

平成 30 年 6 月 24 日現在

機関番号：33402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16511

研究課題名(和文) 各種筋力・パワートレーニング手段における階層構造モデルの構築

研究課題名(英文) Hierarchical structure relationship for strength and power training

研究代表者

苅山 靖 (Kariyama, Yasushi)

山梨学院大学・スポーツ科学部・講師

研究者番号：30734660

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまでに検討してきたジャンプ運動よりも下位に位置づく筋力・パワートレーニング手段の関係性について力学的な視点から検討し、申請者らの先行研究と合わせて論考することで、基礎的な筋力から高度なジャンプ運動に至る階層構造モデルを構築することを目的とした。その結果、各運動における下肢関節力学量に類似性のあることが認められた。本研究では、上述の結果と我々の先行研究の結果を合わせて論考し、基礎的な筋力の向上から高度なジャンプ運動に至る一連の階層構造モデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a hierarchical structure relationship for strength and power training by 1) investigating the mechanical relationship between various squat and jump exercises and by 2) referencing our previous studies. There are significant relationships at lower-limb joint work (hip, knee, and ankle) between various squat and jump exercises. We developed a hierarchical structural model for strength and power training using various squats and jump exercises, by discussing our results and our previous studies.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：トレーニング効果の転移 ジャンプ 片脚・両脚 ウェイトトレーニング プライオメトリックトレーニング バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

多くのスポーツ競技では、下肢が大きなパワーを発揮することが高い競技力の達成に貢献する。このパワー発揮能力を向上させるための方法として、ジャンプ運動を用いた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。プライオメトリクス手段としてのジャンプ運動は、同じ運動であっても行ない方によって特性が大きく変化すること、一定水準の技術や体力が確保されていないと適切な効果が引き出せないことが指摘されている(Radcliffe and Farentinos, 1999; 図子, 2012)。

スポーツトレーニングを効果的に遂行するためには、トレーニング手段間の類似性を把握すると共に各手段の構造的相互関連性を推論しながらそれらを配列し、それぞれにおけるトレーニング効果の転移を狙うことが重要になる(Young, 2006; Zatsiorsky, 2006; 図子, 2008; 2012)。上述のように、このことはプライオメトリクスにおいても同様であるため、申請者はこれまでに技術性や負荷の高いジャンプ運動(Radcliffe and Farentinos, 1999; 図子, 2012)の実施に対する階層構造モデルについて検討し、高度なジャンプ運動を実施する前提条件として高めておくべき諸能力とその機序を示してきた。しかしながら、トレーニング現場ではこのモデルで下位に位置づくリバウンド型ジャンプそのものが適切に遂行できない選手も存在する。そのために、階層構造的なプライオメトリクスを実施するためには、リバウンド型ジャンプよりも更に下位構造に位置づく諸能力との関係性について検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では大きく2つの研究課題を設定する。まず、申請者がこれまでに検討してきた基礎的手段であるリバウンド型ジャンプよりも、さらに下位構造のジャンプ運動、そしてウェイトトレーニングで用いられるスクワット運動の階層構造関係について、各運動の力学量から検討する【課題1】。そして、課題1の結果と共に申請者の先行研究の知見を合わせて論考することで、基礎的な筋力の向上から高度なジャンプ運動に至る、一連の階層構造モデルを構築する【課題2】。

【課題1】各種筋力・パワートレーニング手段における相違点および類似点の検討

【課題2】課題1および申請者の先行研究から導き出される各種筋力・パワートレーニング手段の階層構造モデルの構築

3. 研究の方法

【課題1】

(1) 対象者

筋力・パワートレーニングを定期的実施している男子競技者14名(年齢:21.1 ± 1.7

year、身長:1.76 ± 0.07 m、体重:68.0 ± 4.6 kg)

(2) 実験試技

下記実験試技は、いずれも片脚および両脚で実施した。

リバウンド型ジャンプ

できるだけ踏切時間を短くかつ高く跳ぶことを指示し、立位姿勢からその場で5回連続して跳躍するリバウンド型のジャンプ運動(苅山ほか, 2013)を実施した。両脚リバウンド型ジャンプをD-RJ、片脚リバウンド型ジャンプをS-RJとした。

垂直跳(プレス型ジャンプ)

