

博士論文

跳躍選手の各種条件下における脚伸展運動の出力特性

平成 20 年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科コーチング学専攻

吉田 孝久

目次

目次	i
表目次	v
図目次	vi
関連発表論文	x
I. 序論	1
1 研究の背景	1
1.1. 跳躍選手が脚伸展力を強化する理由	1
1.2. 脚伸展力の強化を目的としたさまざまなスクワット	2
1.3. 異なる運動によって発揮される出力とフィールドテストで発揮された出力 との対応関係	3
2 研究の目的	4
3 用語の定義	5
II. 文献研究	9
1. 跳躍種目に必要とされる筋力	9
2. 脚伸展力向上を目的としたレジスタンス・トレーニング	11
3. 両側性低下現象	13
4. 関節角度と出力の関係	16
5. クローズド・キネティック・チェーンにおける筋力発揮	18
6. 片脚スクワットでのトレーニング	20
III. 問題	23
1. 対象とする運動	23

2.	問題の所在.....	27
2.1.	同一運動内における各種条件下の出力と特徴（問題 1）.....	28
2.2.	立位運動と座位運動の出力の違い（問題 2）.....	28
2.3.	競技パフォーマンスの結果およびフィールドテストの出力とレッグプレス・スクワット時の出力比較（問題 3）.....	28
3.	研究課題および仮説.....	29
3.1.	研究課題.....	29
3.2.	研究仮説.....	30
4.	研究の限界.....	32
4.1.	方法および結果の解釈に関する限界.....	32
4.2.	一般化，普遍化に関する限界.....	32
IV.	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.....	33
1.	章のねらい.....	33
2.	研究方法.....	34
3.	結果.....	36
3.1.	スクワットの出力.....	36
3.2.	両脚および片脚スクワット時の活動筋群について.....	39
4.	考察.....	40
4.1.	最大筋力の出力比較.....	40
4.2.	スピード-筋力指数の出力比較.....	42
4.3.	片脚スクワットでの出力.....	44
4.4.	スクワット運動時の筋活動機序.....	45
5.	要約.....	46
V.	両脚および片脚による座位脚伸展力の比較.....	59

1.	章のねらい.....	59
2.	研究方法.....	60
2.1.	被験者.....	60
2.2.	実験課題と測定項目.....	60
2.3.	データの記録.....	62
2.4.	分析方法および分析項目.....	62
2.5.	統計処理.....	63
3.	結果.....	64
3.1.	最大筋力および相対筋力.....	64
3.2.	爆発的筋力.....	64
3.3.	レッグプレスにおける出力の相関関係.....	65
3.4.	筋電位活動の変化.....	65
4.	考察.....	67
4.1.	各種条件下における最大筋力の出力特性.....	67
4.2.	各種条件下における爆発的筋力の出力特性.....	69
4.3.	異なる姿勢による筋電位活動の変化.....	70
5.	要約.....	72
VI.	スクワットおよびレッグプレスの出力と競技パフォーマンスおよびフィールド テストの結果との比較.....	85
1.	章のねらい.....	85
2.	研究方法.....	86
2.1.	被験者.....	86
2.2.	実験課題と測定項目.....	87
2.3.	測定法および算出項目.....	89

2.4. 統計処理	90
3. 結果.....	91
3.1. スクワットおよびレッグプレスにおける出力.....	91
3.2. フィールドテスト.....	91
3.3. 項目間の相関関係.....	92
4. 考察.....	93
4.1. スクワットおよびレッグプレスにおける出力比較.....	93
4.2. 被験者の跳躍能力.....	95
4.3. 競技パフォーマンスおよびフィールドテストの結果と各種条件下における 脚伸展運動による出力との相関関係	96
4.4. 軸づくりに必要な体幹部の機能.....	98
5. 要約.....	100
VII. 討論.....	109
1. 両脚および片脚による脚伸展力について	109
2. 跳躍運動に必要な筋力発揮と軸づくり	113
3. それぞれの脚伸展運動の特徴とトレーニングの意義	117
VIII. 結論.....	121
IX. 今後の課題.....	125
謝辞	127
参考文献	129

