

水平片脚型・鉛直片脚型・鉛直両脚型リバウンドジャンプの 相互関係性とそれに基づく階層構造的トレーニングモデルの提案 : 質量-ばねモデルの挙動に着目して

The Hierarchical Structure Model based on the Relationships among Horizontal Single-Leg Rebound Jump, Vertical Single-Leg Rebound Jump and Vertical Double-Leg Rebound Jump : Focused on the Spring-Mass Model Movements

菊 山 靖¹⁾

Kariyama Yasushi¹⁾

【要 約】

本研究では、トレーニング手段を配列する場合に役立つ知見を得ることを目的に、水平・片脚型リバウンドジャンプ (Horizontal Single-leg rebound Jump: HSJ)、鉛直・片脚型リバウンドジャンプ (Vertical Single-leg rebound Jump: VSJ)、鉛直・両脚型リバウンドジャンプ (Vertical Double-leg rebound Jump: VDJ) の相互関係性について、各種ジャンプに共通して内在する質量-ばねモデルにおける短縮-伸長運動の挙動に着目し、検討した。陸上競技の跳躍および混成種目を専門とする男性 15 名を対象に、HSJ、VSJ および VDJ を行わせ、各ジャンプの遂行能力 (VSJ および VDJ の RJ-index、跳躍高、踏切時間、HSJ の跳躍距離、踏切時間)、各ジャンプの質量-ばねモデルにおける短縮-伸長運動の挙動 (短縮速度、伸長速度、Stiffness) を算出した。主な結果は、以下の通りである。

- 1) HSJ、VSJ および VDJ の遂行能力それぞれの間に有意な相関関係が認められた。
- 2) HSJ、VSJ および VDJ は共通して、跳躍距離 (跳躍高) は伸長速度との間に、踏切時間は Stiffness との間に有意な相関関係のあることが認められた。
- 3) HSJ、VSJ および VDJ の伸長速度それぞれの間、さらに Stiffness それぞれの間において有意な相関関係が認められた。

以上の結果から、HSJ、VSJ と VDJ の遂行能力間には関係性があり、それには共通したばねモデルの挙動 (短縮-伸長運動) の存在が影響していることが示された。

I. 背景

下肢におけるパワー発揮能力の向上は、走、跳など多くのスポーツ競技やそれに内在する運動にとって優れたパフォーマンスを達成するための重要課題である。この際、下肢の筋-腱複合体においては伸張-短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle: SSC) 運動が用いられており、これらの運動は極めて短い時間に遂行されている。この能力を開発するためのトレーニング方法としてプライオメトリックトレーニング (以下、プライオメトリクス) が挙げられる。その代表的な手段としては、水平・片脚型のリバウンドジャンプ (Horizontal Single-leg rebound Jump: HSJ)、鉛直・片脚型のリバウンドジャンプ (Vertical Single-leg rebound Jump:

VSJ)、鉛直・両脚型のリバウンドジャンプ (Vertical Double-leg rebound Jump: VDJ) に大別できる。我々はこれまでに、これらのジャンプにおける力やパワー発揮について検討し、プライオメトリクス手段としての特性を提示してきた (Fig.1、菊山ほか、2012; 2013; 菊山・図子、2014; Kariyama et al., 2017)。

HSJ、VSJ および VDJ は、鉛直方向または水平方向や、両脚踏切または片脚踏切などの条件が異なるために、トレーニング現場においてはそれぞれを動作や力発揮の特性が異なる手段として区別的に用いられることが多い。しかし一方では、HSJ と VDJ の遂行能力の間 (図子、2006; 岩竹ほか、2008; 岩竹、2011)、さらに、VSJ と VDJ の遂行能力の間 (菊山・図子、

¹⁾ 山梨学院大学スポーツ科学部

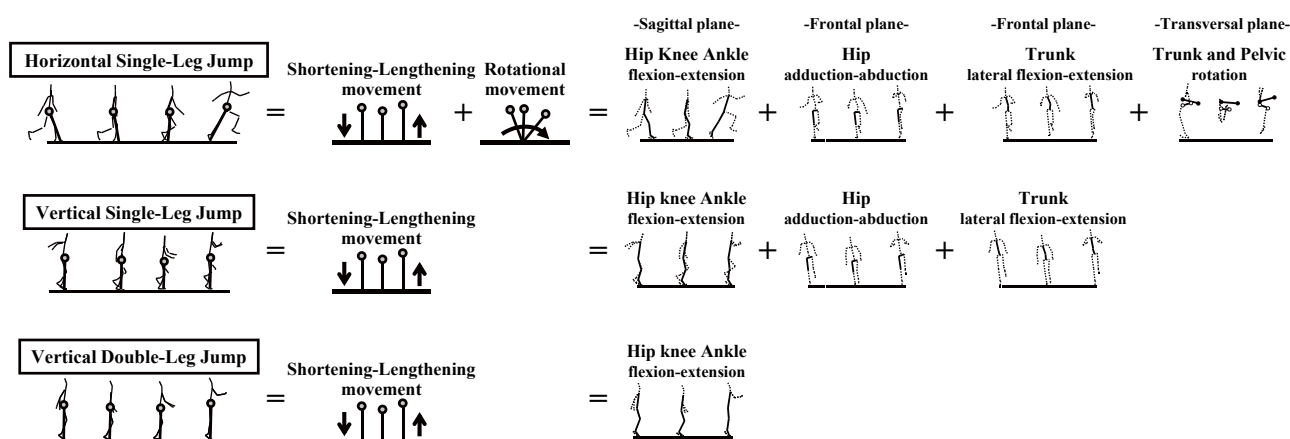


Fig.1 The characteristics of the various jumps from the view points of the differences on jumping movement (荻山ほか, 2012; 2013; 荻山・図子, 2014; Kariyama et al., 2017).

