

跳躍選手における両脚・片脚レッグプレスの出力 および筋活動電位の特徴

— 異なる膝関節角度の出力比較から —

吉田孝久¹⁾ 宮地 力¹⁾ 大山卞圭悟²⁾ 杉林孝法³⁾ 村木征人⁴⁾

Characteristics of load and EMG during different knee angled bilateral and unilateral leg press exercises in jumpers

Takahisa Yoshida¹⁾, Chikara Miyaji¹⁾, Keigo Byun Ohyama²⁾, Takanori Sugibayashi³⁾ and Yukito Muraki⁴⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine the load characteristics during different knee angled leg press exercises at bilateral and unilateral conditions. The subjects were fourteen male jumpers in athletics, aged 22yrs. They performed isometric leg press exercise, knee angled 90° and 120° in bilateral and unilateral conditions. Analyzed outputs were the maximum peak forces and the explosive strengths. The sum of the outputs in unilateral conditions (UL) was compared with the output at bilateral condition (BL) at each of knee angles. Due to the comparison of the muscular activities, the selected six athletes of EMG activities were measured during the tests.

- ① With regard to the maximum forces, UL were greater than BL and the maximum forces at 120° knee angle were larger than these at 90° knee angle. BL/UL ratios of the peak force at 90° and 120° knee angles were 91% and 92% respectively (N.S.).
- ② UL of the explosive strength at 120° knee angle was greater than the same strength of BL and UL at 90° of the knee angle significantly.
- ③ As for the EMG activities, the major muscular activities had changed from knee extensor muscles to hip extensor muscles with increase in the knee angles from 90° to 120°. The muscular activities of unilateral conditions were tending to be larger than bilateral condition at each knee angles.

Key words: leg press exercises, bilateral and unilateral condition, knee angle, jumpers

レッグプレス、両脚と片脚、膝関節角度、跳躍選手

I. 緒言

1. 研究の目的

陸上競技の跳躍運動は、助走や踏切りが多くの筋による複合的な筋力発揮であることから下肢の伸展力を強化するのに多関節による伸展運動が採用されることが多い。レッグプレスやスクワットはこの目的に合致した運動として位置づけられ(石井, 1999), 跳躍選手のパワーアップに必要な基礎的運動として紹介されて

いる(村木, 1984)。また、これらは足の位置、膝関節角度、両脚(両側)または片脚(一側)などの条件によって出力や作用する筋に違いが生じると次のように考えられている。

吉田ら(2003)は、立位脚伸展運動であるスクワットで、跳躍選手を対象に膝関節角度が異なるときの両脚試技と一側試技の最大筋力を比較した。膝関節角度90°のときは両側試技も一側試技も同程度の最大筋力を示したが、膝関節角度120°のときは両脚試技の値

-
- 1) 国立スポーツ科学センター
Japan Institute of Sports Sciences
 - 2) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba
 - 3) 金沢星稜大学人間科学部
Faculty of human science, Kanazawa Seiryō University
 - 4) 法政大学スポーツ健康学部
Faculty of Sport & Health Studies, Hosei University

が一側試技の値よりも約27%低下した。直立多関節系の運動で発揮される出力はそのセグメントの中で最も弱い部分に規定される(山下, 2007, pp.88-89)。このことから大きな脚伸展力が発揮される立位運動では、脚伸展力よりも体幹部が出力を制限する要因となったと示した。

さらに吉田ら(2008)は、跳躍選手を対象に、体幹部に影響を受けにくい座位の脚伸展運動であるレッグプレスとスクワットとの出力比較を膝関節角度120°で行った。両側試技でのスクワットの最大筋力は、両側試技のレッグプレス、一側試技のレッグプレスおよび一側試技のスクワットよりも値が低く、大きな脚伸展力が発揮される条件下では、両脚試技のスクワットは体幹部によって出力制限を受けるという考え(吉田ら, 2003)を支持する結果が示された。

一方、Secher(1988)は、さまざまな被験者を対象に、異なる膝関節角度による両側と一側試技でのレッグプレスの出力比較を行った。同一角度内の比較では、膝関節角度90°の両側試技での筋力が一側試技での値よりも10%低下したのに対して、150°では18%低下したことを報告した。これは体幹部の影響を受けないレッグプレスでは、膝関節角度が変わっても出力低下の割合には変化がないとする吉田ら(2008)の見解とは異なる結果であった。両側試技での出力が一側試技の出力と比べて低下する現象は両側性低下として知られている(Henry and Smith, 1961)。両側性低下に関するこれまでの報告では、ボート選手のように専門運動で両脚を同時に伸展するものは低下しなかったという結果もある(Secher, 1975)。大築(1997)は、こうした結果を踏まえ、よく慣れ親しんでいる運動や練習によって両側試技による出力低下は小さくなることを指摘した。このことから運動特性による影響を考慮した上で、レッグプレスが体幹部の影響を受けているかを確認するには、跳躍選手を対象に異なる膝角度での両脚と片脚の出力を比較する必要がある。

また、トレーニングでのレッグプレスの活用方法を観察してみると、跳躍選手は踏切準備局面で重心を下げることをイメージした膝を深く屈曲したものや踏切りでの爆発的な筋力発揮をイメージしたやや浅い膝の屈曲で脚伸展運動を両脚または片脚で行っている。ところが、こうした条件が異なるときの出力やそこで主に働く活動筋の違いについてはこれまで論じられていない。効果的なトレーニングを実施するためにも、膝関節角度が異なるときの両脚試技や片脚試技の出力とそこでの筋活動の特徴を知る必要がある。さらに、両

側性低下によって両脚試技の筋力は一側試技よりも低下するといわれているが、この理由が活動する筋の違いなのか、それとも筋の活動量の低下によって起こるのかについても検証する必要もあろう。

そこで、本研究は跳躍選手を対象に、異なる膝関節角度を用いて両脚と片脚でのレッグプレスの出力比較から、この運動が体幹部の影響をうけないことを再確認するとともに、それぞれの条件下での出力と筋活動を明らかにすることを目的とした。

2. 用語の定義

- ① 出力：本研究では最大筋力と爆発的筋力を総称して出力と呼ぶ。また、下肢によって発揮された力は脚伸展力とし、最終的に発揮された力を最終出力または出力として区別する。
- ② 試技：両脚で行う試技のことを両側試技、片脚で行う試技を一側試技と呼ぶ。また、両側試技で発揮された出力をBL(Bilateral)とし、一側試技で発揮された左右それぞれの出力を合計したものをUL(Unilateral)として比較する。
- ③ 条件：両側試技や一側試技のように試技によって条件が規定されるものを試技条件と呼ぶ。一方、膝関節角度が90°と120°のように膝の関節角度によって条件が規定されるものを角度条件と呼ぶ。
- ④ BL/UL比：BLの出力/ULの出力 × 100(%)

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14名(年齢：21.5±3.0歳、身長：1.77±0.06m、体重：66.4±5.1kg)を用いた。跳躍種目は地面に対して筋力を発揮し、地面反力に抗することで推進力や跳躍力を生み出す能力を競う競技である。これらの跳躍運動は、回転運動、振り上げ運動、支持部位の伸展運動の3つのバネ要素(阿江, 1980)を融合することでパフォーマンスの向上が目指される。したがって、跳躍選手にとって身体支持部位の伸展運動は、程度の差こそあれ重要な要素であるといえる。そこで、本研究では、運動形態の異なる4種目の選手を跳躍選手として扱う。Table 1に専門種目ごとの被験者の身体的特徴およびベスト記録についての平均値および標準偏差を示した。

なお、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、文書によって

Table 1 Characteristics of the subjects (mean±SD).