できるだけ高く跳ぶことを指示し、立位姿勢から沈み込みの反動動作を利用したその場で1回だけ跳躍するプレス型のジャンプ運動を実施した。両脚垂直跳をD-CMJ、片脚垂直跳をS-CMJとした。

スクワット運動

対象者ごとに最も力発揮のしやすい姿勢(膝関節・股関節角度)を事前に決定し、その姿勢から反動動作を利用せず、できるだけ素早く挙上するスクワットを実施した。その際の挙上重量は、スクワットの最大挙上重量に対する、30%、60%、90%とし、片脚試技においては両脚試技の半分の重量を用いた。なお、本報告における両脚および片脚スクワットでは、60%条件を用い、両脚スクワットをD-Sq、片脚スクワットをS-Sqとした。

(3) 測定および測定項目

3次元自動動作分析システム(250 Hz、VICOM MOTION SYSTEMS 社製)およびフォースプラットフォーム(1,000 Hz、KISTLER 社製)を用いて、ジャンプ運動におけるパフォーマンス変数(CMJ:跳躍高、RJ:跳躍高、接地時間、RJ-index = 跳躍高/接地時間)および全ての試技における踏込脚(踏切脚)の力学量(関節トルク、パワー、仕事)を算出した。関節角速度および関節トルクともに、伸展(底屈)および外転を正とした。なお、本報告では関節仕事を指標とし、算出する関節仕事は、全ての試技に共通して内在する、伸展(底屈)または外転トルクによる正の仕事とした。

(4) 統計処理

後述する仮説モデルにおいて、隣接する各運動の変数間における相関係数をPearsonの方法を用いて算出した。なお、有意性は危険率を5%未満で判定した。

【課題2】

課題1における分析結果および申請者のこれまでの研究成果を加え、基礎的な筋力の向上から高度なジャンプ運動に至る、一連の階層構造モデルについて論考した。

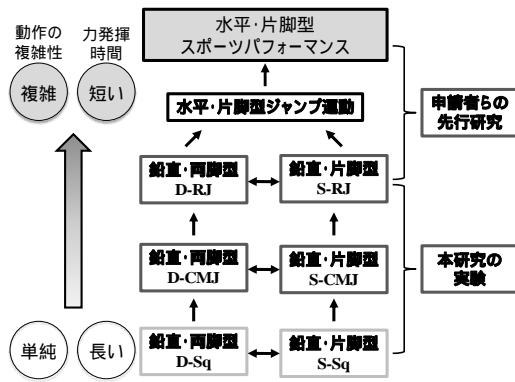


図1 各種筋力・パワートレーニング手段における階層構造関係の仮説モデル。

4. 研究成果

【課題1】

(1) 仮説モデルの構築

多くのスポーツ競技では水平方向へ片脚において大きなパワー発揮が要求される運動が内在していることから、本研究では水平・片脚型スポーツの競技力改善を目指した筋力・パワートレーニング手段における階層構造関係の仮説モデルを設定した(図1)。このモデルは、両脚踏切の運動から片脚踏切の運動へ、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、さらに力発揮時間が長い運動から短い運動へと、動作や筋力発揮時間が段階的に複雑系へと移行する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。よって、本報告ではこの仮説モデルにおける各運動間の関係性について検討する。なお、本研究ではこのような各運動において類似性の認められた項目(下肢筋群の動員様相)を介して『トレーニング効果の転移』が期待できることとした。

(2) 各種ジャンプ運動におけるパフォーマンス変数、各関節仕事の関係性

仮説モデル(図1)に基づき、D-RJとS-RJとの間、D-CMJとS-CMJとの間、さらにD-RJとD-CMJとの間、S-RJとS-CMJとの間のパフォーマンス変数における関係性について検討した。その結果(表1)各運動におけるパフォーマンス変数の間には、全ての組み合わせに有意な相関関係が認められた。先行研究(図子・高松, 1995)では両脚踏切を用いたD-RJとD-CMJとの間に有意な相関関係のあることは報告されているものの、本研究ではそ

表1 ジャンプ運動におけるパフォーマンス変数間の相関係数

	接地時間	跳躍高	RJ-index
D-RJ vs S-RJ	0.744*	0.858*	0.822*
D-CMJ vs S-CMJ	-	0.806*	-
D-RJ vs D-CMJ	-	0.788*	-
S-RJ vs S-CMJ	-	0.550*	-