2014) に有意な相関関係が認められており、それぞれのジャンプ間には何らかの関係性のあることが推察できる。その一つとしては、HSJ、VSJ および VDJ における踏切中の身体における身体重心と接地点を結んだ線分 (質量-ばねモデル; McMahon and Cheng, 1990) の挙動が挙げられる。VSJ と VDJ においては、このばねモデルが着地とともに短縮し、その後伸長することで運動が遂行されることに対して、HSJ においては類似の短縮-伸長運動が、接地点を中心として前方回転しながら行なわれており、これによって跳躍距離を獲得していることが示されている (Fig.1; Zushi et al., 2005; 図子, 2006)。これらを考慮すると、HSJ と VSJ、VDJ の遂行能力の間には、それぞれのジャンプ運動に共通した短縮-伸長運動の挙動が内在しており、その挙動同士に対応関係のあることが推察できる。

スポーツトレーニングを効果的に遂行するためには、あるトレーニング運動による効果が他の運動へ影響することによるトレーニング効果の転移を狙うこと、つまり、目的とするスポーツ運動とトレーニング手段との類似性やトレーニング手段の技術的な複雑性などを手掛かりにして、最終的な競技パフォーマンスに効果が現れるように、各手段の関係性を階層構造的に把握しておく必要がある (Young, 2006; Zatsiorsky and Kramer, 2006; 岩竹・図子, 2011; 図子, 2012)。このような階層構造的について、プライオメトリクス手段である HSJ と VDJ を扱った研究では、上述の質量-ばねモデルにおける挙動で両ジャンプを捉え、その類似性を定量的かつ定性的に検討することで、短縮-伸長運動のみで遂行される VDJ をより単純な下位構造に位置づけ、それに回転運動が加わり複雑性が増した HSJ を上位構造とする階層構造関係を提案している (荻山・

図子, 2013, 2015, 2016)。これらの結果から、VDJ は技術的に複雑な HSJ を用いるための導入手段として位置づけることができ、階層構造的にプライオメトリクスを実施するための知見として役立つことが期待できる。

このように、トレーニング手段における階層構造モデルを構築するためには、各手段間における類似性を提示する必要があると考えられる。しかしながら、プライオメトリクスにおける階層構造的に着目した研究は HSJ と VSJ を扱ったものに限られ、VSJ を含んだ類似性については検討されていない。鉛直方向へ片脚踏切で行われる VSJ は、プライオメトリクスの代表的な手段であり、トレーニング現場において頻繁に用いられている。また、VSJ は片脚で行われることから、片脚運動において特有の、前額面上における骨盤運動 (下制・挙上) を制御するための股関節外転筋群や体幹側屈筋群の動員がなされるため、両脚での VDJ よりも片脚系スポーツに対する専門的エクササイズとして位置づいている (荻山ほか, 2013)。これらのことから、VSJ においても HSJ や VDJ との類似性を示すことができれば、これまでに示されてきた階層構造モデルを発展させるための知見として利用することができると考えられる。

そこで本研究では、HSJ、VSJ および VDJ の相互関係性について、各種ジャンプに共通して内在する質量-ばねモデルにおける短縮-伸長運動の挙動に着目し検討することで、階層構造的にトレーニング手段を配列する場合に役立つ知見を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者には、陸上競技の跳躍種目および混成種目を

専門とする男性 15 名 (Age, 22.1 ± 2.3 years; Body height, 177.0 ± 5.2 cm; Body mass, 67.9 ± 5.1 kg) を用いた。実験を開始するにあたり、すべての対象者に本研究の目的、方法および実験にともなう安全性を十分に説明し、実験に参加するための同意を得た。対象者は、本研究で用いた実験試技を日常から定期的に行っていたが、事前に実験試技に関する説明を行い、実験の数日前から十分に練習を行わせた。なお、これらの手順は、国立大学法人筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て行われた。

2. 実験運動

水平・片脚型リバウンドジャンプ (Horizontal Single-leg rebound Jump: HSJ) として、立位姿勢から前方へ片脚交互に連続して 10 回連続して跳躍する運動を (木越ほか、2012; 苅山・凶子、2013)、鉛直・片脚型リバウンドジャンプ (Vertical Single-leg rebound Jump: VSJ) として、立位姿勢からその場での片脚交互に連続して 10 回連続して跳躍する運動を (苅山ほか、2012)、鉛直・両脚型リバウンドジャンプ (Vertical Double-leg rebound Jump: VDJ) として、立位姿勢からその場での 5 回連続して両脚踏切で跳躍する運動 (遠藤ほか、2007) を用いた。全てのジャンプにおける分析対象脚は、対象者自身の判断から、VSJ を行ないやすい方の脚とした。HSJ では、跳躍開始から跳躍距離が増加していくが、ある歩数から跳躍距離の増加は無くなりほぼ一定の値を示した。本研究では、事前にその歩数 (7 - 9 歩目) を対象者ごとに調査し、その際の踏切がフォースプラットフォーム上に接地するようにスタート位置を調節して行なわせ、フォースプレート上に足部全体が接地し、フォームを崩さず、かつ対象者の内省の良かった試技を分析に用いた。VSJ および VDJ においては、できる限り踏切時間を短くし、できる限り高く跳ぶことを口頭で指示して行なわせ、5 回または 10 回のジャンプ中においてフォームを崩さず、かつ対象者の内省の良かった試技の中から、後述する RJ-index が最も高い値を示したものを分析に用いた。また、本研究では、運動課題を最大限に達成することを優先し、腕、および脚 (HSJ と VSJ) の振込動作に制限を加えなかった。これらの実験運動により、立位姿勢から運動を開始し最大努力にて運動課題を達成するという、共通条件下における比較が可能になると考えられる。なお、対象者へは、普段のプライオメトリクス時に用いるスパイクシューズ以外のシューズを履かせ、試技間には疲労の

