

跳躍競技者における両脚・片脚スクワット運動の負荷特性： 両脚・片脚レッグプレスとの比較から

Load characteristics of bilateral and unilateral strength during the squat in jumpers:
Comparison with bilateral and unilateral leg press

吉 田 孝 久 (国立スポーツ科学センター スポーツ情報研究部)

大山 卞 圭悟 (筑波大学人間総合科学研究科)

宮 地 力 (国立スポーツ科学センター スポーツ情報研究部)

村 木 征 人 (筑波大学人間総合科学研究科)

Takahisa Yoshida *

Keigo Ohyama Byun **

Chikara Miyaji *

Yukito Muraki **

Abstract

The purpose of this study was to compare the strength abilities of the squat and the leg press in bilateral and unilateral conditions, and to clarify the relationships between these types of leg strength, subjects' performances and the results of field tests. Sixteen male jumpers in athletics were selected as subjects. They performed the isometric quarter squat and leg press in bilateral and unilateral conditions. Target strengths were peak force strength (Fmax), relative force strength (rF) and explosive strength (Fexp). The sum of strength in the unilateral condition (UL) was compared to strength in the bilateral condition (BL). The subjects also performed a standing jump (SJ), counter movement jump (CMJ) and rebound drop jumps (RDJ) as the field tests. DJindex was calculated from RDJ. Their personal best (PB) and season best (SB) were compared with standards on IAAF scoring tables.

The results were as follows,

1. Peak force strength of BL squat was significantly lower than the squat strength of UL and the leg press strengths of BL and UL.
2. Explosive strength during the leg press was significantly higher than the strength of the squats but there was no significant difference in explosive strength between BL and UL during the leg press and the squats.
3. There were significant positive relationships between DJindex and squat strength, which included relative force strength (rF) and explosive strength (Fexp) during the bilateral condition, and peak force strength (Fmax), relative force strength (rF) and explosive strength (Fexp) during the unilateral condition. However, there were no relationships between the field tests and leg press strength.

Key words : squat, leg press, bilateral, unilateral, field tests

スクワット, レッグプレス, 両脚, 片脚, フィールドテスト

*Department of Sports Information, Japan Institute of Sports Sciences

**Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

I. 緒 言

陸上競技の跳躍種目は、助走によって得られた水平方向のスピードを、踏切動作によって垂直方向に変換することで高さや距離を争う競技である。踏切局面では、助走でのスピードを効率よく変換する跳躍技術とフィールドテストに代表される垂直跳やリバウンドジャンプなどの跳躍力が基礎的な体力要素として必要とされている。フィールドテストの跳躍能力に着目すると、これは脚の伸展力と関係が深く、反動なし垂直跳の跳躍高とスクワットにおける筋力との間に正の相関関係が示されている（ザチオルスキー、1972）。こうした背景から、トレーニングの現場では脚伸展力を高めるトレーニングとしてスクワット運動が広く採用されている。そして、この運動の足位置は左右開脚の平行ポジションにし、両脚同時による屈曲・伸展によって行われることが一般的である。Zhuk and Martynenko（1990）は、陸上競技における跳躍運動のほとんどが片脚による力発揮であるのに、この種の筋力トレーニングでは両脚で行われていることから片脚スクワットを推奨している。片脚では、バーベルなどの負荷が両脚と比べて半分で済むため、脊柱や腰部に対する負担も小さく、傷害予防にもなるとしている。しかし、彼らのこうした提言はトレーニング現場から得られた経験則および批判的検討によるものでデータの提示はなされていない。

吉田ら（2003）は膝角度90度と120度による両脚スクワットによる最大筋力（以下、BL: Bilateral）と左右それぞれの片脚スクワットの最大筋力の合計（以下、UL: Unilateral）の比較を行っている。その結果、膝角度が90度のとき、BLはULのものより約6%の低下であったが、120度ではBLはULよりも約27%も低く、顕著な差がみられた。下肢の多関節運動では、膝角度と静的最大筋力の関係から、膝関節角度が大きくなると脚伸展力は増大することが知られている（Linford and Rarick, 1968; Huges-Jones, 1947）。そして、スクワットのように最遠位部の体節に自由な動きを制限する外力がかけられた状態であるクローズド・キネ

ティック・チェーン（エレンベッカー・デービス、2003）では、出力は最も低い部分に規定される（山下、2007）。出力差がみられた膝角度120度での両脚スクワットでは、膝角度と静的最大筋力の関係から脚伸展力は大きくなるが、体幹部の支持機能によって出力が制限されてしまうため脚伸展力が出力に反映されない。ところが、片脚スクワットでは脚伸展力は両脚と比べて半分ですむため、体幹部の支持機能の範囲に収まることで脚伸展力が出力される。こうした出力機構の違いが両者に差が生じた理由と考えられた。ここで、両脚スクワットで出力制限の要因と考えられた体幹部の支持機能は、跳躍運動において地面反力を効率よく跳躍力に変換するために必要な作用線上に身体各部を配置する能力、いわゆる軸づくりをする上で重要とされる。よって、両脚スクワットでは脚伸展力だけでなく、体幹部の支持機能を向上させることもトレーニングの目的とされ、片脚では脚伸展力の強化に主眼を置いたトレーニングのように使い分けが必要であることが示唆された。一方、BLは両側性筋力低下（Henry and Smith, 1961; Schantz et al, 1989; 大築, 1997; 小田, 1998）によってULよりも出力が低下した可能性の指摘もある。そこで、出力差の大きかった膝角度120度でのスクワットと、体幹部の支持機能を排除した下肢による伸展力とされるレッグプレスでのBLとULの出力比較から、出力低下の要因を検討し、スクワットのトレーニング意義を明確にする必要がある。また、スクワットのように体幹部の支持能力を有する立位の運動は、効率の良い地面反力を得るために必要な軸づくりのトレーニングと考えられるが、ここでの出力と跳躍種目や類似種目の専門的体力指標とされるフィールドテストとの関係を明らかにすることで、スクワットのトレーニング意義が脚筋力だけでなく、体幹部の支持機能の改善にもあるとする実践面への示唆を提示することもできよう。

