下肢の各関節まわりの筋群の機能が変化することが認められた。

(2) 台高と付加重量の相違がドロップジャンプのパワー発揮に及ぼす影響（研究課題 1）

脚伸展筋を伸張させる着地瞬間の運動エネルギーを構成する要素が、

速度優先型か質量優先型かによって、ドロップジャンプにおける脚伸展筋の力発揮に関する特性がどのように変化するかについて、大学男子体育専攻学生9名を対象にして検討した。その結果、質量優先型の場合に比較して速度優先型の場合には、伸張反射機構が有効に機能したり、速筋線維占有率の高い腓腹筋が選択的に動員されることなどの神経・筋・腱系の調節機構が有効に働くことが認められた。

(3) バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた各種スポーツ選手の特性（研究課題1および2）

バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法を開発するために、台高と膝曲げ動作の異なるドロップジャンプを行わせ、評価運動として適したドロップジャンプの台高と膝曲げ動作について、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、0.3m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のドロップジャンプは、最も短い踏切時間で最も長い滞空時間が得られること、バリスティックな運動であること、などから、評価運動として適切であることが認められた。

次に、上述のリバウンドドロップジャンプの踏切時間( $RDJt_c$ )と滞空時間( $RDJt_a$ )の二つの変数によって算出することのできるリバウンドドロップジャンプ指数 [ $RDJ_{index} = (1/8 \cdot g \cdot RDJt_a^2) / RDJt_c$ ] を考案し、その再現性や有効性について、14種目のスポーツ選手99名を対象にして検討した。その結果、このリバウンドドロップジャンプ指数は、同じ日に行った二回の試技、あるいは異った日に行った二回の試技の間で高い再現性のあることが認められた。また、跳躍選手、器械体操選手、

剣道選手，あるいはフットワークに優れる球技選手は，このリバウンドドロップジャンプ指数に優れる傾向のあったことから，この指数の有効性が認められた。

- (4) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因　－その1：筋力および瞬発力に着目して－（研究課題3）

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力に対する筋力や瞬発力の影響について，健康な男子体育専攻学生99名を対象にして検討した。その結果，最大脚伸展力や垂直跳の跳躍高は，RDJ<sub>index</sub>を構成する滞空時間には大きく影響するが，踏切時間には影響しないことが認められた。また，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めることに対して，筋力や瞬発力を高めることは必要条件にはなっても十分条件にはならないことが認められた。

- (5) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因　－その2：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して－（研究課題4および5）

リバウンドドロップジャンプにおける下肢各関節の仕事と着地に対する時間的空間的な予測が，踏切時間の短縮に及ぼす影響について，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，踏切前半の足関節の仕事が増大するほど，踏切時間が短縮することが認められた。この足関節の仕事は，足底屈における筋力の大きさには影響されず，着地に対する時間的空間的な予測に大きく影響されることが認められた。



(6) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する  
要因　－その3：着地動作に着目して－（研究課題6）

バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力を決定する合理的な着地動作について、陸上競技の男子跳躍選手 9名を対象にして検討した。その結果、この能力に優れる跳躍選手における着地動作の特性として、接地の約50ms前から、膝がすばやく屈曲される踏切前動作が認められた。この動作が行われると、その後の踏切動作では、短時間に高い跳躍高を獲得することのできる力学的に有効な諸条件を作り出すことができることが認められた。

(7) バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力の向上に伴う踏切時間と跳躍高の変化パターン（研究課題7）

リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間の短縮、および跳躍高の増大の二つの要因の変化パターンを、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力と関連づけて、健康な男子体育専攻学生99名を対象にして検討した。その結果、バリスティックな伸張－短縮サイクル運動の遂行能力が向上していく過程では、運動遂行時間の短縮能力と大きなエネルギーの発揮能力が、交互に向上と減退を繰り返しながら変化していく可能性のあることが認められた。

### XIII. 結 論

本論文では、パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法、およびこの運動の遂行能力を決定する体力的・技術的要因とその構造モデルについて検討した。