表目次

Table 1	Characteristics of the subjects (mean±SD).....	34
Table 2	Correlations between various output measurements during bilateral and unilateral squats at 90 and 120 degrees of the knee angles.....	48
Table 3	Characteristics of the subjects (mean±SD).....	60
Table 4	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.	74
Table 5	%MVC activities of bilateral (upper) and unilateral conditions (lower) during the isometric leg press at 90 and 120 degrees of the knee angle.....	75
Table 6	Characteristics of the experimental subjects.	87
Table 7	Mean and standard deviation of the personal best record (PB), PB scores, season best record (SB) and SB scores by event.	87
Table 8	Correlation matrix between various variables of the performance scores, field tests, output values of the squat and leg press.	102

图目录

Fig. 1	Classification of the various leg extension exercises at the different conditions.	26
Fig. 2	Bilateral and unilateral squat exercises on different foot positions.	27
Fig. 3	Set up of the isometric squat strength measurement.	49
Fig. 4	Comparison of the output values of the maximum forces (F_{max}) during bilateral and unilateral squats; both squats were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.	50
Fig. 5	Comparison of BL/ UL ratio of the maximum force (F_{max}) at 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.....	50
Fig. 6	Relationships between the output values of the maximum force (F_{max}) during the bilateral (BL) and sum of the unilateral (UL) squat at 90 (left) and 120 (right) degrees of the knee angles.....	51
Fig. 7	Relationships between the output values of the maximum force (F_{max}) during the bilateral (BL) and sum of the unilateral (UL) squat at 90 and 120 degrees of the knee angles.	51
Fig. 8	Comparison of the output values of relative force (rF) during bilateral and unilateral squats; both squats were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.	52
Fig. 9	Comparison of the output values of the speed strength index (SSI) during bilateral and unilateral squats; both squats were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.....	53
Fig. 10	Comparison of BL/ UL ratio of the speed strength index (SSI) at 90	

	and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.	53
Fig. 11	Comparison of the output values of the maximum force (Fmax) between take off leg (TL) and lead leg (LL); both legs were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.....	54
Fig. 12	Comparison of LL/ TL ratio of the maximum force (Fmax) between 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.	54
Fig. 13	Comparison of the output values of the relative force (rF) between take off leg (TL) and lead leg (LL); both legs were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.	55
Fig. 14	Comparison of the output values of the speed strength index (SSI) between take off leg (TL) and lead leg (LL); both legs were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.....	56
Fig. 15	Comparison of LL/ TL ratio of the speed strength index (SSI) between 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.	56
Fig. 16	Sample EMG during the bilateral (left) and unilateral condition (right) of the isometric squats at 90 degrees (upper) and 120 degrees (lower) of the knee angles.....	57
Fig. 17	Set ups of the experimental apparatus and the knee joint angle (θ)	76
Fig. 18	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.....	77
Fig. 19	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.	77
Fig. 20	Comparisons of the mean and the standard deviation of the relative force (rF) at 90 and 120 degrees of the knee angles to the body weight as 1.0 between bilateral and unilateral conditions in the isometric leg press.	78
Fig. 21	Comparisons of the mean and the standard deviation of the explosive strength (F_{exp}) at 90 and 120 degrees of knee angles between bilateral and unilateral conditions during the isometric leg press.	79
Fig. 22	Comparison of the mean and the standard deviation of the BL/ UL ratio of the explosive strength (F_{exp}) between at 90 and 120 degree knee angles during the isometric leg press.	79
Fig. 23	Comparison of %MVC activities of bilateral and unilateral leg press at 90 degrees of the knee angles.....	80
Fig. 24	Comparison of %MVC activities of bilateral and unilateral leg press at 120 degrees of the knee angles.....	81
Fig. 25	Comparison of %MVC activities at 90 and 120 degrees of the knee angles during bilateral leg press.	82
Fig. 26	Comparison of %MVC activities at 90 and 120 degrees of the knee angles during unilateral leg press.....	83
Fig. 27	Set up of the back strength measurement.....	103
Fig. 28	Comparison of the maximum force (F_{max}) between squat and leg press by bilateral and unilateral conditions.....	104
Fig. 29	Comparison of the explosive strength (F_{exp}) between squat and leg press by bilateral and unilateral conditions.....	104
Fig. 30	Comparison of the jumping height reached by the standing jump (SJ),	