以上のことから、本研究では両脚および片脚でのスクワットとレッグプレスの出力比較から両脚スクワットでみられた出力低下の原因を検討し、これらの出力とフィールドテストおよび競技成績

との関係からスクワットのトレーニング意義を明らかにすることを目的とした。

Ⅱ. 研究方法

1. 被験者

被験者には、大学陸上競技部で跳躍種目を専門とする男子競技者 16 名（年齢: 22.3 ± 2.5 歳、身長: 1.77 ± 0.05 m, 体重: 68.1 ± 5.3 kg）の協力を得た。Table 1 は、専門種目ごとに被験者の身体的特徴の平均値と標準偏差を示している。

被験者の競技成績は、異なる種目間の競技レベルを横断的に比較するために考案された IAAF Scoring Table ver. 2003 を用いて自己最高記録(PB) および 2007 年のシーズンベスト記録 (SB) を得点化した (PB score: 813.2 ± 142.0 , SB score: 774.8 ± 122.8)。Table 2 は、専門種目ごとに PB, PB score, SB, SB score の平均値と標準偏差を示している。

なお、実験を行うにあたり、倫理規定に則り被験者には事前に本研究の目的、方法および実験に伴う危険性などを十分説明の上、任意の実験参加

に対する同意を得た。

2. 実験運動

(1) スクワットによる脚伸展力

立位による脚伸展力の測定では、膝関節角度を 120 度に設定した状態から全力での静的最大筋力発揮を両脚同時と片脚ごとに行わせた。その際には、両脚、片脚スクワット共に支持脚の外果と肩峰とを結ぶ線がフォースプラットフォームと垂直になるように動作を規定した。また、片脚時の測定では自由脚をやや後方に位置した姿勢で行わせた。

怪我の予防のため、十分なウォームアップを行ってから測定を開始し、ウォームアップ試技として両脚同時による全力発揮の試技を 1 回行ってから本試技を行った。試技では反動動作を使わないようにした中で、スタートから最大努力で出来るだけ早く最大値まで到達するようにして、最大出力に達してから 2 秒程度保持するよう指示した。試技の順番は、運動の習熟による出力変化を抑えるため、膝角度と脚の順序ともにランダムとし、試技回数は各 1 回とした。また、疲労の影響

Table 1 Characteristics of the experimental subjects.

Event	n	Height (m)	Weight (kg)	Age (years)
HJ	2	1.80 ± 0.06	72.8 ± 6.7	21.5 ± 3.5
PV	1	1.68	61.0	24.0
LJ	5	1.78 ± 0.04	71.4 ± 4.5	21.2 ± 1.8
TJ	8	1.77 ± 0.05	65.7 ± 3.9	20.9 ± 2.9

HJ: High jump, PV: Pole vault, LJ: Long jump, TJ: Triple jump

Table 2 Mean and standard deviation of the personal best record (PB), PB score, season best record (SB) and SB score by event.

Event	n	PB(m)	PB score	SB(m)	SB score
HJ	2	2.10 ± 0	962.0 ± 0	2.08 ± 0.04	938 ± 33.9
PV	1	5.20	1014.0	5.20	1014.0
LJ	5	7.04 ± 1.11	927.6 ± 228.9	6.96 ± 1.04	910.2 ± 214.0
TJ	8	15.31 ± 0.90	973.8 ± 96.7	14.83 ± 0.88	922.0 ± 93.8

HJ: High jump, PV: Pole vault, LJ: Long jump, TJ: Triple jump

PB score and SB score are calculated from IAAF scoring table.

を避けるため、試技間には十分な休息を設けた。

(2) レッグプレスによる脚伸展力

スクワットと比べて体幹部の支持筋力が出力に影響を及ぼさないと考えられる脚斜上挙位でのレッグプレス装値（レッグプレス/ハックスクワットマシン）を用いた。この装置は大学トレーニング室に設置された競技者を対象としたもので、被験者も使用経験を有するものであった。

実験運動は両脚同時と片脚のみ（踏切脚と振上脚）による静的レッグプレスで、膝関節角度を120度に設定した状態から脚の伸展運動を行わせた。測定時の足の位置は、両脚測定時はフットプレスの中央部に肩幅と同程度のスタンスで置くようにし、片脚測定時は作用脚がフットプレスの中央付近で最も力が入る場所に置くように指示した。このとき、腕や自由脚の動作が出力に影響を及ぼすことを避けるため、片脚測定時の自由脚は空中に保持した状態にさせ、両腕は胸の前で組む姿勢をとらせた。試技では反動動作を使わないようにした中で、スタートから最大努力で出来るだけ早く最大値まで到達するようにし、最大出力に達してから2秒程度保持するよう指示した。

試技前にはスクワットの測定と同様に、ウォームアップ試技として両脚同時による全力発揮を1回行った後、本測定をおこなった。試技回数は各1回とし、運動の習熟による出力変化を抑えるため脚の順序をランダムにして行った。また、疲労の影響を避けるため、試技間には十分な休息を設けた。