影響を無くすために十分な休息をとらせた。

3. 測定項目および測定方法

実験試技を、対象者の側方から高速度ビデオカメラ (CASIO 社製、EX-F1) を用いて、毎秒 300 フレーム、露出時間 1 / 2000 秒で撮影した。撮影と同時に、地面反力をフォースプラットフォームを HSJ では 3 台 (Kistler 社製、9287B, 0.9 m × 0.6 m; Type9281A, 0.6 m × 0.4 m; 9281C, 0.6 m × 0.4 m)、VSJ および VDJ では 1 台用いて測定した。地面反力は、1000 Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後、パーソナルコンピューター (DELL 社製、DXP061) に取り込んだ。地面反力と画像を同期するために同期ライトをカメラに写し込み、同時に同期信号を A/D 変換ボードを介してコンピューターに取り込んだ。撮影されたビデオ画像をパーソナルコンピューター (SONY 社製、VGN-TT50B) に取り込み、ビデオ動作解析システム (ディケイエイチ社製、FrameDIAS II Ver.3 for Windows) を用いて、毎秒 150 フレームで全身 23 点 (両下肢の足先・拇指球・かかと・外果・腓骨頭・大転子、両上肢の肩峰突起・肘・手首・中手骨および胸骨上縁・耳珠点・頭頂部) と校正マーク (対象者の近傍 4 点) の 2 次元座標を読み取った。動作分析は、フォースプラットフォームへの接地 10 フレーム前から離地後 10 フレームにわたって行なった。画像から読み取った身体各部の座標は、校正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数 (x 成分: 4.5 - 10.5 Hz, y 成分: 6.0 - 10.5 Hz) を Wells and Winter (1980) の方法に基づいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。

4. 算出項目

身体重心を、阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて算出した。

HSJ においては、体重の 3 % の値を基準に地面反力の波形から踏切時間を算出し、跳躍距離はフォースプラットフォーム上での接地時のつま先から逆足接地時のつま先までの距離として算出した。

VSJ および VDJ においては、体重の 3 % の値を基準に地面反力の波形から踏切時間と滞空時間を求め、滞空時間を以下の式に代入することにより跳躍高を算出した。この際、着地時と離地時における身体の姿勢は同じであると仮定した。

跳躍高 = $(9.81 \cdot \text{滞空時間}^2) 8^1$ 、9.81 は重力加速度 (m/s^2)

RJ-index は、跳躍高を踏切時間で除すことで算出した (図子ほか, 1993; 遠藤ほか, 2007)。

本研究では、踏切動作を簡易的に評価するために、跳躍中の身体を身体重心と踏切足母指球を結んだ質量と線形のばねからなる質量-ばねモデルとした (Fig.1; MacMahon et al., 1990)。本研究では、HSJ とVDJ の階層構造性を検討している研究 (荏山・図子, 2013) と同様に、ばねモデルの短縮量と伸長量を求め、短縮量と伸長量をそれぞれに要した時間で除すことで、短縮速度と伸長速度を算出した。さらに脚のばねとしての特性を評価するために Stiffness を以下の式より算出した (荏山・図子, 2013; 2015; 2016)。

$$\text{Stiffness} = F_{\text{mean}} \cdot \Delta L^{-1}$$

本研究では、Stiffness を踏切接地からばねモデルの最大短縮までにおける地面反力の平均値 (F_{mean}) を、ばねモデルの短縮量 (ΔL) で除すことで求めた。したがって、Stiffness の値が高いほど“硬いばね”を示すことになる。 F_{mean} においては、HSJ においてはばねモデルが接地点を中心に回転運動を起こすことを考慮し、全てのジャンプにおいて地面反力ベクトルをばねモデルの線分上に正射影し、踏切足接地からばねモデルの最大短縮時までの平均力とした。

5. 統計処理

各算出項目は平均値 ± 標準偏差で示した。相関係数は Pearson の方法を用いて算出した。なお、有意性は危険率を 5% 未満で判定し、10% 未満を有意傾向として扱った。

Ⅲ. 結果

HSJ では、遂行能力を示す跳躍距離は 3.23 ± 0.23 m であり、踏切時間は 0.183 ± 0.020 s であった。VSJ では、遂行能力を示す RJ-index は 1.397 ± 0.157 であり、跳躍高は 0.312 ± 0.028 m、踏切時間は 0.225 ± 0.020 s であった。VDJ では、遂行能力を示す RJ-index は 3.361 ± 0.509 であり、跳躍高は 0.503 ± 0.057 m、踏切時間は 0.147 ± 0.017 s であった。

Fig.2 には、HSJ、VSJ およびVDJ の遂行能力それぞれの間の相関関係について示した。HSJ の跳躍距離と VSJ の RJ-index との間 ($r = 0.630$, $P < 0.05$)、HSJ の跳躍距離と VDJ の RJ-index との間 ($r = 0.568$, $P < 0.05$)、VSJ の RJ-index と VDJ の RJ-index との間 ($r = 0.793$, $P < 0.01$) に有意な相関関係が認められた。

Fig.3 には、HSJ、VSJ およびVDJ の跳躍距離 (跳

躍高) それぞれの間の相関関係について示した。HSJ の跳躍距離と VSJ の跳躍高との間 ($r = 0.546$, $P <$

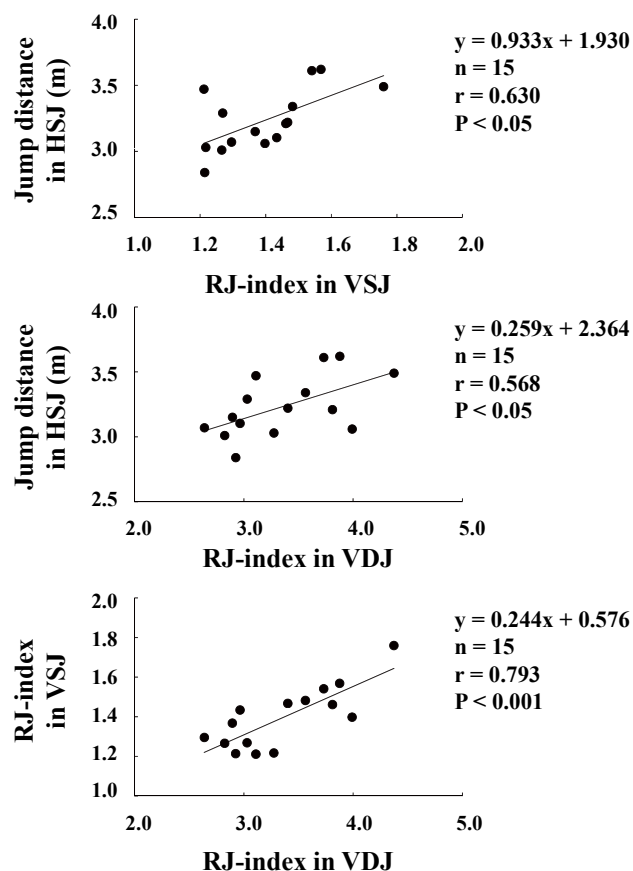


Fig.2 Relationships between jump distance in HSJ and RJ-index in VSJ, jump distance in HSJ and RJ-index in VDJ, RJ-index in VSJ and RJ-index in VDJ.