	counter movement jump (CMJ) and rebound drop jump (RDJ).	105
Fig. 31	Comparison of the output value of the maximum forces (Fmax) between back strength, bilateral squat and bilateral leg press at 120 degrees of the knee angles.	106
Fig. 32	Relationships between the groups of performance, back strength, field tests, strength values of Squat and Leg press. Arrows show the significant correlation.	107
Fig. 33	Effective body alignment during the first half of the take off phase of the running jump such as long jump and high jump.	116

関連発表論文

本研究は、以下の参考論文に基づいて作成された。

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.

1. 序論

1 研究の背景

1.1. 跳躍選手が脚伸展力を強化する理由

陸上競技は、走る、跳ぶ、投げるといった多くのスポーツにも共通する基本的な運動能力を競う競技である。このうち跳ぶことを競う跳躍種目は、助走によって得られた水平スピードを踏切りで鉛直方向に変換することで跳躍高または跳躍距離の獲得を目指している。踏切局面で必要とされる跳躍力、いわゆる“バネ要素”は、①身体の回転運動によるもの、②身体の自由運動部位の振上げ運動によるもの、③身体の支持部位の伸展運動によるものに分類されている（阿江，1980）。跳躍運動では、これら3つの異なるバネ要素を融合することでより高く、またはより遠くへ跳ぶことが目指されている。3つの“バネ要素”のうち、垂直跳の跳躍高にみられる③身体の支持部位の伸展運動によるバネは、下体による筋力との関連が大きいことが知られている（ザチオルスキー，1972，p.124）。筋力とは、人間の筋肉が力を発揮した結果、それに加わる外力または反作用に抗することができる能力である（ザチオルスキー，1972，pp.20-21）。走ったり、跳んだりする運動では、下体によって地面に対して筋力を発揮し、反作用である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ともいえる。したがって、運動を遂行するにあたり筋力は不可欠な要素とされる。跳躍運動で発揮される筋力は、三段跳選手における踏切り時の地面反力が体重の3~4倍という報告に示されているように、踏切時間が0.13~0.20秒程度と時間的な制約がある中で極めて大きな力が発揮されている（深代，1990，pp.82-89）。このように、競技パフォーマンスを決定づける主要局面で大きな筋力発揮が求められていることから、跳躍選手は筋力を高める手段として重量を利用したレジスタンス・トレーニングを行っている。

1.2. 脚伸展力の強化を目的としたさまざまなスクワット

跳躍運動に必要とされる多関節による脚伸展力の強化は、バーベルやダンベルなどの重量物を用いたものが主流である。この代表的な運動に、立位姿勢で運動が行われるスクワットと座位姿勢で運動が行われるレッグプレスがある。フリーウェイトであるスクワットは動きの自由度が高く、多関節運動のため多くの筋肉が動員されること、そして筋肉間の調整能を高めることが特徴とされる（石井, 1999, pp.63-69）。もう一方の運動であるレッグプレスも脚伸展力の強化という位置づけはスクワットと同じであるが、腰部に不安のあるときのように補助的な手段として用いられることが多い。