(3) ジャンプ運動

跳躍選手に必要とされる動的な脚伸展力との対応関係をみるため、フィールドテストとして、反動なし垂直跳（SJ）、反動あり垂直跳（CMJ）、5回連続リバウンドジャンプ（RDJ）をマットスイッチ上で行い、滞空時間および接地時間を測定した。運動課題は、いずれの跳躍も最大跳躍高の獲得とした。このとき腕の振込み、振上げ動作による影響を制限するため、両手は腰にあてて跳躍するように指示した。SJでは膝を屈曲させた状態から上体の反動動作を使わないようにし、CMJでは立位状態から脚および上体の反動動作を用い

て運動課題が達成できるように意識させた。RDJではこうした運動課題に加え、できるだけ短い接地時間で跳ぶように指示した。

3. 測定法および算出項目

(1) 脚伸展力

スクワットの伸展力は、アイソメトリックラックの基盤に設置したフォースプラットフォーム（Kistler社製 9287B）から記録した。レッグプレスの脚伸展力は、マシンの下部にチェーンとロードセル（共和電業社製 LTZ-500KA）を接続して張力を測定した。得られた出力は、A/Dコンバータを介して1kHzのサンプリングレートでパソコンに取り込み、ローパスフィルタリングを施した。

レッグプレスでは、静的脚伸展力とレッグプレスマシンのフットプレスの重量である495Nを加算したものを静的最大筋力とした。ここでのフットプレスの重量は、ロードセルを用いた直接法により計測した。何種類かの重量をフットプレスに取り付けて測定したが、フットプレス自体の重量に違いが見られなかったことから、本研究ではフットプレスとシャフトの摩擦については無視して処理した。

スクワットとレッグプレスの測定によって得られた静的最大筋力（以下、最大筋力：Fmax）から、体重当たりの筋力である相対筋力（rF）を算出した。最大筋力に達するまでの筋力－時間関係の最大勾配をみるため爆発的筋力（ $F_{exp} = \Delta f / \Delta t$ ）を算出した（Schmidtbleicher, 1992；Stone, 2007）。

(2) フィールドテスト

マットスイッチ上のジャンプ運動によって得られた滞空時間（ t_a ）と重力加速度（ $g = 9.81\text{m/s}^2$ ）から下記の落下の法則に基づいて跳躍高を算出した（但し空気抵抗は無視）。得られた跳躍高のうちRDJについては、接地時間（ t_c ）を用いてDJindex（図子ほか, 1993）を以下の式から求めた。

$$\begin{aligned}\text{跳躍高} &= 1/2g (t_a/2)^2 \\ \text{DJindex} &= 1/2g (t_a/2)^2 / t_c\end{aligned}$$

4. 用語の定義

- ① 出力：スクワットとレッグプレスの実験により，最終的に発揮された最大筋力，相対筋力および爆発的筋力を総称して出力として用いる．
- ② 脚伸展力：スクワットおよびレッグプレス測定時に脚によって発揮される筋力を脚伸展力として用いる．特に，スクワットでは，脚伸展力と体幹部の支持機能が出力とされることから，脚伸展力を脚に限定したものとする．
- ③ 体幹部：胸部および腰部脊柱を体幹部として用いる．
- ④ 体幹部の支持機能：体幹部の基本運動には屈曲，伸展と過伸展，側屈，回旋があるが，このうち姿勢保持に関わる筋群を特定するのは困難である．また，脊柱の安定性と可動性に影響する要因は，椎間円板の圧力と張力，脊柱の前後カーブ，椎間円板の相対的な厚さと形，靱帯の厚さと強さ，関節小面の方向および傾斜，棘突起の大きさと傾斜，肋骨と脊柱との関節など（ウェルズ，1979）様々な要因が関係している．したがって，出力に影響をおよぼすこれらの要因を総称して体幹部の支持機能として用いる．
- ⑤ BL：両脚試技によって得られた出力は BL とした．スクワットにおける BL は BL スクワット，レッグプレスでは BL レッグプレスとして区別した．
- ⑥ UL：片脚試技による左右の脚によって得られた出力は合計して UL とした．スクワットにおける UL は UL スクワット，レッグプレスでは UL レッグプレスとして区別した．

5. 統計処理

スクワットおよびレッグプレスの測定によって得られた出力は，データ各群の正規性および等分散性を確認し，1元配置の分散分析を行った．有意差が認められたものに関しては，その後 Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った．スクワットとレッグプレスによって得られた脚伸展力と競技成績およびフィールドテストとの関係については，ピアソンの相関係数を算出した．なお，本研究では危険率 5 % 未満を統計的な有意水

準とした．

Ⅲ. 結 果

1. スクワットおよびレッグプレスにおける出力

Fig. 1 はスクワットとレッグプレスで発揮された BL と UL の最大筋力 (Fmax) をニュートン (N) で比較したものを示している．

最大筋力では，スクワットの BL が $3258.9 \pm 631.3\text{N}$ ，UL が $4582.8 \pm 993.8\text{N}$ ，レッグプレスでは，BL が $5071.1 \pm 1030.1\text{N}$ ，UL は $4882.2 \pm 737.5\text{N}$ であった．それぞれの出力を比較した結果，BL スクワットの最大筋力は，UL スクワット，BL レッグプレス，UL レッグプレスより小さく，全てに有意な差が認められた．

体重当たりの相対筋力では，BL スクワットが 4.9 ± 0.7 ，UL スクワットが 6.8 ± 1.2 ，BL レッグプレスが 7.6 ± 1.4 ，UL レッグプレスが 7.3 ± 0.8 であった．