*, P < .05

れに加え、片脚条件においても同様の関係性が認められることが示された。

次に、上記の組み合わせにおける関節仕事間の関係性について検討した。その結果(表2)足関節および膝関節の正仕事においては、全ての組み合わせに有意な相関関係が認められたものの、股関節伸展の正仕事においてはD-CMJとS-CMJの間にのみ有意な相関関係が認められた。股関節伸展筋群は、RJのようなリバウンド型ジャンプにおいてはその動員が小さいものの、CMJのようなプレス型ジャンプにおいては多く動員され、跳躍高獲得への貢献が他の関節よりも高いことが報告されている(Bobbert et al., 1987)。このような各ジャンプにおける動員様相の相違が、股関節に関する結果に影響したものと考えられる。これらのことから、ジャンプ運動では踏切様相(両脚・片脚)や跳躍タイプ(リバウンド型・プレス型)の相違に関わらず、足関節と膝関節伸展(底屈)筋群の動員様相に類似性はあるものの、股関節伸展筋群の動員様相は跳躍タイプによって異なる可能性のあることが示された。

表2 ジャンプ運動における関節仕事間の相関係数

	足関節		膝関節		股関節	
	底屈	伸展	伸展	伸展	外転	外転
D-CMJ vs S-CMJ	0.859*	0.576*	0.611*	-	-0.379	-
D-RJ vs S-RJ	0.632*	0.813*	0.177	-	0.485	-
D-RJ vs D-CMJ	0.778*	0.536*	-0.489	-	-0.164	-
S-RJ vs S-CMJ	0.606*	0.832*	-0.019	-	0.537*	-

*, P < .05

また、片脚運動であるS-RJとS-CMJとの間には、股関節外転の正仕事において有意な相関関係が認められた。S-RJとS-CMJは片脚において運動を遂行することから、前額面上における骨盤の水平保持(挙上と下制の制御)とそれによる身体の姿勢保持が必然的に要求される(苅山ほか, 2013; Perry and Burnfield, 2012)。加えて、股関節外転筋群による骨盤の挙上運動は跳躍高獲得に貢献している可能性も報告されている(苅山・図子, 2013; 苅山ほか, 2018; 佐渡・藤井, 2014)。これらのことから、跳躍タイプ(リバウンド型とプレス型)の相違に関わらず、片脚ジャンプにおける股関節外転筋群の動員様相には類似性のあることが示された。

(3) スクワット運動における関節仕事間の関係性

仮説モデル(図1)に基づき、D-SqとS-Sqとの間の関節仕事における関係性について検討した。その結果(表3)股関節外転の正

表3 スクワット運動における関節仕事間の相関係数

	足関節		膝関節		股関節	
	底屈	伸展	伸展	伸展	外転	外転
D-Sq vs S-Sq	0.563*	0.706*	0.647*	-	0.436	-

*, P < .05

仕事を除く全ての関節正仕事において有意な相関関係が認められた。このことは、スクワット運動においては、両脚と片脚において矢状面上における下肢筋群の動員様相に類似性があることを意味している。両脚運動では両脚において骨盤を保持するために、片脚運動で要求される股関節外転筋群による骨盤の水平保持の役割が求められる。このような両脚運動と片脚運動の本来の相違が、股関節外転の正仕事の結果に現れたものと考えられる。

(4) ジャンプ運動とスクワット運動における関節仕事間の関係性

仮説モデル(図1)に基づき、D-CMJとD-Sqとの間、S-CMJとS-Sqとの間の関節仕事における関係性について検討した。その結果(表4)D-CMJとD-Sqの間には足関節、膝関節、股関節伸展の正仕事、S-CMJとS-Sqの間には膝関節、股関節伸展、股関節外転の正仕事において有意な相関関係が認められた。これらのことから、プレス型ジャンプおよびスクワット運動における矢状面上の運動においては、膝関節および股関節伸展筋群の動員様相は両脚および片脚いずれにおいても類似性のあることが示された。また、片脚運動において認められた股関節外転の正仕事における有意な相関関係は、片脚運動における必然的な骨盤制御に対する股関節外転筋群の役割が、S-CMJとS-Sqに共通しての存在することを意味していると考えられる。

表4 ジャンプ運動とスクワット運動における関節仕事間の相関係数

	足関節		膝関節		股関節	
	底屈	伸屈	伸屈	伸屈	伸屈	外転
D-CMJ vs D-Sq	0.555 *	0.532 *	0.621 *	0.438		
S-CMJ vs S-Sq	0.403	0.630 *	0.672 *	0.598 *		