Event	n	Personal Best (m)	Height (m)	Weight (kg)	Age (yrs)
High Jump	3	2.10(±0.06)	1.80(±0.05)	70.7(±3.2)	20.7(±2.5)
Long Jump	3	7.44(±0.44)	1.76(±0.03)	64.7(±2.9)	20.7(±1.5)
Triple Jump	7	15.57(±0.78)	1.77(±0.08)	64.3(±5.0)	22.1(±4.0)
Pole Vault	1	5.00	1.77	74.0	22.0

任意の実験参加に対する同意を得た。

2. 実験課題と測定項目

(1) レッグプレスによる脚伸展力の測定

実験には脚斜上挙位で行うレッグプレス装置 (Figure 1) 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脚伸展運動用装置であり、被験者は全員使用経験を有するものであった。

実験課題は両側と一側試技 (踏切脚と自由脚) による静的レッグプレスで、膝関節角度が90°と120°の2つに設定した状態で脚の伸展運動を行わせた。膝関節角度90°はハーフスクワット時の膝関節角度に相当し、120°はクォータースクワット時の膝関節角度に相当する。測定時の足は、両側試技ではフットプレースの中央部に肩幅と同程度のスタンスで置くようにし、一側試技では作用脚がフットプレー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、腕や遊脚の動作が出力に影響を及ぼすことを避けるため、一側試技時の遊脚は座席シート下部にあるパイプの上に軽く置き、両腕は胸の前で組む姿勢がとられた。

怪我の予防と出力にむらが生じないようにするため、十分なウォームアップを行ってから測定を開始した。

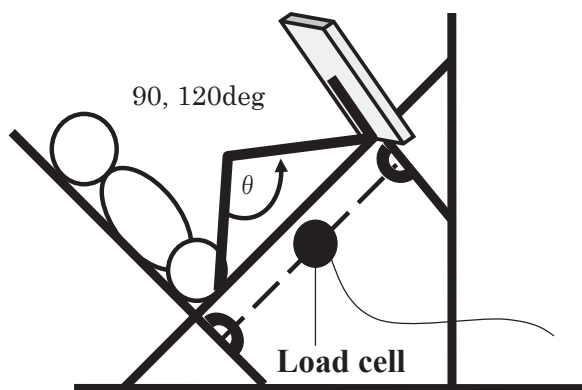


Figure 1 Set up of the experimental apparatus and the knee joint angle (θ)

試技では、反動を使わないようにして、スタートから最大努力で出来るだけ速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。課題の習熟にともなう出力変化を抑えるため、1人の被験者が行う6試技の順序はランダムとし、試技回数はそれぞれ1回とした。また、疲労の影響をさけるため、各試技の間には完全回復に十分な休息を設けた。

(2) EMGの測定

角度条件と試技条件の違いが活動筋群に及ぼす影響をモニターするため、被験者をランダムに6名選んでEMG測定を行った。測定筋は、脊柱起立筋、大殿筋 (Gmax)、中殿筋 (Gmed)、大腿二頭筋長頭 (BF)、内側広筋 (VM) および大腿直筋 (RF) とした。測定肢は踏切脚とし、脊柱起立筋のみ踏切脚側 (ES-TL) と自由脚側 (ES-LL) の2点とした。試技には、6種類のレッグプレスと、個々の筋に対する以下の最大随意収縮 (maximum voluntary contraction : MVC) を行わせた。

- 大殿筋：解剖学的正位から膝関節角度90°の屈曲位をとらせ、大腿遠位端後面の固定点に圧力を加えるように等尺性に股関節の伸展を行わせた。
- 中殿筋：解剖学的正位から膝関節外側の固定点に圧力を加えるように、等尺性に股関節の外転を行わせた。
- 大腿二頭筋：解剖学的正位から踵骨後方の固定点に圧力を加えるように、等尺性に股関節の伸展を行わせた。
- 内側広筋、大腿直筋：座位で股関節膝関節ともに90°の屈曲位をとらせ、下腿遠位端前面の固定点に圧力を加えるように、膝関節の伸展を行わせた。
- 脊柱起立筋：伏臥位で両手を後頭部に添えた後、体幹伸展筋力発揮を行わせた。

3. データの記録

(1) 筋力

筋力の測定は、Figure 1のレッグプレスマシン下部にチェーンにてロードセル（共和電業社製）を装着して張力を測定した。ロードセルから得られた信号はA/D変換し、1kHzのサンプリングレートでパーソナルコンピュータに取り込んだ。取り込まれたデータはカットオフ周波数10Hzのローパスフィルタリングを行った。

(2) 筋電図

EMGの導出には表面双極誘導法を用い、マルチテレメータシステム（日本光電社製）によって記録した。電極間の距離はいずれの筋も2cmとした。マルチテレメータシステムからの信号はA/D変換器を介して1msごとに数値化し、パーソナルコンピュータ（Apple社製）に取り込んだ。さらに全波整流した後、カットオフ周波数10Hzのローパスフィルタリングを行った。これをもとにして、各筋群のintegrated EMG (iEMG) を求めた。

4. 分析方法および分析項目

(1) 筋力

レッグプレスによって得られた静的な脚伸展力とレッグプレスマシンのフットプレースの重量である495Nを加算したものを最大筋力 (Fmax) とした。ここでのフットプレースの重量は、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ースに取り付けて測定したが、フットプレー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ースとシャフトの摩擦については無視して処理した。また、最大筋力に達するまでの筋力-時間曲線の最大勾配をみるため、最大値までの立ち上がり曲線における最大勾配から爆発的筋力 (explosive strength : $F_{exp} = \Delta f / \Delta t$) を算出した (Schmidtbleicher, 1992)。