Fig. 2 はスクワットとレッグプレスで発揮された BL と UL の爆発的筋力 (Fexp) を N/ms で比較したものを示している．スクワットでの爆発的筋力は，BL が $7.4 \pm 2.5\text{N/ms}$ ，UL が $9.7 \pm 3.4\text{N/ms}$ ，レッグプレスでは BL が $19.5 \pm 8.6\text{N/ms}$ ，UL が $20.8 \pm 6.8\text{N/ms}$ であった．それぞれの出力を比較した結果，BL スクワットの爆発的筋力は，BL レッグプレスおよび UL レッグプレスのものより小さく，有意な差が認められた．また，UL スクワットについても，BL レッグプレスおよび UL レッグプレスの爆発的筋力よりも小さく，有意な差が認められた．

2. フィールドテスト

Fig. 3 は，フィールドテストでのジャンプ運動で得られたそれぞれの跳躍高 (cm) を比較したものを示している．

フィールドテストの結果は，SJ の跳躍高が $46.5 \pm 4.6\text{cm}$ ，CMJ の跳躍高が $51.5 \pm 5.0\text{cm}$ ，RDJ の跳躍高が $44.7 \pm 6.3\text{cm}$ であった．それぞれの跳躍高を比較したところ，SJ と CMJ，CMJ と RDJ の跳躍高との間に有意な差が認められた．

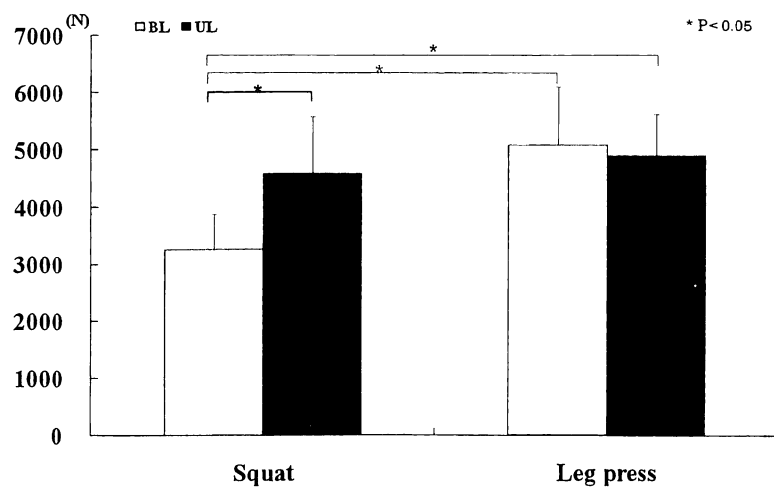


Fig. 1 Comparison of maximum force (F_{max}) between the squat and the leg press in bilateral (BL) and unilateral (UL) conditions.

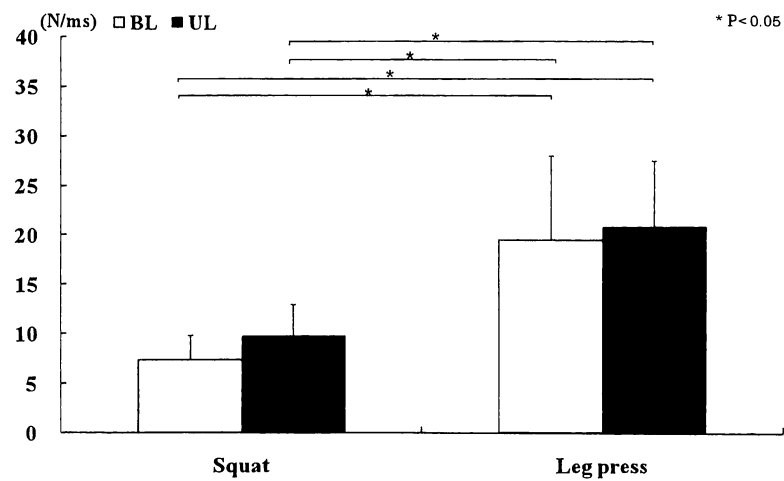


Fig. 2 Comparison of explosive strength (F_{exp}) between the squat and the leg press in bilateral (BL) and unilateral (UL) conditions.

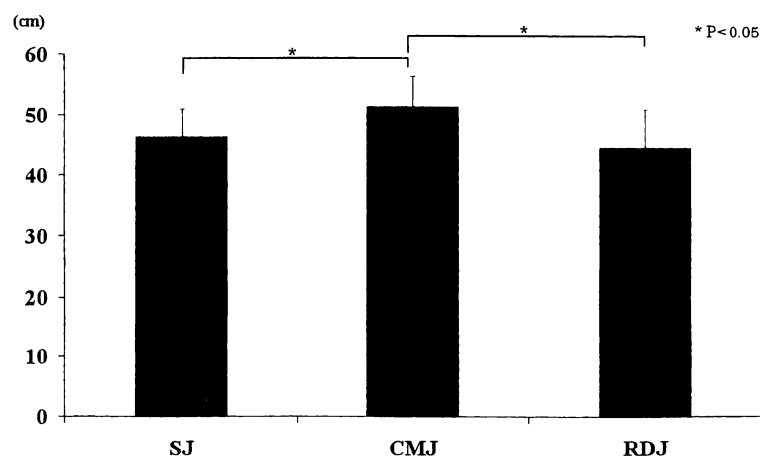


Fig. 3 Comparison of the height between standing jump (SJ), counter movement jump (CMJ) and rebound drop jump (RDJ).