*; P < .05

課題1の結果から、以下の結果が得られた。このような各運動における下肢筋群の動員様相の類似性を介して『トレーニング効果の転移』が期待できるものと考えられる。

スクワット運動からプレス型ジャンプにおいて、膝関節および股関節といった近位部における伸筋群の動員様相に類似性が認められた。

プレス型ジャンプからリバウンド型ジャンプにおいて、足関節や膝関節といった遠位部における伸筋(底屈)筋群の動員様相に類似性が認められた。

片脚で行うスクワット運動からプレス型ジャンプ、リバウンド型ジャンプに共通して、股関節外転筋群の動員様相に類似性が認められた。

【課題2】および結論

申請者らはこれまでに、技術性の高いジャンプ運動を実践する前に高めておくべき基礎的なジャンプ運動とその機序について示してきた(図2、3)。本研究では、これまでに検討してきたリバウンド型ジャンプよりも更に下位構造に位置づく力学的類似性について明らかにできたため、図1に示す基礎的な筋力から高度なジャンプに至る一連の階層構造を、下肢関節レベル、さらには上位に位置づくジャンプ運動への技術(踏切動作; 図2、3)への影響を考慮して用いることが期待できる。

また、片脚運動の遂行に不可欠な股関節外転筋群の動員様相では、本研究で扱った全ての片脚運動において類似性が認められた。さらに申請者らの先行研究では、より上位構造

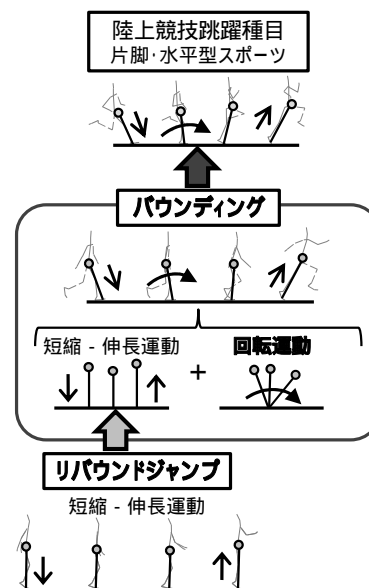


図2 陸上競技跳躍種目を対象とした場合のバウンディングとリバウンドジャンプの階層構造関係(荻山と図子 2013)。

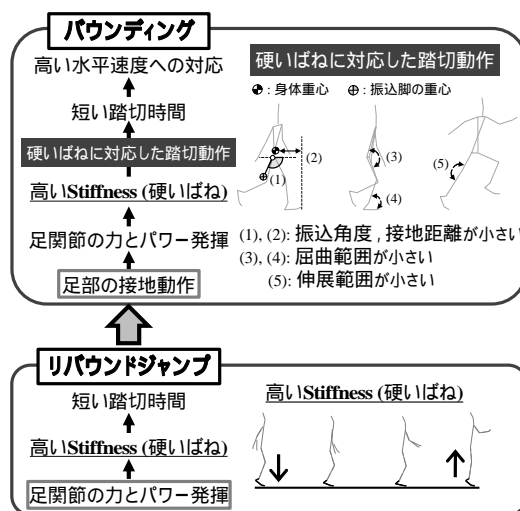


図3 Stiffness特性に着目した場合の階層構造関係(荻山と図子 2014; 2016; 2017)。

に位置する片脚・水平型ジャンプであるバウンディングと S-RJ との間には有意な相関関係が認められている ($n = 11$, $r = 0.816$, $P < .05$; 苅山, 未発表資料)。これらの結果を考慮すると、片脚運動に特徴的な股関節外転筋群の動員様相には、基礎的なウェイトトレーニング手段である片脚スクワットから高度なバウンディングにわたって一連の類似性のあることも考えられる。

本研究および申請者の先行研究における運動(各種スクワット運動、各種ジャンプ運動)は全て「最大努力」にて実施した。これらの結果は、全力で大きな力やパワー発揮を実施する様々な運動は、運動様式が異なっていたとしても、その身体制御には類似性が存在する可能性を示唆するものである。これらのことから、より複雑系かつダイナミックな上位構造に位置する身体運動における下肢筋群の動員様相を変化させるためには、下位構造に位置づくプレス型ジャンプ、さらにはウェイトトレーニング手段における動員様相を事前に変化させておくことが有効、もしくは前提条件となる可能性がある。今後は、下位構造における運動を用いたトレーニングを実施し、その効果からこのモデルの妥当性について検証する必要があるが、その実験デザインやトレーニング内容について検討する際、本研究の結果が具体的な仮説として機能することが期待できる。