それぞれの出力は、同一膝関節角度ごとにBLとULの出力比較と、膝関節角度間の変化による出力の増減を検討した。

(2) 筋電図

EMGは静的最大筋力が発揮された前後50msを対象区間とし、10ms区間ごとのiEMGをこの区間に要した時間で除することによってmean EMG (mEMG) を算出した。得られたmEMGはMVCに対する相対値 (%MVC) で表し、これを分析に用いた。

5. 統計処理

レッグプレスの測定によって得られた出力は、角度条件と試技条件の2要因を比較するため、繰り返しのある2元配置分散分析を行った。その結果、有意差が認められ、2要因の交互作用があるときは1元配置の分散分析を用いて全組合せの多重比較検定 (Turkey-Kramer法) を行い、交互作用が認められないときは要因ごとの多重比較検定を行った。最大筋力と爆発的筋力のBL/UL比は、角度間の比較をするために同一出力ごとに対応のあるt検定を行った。レッグプレスによって得られた出力間の相関係数についてはピアソンの方法を用いて算出した。いずれの処理も有意水準は5%未満で判定した。

III. 結果

1. 最大筋力

Figure 2に、レッグプレスにおける最大筋力 (Fmax) のBLとULを異なる膝関節角度ごとに示した。膝関節角度90°の最大筋力はBLが $2174.0 \pm 355.0\text{N}$ 、ULが $2382.5 \pm 321.5\text{N}$ 、膝関節角度120°ではBLが $3735.0 \pm 636.9\text{N}$ 、ULが $4076.0 \pm 404.6\text{N}$ であった。角度と試技条件の2要因による分散分析を行ったところ、膝関節角度が120°の最大筋力は90°のものより有意に大きく、試技条件ではULはBLよりも有意に大きい結果が示された。

Figure 3に、最大筋力の両側出力/一側出力左右和 (BL/UL比) を異なる膝関節角度で比較したものを示した。BLとULの出力関係を膝関節角度ごとにBL/UL比で表すと、90°のときは $91.4 \pm 10.9\%$ 、120°のときは $91.8 \pm 15.0\%$ であった。それぞれの膝関節角度におけるBLの出力低下率は約10%で両者に差は認められなかった。

2. 爆発的筋力

Figure 4に、レッグプレスにおける爆発的筋力 (Fexp) のBLとULを異なる膝関節角度ごとに示した。膝関節角度90°ではBLが $8.8 \pm 4.5\text{N/ms}$ 、ULが $9.3 \pm 5.2\text{N/ms}$ であった。膝関節角度120°ではBLが $11.7 \pm 6.2\text{N/ms}$ 、ULが $17.2 \pm 9.5\text{N/ms}$ であった。角度と試技条件による2つの要因で分散分析を行った結果、2要因の交互作用がみられたため、全組み合わせによる多重比較検定 (Turkey-Kramer法) を行った。その結果、膝関節角度120°での爆発的筋力のULは、膝関節角度90°での爆発的筋力のBLとULよりも有意に大きかった。

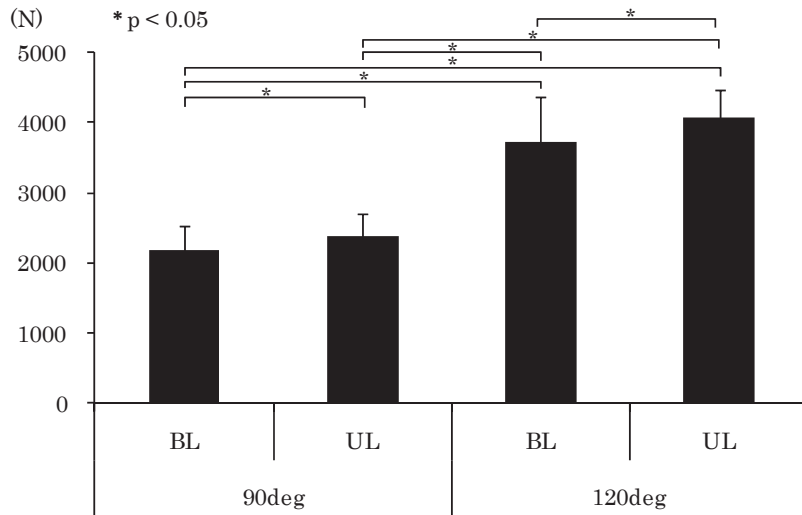


Figure 2 Comparisons of the mean and the standard deviation of the maximum force (Fmax) at the 90 and 120 degrees of the knee angles between bilateral and unilateral conditions in the isometric leg press.
 BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

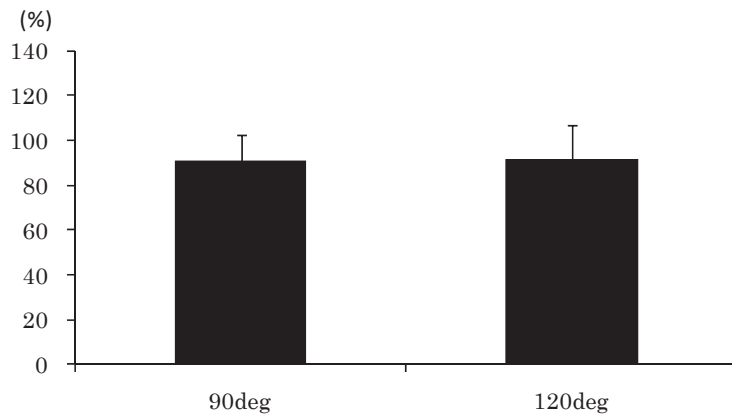


Figure 3 Comparison of the mean and the standard deviation of the BL/ UL ratio of the maximum force (Fmax) between at 90 and 120 degree knee angles during the isometric leg press.

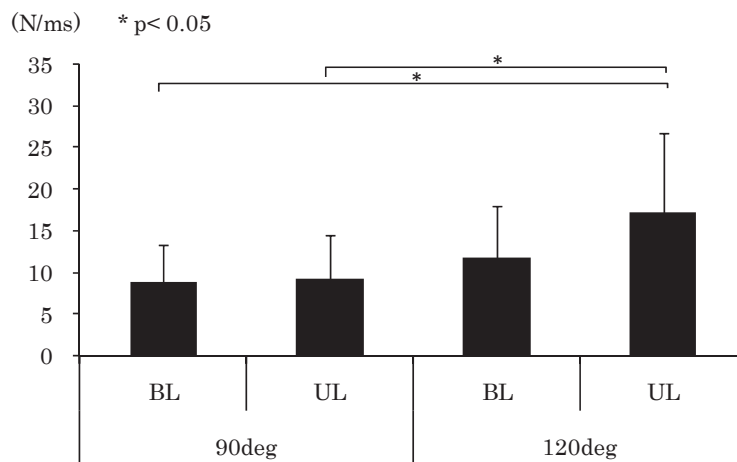


Figure 4 Comparisons of the mean and the standard deviation of the explosive strength (Fexp) at 90 and 120 degrees of knee angles between bilateral and unilateral conditions during the isometric leg press.
 BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