脚伸展力を強化するための主要な運動とされるスクワットは、一般に足を左右開脚にしたポジションから両脚を同時に屈曲・伸展させることによって行われている。Zhuk and Martynenko (1990)は、陸上競技の運動は、助走も踏切りも片脚によって行われているのに、この筋力を強化するスクワットは、両脚を同時に屈曲・伸展させている相違点を指摘し、片脚スクワットを勧めている。片脚による脚伸展運動は、同じく片脚支持とされる跳躍運動で使われる筋肉を強化できる。そして、右脚と左脚それぞれの脚で発揮された筋力の合計が両脚のスクワットで発揮される筋力となるという考えに基づいて、片脚スクワットでは両脚で行われるスクワットの半分の重量で同等の筋力を強化できるため、腰や膝などの関節にかかる負担も小さくて済むことを述べている。しかし、この報告はトレーニング現場の経験則に基づくもので、データによる両脚と片脚スクワットの筋力の比較やトレーニング効果は示されていない。

一方、スクワットでは Zhuk and Martynenko (1990) が述べたように両脚の出力と片脚ごとの出力の合計は単純に等しいとは言えないことも考えられる。その理由の一つは、両側性筋力低下の影響である（大築, 1997）。これは、両脚でのスクワットのように、両側同時による最大努力での筋力発揮は、一側ごとに筋力を発揮したときと比べて筋力が低下す

るということである。そして、スクワットのような直列多関節運動は、膝角度と関節トルクとの関係から膝角度が深い状態から浅くなるにつれて最大筋力が大きくなる特徴があるため、運動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の出力によって制限されるというリミティングファクターの影響も否定できない(山下, 2007)。このために、トレーニングの現場では、両脚と片脚の試技条件の違い、さまざまな膝角度での異なる条件下におけるスクワットが提案されている。こうした各種条件下での脚伸展運動は、そこで発揮される出力にも特徴がみられることが考えられる。ところが、脚伸展運動の主な目的は脚伸展力を高めることとされ、専門運動との対応関係や各種条件下での脚伸展運動の出力特性については良く理解されていないと考えられる。

1.3. 異なる運動によって発揮される出力とフィールドテストで発揮された出力との対応関係

跳躍選手にとってスクワットは、跳躍運動で必要とされる脚伸展力の強化を目的として行われている。これに対して、同じく多関節脚伸展力の強化を目的としたレッグプレスは補助的な運動と捉えられている。スクワットの筋力発揮形態に着目すると、下体は膝関節および股関節の伸展動作によって筋力が発揮されているのに対し、上体および体幹部は下体によって発揮された伸展力の作用線上に配置され、姿勢を保持しながら筋力が発揮されている。つまり、下体が動的な筋力を発揮しているのに対し、上体および体幹部はこの筋力を静的に受けるという出力形態がとられている(Dick, 2007)。一方、座位の脚伸展運動であるレッグプレスでは、脚の作用線上に上体および体幹部を配置していないことから、上体および体幹部の機能が出力に影響を及ぼさない運動とされる。福間(2008)は、走高跳で日本記録を樹立した選手に対して指導した実践報告の中で、踏切りに必要な姿勢を獲得するには座位姿勢のものではなく、立位姿勢での負荷が重要なポイントとなることを

述べている。このことは、レッグプレスのような座位運動では、跳躍選手の踏切時に必要とされる上体と体幹部の姿勢保持と適正な身体配列に関わる筋群を強化することが難しいが、スクワットではこうした筋群を強化できることを実践経験から体感したものと考えられる。しかし、一般的には、スクワットのトレーニングの意義は脚伸展力の強化にあって、身体配列や姿勢保持といった体幹部の支持機能の向上にはあまり関心が払われていない。この背景にも、運動条件が異なったときの出力特性や特徴が理解されていないことが考えられる。したがって、トレーニングの観点からは、異なる条件下における脚伸展運動時の出力特性を明らかにし、フィールドテストで発揮された出力結果との対応関係から、跳躍運動に必要とされる目的に応じて効果的に脚伸展力を高めるトレーニング方法を提示する必要がある。