0.05)、HSJ の跳躍距離と VDJ の跳躍高との間 ($r = 0.611$, $P < 0.05$) に有意な相関関係が認められ、VSJ の跳躍高と VDJ の跳躍高との間 ($r = 0.482$, $P < 0.1$) には相関関係のある傾向がみられた。

Fig.4 には、HSJ、VSJ およびVDJ の踏切時間それぞれの間の相関関係について示した。HSJ の踏切時間と VSJ の踏切時間との間 ($r = 0.683$, $P < 0.01$)、HSJ の跳躍距離と VDJ の跳躍高との間 ($r = 0.563$, $P < 0.05$)、VSJ の跳躍高と VDJ の跳躍高との間 ($r = 0.641$, $P < 0.01$) に有意な相関関係が認められた。

Table1 には、HSJ、VSJ およびVDJ それぞれにおいて、遂行能力と質量-ばねモデルの挙動との相関関係について示した。HSJ の跳躍距離と短縮速度 ($r = 0.632$, $P < 0.05$) および伸長速度 ($r = 0.837$, $P < 0.001$) との間に有意な相関関係が認められたが、Stiffness との間には相関関係はみられなかった。一方、HSJ の踏

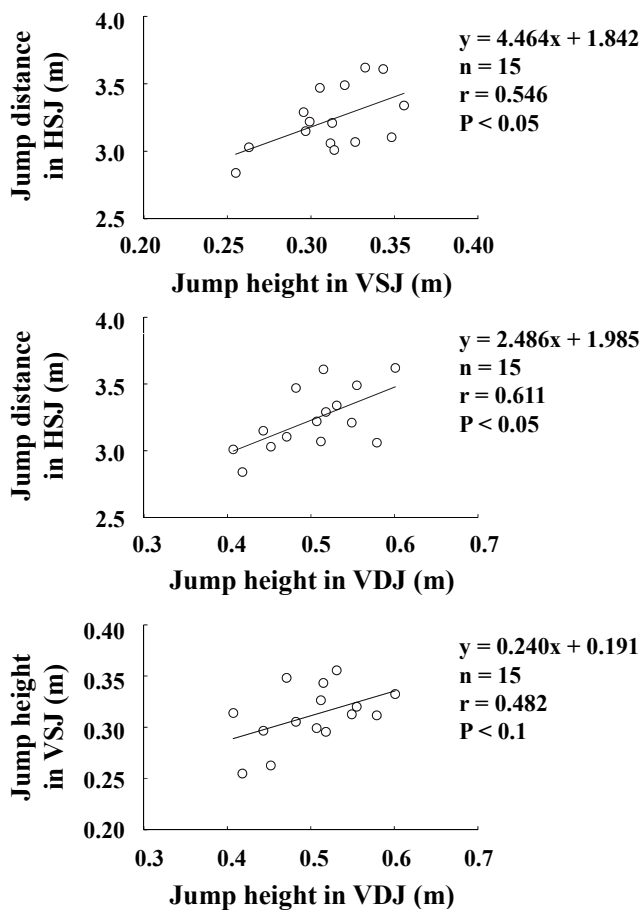


Fig.3 Relationships between jump distance in HSJ and jump height in VSJ, jump distance in HSJ and jump height in VDJ, jump height in VSJ and jump height in VDJ.

切時間と Stiffness との間には有意な相関関係が認められたが ($r = -0.696$, $P < 0.01$)、短縮速度および伸長速度との間には相関関係はみられなかった。なお、HSJ において踏切時間と Stiffness の算出に用いた平均力 ($r = -0.685$, $P < 0.01$)、短縮量 ($r = 0.569$, $P < 0.05$) との間いずれも有意な相関関係が認められた。VSJ の RJ-index と Stiffness ($r = 0.596$, $P < 0.05$) およびそれを構成する平均力 ($r = 0.711$, $P < 0.01$) との間には有意な相関関係が認められた。VSJ の跳躍高と伸長速度との間 ($r = 0.695$, $P < 0.01$) には有意な相関関係が認められたが、短縮速度および Stiffness との間には相関関係はみられなかった。一方、VSJ の踏切時間と Stiffness との間 ($r = -0.844$, $P < 0.001$) に有意な相関関係が認められたが、伸長速度との間には相関関係はみられなかった。なお、踏切時間と Stiffness の算出に用いた平均力 ($r = -0.731$, $P < 0.01$)、VSJ の短縮量 ($r = 0.735$, $P < 0.01$) との間いずれも有意な相関関係が認められた。VDJ の RJ-index と伸長速度との間 ($r = 0.625$, $P < 0.05$) に有意な相関関係が認められた。