① パ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するためには、リバウンドドロップジャンプ指数 (rebound drop jump index,  $RDJ_{index}$ ) が有効である。この  $RDJ_{index}$  は、リバウンドドロップジャンプの踏切時間 ( $RDJt_c$ ) と滞空時間 ( $RDJt_a$ ) の2変数によって算出できる指数であり [ $RDJ_{index} = (1/8 \cdot g \cdot RDJt_a^2) / RDJt_c$ ]、踏切中に発揮された平均パワーを意味するものであるが、短い踏切時間で高い跳躍高を獲得するための能力を測定評価できるものである。

② パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力は、大きなエネルギーを発揮する能力 (滞空時間) と運動遂行時間を短縮する能力 (踏切時間) の二つの異なる能力によって決定される。前者の能力は、筋力や瞬発力などの体力要因に影響され、後者の能力は、着地に対する時間的空間的な予測、接地の直前に膝をすばやく屈曲させる着地動作、および踏切前半の足関節の仕事を増大させる踏切動作とそれに関連した神経・筋・腱系の調節機構などに影響される。

③ パリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が向上していく過程では、大きなエネルギーを発揮する能力と運動遂行時間を短縮する能力が、交互に向上と減退を繰り返しながら変化していく可能性がある。

上述の結果は、パリスティックな伸張-短縮サイクル運動を、各種ス

ポーツの場におけるトレーニング手段として、あるいは学校体育や社会体育の場における体育手段として適切に導入していく場合の一つの原理および原則を与えるものであるとともに、重力環境下に生きる人間の運動能力を考える場合の一つの重要な視点を提示するものである。

## 謝 辞

本論文の作成にあたり、終始懇切丁寧な御指導および御校閲を賜りました高松 薫教授に心から感謝の意を表します。

また、勝田 茂教授、阿江通良助教授をはじめ諸先生方から、多くの御指導、御助言を賜りました。ここに深く感謝いたします。

高松研究室の諸先輩方からは、多くの貴重な御助言を頂きました。また、研究室の卒業生、後輩、さらに陸上競技部跳躍ブロックの後輩の方々には、検者および被験者として実験に、あるいはデータ処理に協力して頂きました。これらの多くの方から受けた御指導、御助言、御協力に対してここに改めて感謝いたします。

## 文 献

阿江通良, 渋谷侃二, 金原 勇, 山口幸雄 (1979) 跳躍の踏切における神経・筋の働きに関する研究—予備緊張を中心に. 日本バイオメカニクス学会編 身体運動の科学III 運動の制御. 杏林書院: 東京, pp322-345.

阿江通良, 渋谷侃二 (1983) その場から高く跳ぶ跳躍 —垂直跳のバイオメカニクス—. *Jpn. J. Sports Sci.* 2:590-599.

阿江通良, 宮下 憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋谷侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走中における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要 9:229-239.

Adams, T. (1984) An investigation of selected plyometric training exercise on muscular leg strength and power. *T. & F. Quart. Rev.* 84:36-40.

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

Aura, O. and Viitasalo, J.T. (1989) Biomechanical characteristics of jumping. *Int. J. Sport Biomech.* 5:89-98.

Avis, F. J., Toussaint H. M., Huijing P.A. 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.

Berger, R.P. (1963) Effect of dynamic and static training on vertical jump ability. *Res. Quart.* 34:419-424.

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

- Blattner, S.E. and Noble, L. (1979) Relative effect of isokinetic and plyometric training on vertical jumping performance. *Res.Quart.* 50:583-588.
- Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1986a) A model of the human triceps surae muscle-tendon complex applied to jumping. *J.Biomechanics* 19:887-898.
- Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1986b) An estimation power output and work done by the human triceps surae muscle-tendon complex in jumping. *J.Biomechanics* 19:899-906.
- Bobbert, M.F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1986c) Biomechanical analysis of drop and counter-movement jumps. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54:566-573.
- Bobbert, M.F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1987a) Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54:566-573.
- Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1987b) Drop jumping I : The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med.Sci. Sports Exerc.* 19:332-338.
- Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1987c) Drop jumping II : The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med.Sci. Sports Exerc.* 19:339-346.
- Bobbert, M.F. (1990) Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Medicine* 9:7-22.
- Bonde-Petersen, F. (1960) Muscle training by static, concentric and eccentric contractions. *Acta Physiol. Scand.* 48:406-416.