また、RDJ の跳躍高を接地時間で割った DJindex は 3.0 ± 0.5 であった。

3. 項目間の相関関係

Table 3 は、競技成績、フィールドテスト、スクワットおよびレッグプレスの出力を相関行列で示している。Fig. 4 は、測定項目ごとにグループ分けしたそれぞれの相関関係のうち、有意な相関関係が認められたものを矢印で示している。グ

ループは、スクワットによる出力（スクワットグループ）、レッグプレスによる出力（レッグプレスグループ）、フィールドテストの跳躍高および DJindex（フィールドテストグループ）、PB および SB（競技成績グループ）とした。

競技成績グループとフィールドテストグループでは、SB score と RDJ、SB score と DJindex との間に有意な相関関係が認められた。しかし、競技成績グループとスクワットグループおよびレッグ

Table 3 Correlation between performance scores, field tests, output value of the squat and leg press.

	PB scoring	SB scoring	SJ	CMJ	RDJ	DJindex	Sq·B·Fmax	Sq·B·rF	Sq·B·Fexp	Sq·U·Fmax	Sq·U·rF	Sq·U·Fexp	Lp·B·Fmax	Lp·B·rF	Lp·B·Fexp	Lp·U·Fmax	Lp·U·rF	Lp·U·Fexp
PB scoring	1.00	0.92*	0.38	0.23	0.46	0.45	0.16	0.26	0.15	0.24	0.31	0.00	0.17	0.24	0.31	-0.05	0.01	0.15
SB scoring		1.00	0.49	0.41	0.59*	0.56*	0.21	0.32	0.12	0.29	0.36	-0.01	0.30	0.38	0.35	0.08	0.17	0.23
SJ			1.00	0.90*	0.64*	0.53*	0.36	0.39	-0.07	0.46	0.46	0.03	-0.11	-0.21	-0.09	0.16	0.10	-0.23
CMJ				1.00	0.54*	0.42	0.18	0.18	-0.18	0.20	0.18	-0.06	0.00	-0.05	-0.01	0.23	0.24	-0.08
RDJ					1.00	0.75*	0.24	0.38	0.11	0.36	0.46	0.12	-0.07	-0.04	0.20	0.10	0.22	0.15
DJindex						1.00	0.42	0.55*	0.50*	0.52*	0.59*	0.57*	0.09	0.06	-0.14	0.06	0.04	0.16
Sq·B·Fmax							1.00	0.94*	0.30	0.87*	0.70*	0.17	0.40	0.08	-0.46	0.56*	0.18	-0.20
Sq·B·rF								1.00	0.29	0.85*	0.79*	0.19	0.32	0.10	-0.44	0.40	0.16	-0.22
Sq·B·Fexp									1.00	0.43	0.44	0.73*	0.05	-0.03	0.07	-0.14	-0.33	0.36
Sq·U·Fmax										1.00	0.94*	0.42	0.15	-0.12	-0.26	0.31	-0.03	-0.14
Sq·U·rF											1.00	0.48	-0.01	-0.16	-0.16	0.09	-0.11	-0.14
Sq·U·Fexp												1.00	-0.16	-0.25	-0.15	-0.26	-0.43	0.29
Lp·B·Fmax													1.00	0.91*	0.05	0.78*	0.72*	0.21
Lp·B·rF														1.00	0.23	0.54*	0.69*	0.28
Lp·B·Fexp															1.00	-0.10	0.11	0.63*
Lp·U·Fmax																1.00	0.86*	-0.08
Lp·U·rF																	1.00	-0.07
Lp·U·Fexp																		1.00

* $p < 0.05$

Abbreviations mean as follows, PB: personal best, SB: season best, SJ: squat jump, CMJ: counter movement jump, RDJ: rebound drop jump, Sq: Squat, Lp: Leg press, B: bilateral, U: unilateral, Fmax: peak force strength, rF: relative force strength, Fexp: explosive strength.

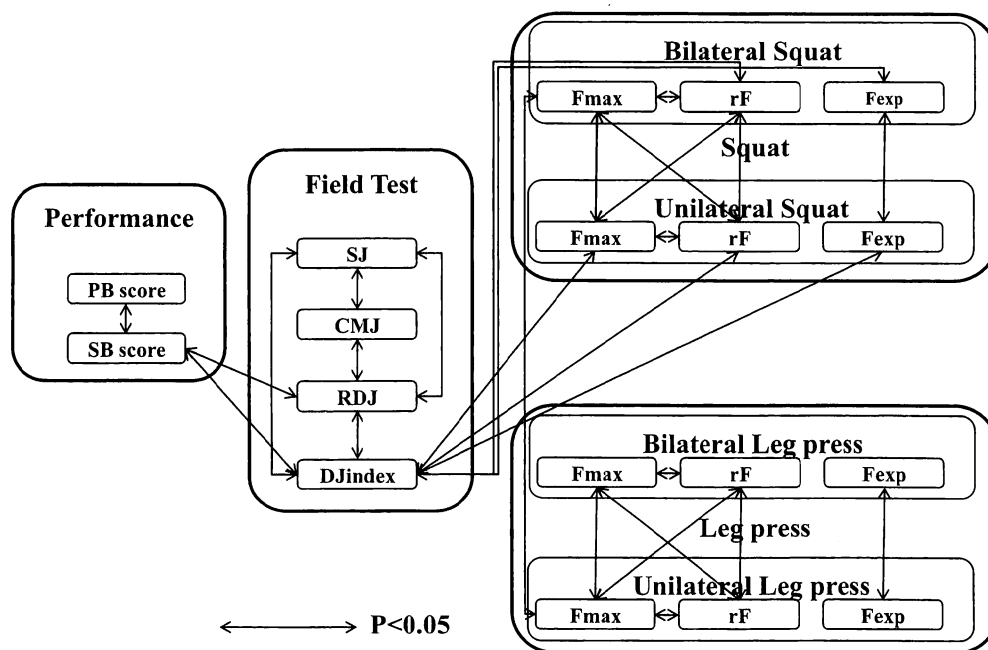


Fig. 4 Relationships between groups of performance, back strength, field tests, strength value of Squat and Leg press. Arrows show the significant correlation.