Figure 5に、爆発的筋力のBL/UL比を異なる膝関節角度間で比較したものを示した。爆発的筋力のBL/UL比は、膝関節角度90°では104.1±38.3%であったのに対し、膝関節角度120°では74.3±29.9%であった。爆発的筋力のBL/UL比を2つの膝関節角度で比較したところ、膝関節角度90°のBL/UL比が膝関節角度120°の値よりも大きく、両者に有意な差が認められた。

3. レッグプレスにおける出力の相関関係

Table 2に、各種条件下におけるレッグプレスで得られた最大筋力および爆発的筋力の相関関係を示した。

最大筋力では、膝関節角度90°でのBLとULとの間に有意な相関関係が認められた ($r=0.75$)。

爆発的筋力の間で有意な相関関係が認められたのは、膝関節角度90°のBLとULとの間 ($r=0.82$)、膝関節角度90°のBLと膝関節角度120°のBLとの間 ($r=0.75$)、膝関節角度90°のBLと膝関節角度120°のULとの間 ($r=0.56$)、膝関節角度90°のULと膝関節角度120°のBLとの間 ($r=0.87$)、膝関節角度90°のULと膝関節角度120°のULとの間 ($r=0.64$)、膝関節角度120°のBLと膝関節角度120°のULとの間 ($r=0.63$) であった。

最大筋力と爆発的筋力については、膝関節角度90°での最大筋力のULと膝関節角度90°での爆発的筋力のULとの間 ($r=0.59$)、膝関節角度90°での最大筋力のULと膝関節角度120°での爆発的筋力のBLとの間 ($r=0.60$) に有意な相関関係が認められた。

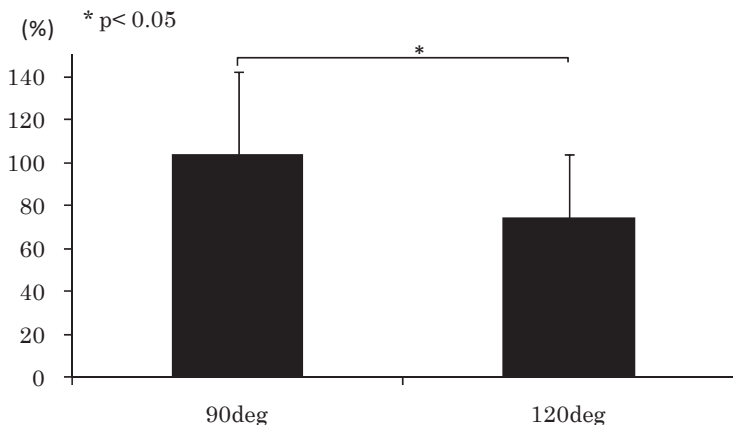


Figure 5 Comparison of the mean and the standard deviation of the BL/UL ratio of the explosive strength (Fexp) between at 90 and 120 degree knee angles during the isometric leg press.

Table 2 Correlation of the output values between the maximum force (Fmax) and the explosive strength (Fexp) at 90 and 120 degrees of the knee angles during bilateral and unilateral leg press exercises.

* $p < 0.05$	Fmax_BL_90	Fmax_UL_90	Fmax_BL_120	Fmax_UL_120	Fexp_BL_90	Fexp_UL_90	Fexp_BL_120	Fexp_UL_120
Fmax_BL_90	1	0.75*	0.41	0.37	0.12	0.25	0.33	0.03
Fmax_UL_90		1	0.09	0.46	0.45	0.59*	0.60*	0.42
Fmax_BL_120			1	0.38	-0.08	0.10	0.18	0.21
Fmax_UL_120				1	0.35	0.22	0.44	0.39
Fexp_BL_90					1	0.82*	0.75*	0.56*
Fexp_UL_90						1	0.87*	0.64*
Fexp_BL_120							1	0.63*
Fexp_UL_120								1

The key is as follows; Fmax: maximum force, Fexp: explosive strength, BL: the output value of bilateral condition, UL: sum of the output value of unilateral conditions.

4. 筋活動電位の変化

Table 3に、角度条件が異なるレッグプレス運動中の被検筋の%MVCを試技条件ごとに示した。また、Figure 6に、膝関節角度90°によるレッグプレス時の被検筋の%MVCを、異なる試技条件で比較したものを示した。膝関節角度90°での両側試技時の%MVCの平均値が一側試技時のものより大きかったのは、左右の脊柱起立筋と大腿二頭筋であった。このうち、左右の脊柱起立筋には有意な差が認められた。一方、膝関節角度90°での一側試技時の%MVCの平均値が両側試技時のものよりも大きかったのは、中殿筋、大殿筋、内側広筋、大腿直筋であった。このうち、大殿筋には有意な差が認められた。

Figure 7に、膝関節角度120°によるレッグプレス時の被検筋の%MVCを、異なる試技条件で比較して示した。膝関節角度120°での両側試技時の%MVCの平均値が一側試技時のものより大きかったのは、左右の脊柱起立筋、内側広筋、大腿直筋であった。一方、一側試技時の%MVCの平均値が両側試技時のものよりも大きかったのは、中殿筋、大殿筋、大腿二頭筋であった。このうち、中殿筋には有意な差が認められた。

Figure 8に、両側試技レッグプレス時における被検筋の%MVCを異なる角度条件で比較して示した。両側試技時に膝関節角度90°の%MVCの平均値が膝関節角度120°のものより大きかったのは、左右の脊柱起立筋、内側広筋、大腿直筋であった。このうち、左右の脊柱起立筋には有意な差が認められた。一方、両側試技時に膝関節角度120°の%MVCの平均値が膝関節

角度90°のものより大きかったのは、中殿筋、大殿筋、大腿二頭筋であった。このうち、大殿筋には有意な差が認められた。

Figure 9に、一側試技レッグプレス時における被検筋の%MVCを異なる膝関節角度で比較して示した。一側試技時では膝関節角度90°の%MVCの平均値が膝関節角度120°の値より大きかったのは、左右の脊柱起立筋、内側広筋、大腿直筋であった。このうち、自由脚側の脊柱起立筋と大腿直筋には有意な差が認められた。一方、膝関節角度120°の%MVCの平均値が膝関節角度90°の値よりも大きかったのは、中殿筋、大殿筋、大腿二頭筋であった。このうち、中殿筋には有意な差が認められた。

IV 考 察

1. 各種条件下における最大筋力の出力特性

レッグプレスにおける最大筋力を試技条件と角度条件の2つの要因で比較したところ、ULはBLよりも大きく、膝関節角度120°の最大筋力は膝関節角度90°のものよりも大きかった (Figure 2)。

角度条件では、膝関節角度が大きくなることで発揮される最大筋力も大きくなるという次のような報告がある。市橋ら (1997) は、本研究と同様の両側試技でのレッグプレスについて膝関節角度が90°から165°まで5段階の角度に設定したときの最大筋力を測定した結果、最小値は膝関節角度90°であったのに対し最大値は膝関節角度120°のときであったことを報告した。本研究でも膝関節角度120°の最大筋力は90°の値

Table 3 %MVC activities of bilateral (upper) and unilateral conditions (lower) during the isometric leg press at 90 and 120 degrees of the knee angle.