- Bosco, C. and Komi, P.V. (1979a) Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 41:275-284.
- Bosco, C. and Komi, P.V. (1979b) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand.* 106:467-472.
- Bosco, C., Komi, P.V. and Ito, A. (1981a) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.* 111:135-140.
- Bosco, C. and Komi, P.V. (1981b) Influence of countermovement amplitude in potentiation of muscular performance. *Biomechanics VII-A*:129-135.
- Bosco, C. and Viitasalo, J.T. (1982a) Potentiation of myoelectric activity in human muscles in vertical jumps. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 22:549-562.
- Bosco, C., Viitasalo, J.T., Komi, P.V. and Luhtanen, P. (1982b) Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol. Scand.* 114:557-565.
- Bosco, C., Ito, A., Komi, P.V., Luhtanen, P., Rakkila, P. and Viitasalo, J.T. (1982c) Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercise. *Acta Physiol. Scand.* 114:543-550.
- Brooks, V.B. and Thach, W.T. (1981) Cerebellar control of posture and movement. In Brooks, V.B. (Ed.) *Handbook of physiology, Section 1, The nervous system, Vol. II.* pp. 889-891. American Physiological Society, Bethesda.
- Brown, M.E., Mayhew, J.L. and Boleach, L.W. (1986) Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball. *J. Sports Med.* 26:1-4.
- 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.

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.

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

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

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

Chandler, R.F., Clauser, C.E., McConville, J.T., Reynolds, H.M. and Young, J.W. (1975) Investigation of inertia properties of the human body. Wright-Patterson Air Force Base, OH, Aerospace Medical Research Laboratory. pp. 55-76.

Clutch, D., Willton, M., McGown, C. and Bryce, G.R. (1983) The effect of depth jump and weight training on leg strength and vertical jump. *Res. Quart.* 54:5-10.

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.

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

Desmedt, J.E. and Godaux, E. (1979) Voluntary motor commands in human ballistic



movements. *Ann. Neurol.* 5:415-421.

Doss, W.S. and P.V, Karpovich. (1965) A comparison of concentric, eccentric and isometric strength of elbow flexors. *J. Appl. Physiol.* 20 :341-353.

Dursenev, V. and Raevsky, L. (1978) Strength training of jumper. *Soviet Sports Review* 14(2) :53-55.

Ford, H.T., Puckett, J.R., Drummond, J.P., Sawyer, K., Gantt, K. and Fussell, C. (1983) Effect of three combinations of plyometrics and weight training programs on selected physical fitness test items. *Percept. Mot. Skills* 56:919-922.

福永哲夫 (1978a) ヒトの絶対筋力 —超音波による体肢組成・筋力の分析—. 杏林書院 . pp182-227.

福永哲夫, 杉山充宏 (1978b) 絶対筋力に及ぼす静的および動的筋力トレーニングの影響 . 体育学研究. 22:343-349.

Gollhofer, A. and Schmidtbleicher, D. (1988) Muscle activation patterns of human leg extensors and force time characteristics in jumping exercises under increased stretching loads. *Biomechanics XI-A*:143-147.

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.

Hakkinen, K. Komi, P.V. and Tesch, P.A. (1981) Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand. J. Sports Sci.* 3:50-58.

Hakkinen, K., Komi, P.V. and Alen, M. (1985a) Effect of explosive type strength training on isometric force and relaxation-time, electromyographic and muscle

fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol. Scand.* 125:587-600.

Hakkinen, K., Alen, M and Komi, P.V. (1985b) Changes in isometric force and relaxation time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 125:573-585.

Hakkinen, K. (1986a) Training and detraining adaptation in electromyographic muscle fibre and force production characteristics of human leg extensor muscles with special reference to prolonged heavy resistance and explosive type strength training. *Study in Sports Physical Education and Health.* University of Jyväskylä, Jyväskylä.