プレスグループとの間には有意な相関関係はみられなかった。フィールドテストグループとスクワットグループでは、DJindex と BL スクワットの相対筋力、DJindex と BL スクワットの爆発的筋力、DJindex と UL スクワットの最大筋力、DJindex と UL スクワットの相対筋力、DJindex と UL スクワットの爆発的筋力との間に有意な相関関係が認められた。しかし、フィールドテストグループとレッグプレスグループとの間には有意な関係は認められなかった。スクワットグループとレッグプレスグループの間では、BL スクワットの最大筋力と UL レッグプレスの最大筋力との間に有意な相関関係が認められた。

グループ内の相関関係をみてみると、競技成績グループでは、PB score と SB score に有意な相関関係が認められた。フィールドテストグループでは、SJ と CMJ, SJ と RDJ, SJ と DJindex, CMJ と RDJ, RDJ と DJindex との間に有意な相関関係が認められた。スクワットグループでは BL 最大筋力と BL 相対筋力, BL 最大筋力と UL 最大筋力, BL 最大筋力と UL 相対筋力, BL 相対筋力と UL 最大筋力, BL 相対筋力と UL 相対筋力, BL 爆発的筋力と UL 爆発的筋力, UL 最大筋力と UL 相対筋力の間に有意な相関関係が認められた。レッグプレスグループでは、BL 最大筋力と BL 相対筋力, BL 最大筋力と UL 最大筋力, BL 最大筋力と UL 相対筋力, BL 相対筋力と UL 最大筋力, BL 相対筋力と UL 相対筋力, BL 爆発的筋力と UL 爆発的筋力, UL 最大筋力と UL 相対筋力の間に有意な相関関係が認められた。

Ⅳ. 考 察

1. スクワットおよびレッグプレスにおける出力比較

最大筋力 (Fmax) の比較では、Fig. 1 に示されるように BL スクワットが UL スクワット、BL および UL レッグプレスより、いずれも有意に小さかった。運動ごとに BL と UL を比較してみると、スクワットでは UL の最大筋力は BL のものより大きく、有意な差が認められたが、レッグプ

レスは両者の間に有意な差は認められなかった。スクワットと同一角度によるレッグプレスでは BL と UL との間に差が認められなかったのに対し、スクワットでは BL と UL との間に差が認められているということは、両脚スクワットでの出力低下が両側性筋力低下によるものよりは、むしろ体幹部の支持機能によって出力が制限されるためとする先行研究 (吉田ほか, 2003) を支持したものと考えられる。次に BL と UL スクワットの最大筋力をレッグプレスでの出力と比較してみると、BL スクワットは BL レッグプレスおよび UL レッグプレスとの間に有意な差が認められている。一方、UL スクワットは BL および UL レッグプレスの出力との間に差は認められなかった (Fig. 1)。BL スクワットでの最大筋力は、立位による運動であるため出力は脚筋力と体幹部の支持機能の合計が反映される。そして、ここでは体幹部の出力制限によって両脚で発揮される脚伸展力よりも出力は小さくなると考えられる。ところが、レッグプレスは座位姿勢による脚伸展力であるため、体幹部の支持機能による影響を受けにくいことから BL も UL も脚伸展力が出力される。つまり、立位と座位のように姿勢が異なることで、立位姿勢では体幹部による出力制限が生じる。これが、BL スクワットとレッグプレスとの間に差を生じさせた理由と考えられる。一方、片脚スクワット (UL スクワット) も両脚スクワットと同様に立位による運動である。そのため、脚伸展力は体幹部の支持機能を介して出力されるが、片脚では両脚と比べて半分の脚伸展力となるために両脚スクワットほど体幹部の出力制限による影響を受けない。したがって、片脚スクワット (UL スクワット) は体幹部の支持機能が関与する出力ではあるが、その影響を受けない範囲内での脚伸展力であったため、脚伸展力が出力に大きく反映したものと考えられる。

スクワットとレッグプレスそれぞれで得られた BL と UL の爆発的筋力 (Fexp) の比較では、BL スクワットと BL および UL レッグプレス、UL スクワットと BL および UL レッグプレスとの間に有意な差が認められ、同一運動内の BL と UL

との間には有意な差が認められなかった (Fig. 2). 爆発的筋力 (F_{exp}) の出力を運動ごとにみると、スクワットでは BL が $7.4 \pm 2.5 \text{ N/ms}$, UL が $9.7 \pm 3.4 \text{ N/ms}$ であるのに対し、レッグプレスでは BL が $19.5 \pm 8.6 \text{ N/ms}$, UL が $20.8 \pm 6.8 \text{ N/ms}$ と 2 倍以上の差がみられている。このようなスクワットとレッグプレスで大きな差がみられた理由は、スクワットでは出力を発揮するときには下肢のみならず上体とその姿勢を保持しながら発揮される体幹部が影響しているためと考えられる。スクワットのような全身によるクローズド・キネティック・チェーンでは脚筋力と体幹部の筋力によって筋力発揮される。このときの体幹部は、脚筋力に負けずに筋力を発揮することと、脚伸展力の作用線上に配置することが求められる (村木, 1994)。ところが、レッグプレスのように下肢に限定されたクローズド・キネティック・チェーンでは、スクワットと異なり体幹部の支持機能は排除されている。つまり、体幹部を脚伸展力の作用線上に配置する必要がないため、脚伸展力のみが出力として反映されている。レッグプレスでは、こうした体幹部を含まなかったことで脚伸展力を即座に出力として反映できたことが、スクワットの爆発的筋力ものと比べて時間当たりの出力が大きくなった理由と考えられる。