Bilateral Condition	ES-TL	ES-LL	Gmed	Gmax	BF	VM	RF
90deg	67.3±33.5	52.7±20.0	11.3± 6.5	51.6±21.4	12.3± 9.2	68.0±11.8	69.0±27.1
120deg	11.9±12.3	10.2± 9.9	20.5±14.8	74.1±14.0	25.3±16.2	66.4±19.8	49.2±35.0
Unilateral Condition	ES-TL	ES-LL	Gmed	Gmax	BF	VM	RF
90deg	23.3±10.9	32.1±13.0	13.6±14.6	65.4±21.4	10.8± 7.0	78.7±24.0	83.0±42.0
120deg	8.4± 6.2	10.0± 7.2	39.1±12.9	79.6±26.9	29.4±20.9	63.0±14.1	46.3±32.6

*p<0.05

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, Gmed: m.glutceus medius, Gmax: m.gluteus maximus, BF: m.biceps femoris longum, VM: m.vastus medialis, RF: m.rectus femoris.

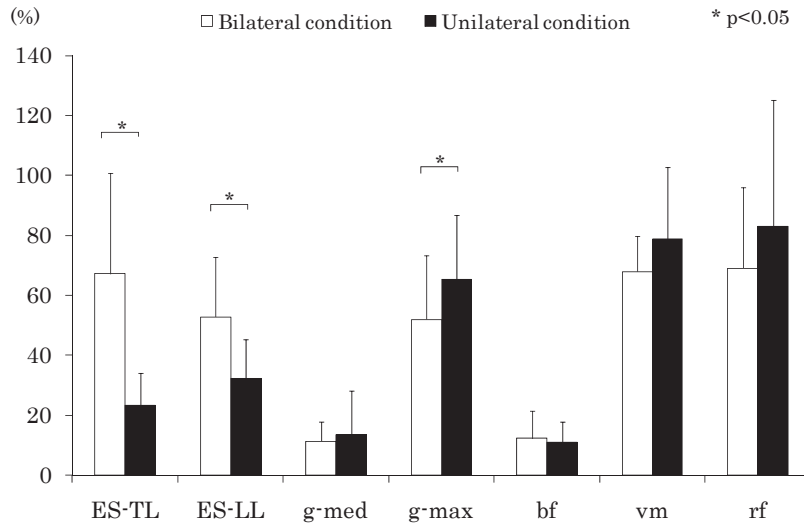


Figure 6 Comparison of %MVC activities of bilateral and unilateral leg press at 90 degrees of the knee angles.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, Gmed: m.glutceus medius, Gmax: m.gluteus maximus, BF: m.biceps femoris longum, VM: m.vastus medialis, RF: m.rectus femoris.

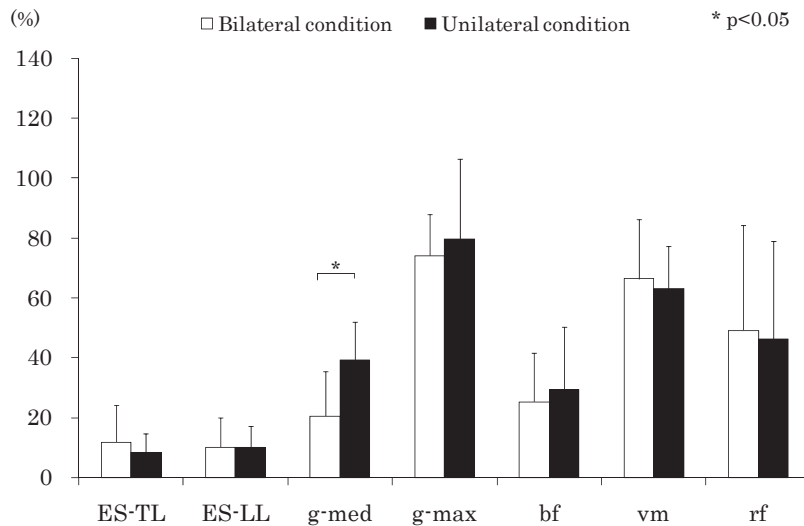


Figure 7 Comparison of %MVC activities of bilateral and unilateral leg press at 120 degrees of the knee angles.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, Gmed: m.glutceus medius, Gmax: m.gluteus maximus, BF: m.biceps femoris longum, VM: m.vastus medialis, RF: m.rectus femoris.

よりも大きく、それぞれの筋力差はBLが1561N, ULが1694Nと試技条件に関わらず、膝関節角度が大きくなるに従い発揮される最大筋力も大きくなるという結果が示された。こうした関節角度の増大に伴う出力増大は二関節リンクモデルを用いた筋配列を基にした出力分布による運動特性の比較でも表わされている。藤川 (2006) によると、下肢にみられるような3対6筋によるリンク先端の出力分布は姿勢条件によって定まるとし、伸展位になるに従い伸展方向に対して大きな

力を発生できると述べている。レッグプレスでの膝関節角度120°の姿勢は二関節リンクが伸展位となり、制御論的比較解剖学の観点からも大きな力を発揮できる姿勢である。こうした条件と合致したことが膝関節角度120°の最大筋力の方が90°のときよりも大きな力を発揮した要因であると考えられる。