Hakkinen, K and Komi, P.V. (1986b) Effect of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55:588-596.

Hallett, M. (1975) EMG analysis of stereotyped voluntary movement in man. *J. Neurosurg. Psychiat.* 38:1154-1162.

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

Hoffer, J.A. (1987a) : Cat hindlimb motoneurons during locomotion. I. Destination, axonal conduction velocity and recruitment threshold. *J. Neurophysiol.* 57:510-527.

Hoffer, J.A. (1987b) Cat hindlimb motoneurons during locomotion. II. Normal activity patterns. *J. Neurophysiol.* 57:530-553.

Houk, J.C. (1987) Feedback control of muscle, a synthesis of the peripheral mechanisms, In Houk, J.C. (ed). *Medical Physiology.* 13th edn pp. 668-677.

Mosby St Louis.

Huxley, A. F. and Simmons, R. M. (1971) Proposed mechanism of force generation in striated muscles. *Nature* 233:533-538.

伊藤 章, 斉藤昌久, 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. *Jpn. J. Sport Sci.* 6:232-238

伊藤 章. (1988) 下腿三頭筋のリバウンド効果 一体操選手と水泳選手の比較一. 昭和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 NO. IX, プリオメトリック・リアクティブ筋力トレーニングに関する研究 一第2報一, 31-36. 1988.

稲岡純史, 村木征人, 阿江通良, 古藤高良. (1988) デプスジャンプに関する研究 一台高と着地動作の違いが踏切動作に及ぼす影響一. 日本体育学会第39回大会号. p. 559.

稲岡純史, 阿江通良, 村木征人 (1992) デプスジャンプトレーニング 一主働筋の予備緊張をともなう積極的着地 (Active landing) の有効性. *トレーニング科学* 4:1-9.

Jaric, S., Gavrilovic, P. and Ivancevic, V. (1985) Effects of previous muscle contraction on cyclic movement dynamics. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54:216-221.

Jody, L. J. and Russell, P. J. (1985) Depth jump training and the volleyball spike. In Terauds, J. and Barham, J. N. (Eds.). *Biomechanics in sports*, Academic Publishers. pp. 304-313.

金久博昭 (1983) 筋の出力特性とトレーニング. *Jpn. J. Sports Sci.* 2:23-34.

Kanehisa, H. and Miyashita, M. (1983) Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50:365-371.

金子公宥, 大塚 晃 (1973) 小学生児童 (9~10歳) の体力におよぼす長期トレーニングの効果. *体育科学* 7:37-43.

金子公宥, 末井健作, 田路秀樹, 瀧本隆文 (1983) 瞬発力におよぼす筋トレーニングの効果. 体育科学 11:24-30.

金子公宥, 田路秀樹, 末井健作 (1984) 中学生の跳運動 (垂直跳・立幅跳) におけるパワーとパフォーマンスに及ぼすトレーニング効果 体育科学, 12:33-38.

金子公宥, 瀧本隆文, 藤川浩喜, 林原修一 (1986) 跳躍トレーニングにおけるウェイトジャケット着用の効果 -女子中学生を対象として-. 体育科学 14:22-28.

金子公宥, 瀧本隆文, 藤川浩喜, 林原修一 (1987) 跳躍力に及ぼす三種トレーニングプログラムの効果 -中学男子を対象として-. 体育科学 15:1-6.

金子公宥 (1988) パワーアップの科学, 朝倉書店. pp.142-152.

金子公宥, 田路秀樹 (1993) パワーアップの原則再考. Jpn. J. Sports Sci. 12:160-164.

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. Rev. 78:17-24.

Katschajov, S., Gombert, K. and Revson, A. (1976) Rebound jumps. Modern Athlete and Coach. 14(4):123.

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-, 44-55.

木島 晃, 新井重信, 田島東海男, 野坂和則, 福留彰教, 大高敏弘, 松村茂, 片尾周造. (1985) ジャンプ・トレーニングの周辺 -プリ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.