2. 被験者の跳躍能力

フィールドテストにおける跳躍高をそれぞれみてみると、CMJ が最も高く、SJ と RDJ との間には有意な差が認められている (Fig. 3)。こうした跳躍高と競技成績との関係をみてみると、SB score と RDJ や DJindex の間には有意な相関関係が認められているものの、SJ および CMJ との間には認められていなかった (Fig. 4)。瞬発性運動におけるパワー発揮の評価について深代 (1991) がレビューした各種垂直跳における跳躍高の比較でも、本研究と同様に CMJ のものが最も高く、SJ は RDJ と同程度の結果が示されている。そこでは、RDJ のような連続跳躍では、跳躍高は低いものの、床反力は SJ や CMJ の 2 倍、踏切時間は $1/3$ であったとし、SJ や CMJ とは極めて異なる

跳躍のスタイルであることを報告している。

ここでの脚の伸展力に着目すると、RDJ のような連続跳躍では、腱のバネ機構が大きな役割を果たし、筋を支えている (深代, 2000; Kurokawa, 2001)。そして、走ったり跳んだりといった陸上における運動を効率よく行うには作用・反作用の原理から地面反力をうまく利用することが鍵となる。村木 (1982) は、踏切時の脚伸展力を有効にキック力として生かすには、各身体部位による多くの“バネ”によって生まれる部分力積が、互いに相殺しあうことなく、うまく伝導・集積されるための動作のタイミングとコーディネーションを整えること、そして、これらがトータルされたキック力として地面に作用し、反作用力を身体に受ける際の偏心推力 (Eccentric thrust) をできるだけ少なくなるような身体の運びが必要であることを指摘している。本研究において、こうした RDJ や DJindex と SB score との間に有意な相関関係が認められていることは、この運動の競技者が、競技力を高めるためには連続跳躍で必要とされた跳躍力と作用線上への身体配列が求められていたためと考えられる。また、本研究の DJindex は 3.0 ± 0.5 であった。これは多くのスポーツ選手を対象とした図子ら (1993) の研究と同様で、そこでは跳躍選手と短距離選手の DJindex が他の種目の選手に比較して著しく高く、本研究における被験者も、跳躍選手の種目特性として短い踏切時間で大きな跳躍高を獲得していると考えられる。

3. フィールドテストとスクワットおよびレッグプレスの出力との関係

グループごとの関係をみたところ、競技成績グループはスクワットグループおよびレッグプレスグループの出力との間に相関関係が認められなかった。フィールドテストグループとは、レッグプレスグループとの間には有意な相関関係が認められなかったが、スクワットグループとの間に有意な相関関係が認められた (Fig. 4)。

DJindex との間に有意な相関関係が認められたスクワットの出力形態に着目してみると、そこで

は下肢がダイナミックな筋力発揮をしているのに対し、上体は姿勢保持といったスタティックな出力発揮が特徴とされる (Dick, 2007)。スクワットで重量を挙上するには、上体および体幹部の姿勢保持と、下肢によって発揮される筋力の作用線上に上体を配置しなければ負荷を挙上することができない。つまり、作用線上への適正な身体配置、いわゆる「軸づくり」が求められている。また、RDJの跳躍高を接地時間で除したDJindexでは、前述したように、下肢によって発揮された作用線上に身体各部を配置しなければ、効率の良い地面反力を得ることができない。つまり、フィールドテストもスクワットも脚伸展力の作用線上に身体各部を配置する能力、すなわち「軸づくり」が求められていたことが、両者に有意な相関関係が認められた理由と考えられる。一方、レッグプレスは脚による伸展運動である。そのため、上体の姿勢保持に必要とされる体幹部の支持機能を必要としない。したがって、脚伸展中に身体配列するのに必要な体幹の支持機能やこれに関係する筋群への調整機能を必要としなかったことが、フィールドテストとの間に関係がみられなかった理由と考えられる。

爆発的筋力の比較ではレッグプレスの出力がスクワットよりも大きいことが示されていたが (Fig. 2)、フィールドテストとの相関関係はレッグプレスでは認められず、逆にスクワットとの間に認められている (Fig. 4)。これはフィールドテストでは、脚のみでなく、全身のコーディネーションを考慮した中で、時間当たりの大きな筋力発揮が求められているためであろう。したがって、跳躍選手のように専門運動で軸づくりが求められる競技者は、脚伸展力のみでなく、体幹部および上体の身体配列を考慮した中での筋力発揮が必要であると考えられる。