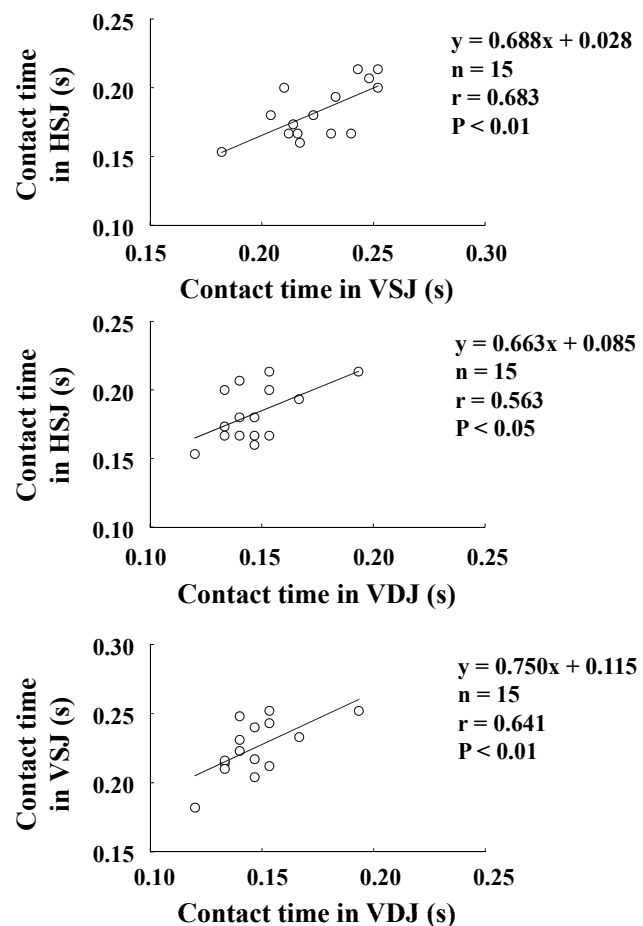


Fig.4 Relationships among HSJ, VSJ and VDJ about contact time.

係が認められ、Stiffness との間 ($r = 0.502$, $P < 0.1$) には相関関係のある傾向がみられた。VDJ の跳躍高と短縮速度との間 ($r = 0.550$, $P < 0.05$) および伸長速度との間 ($r = 0.777$, $P < 0.001$) には有意な相関関係が認められたが、Stiffness との間には相関関係はみられなかった。一方、VDJ の踏切時間と Stiffness との間 ($r = -0.805$, $P < 0.001$) に有意な相関関係が認められたが、短縮速度および伸長速度それぞれとの間には相関関係はみられなかった。なお、踏切時間と Stiffness の算出に用いた平均力 ($r = -0.832$, $P < 0.001$)、短縮量 ($r = 0.778$, $P < 0.05$) との間いずれも有意な相関関係が認められた。

Fig.5 には、HSJ、VSJ および VDJ の伸長速度それぞれの間の相関関係について示した。HSJ の伸長速度と VSJ の伸長速度との間 ($r = 0.528$, $P < 0.05$)、HSJ の伸長速度と VDJ の伸長速度との間 ($r = 0.673$, $P < 0.01$)、VSJ の伸長速度と VDJ の伸長速度との間 ($r = 0.539$, $P < 0.05$) との間には有意な相関関係が認められた。

Table1 Correlation coefficients between performances and spring-mass model parameters in HSJ, VSJ and VDJ, respectively.

	HSJ		VSJ			VDJ		
	Jump distance	Contact time	RJ-index	Jump height	Contact time	RJ-index	Jump height	Contact time
Shortening velocity	0.632 *	0.111	0.270	0.440	0.162	0.165	0.550 *	0.338
Lengthening velocity	0.837 ***	-0.255	0.405	0.695 **	0.257	0.625 *	0.777 ***	0.009
Stiffness	-0.007	-0.696 **	0.602 *	-0.150	-0.844 ***	0.502 #	-0.049	-0.805 ***
F _{mean}	0.342	-0.685 **	0.711 **	0.103	-0.731 **	0.672 **	0.189	-0.832 ***
ΔL	0.215	0.569 *	-0.270	0.446 #	0.735 **	-0.336	0.222	0.778 **

n = 15

: P < 0.1 , * : P < 0.05 , ** : P < 0.01 , *** : P < 0.001

Fig6には、HSJ、VSJおよびVDJのStiffnessそれぞれの間の相関関係について示した。HSJのStiffnessとVSJのStiffnessとの間 (r = 0.576、P < 0.05)、HSJのStiffnessとVDJのStiffnessとの間 (r = 0.546、P < 0.05)、VSJのStiffnessとVDJのStiffnessとの間 (r = 0.533、P < 0.05) に有意な相関関係が認められた。

IV. 考察

本研究の目的は、HSJ、VSJおよびVDJの相互関係性について、各種ジャンプに共通して内在する質量-

ばねモデルにおける短縮-伸長運動の挙動に着目し検討することで、階層構造的にトレーニング手段を配列する場合に役立つ知見を得ることであった。そのためにまず、HSJ、VSJおよびVDJの遂行能力それぞれの関係性を検討したところ、全てのジャンプにおいて有意な相関関係が認められた (Fig.2)。これらの結果は、HSJ、VSJおよびVDJはそれぞれに動作特性の異なる運動であるものの、各ジャンプを遂行する上での共通した機構が内在している可能性を示唆するものである。本研究ではこの可能性について、質量-ばねモデルの挙動に着目し、検討を進める。

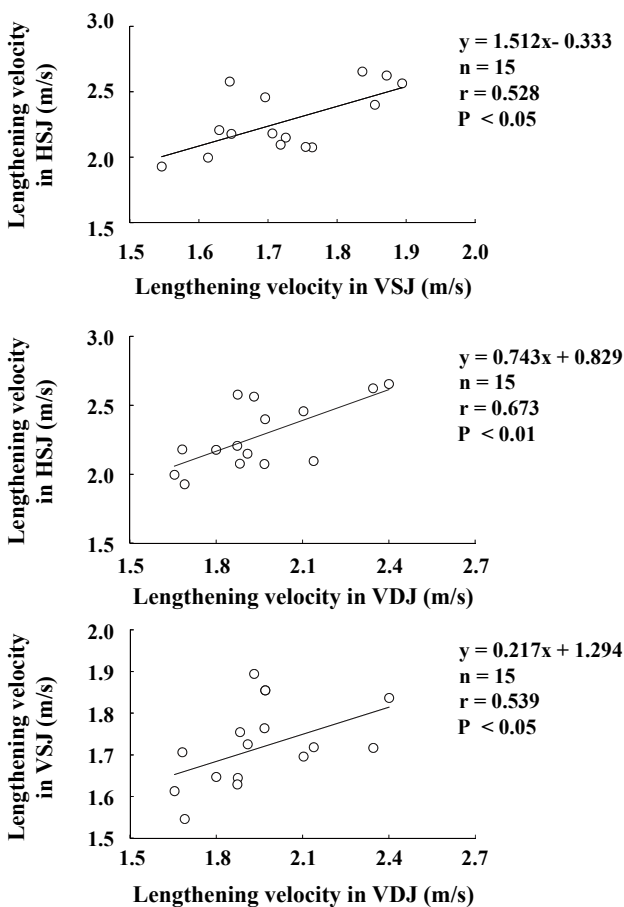


Fig.5 Relationships among HSJ, VSJ and VDJ about lengthening velocity.