次に同一膝関節角度で発揮される最大筋力の平均値をBLとULとの関係から検討すると、膝関節角度90°では約200N、膝関節角度120°では約350Nと、いずれ

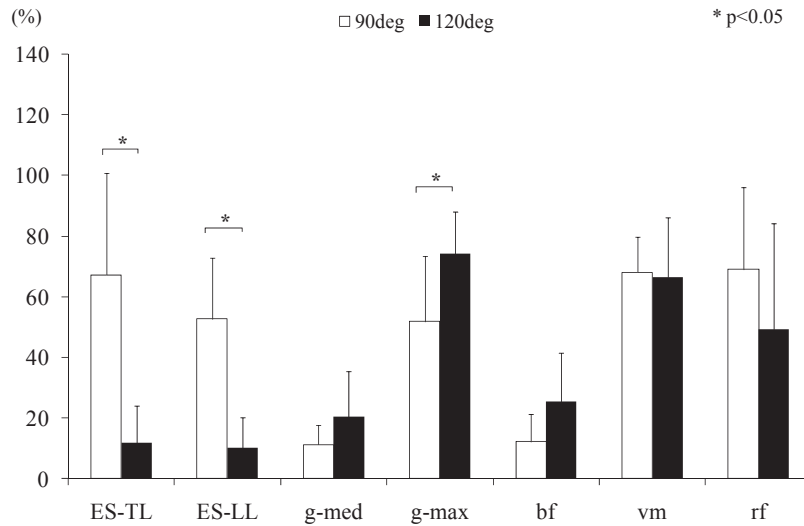


Figure 8 Comparison of %MVC activities at 90 and 120 degrees of the knee angles during bilateral leg press.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, Gmed: m.glutceus medius, Gmax: m.gluteus maximus, BF: m.biceps femoris longum, VM: m.vastus medialis, RF: m.rectus femoris.

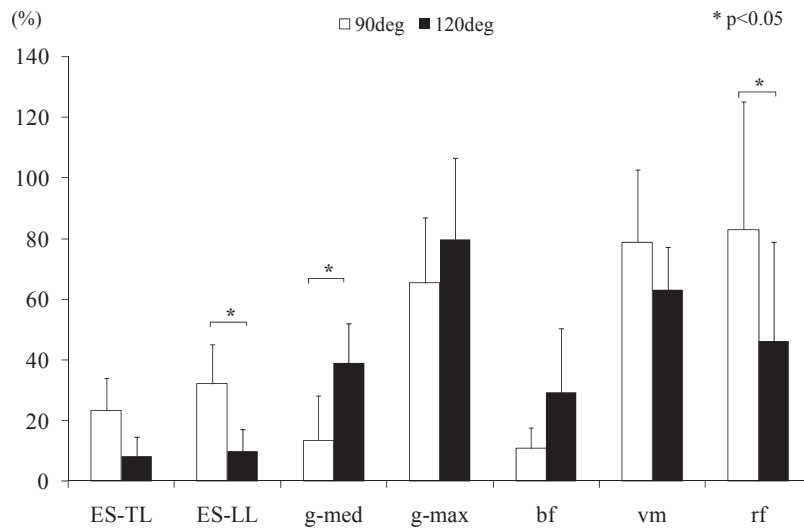


Figure 9 Comparison of %MVC activities at 90 and 120 degrees of the knee angles during unilateral leg press.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, Gmed: m.glutceus medius, Gmax: m.gluteus maximus, BF: m.biceps femoris longum, VM: m.vastus medialis, RF: m.rectus femoris.

の膝関節角度もULの値がBLよりも大きかった。こうしたBLとULの関係を角度ごとにBL/UL比で表すと、膝関節角度90°のときは91.4 ± 10.9%, 膝関節角度120°のときは91.8 ± 15.0%と、それぞれの膝関節角度におけるBLの筋力は約10%低下する結果が示された。本研究と同じ膝関節角度90°でBL/UL比を調査したもので、Schantz et al (1989) が最大筋力を対象とした中で、男子ウェイトトレーニング実践者が92%, 男子バレーボール選手が88%, 男子バレーダンサー

は87%, 男子体育学生は88%, 一般学生が86%であると報告した。また、膝関節角度が大きいのでは、Secher et al. (1988) が膝関節角度150°で最大筋力を測定し、男女非運動者のBL/UL比は81%, 男子重量挙げ選手は86%であると報告した。両側試技の出力が一侧試技の出力と比べて低下する現象は両側性低下として知られている(Henry and Smith, 1961)。大築(1997)は、これまでの研究結果に基づいて、両側性筋力低下による両側試技での出力低下率は一般に10~20%で

あると述べた。本研究でも90°と120°の膝関節角度はそれぞれ91.4%と91.8%を示し、BLでは約10%の筋力低下を示し、大築(1997)の述べた範囲内であった。したがって、同一膝関節角度における両側試技でのレッグプレスの筋力低下は両側性低下によるものと考えられる。

この結果に基づいて、吉田(2003)の報告した跳躍選手の膝関節角度120°による両側試技でのスクワットの筋力低下から、レッグプレスとスクワットの違いについて考察する。スクワットもレッグプレスも多関節による脚伸展運動が共通点するが、スクワットでは立位姿勢で運動が遂行されるのに対して、レッグプレスは座位姿勢による運動である。この姿勢の違いは、スクワットでは脚伸展力と体幹部の姿勢保持力によって出力されるのに対して、レッグプレスでは体幹部の姿勢保持が出力に関与せず、脚伸展力がダイレクトに出力されると考えられている(吉田ら, 2008)。

こうした仮説を踏まえて、2つの運動をBL/UL比の平均値で比較してみると、スクワットでは膝関節角度90°で97.8%、同120°で72.6%という値が示されている。2つの膝関節角度ではともに両側試技における出力低下が示されていることから、この原因には両側性低下現象も一つの理由とされた。しかし、スクワットでは、膝関節角度90°のときのBLの出力低下率が2.2%であったのに対して、膝関節角度120°のときには27.4%と著しい低下が示されている。スクワットのBL/UL比が2つの膝関節角度において大きな差異があったこと、そして先行研究での報告よりもこの出力低下が大きかったことから、スクワットでのBLの出力低下は両側性低下現象よりも別の要因が影響したことが考えられた。それは直列に関節が連結された場合、この運動系全体で発揮された最終出力は個々の関節で発現した力の代数和とはならず、そのうちの最も弱い関節出力によって制約されるとするリミティングファクターの影響であった(山下, 2007, pp.88-89)。スクワットの出力は脚伸展力とこの力をバーベルに伝える体幹部の姿勢を保持する力によって発揮されるため、脚伸展力が小さいときは体幹部が姿勢保持力の範囲内であるために脚伸展力が出力に反映される。ところが、脚伸展力が大きくなると体幹部の姿勢保持力の範囲を越えてしまうため脚伸展力が出力に反映されなくなる。つまり、脚伸展力が大きい状態では脚伸展力よりも体幹部の姿勢を保持する力の方が出力に反映することが考えられた。スクワットでは膝関節角度が小さかったものよりも、膝関節角度が大きく、大きな脚