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 No. 2:11-20.

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 No. 2:21-31.

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スポーツ研究所報 No. 4:137-146.

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 No. 3:31-41.

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 No. 4:21-31.

金原 勇, 高松 薫, 渋谷侃二 (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 No. 8:26-52.

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.

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

Komi, P.V. (1986) Training of muscle strength and power. Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int.J.Sports Med.* 7(Suppl.):

10-15.

Komi, P.V. (1987) Neuromuscular Factors Related to Physical Performance. *Medicine Sports Sci.* 26:48-66.

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

マイネル, K. (金子明友訳). (1981) スポーツ運動学. 大修館書店 (Meinel, K., *Bewegungslehre, Volk und Wissen Volkseigner Verlag* : Berlin, 1960)

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

Margaria, R. (1966) Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J. Appl. Physiol.* 21:1662-1664.

Melvill Jones, G. and Watt, D.G. (1971a) Observations on the control of stepping and hopping movements in man. *J. Physiol.* 219:709-727.

Melvill Jones, G. and Watt, D.G. (1971b) Muscular control of landing from unexpected falls in man. *J. Physiol.* 219:729-737.

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.

村木征人. (1982) 現代スポーツコーチ実践講座2, 大石三四郎, 浅田隆夫(編), 陸上競技(フィールド). ぎょうせい.

村木征人. (1985a) 上級ジャンパーのトレーニングの合理化 -筋力集中方式トレーニングの理論と実際. *J. J. Sports Sci.* 4:797-802.

村木征人. (1985b) 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*

ル, 7(6):20-21.

Muraki, Y. (1985) Triple jump 10. *Athletes in Action*, Pelham Books:179-197.

村木征人. (1988) プライオメトリックス. *トレーニング・ジャーナル*, 2(3):4-5.

室 増男, 永田 晟, 北本 拓, 日丸哲也 (1978) 着地緩衝動作時の緩衝波形の力学的分析. *東京体育学研究* 5:8-14.

永田 晟, 室 増男, 日丸哲也 (1979a) 緩衝能の測定に関する研究 -着地動作時の床反力波形の分析-. *体育学研究* 24:51-58.

永田 晟, 室 増男, 日丸哲也 (1979b) 着地動作における緩衝的運動調節について. *体力科学* 28:81-87.

大高敏弘, 田島東海男, 福留彰教, 片尾周造, 村松 茂, 木島 晃 (1985) 異なるドロップジャンプと床反力の関係. *防衛大学紀要*. 50:101-112.

Poulsen, P.D. and Laursen, A.M. (1983) Programmed electromyographic activity and negative incremental muscle stiffness in monkeys jumping downward. *J. Physiol.* 350:121-136.

Sale, D.G. (1988) Neural adaptation to resistance training. *Med.Sci. Sports Exerc.* 20:135-145.

Schmidtbleicher, D. and Buehrle, M. (1986) Neuronal adaptation and increase of cross sectional area studying different strength training methods. *Biomechanics*. X-B:615-620.

Schmidtbleicher, D. and Gollhofer, A. (1987) Effects of a stretch-shortening typed training on the performance capability and innervation characteristics of leg extensor muscles. *Biomechanics* XI-A:185-189.

末利 博, 千駄忠至 (1976) 調整力の指標としての緩衝能の発達と緩衝能テストの検討. 体育科学 4:142-149.

末利 博, 千駄忠至, 鷹野健次 (1978) 調整力の指標としての緩衝能の発達と緩衝能テストの検討 (その2). 体育科学 6:145-156.

Scoles, G. (1978) Depth jumping! Does it really work? Athletic J. 50:74-76.

Singh, M. and Karpovich, P.V. (1966) Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors. J. Appl. Physiol. 21:28-37.

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

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

Steben, R.E. and Steben, A.H. (1981) The validity of the stretch-shortening cycle in selected jumping events. J. Sports Med. 21:28-37.

高松 薫, 宮坂雅昭, 関子浩二, 石島 繁. (1988) 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曲面の力学量. 昭和62年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 NO. VIII 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-, 56-62.