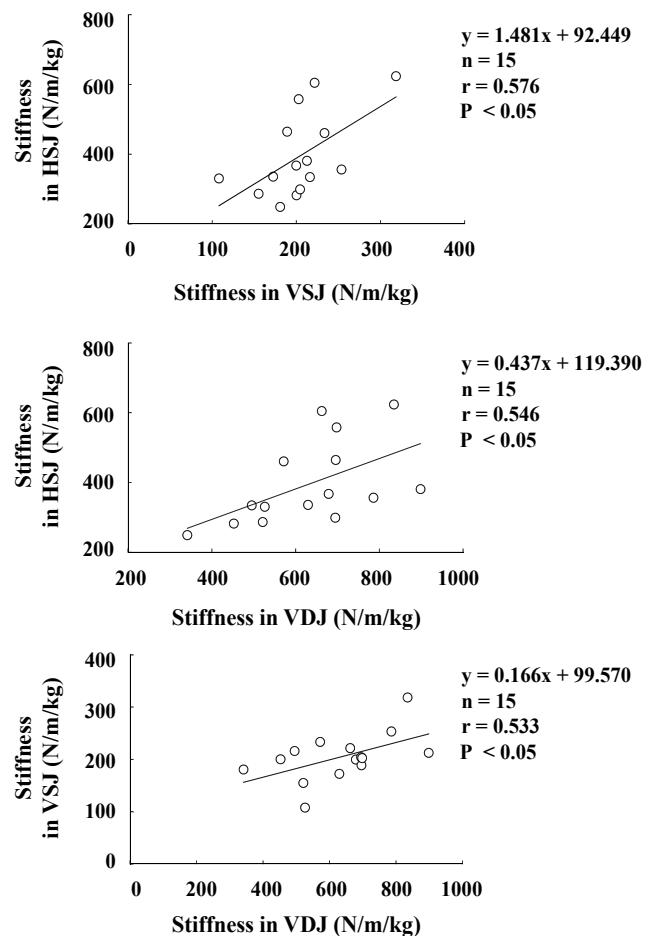


Fig.6 Relationships among HSJ, VSJ and VDJ about Stiffness.

1. 短縮-伸長運動からみた HSJ、VSJ および VDJ の関係性に影響する要因

VDJ の遂行能力である RJ-index は、大きな力積を發揮する能力としての跳躍高と、運動遂行時間の短縮能力としての踏切時間によって決定されており、両能力を制限する要因は異なることが指摘されている (図子・高松、1995)。ここで、VDJ と同じ鉛直方向へのジャンプ運動である VSJ の踏切時間と跳躍高の関係性について検討したところ、有意な相関関係は認められなかった ($r = 0.338, n.s.$)。このことから判断すると、VSJ においても大きな力積を發揮する能力と運動遂行時間の短縮能力は独立関係にあると考えられる。HSJ では、より遠くへ跳躍すること、すなわちより高い水平速度条件下において、必然的に短くなる踏切時間において地面へ大きな力を發揮することが要求されるために、踏切時間は跳躍距離獲得に対する制限要因となる。事実、本研究の HSJ における離地時の水平重心速度と踏切時間の間には有意な負の相関関係が認められていることから ($r = -0.602, P < 0.05$)、HSJ における踏切時間も考慮することで、より詳細に HSJ、VSJ および VDJ 相互の関係性について検討することができると考えられる。これらについて検討した結果、HSJ の跳躍距離と VSJ の跳躍高、VDJ の跳躍高それぞれの間には有意な相関関係が認められ (Fig.3)、さらに HSJ、VSJ および VDJ の踏切時間相互の間においても有意な相関関係が認められた (Fig.4)。これらの結果から、HSJ、VSJ および VDJ それぞれの間には、大きな力積の獲得能力、運動遂行時間の短縮能力それぞれに関係性のあることが明らかとなった。

本研究では、短縮-伸長運動の挙動として、短縮速度、伸長速度、さらにばねとしての特性を評価する Stiffness (McMahon and Cheng, 1990) を用い、各種ジャンプの関係性に影響する要因について検討した。まず、HSJ、VSJ および VDJ それぞれにおいて、遂行能力と短縮-伸長運動の挙動の関係性について検討した結果、各種ジャンプに共通して跳躍距離 (跳躍高) は伸長速度との間に、踏切時間は Stiffness との間に有意な相関関係のあることが認められた (Table 1)。さらに、これら伸長速度 (Fig.5) および Stiffness (Fig.6) において、HSJ、VSJ および VDJ 相互の間に有意な相関関係が認められたことから、各種ジャンプそれぞれの間において跳躍距離と跳躍高、踏切時間相互に影響するばねモデルの挙動同士が関係し合っていることが示された。

以上の結果から、HSJ、VSJ および VDJ 相互の間には、運動遂行時間の短縮能力および大きな力積の發揮能力それぞれに影響を及ぼす共通した短縮-伸長運動の挙動が内在しており、HSJ、VSJ と VDJ の遂行能力間に認められた関係性には、これらの共通したばねモデルの挙動の存在が影響していることが示された。これらのことは、先行研究 (荊山・図子、2013) で示された HSJ と VDJ の階層構造的性を支持すると共に、それに VSJ を加えた場合、すなわち跳躍方向 (鉛直・水平) や踏切様相 (両脚・片脚) が異なる各種ジャンプ運動においても、短縮-伸長運動の挙動に類似性のあることを意味していると考えられる。