伸展力が発揮されたときにBLの出力低下が顕著に示されたことから、この解釈の妥当性が支持されたと思われる。

一方、レッグプレスにおけるBL/UL比の平均値は、膝関節角度90°のときは91.4%、同120度のときは91.8%であり、角度間では差は認められなかった。つまり、膝関節角度が浅くなり、大きな脚伸展力が発揮されてもBLの出力低下は見られない。こうした結果はスクワットとは異なり、レッグプレスの場合、体幹部の支持機能が出力に関与しないためダイレクトに脚伸展力が出力されるとする考え(吉田ら, 2008)を支持したものと見える。これはレッグプレスでの出力の相関関係にも見られた。最大筋力では、膝関節角度90°のときはBLとULとの間に有意な相関関係が認められ($r=0.75$)、膝関節角度120°のときも有意ではなかったもののBLとULとの間の相関係数は比較的大きい傾向を示している($r=0.38$)。そして筋力の立ち上がり局面の最大勾配を示す爆発的筋力では、すべての項目で有意な相関関係が認められている。これらの結果はレッグプレスの脚伸展力が出力にダイレクトに反映しているという考え(吉田ら, 2008)を支持しているものといえよう。したがって、スクワットとレッグプレスには、体幹部の支持機能が出力発揮に影響を及ぼすかどうかという点で大きな違いがあることが示唆された。

2. 各種条件下における爆発的筋力の出力特性

同一膝関節角度による爆発的筋力のBLとULの比較では、膝関節角度90°のBLとULには差が認められなかった。また、膝関節角度120°でもBLとULの間に有意な差は認められなかった。角度間による比較では、膝関節角度120°での爆発的筋力のULは、膝関節角度90°でのBLとULに比べ有意に大きかった(Figure 4)。

両側試技は一側試技に比べてFT運動単位の動員が抑制されることにより出力が低下する(Vandervoort et al, 1984, 1987; Koh et al, 1993; Oda and Moritani, 1994)。さらに、FT運動単位は短時間に大きな力を発揮できることから、本研究では短時間での大きな出力発揮が要求される爆発的筋力ではBLとULの間に違いがみられると推察された。しかし、いずれの膝関節角度でも爆発的筋力のBLとULの間には有意な差が認められなかったことから、同一膝関節角度での試技条件の違いは爆発的筋力に影響しない。これに対して、角度間を比較すると、120°での爆発的筋力のULは、膝関節角度90°でのBLおよびULと比べて有意に

大きかった。一側試技による膝関節角度が 120° での脚伸展運動は、ちょうど跳躍種目の踏切りでの膝関節角度に相当する(村木, 1994)。したがって、この条件下で大きな筋力が発揮された理由として、跳躍種目の運動特性が作用したことが考えられる。Secher (1975) は専門運動で両脚による脚伸展運動を行うポート選手では最大筋力の低下が見られず、逆に促進が見られたことを報告している。また、こうした特異性はトレーニング効果として神経系の改善によるものとの報告もある(谷口, 1993; 小田, 1998)。跳躍運動の主要局面とされる踏切りは片脚によって遂行され、そこでの接地時間が最も長い走高跳でも0.2秒程度の短時間で大きな出力が要求される(Hay, 1973)。そして、この局面の膝関節角度は $125\sim 170^\circ$ 前後であり(村木, 1994)、本研究における膝関節角度 120° と類似性が高い。本研究の被験者は、比較的高度な競技パフォーマンスを残している跳躍選手で、片脚での股関節伸展を利用した短時間の大きな出力発揮に習熟していたことを考慮すると、こうした運動特性によって膝関節角度の浅い片脚での出力が大きくなったと推察される。ただし、ここではコントロール群との比較が行われていないため、この考えは推測の域をでない。したがって、今後の課題として詳細な検討が必要である。

3. 異なる姿勢による筋活動電位の変化

両側試技と一側試技の最大筋力の関係を見てみると、それぞれの角度内の最大筋力は一側試技の値が両側試技の値と比べて大きかった。そこでの筋活動電位は、膝関節角度 90° での左右の脊柱起立筋を除いて、両側試技も一側試技も筋活動電位は同じ傾向を示した(Figure 6, 7)。

これまでの結果から、レッグプレスにおける脊柱起立筋は体幹部が出力に大きな影響を及ぼさないことが示された(吉田, 2008)。したがって、この部位の筋活動電位と最大筋力の結果の相反関係はこれまでの研究結果を支持するものと考えられる。

いずれの膝関節角度でも一側試技は両側試技よりも大きな力を発揮しているが、二関節筋である大腿直筋と大腿二頭筋の活動電位を見てみると、膝関節角度 90° では、大腿二頭筋は両側試技の活動電位が一側試技よりも大きく、大腿直筋では一側試技の活動電位が大きい傾向を示した。これとは反対に、膝関節角度 120° では大腿二頭筋は一側試技の活動電位が両側試技よりも大きく、大腿直筋は両側試技の方が大きかつ

た。つまり、それぞれの角度における二関節筋の活動電位は大腿直筋が大きいときは大腿二頭筋が小さくなり、大腿二頭筋が大きいときは大腿直筋が小さくなることでバランスをとっているように見える。熊本(2006)は、3対6筋での二関節筋の拮抗筋は活動レベルを交代することで特定の領域の出力方向制御に貢献していると述べている。本研究での大腿直筋と大腿二頭筋の役割はまさに拮抗する関係にある二関節筋である。したがって、ここでの大腿直筋と大腿二頭筋の目的は出力方向の制御に向けられ、筋力の増大には関係していないと考えられる。

また、内側広筋は、膝関節角度 90° では一側試技の筋活動電位が大きかったが、 120° では両側試技の活動電位が大きかった。内側広筋はそれぞれの角度で活動電位が大きいことが示されているため、レッグプレスで主に活動する筋であることが推測される。しかし、膝関節角度 120° のときは両側試技の活動電位が大きく、出力結果とは相反することが示されたことから、この筋は一側試技の出力増大には貢献していないことが考えられる。

二つの膝関節角度で、一側試技の筋活動電位が両側試技よりも大きかったのは中殿筋と大殿筋であった。大殿筋は膝関節角度 90° で一側試技の活動電位が両側試技よりも有意に大きく、中殿筋は 120° で一側試技の活動電位が両側試技と比べて有意に大きかった。したがって、これらの筋の活動が大きくなったことで一側試技の筋力増大に貢献したと考えられる。また、中殿筋は骨盤の安定保持に大きく作用する筋群である(ウェルズ・ラットゲンズ, 1979)。片脚時には骨盤の左右の傾斜を防ぐため、骨盤を引き上げる外転の作用が生じる(服部, 1996)。本章の研究対象は座位による脚伸展力であるが、膝関節角度 120° のときは、脚伸展力の増大によって一側試技時には出力を受ける腰部を保持する中殿筋の作用が顕著となる。このことが膝関節角度 120° での一側試技の中殿筋の活動電位を大きくした理由の一つと考えられる。