高松 薫, 関子浩二, 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 プリオメトリックリアクティブ筋力トレーニングに関する研究 -第2報-, 46-55.

高松 薫, 関子浩二, 村木征人. (1990) 疾走能力および跳躍能力とスイング型運動およびピストン型運動による膝伸展力との関係. 筑波大学体育科学系紀要 13:207-214.



高松 薫, 会田 宏, 関子浩二 (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.

谷口有子, 古谷かおる, 村木征人. (1986) プライオメトリックトレーニングは有効か?. トレーニングジャーナル 8(75):12-16.

Thys, H., Davagna, G.A. and Margaria, R. (1975) The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. Pflugers Arch. 354:281-286.

田路秀樹, 末井健作, 金子公宥 (1983) 跳躍のパフォーマンスにおよぼす複合トレーニング刺激の効果. 体育の科学 39:305-308.

Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., Huijing, P. A. and Woittiez, R. D. (1985) The instantaneous torque-angular velocity relation in plantar flexion during jumping. Med. Sci. Sports Exerc. 17:422-426.

Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F. and Rozendal, R. H. (1987) The unique action of bi-articular muscles in complex movements. J. Anat. 155:1-5.

Van Ingen schenau, G.V. (1989) From rotation to translation : Constraints on multi-joint movements and the unique action of bi-articular muscles. Human Movement Science 8:301-337.

Verhoshansky, Y. (1968) Are depth jumps useful ?. Yessis Review of Soviet Physicia Education and Sports. 3(3):75-78.

Verhoshansky, Y. (1973) Depth jumping in the training of jumpers. Track Technique. 51:1618-1619.

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.

Viitasalo, J.T. (1985) Effect of training on force velocity characteristics. *Biomechanics IX-A*:91-95.

Viitasalo, J.T. and Ossi, A (1987) Myoelectrical activity of the leg extensor-musculature before ground contact in jumping. *Biomechanics X-B*:695-700.

Walsley, B. (1978) Force produced by medial gastrocnemius and soleus muscles during locomotion in freely moving cats. *J. Neurophysiol.* 41:1203-1216.

Wilt, F. (1975) Plyometrics, What it is, How it works. *Athletic J.* 76:89-90.

Wilkie, D.R. (1950) The relation between force and velocity in human muscle. *J. Physiol.* 110:249-180.

Yamamoto, C. and Ohtsuki, T. (1989) Modulation of stretch reflex by anticipation of the stimulus through visual information. *Exp Brain Res.* 77:12-22.

山崎良比古, 鬼頭伸和, 三井淳蔵, 種丸武臣 (1980) 律動的ジャンプ動作における伸張反射. *体育学研究* 25:113-118.

Yoneda, T. (1983) Variation of amount of muscle discharges during ballistic contraction in man. *Brain Res.* 275:305-309.

Yoneda, T. (1985) Relation between force speed and discharge rate of surface EMG during voluntary isometric contraction. *Jpn. J. Physiol.* 47:463.

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

関子浩二, 高松 薫, 古藤高良 (1992) ドロップジャンプにおけるパワー発揮能力を決定

する要因. バイオメカニクス研究 92 pp245-251.

関子浩二, 高松 薫, 古藤高良 (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. 体育学研究 38:265-278.

関子浩二, 高松 薫 (1995) リバウンドジャンプ能力の向上に伴う踏切時間と跳躍高の変化パターン. 第12回日本バイオメカニクス学会大会論文集「生体・運動のシステム - スポーツスキルの向上 -」掲載予定 (印刷中).

関子浩二, 高松 薫 (1995) バリステックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因 -筋力および瞬発力に着目して-. 体力科学 44:掲載予定 (印刷中).

関子浩二, 高松 薫 (1995) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因 -下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して-. 体育学研究 (審査中).

関子浩二, 高松 薫 (1995) リバウンドドロップジャンプにおける合理的な着地動作. 体育学研究 (審査中).

筑波大学附属図書館



1 00950 16129 2

本学関係

---