V. 要約および実践面への示唆

本研究の目的は、両脚と片脚によるスクワットとレッグプレスの出力比較から両脚スクワットの出力低下を検討し、立位および座位による出力と

フィールドテストの関係からスクワットのトレーニング意義を明らかにすることであった。被験者は、大学陸上競技部に所属する男子跳躍選手16名を対象とした。実験運動は、脚の伸展力の測定として膝角度120度でのスクワットとレッグプレスを両脚と片脚ごとに行った。フィールドテストは、反動なし垂直跳、反動あり垂直跳、5回連続リバウンドジャンプであった。なお、競技成績は種目間を越えて横断的な評価を行うため得点化して下肢伸展力およびフィールドテストとの対応関係を検討した。両脚と片脚によるスクワットとレッグプレスそれぞれの出力比較と、こうして得られた脚伸展力とフィールドテストおよび競技成績との対応関係を分析した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 最大筋力 (F_{max}) では、体幹部の支持機能の影響を受けるため、BLスクワットがULスクワット、BLレッグプレス、ULレッグプレスに比べて有意に小さかった。
- ② 爆発的筋力 (F_{exp}) については、レッグプレスでは脚伸展力を出力に反映するのに対して、スクワットでは体幹部の支持機能を介して脚伸展力が出力されることで、ULもBLともレッグプレスのものがスクワットよりも有意に大きかった。
- ③ フィールドテストのうち、DJindexはシーズン最高記録 (SB score) との間に有意な相関関係が認められた。このDJindexはBLスクワットにおける相対筋力 (rF)、爆発的筋力 (F_{exp})、ULスクワットにおける最大筋力 (F_{max})、相対筋力 (rF)、爆発的筋力 (F_{exp}) の間に有意な相関関係が認められた。一方、DJindexはレッグプレスとの間に有意な関係は認められなかった。

実践面への示唆として、スクワットは立位で行われるため、脚伸展力とともに体幹部および上体の身体各部を作用線上に配置する必要がある。脚によって発揮される伸展力に負けない体幹部の姿勢保持に関係する筋群も強化することができる。特に、両脚スクワットでは、脚伸展力の強化もさ

ることながら体幹部の支持機能を向上させることにも意義があると考えられる。そして、片脚スクワットでは、身体各部を配置しながらの脚伸展力とされ、脚に対する負荷が両脚スクワットと比べて高くなる。よって、軸づくりをした状態での脚伸展力に主眼を置いたトレーニングとしての可能性が期待される。一方、座位で行われるレッグプレスは体幹部を排除した脚伸展力の運動であるため、腰部に対して不安がある時の脚伸展力を維持、強化するトレーニングとして有効であろう。こうしたことから、両脚と片脚によるスクワットおよびレッグプレスは、それぞれ目的に応じた使い分けが必要になると考えられる。

文 献

- 阿江通良・渋川侃二・橋原孝博 (1980) 高さをねらいとする跳のバイオメカニクス特性, 第5回バイオメカニクス国内セミナー・プロシーディング 1980.
- Dick, W.F. (2007) Sports training principle, 5th edition. A&C Black: London, pp.110-113.
- エレンベッカー・デービス: 山本利春ほか監訳 (2003) CKC エクササイズ, ナップ: 東京, pp.1-7.
- 深代千之 (1990) 跳ぶ科学, 大修館書店: 東京, pp.40-68.
- 深代千之 (1992) 瞬発性運動における発揮パワーの評価ー垂直跳, 階段駆け上がり, ランニングについてー, J.J. Sports Sci., 11 (3): 176-187.
- 深代千之 (2000) 反動動作のバイオメカニクス, 体育学研究, 45: 475-471.
- Henry, F.M. and Smith, L.E. (1961) Simultaneous vs. separate bilateral muscular contractions in relation to neural overflow theory and neuromotor specificity. Res. Quart, 32: 42-46.
- Hugh-Jones, P.H. (1947) The effect of limb position in the seated subject on ability to utilize the maximum contractile force of the limb muscle. J. Physiology, 105: 332-346.
- Kurokawa, S., Fukunaga, T. and Fukashiro, S. (2001) Behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping. J. Appl. Physiol, 90: 1346-1358.
- Linford, A.G., and Rarick, G.L. (1968) The effect of knee angle on the measurement of leg strength of college males, Res. Quart. 39: 582-586.
- 村木征人 (1982) 現代スポーツ実践講座 陸上競技 (フィールド), ぎょうせい: 東京, pp.36-49.
- 村木征人 (1994) スポーツ・トレーニング理論. ブックハウス HD: 東京, pp.104-117.
- 大築立志 (1997) 複数体部の同時使用による筋力低下現象. バイオメカニクス研究, 1(2): 122-131.
- 小田伸午 (1998) 身体運動における右と左, 京都大学学術出版会: 京都, pp.166-169.
- Schantz, P.G., Moritani, T., Karlson, E., and Johansson, E. (1989) Maximal voluntary force of bilateral and unilateral leg extension. Acta Physiol Scand, 136: 185-192.
- Stone, M. H, Stone, M and Sands, W A (2007) Principles and practice of resistance training, Champaign IL, Human kinetics, pp.157-179
- Schmidtbleicher, D. (1992) Training for power events. In: P. V. Komi (Ed.) Strength and power in sport. Blackwell Scientific: London, pp.381-395.
- ウェルズ・ラットゲンズ: 宮畑虎彦訳 (1979) キネシオロジーー身体運動の基礎原理ー, ベースボールマガジン社: 東京, pp. 239-245.
- 山下謙智 (2007) 多関節運動学入門, ナップ: 東京, pp.88-90.
- 吉田孝久・大山圭悟・阿江通良・村木征人 (2003) 両脚および片脚スクワットでの静的最大筋力発揮時の運動特性, スポーツ方法学研究, 16(1): 75-82.
- ザチオルスキー: 渡辺謙訳 (1972) スポーツマンと体力, ベースボールマガジン社: 東京, pp.122-130.
- Zhuk, N. and Martynenko, N. (1990) An alternative to barbells: An alternative asymmetrical method of developing strength and Speed-strength in your track and field athletes. Soviet Sports Review, 25(3): 131-132.
- 図子浩二・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.

平成 20 年 6 月 17 日受付
平成 20 年 11 月 18 日受理