なお、ジャンプ運動においては、本研究で扱った正の仕事(コンセントリック局面)だけではなく、それに先立つ負の仕事(エキセントリック局面)がジャンプ運動におけるパフォーマンスに大きく貢献している(Lees et al., 1994; Muraki et al., 2008)。また、S-RJ と片脚・水平型のリバウンド型ジャンプであるバウンディングとの間には、特に、下肢3関節の負の仕事に類似性のあることが示されている(苅山・図子, 2014)。これらのことから、今後はジャンプ運動に重要なエキセントリック局面も考慮した階層構造的性について検討する必要がある。

< 本研究に関連する申請者らの先行研究 >

Kariyama, Y., Hobara, H., and Zushi, K. : Differences in take-off leg kinetics between horizontal and vertical single-leg rebound jumps. *Sports Biomechanics*, 査読あり, 16(2); 187-200, 2017. doi: 10.1080/14763141.2016.1216160

苅山 靖 : 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*, 査読なし, 67 (4); 226-231, 2017.

苅山 靖・図子浩二 : 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*, 査読あり, 61(2); 435-448, 2016. doi: <https://doi.org/10.5432/jjpehss.16006>

苅山 靖・図子浩二 : 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*, 査読あり, 60(1); 137-150, 2015. doi: <http://doi.org/10.5432/jjpehss.14067>

苅山 靖・図子浩二 : ジャンプエクササイズを用いたプライオメトリックトレーニングにおける手段および方法の構築. *バイオメカニクス知見をエビデンスとして用いることの重要性*. *バイオメカニクス研究*, 査読なし, 18 (3); 176-188, 2014.

苅山 靖・図子浩二 : 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*, 査読あり, 59 (2); 397-411, 2014. doi: <https://doi.org/10.5432/jjpehss.13098>

苅山 靖・図子浩二 : 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*, 査読あり, 25(1); 41-53, 2013.

苅山 靖・藤井宏明・森 健一・図子浩二 : 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*, 査読あり, 58 (1); 91-109, 2013. doi: <https://doi.org/10.5432/jjpehss.12034>

苅山 靖・図子浩二 : プライオメトリックトレーニング手段としての各種リバウンドジャンプの用い方 - 両脚型と片脚型および鉛直型と水平型の相違に着目して -. *陸上競技研究*, 査読なし, 92 (1); 2-14, 2013.

苅山 靖・遠藤俊典・藤井宏明・森 健一・尾懸 貢・図子浩二 : 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*, 査読あり, 57(1); 143-158, 2012. doi: <https://doi.org/10.5432/jjpehss.11036>

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計6件)

苅山 靖 : 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. *山梨学院大学スポーツ科学研究*, 査読あり, 1; 9-18, 2018.

苅山 靖 : 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*, 査読なし, 67 (4); 226-231, 2017.

Kariyama, Y., Hobara, H., and Zushi, K. : Differences in take-off leg kinetics between horizontal and vertical single-leg rebound jumps. *Sports Biomechanics*, 査読あり, 16(2); 18

7-200, 2017. doi: 10.1080/14763141.2016.1216160

苅山 靖・岡子浩二：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，査読あり，61(2)；435-448, 2016. doi: <https://doi.org/10.5432/jjpehss.16006>

(他 2 件)

〔学会発表〕(計 7 件)

苅山 靖：ジャンプ運動からみた“ばね能力”を前提とするスプリント走動作：競技力に至る階層構造に着目したトレーニング学的研究．日本コーチング学会第 29 回大会，2018．

苅山 靖・林 陵平・岡子あまね・岡子浩二：骨盤の挙上運動を引き出すための片脚スクワットを用いたトレーニング方法論：姿勢と台高の相違に着目して．第 29 回日本トレーニング科学会大会，2016．(奨励賞)

(他 5 件)

6．研究組織

(1)研究代表者

苅山 靖 (KARIYAMA, YASUSHI)

山梨学院大学・スポーツ科学部・講師

研究者番号：30734660