2. 階層構造的トレーニングモデルの構築と提案

トレーニングを効果的に推進していくためには、用いるトレーニング手段の特性を理解することに加え、目指すスポーツ競技に効果が現れるよう補助的な手段から専門的な手段へとトレーニング効果を転移させていくこと、すなわち各手段の関係性を階層構造的に把握しておくことが必要になる (Young, 2006; Zatsiorsky and Kramer, 2006; 岩竹・図子、2011; 図子、2012)。

プライオメトリクスは同じエクササイズであっても行い方によって大きく特性の異なる運動が形成されること、また一定水準の技術性が確保されていないと、適切なトレーニング効果を引き出すことができなくなることが指摘されており (図子、2012)、多くのプライオメトリクス手段の中でも技術性の高い HSJ (Radcliffe and Farentinos, 1999; 図子、2006、2012) を用いる際には、特に留意する必要があると考えられる。そこで本研究では、多くの水平・片脚型スポーツにおける専門的なプライオメトリクスとして用いられている HSJ の実施に対する階層構造モデルについて、本研究結果と後述するトレーニングの原則、先行研究の知見を用いて検討することとする。

構築した階層構造モデルを Fig.7 に示した。この階層構造モデル構築に際して、本研究では質量-ばねモデル (McMahon and Cheng, 1990) により、踏切中の身体を捉えた際の挙動に着目し、短縮-伸長運動のみで遂行される VDJ の遂行能力が下位構造、短縮-伸長運動によってのみ遂行されるが片脚において踏切動作を行う VSJ の遂行能力がそれより上位に位置し、これらに回転運動が加わり複雑性が増した HSJ の遂行能力が上位構造となる階層構造関係を構築した。この構築作業は、両脚踏切の運動から片脚踏切の

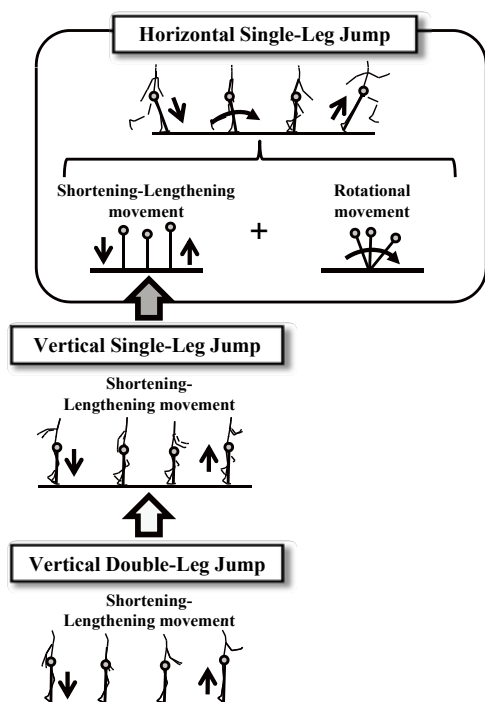


Fig.7 Hierarchical structure relationship among jump-events performance, HSJ ability, VSJ ability and VDJ ability.

運動へ、高さを目指すその場での運動から距離を目指す移動運動へ、最終的な HSJ に対し動作が段階的に下位から上位へと移行するというトレーニングの原則 (Young, 2006; Zatsiorsky and Kramer, 2006; 岩竹・図子, 2011; 図子, 2012) に則ったものである。このことは、専門性 (特異性) の原則、もしくは漸進性の原則としても知られており、単純な運動から複雑な運動へ動作が段階的に移行することに基づいている。

また、先行研究 (荻山ほか, 2012; 2013; 荻山・図子, 2014; Kariyama et al., 2017) では、HSJ、VSJ、VDJ それぞれを構成する動作の相違が明らかになっている (Fig.1)。すなわち、VDJ では特に 3 次元的な運動特性が確認されず、主に矢状面上における下肢 3 関節の屈曲伸展運動によって遂行されている一方、VSJ では VDJ と同様に下肢 3 関節の屈曲伸展運動が遂行されているものの、片脚運動の特性である股関節の内外転運動 (骨盤の下制と拳上) や、それに伴う体幹の側屈運動も遂行されており、VDJ よりも複雑な動作により構成されていることが理解できる。また HSJ では、VDJ および VSJ と同様に下肢 3 関節の屈曲伸展運動、さらに VSJ において示された片脚運動の特徴である股関節内外転運動、体幹の側屈運動が顕著に発生しており、加えて股関節内外旋および体幹の回旋運動も発生

していることから、より複雑な動作により遂行されていると推察される。以上のことから判断すると、VDJ から VSJ、さらに HSJ へと繋がる階層構造性は、それぞれに共通して短縮-伸長運動が内在していることに加え、各種ジャンプ運動を構成する身体部位の動きが、段階的に複雑になっていることからトレーニングの原則を満たしており、モデル構築の妥当性が伺える。

以上の階層構造モデルを用いることで、水平・片脚型スポーツにおいて必要な SSC 運動の遂行能力を段階的に向上させていくことができると思われる。このモデルの更なる解釈は、荻山 (2017) が参考にできる。なお、原因と結果の関係からなる階層構造関係について検討するためには、相関関係からみた関係性の有無に加えて、一方の変数が時間的に先行して他方に影響を及ぼしたことにより結果が生じること (時間的先行性)、さらに第 3 の変数による疑似的な関係性の有無 (疑似相関性) などについても検討する必要がある (豊田ほか, 1992; 山本・小野寺, 2002)。そのため統計手法としては共分散構造分析などの統計手法が用いられているものの、その分析には解釈に多くの労力を割き、さらに多くの対象者を必要とするために、容易に用いることはできないというデメリットが存在する。そのため本研究では、複雑な統計的手法を用いなくとも、上記のようにトレーニングの原則、先行研究や本研究で明らかになった知見を参考にすることで、VDJ から VSJ、さらに HSJ へとつながる階層構造モデルにおける妥当性や信頼性を確保することができるものと考え、階層構造モデルの構築を試みた (荻山・図子, 2013)。