同じ試技条件で、膝関節角度と最大筋力の関係を見てみると、膝関節角度 120° のときは 90° のときよりも大きな筋力を発揮した。膝関節角度 120° の筋活動電位が 90° のときよりも大きかったのは中殿筋、大殿筋、大腿二頭筋で、これは両脚試技も一側試技も同じであった。一方、出力と反対に膝関節角度 90° の筋活動電位が大きかったのは、左右の脊柱起立筋、内側広筋、大腿直筋であった(Figure 8, 9)。

前述したとおり、二関節筋である大腿直筋と大腿二

頭筋は拮抗する関係があるため、出力発揮よりも出力方向制御や力の伝達が主要な役割とされる(熊本, 2006). 山下(2007, pp36.)は、二関節筋が運動全体を制約する関節によって主働的な筋が異なり、股関節伸展動作を行った場合は大腿二頭筋がより積極的に活動し、膝関節が制約関節となる条件では逆に大腿直筋がより積極的に活動したと述べている。本研究でも膝関節角度が90°のときの大腿直筋は一側試技も両側試技も活動電位が大きい傾向が示されたので、膝関節伸展に必要な筋が動員されたと考えられる。そして膝関節角度120°では、大腿二頭筋の活動電位が90°のときと比べて大きくなり股関節伸展に必要な筋が動員されたと考えられる。したがって、膝関節角度90°と120°では膝関節伸展か股関節伸展かという点で大きな違いがあると考えられる。

V. 要 約

本研究は、レッグプレスを用いて、角度条件(膝関節角度90°と120°)と試技条件(両側試技と一側試技)による比較から、レッグプレスが体幹部の影響を受けない運動の確認と、条件が異なるときの出力と筋活動電位の特徴を明らかにすることを目的とした。被験者は大学陸上競技部に所属する跳躍選手14名を対象とした。実験試技では、膝関節角度を90°と120°に固定した状態からレッグプレスによる最大努力の脚伸展運動を両脚と片脚で行わせた。分析の対象とした筋力は、最大筋力、爆発的筋力とした。また、筋活動の違いを検討するためEMGによる測定を行い、筋活動電位の比較を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 最大筋力は、膝関節角度120°の値が90°の値より大きく、一側試技での値(UL)は両側試技での値(BL)よりも大きかった。膝関節角度90°と120°のBL/UL比は、それぞれ91.4%、91.8%であった。同一角度内の相関関係は、膝関節角度90°ではBLとULに有意な相関関係が認められ($r=0.75$)、120°でも相関係数は高い傾向が示された($r=0.38$)。このことからレッグプレスは脚伸展力が出力にダイレクトに反映するということが示唆された。
- ② 爆発的筋力は、膝関節角度120°のULが膝関節角度90°のBLおよびULよりも大きい結果が示された。
- ③ 筋電位活動は、膝関節角度90°から120°になる

に従い膝関節伸展筋群から股関節伸展筋群の活動が大きくなる傾向が示された。それぞれの角度内では、大殿筋と中殿筋の一側試技の筋活動電位が両側試技と比べて大きくなる傾向が示された。

本研究の結果から実践面の示唆として以下のことがあげられる。

- ① レッグプレスは上体と体幹部の姿勢保持による影響を受けにくい脚伸展力がダイレクトに出力に反映する運動である。したがって、脚伸展力の強化を目的とするときには適した運動であると考えられる。
- ② レッグプレスでは膝関節角度によって筋力と活動筋群は異なる。膝関節角度が90°のときは膝関節角度伸展筋群が主に作用するが、膝関節角度120°のときは股関節伸展筋群が主に作用することで大きな出力を発揮する特徴がある。よって、鍛えたい筋群や筋力の大きさに応じて膝関節角度を変えて行う必要があるだろう。
- ③ 一側試技は両側試技と比べて筋活動が大きくなる傾向あるだけでなく、最大筋力も大きくなる。大きな脚伸展力が必要となる運動は一側試技で行うなど、トレーニングに応じて使い分けが必要があるだろう。

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の特性. 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.
- 服部恒明(1996) ヒトのかたちと運動, 大修館書店:東京, pp. 82-111.
- 藤川智彦(2006) 制御論的比較解剖学. 熊本水頼編 ヒューマンノイド工学. 東京電機大学出版局:東京, pp.103-118.
- Hay, J. G. (1973) The Hay Technique - Ultimate in High Jump Style? *Athletic Journal*, 53 (7) : 113-115.
- 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.
- 市橋則明・日高正巳・浦野由紀子・吉田正樹・伊藤浩充・森永敏博(1997) 脚伸展運動と膝伸展動作の運動学的分析 - Closed Kinetic Chain と Open Kinetic Chain の違い -. *理学療法学*, 24 (6) : 341-346.
- 石井直方(1999) レジスタンス・トレーニング. ブックハウスHD:東京, pp.177-182.
- Koh, T.J., Grabiner, M.D., and Clough, C.A. (1993) Bilateral deficit is larger for step than for ramp isometric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 74, 1200-1205.

- 熊本水頼 (2006) 強調制御モデル. 熊本水頼編 ヒューマノイド工学. 東京電機大学出版局: 東京, pp.81-102.
- 村木征人 (1984) パワーUPトレーニング. 月刊陸上競技, 18 (4): 150-157.
- 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.105-106.
- 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.
- Oda, S. and Moritani, T. (1994) Maximal isometric force and neural activity during bilateral and unilateral elbow flexion in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 69: 240-243.
- 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.
- Secher, N.H. (1975) Isometric rowing strength of experience and inexperience oarsman. *Medicine and Science in Sports*, 7: 280-283.
- Secher, N. H., Rube, N. and Elers, J. (1988) Strength of two- and one-leg extension in man. *Acta. Physiol. Scand.*, 134: 333-339.
- Schmidtbleicher, D. (1992) Training for power events. In: P. V. Komi (Ed.) *Strength and power in sport*. Blackwell Scientific: London, pp.381-395.
- 谷口有子 (1993) 両側同時および一側単独の握力発揮トレーニングの効果. 国際武道大学紀要, 9: 33-38.
- Vandervoort, A.A., Sale, D.G., and Moroz, J. (1984) Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension. *J. Appl. Physiol.*, 56 (1): 46-51
- ウェルズ・ラットゲンズ: 宮畑虎彦訳 (1979) キネシオロジー - 身体運動の基礎原理 -, ベースボールマガジン社: 東京, pp. 176.
- 山下謙智 (2007) 多関節運動学入門. ナップ: 東京.
- 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.
- 吉田孝久・大山圭悟・宮地力・村木征人 (2008) 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 -. *スポーツ方法学研究*, 22 (1): 29-39.

平成22年11月19日受付

平成23年3月28日受理