V. 結論

本研究では、トレーニング手段を配列する場合に役立つ知見を得ることを目的に、水平・片脚型リバウンドジャンプ (Horizontal Single-leg rebound Jump: HSJ)、鉛直・片脚型リバウンドジャンプ (Vertical Single-leg rebound Jump: VSJ)、鉛直・両脚型リバウンドジャンプ (Vertical Double-leg rebound Jump: VDJ) の相互関係性について、各種ジャンプに共通して内在する質量-ばねモデルにおける短縮-伸長運動の挙動に着目し、検討した。陸上競技の跳躍および混成種目を専門とする男性 15 名を対象に、HSJ、VSJ および VDJ を行わせ、各ジャンプの遂行能力 (VSJ および VDJ の RJ-index、跳躍高、踏切時間、HSJ の跳躍距離、踏切時間)、各ジャンプの質量-ばねモデルにおける短縮-伸長運動の挙動 (短縮速度、伸長速度、

Stiffness)を算出した。主な結果は、以下の通りである。

- 1) HSJ、VSJ および VDJ の遂行能力それぞれの間に有意な相関関係が認められた。
- 2) HSJ、VSJ および VDJ は共通して、跳躍距離(跳躍高)は伸長速度との間に、踏切時間は Stiffness との間に有意な相関関係のあることが認められた。
- 3) HSJ、VSJ および VDJ の伸長速度それぞれの間、さらに Stiffness それぞれの間において有意な相関関係が認められた。

以上の結果から、HSJ、VSJ と VDJ の遂行能力間には関係性があり、それには共通したばねモデルの挙動(短縮-伸長運動)の存在が影響していることが示された。

付記

本稿は、2016年6月2日に故人となられた図子浩二先生(当時、筑波大学体育系教授)と共に取り組んできた研究成果です。図子先生には、研究に必要な全ての過程において多大なるご指導を賜りました。改めて、心からのご冥福をお祈りいたします。

文献

- 阿江通良(1996)日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. *J. J. Sports Sci.*, 15: 155-162.
- 遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣 貢(2007)リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究. *体育学研究*, 52: 149-159.
- 岩竹 淳・北田耕司・川原繁樹・図子浩二(2008)ジャンプトレーニングが思春期後期にある男子生徒の疾走能力に与える影響. *体育学研究*, 53: 353-362.
- 岩竹 淳・図子浩二(2011)思春期後期にある生徒の疾走能力に対するプライオメトリックトレーニングの有効性. *陸上競技研究*, 85: 2-11.
- 荻山 靖(2017)各種跳能力におけるリバウンドジャンプ能力の位置づけ. *体育の科学*, 67: 226-231.
- Kariyama, Y., Hobara, H., and Zushi, K. (2017) Differences in take-off leg kinetics between horizontal and vertical single-leg rebound jumps. *Sports Biomech.*, 16: 187-200.
- 荻山 靖・遠藤俊典・藤井宏明・森 健一・尾縣 貢・図子浩二(2012)片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプの動作および力発揮特性: 両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプと比較して. *体育学研究*, 57: 143-158.
- 荻山 靖・藤井宏明・森 健一・図子浩二(2013)片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違. *体育学研究*, 58: 91-109.
- 荻山 靖・図子浩二(2013)陸上競技跳躍種目のパフォーマンス向上に対するバウンディングとリバウンドジャンプの用い方に関するトレーニング学的研究. *トレーニング科学*, 2: 41-53.
- 荻山 靖・図子浩二(2014)跳躍方向の異なるバウンディングにおける踏切脚の力発揮特性. *体育学研究*, 59: 397-411.
- 荻山 靖・図子浩二(2015)バウンディングにおける Stiffness 特性へ影響する踏切脚の力およびパワー発揮: リバウンドジャンプとの比較から. *体育学研究*, 60: 137-150.
- 荻山 靖・図子浩二(2016)下肢 Stiffness 特性がバウンディングの踏切動作に及ぼす影響. *体育学研究*, 61: 435-448.
- 木越清信・磯部 慶・加藤彰浩(2012)特徴の異なるバウンディング運動における力およびパワー発揮の特異性. *陸上競技学会誌*, 10: 1-10.
- McMahon, T. A., and Cheng, G. C. (1990) The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J. Biomech.*, 23 (Suppl 1) : 65-78.
- Radcliffe, J. C., and Farentinos, R. C. (1999) *High-Powered Plyometrics (first edition)*, Champaign, IL: Human Kinetics, pp.41-96, 133-151.
- 豊田秀樹・前田忠彦・柳井晴夫(1992)原因をさぐる統計学—共分散構造分析入門. 講談社:東京, pp.54-66, 99-132.
- Wells, R. P., and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: *Human Locomotion 1 (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics)*, pp. 92-93.
- 山本嘉一郎・小野寺孝義(2002)Amosによる共分散構造分析と解析事例(第2版). ナカニシヤ出版:京都, pp.1-22.
- Young, W. B. (2006) Transfer of strength and power training to sports performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 1: 74-83.
- Zatsiorsky, V. M., and Kramer, W. J. (2006) *Science and Practice of Strength Training*, second edition. Champaign, IL: Human Kinetics, pp.6-9.
- 図子浩二(2006)跳躍動作とその指導・トレーニング-プライオメトリックトレーニングに注目して. *トレーニング科学*, 18: 297-305.
- 図子浩二(2012)プライオメトリクス. *体育の科学*, 62: 44-50.
- Zushi, K., Ishii, Y., and Elliott, B. (2005) Changes on Spring-Like Leg Behavior According to different Touch Down Velocities in Drop Long Jump. *Proceedings of the XIXth Congress of the International Society of Biomechanics*, Cleveland, USA, 932.
- 図子浩二・高松 薫(1995)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-筋力および瞬発力に着目して-. *体力科学*, 44: 147-154.
- 図子浩二・高松 薫・古藤高良(1993)各種スポーツ競技者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.