2 研究の目的

本研究の目的は、第一に、跳躍選手を対象に、異なる条件下の運動で発揮される出力を検討し、それぞれの脚伸展運動の特徴を明らかにすることにある。第二に、各種条件下における脚伸展運動による出力とフィールドテストの出力結果との対応関係から、それぞれの目的に応じた運動処方を提示することを目的とする。

3 用語の定義

① BL と UL

両脚同時という条件下で行われる運動は両側試技 (Bilateral condition) または両脚とし, そこで発揮される出力を BL とした. これに対して, 片脚のみで行われる運動を一側試技 (Unilateral condition) または片脚とし, この条件下で発揮される右脚と左脚それぞれによって得られた出力の合計を UL とした.

② TL と LL

脚の機能差問題を検討する際には跳躍選手の競技特性を考慮して, 跳躍運動で踏切りを遂行するときに用いられる脚によって発揮した出力を Takeoff leg (以下, TL) とし, 自由脚を Lead leg (以下, LL) として区別した. 三段跳の選手についてはホップの踏切で用いる脚を踏切脚と定義した.

③ 試技条件

スクワットまたはレッグプレスで行われる両側試技と一側試技の違いを示す表現として用いた.

④ 立位と座位

立位姿勢の脚伸展運動はスクワットを意味している. これとは対照的な運動として, 座位姿勢の脚伸展運動はレッグプレスと呼ぶことにした.

⑤ 運動条件

スクワットとレッグプレスのように運動の仕方の違いを示す表現として用いた.

⑥ 膝角度

スクワットおよびレッグプレスにおける膝関節角度のことを膝角度と呼ぶ. 膝角度が深いとは膝角度 90 度, 膝角度が浅いとは膝角度 120 度のときを意味している.

⑦ 試技条件と運動条件の組み合わせ

スクワットにおける両側試技，一側試技は，それぞれ両脚スクワット，片脚スクワットとした．同様に，レッグプレスでの両側試技，一側試技は，両脚レッグプレス，片脚レッグプレスとした．

⑧ 筋力

本研究で扱う筋力は以下のように定義される．

- 最大筋力 (maximum force : F_{max})とは，静定な状態で発揮される筋力の最大値のことを指す．
- 相対筋力 (relative force : rF)とは，体重当たりに発揮される最大筋力を指す．
- スピード-筋力指数 (speed strength index : SSI)とは，最大筋力を筋力発揮時から最大筋力に到達するまでに要した時間で除した値を指す．
- 爆発的筋力 (explosive strength : F_{exp})とは，最大筋力発揮時における立ち上がり曲線の最大勾配を指す．

⑨ 出力と脚伸展力

スクワットとレッグプレスの実験において，最終的に発揮されたそれぞれの筋力を総称して出力とする．また，下体に限定した筋力は脚伸展力として区別する．

⑩ BL/ UL 比

BL の値を UL の値で除することで算出した値．両側性筋力低下の割合を示す指標として用いた．

⑪ 身体各部の名称

本研究では，脚を股関節，膝関節，足関節を含む下体とし，足とは区別して扱った．体幹部とは，胸部および腰部脊柱とし，下体および体幹部に含まれない身体各部を上体とした．

⑫ 体幹部の支持機能

体幹部の基本運動には屈曲，伸展，側屈，回旋があるが，これらの運動において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，靭帯の厚さと強さ，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，pp.231-245）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．

⑬ 競技パフォーマンス

それぞれの種目の自己最高記録およびシーズン最高記録を指す．本論では，種目横断的な評価を行うために，それぞれの記録を 2003 IAAF Scoring table によって得点化したものを競技パフォーマンスとする．

II. 文献研究

1. 跳躍種目に必要とされる筋力

陸上競技は、走る、跳ぶ、投げるといった多くの運動が持つ基礎的な身体能力を競う競技である。この競技パフォーマンスを高めるためには、効率のよい技術要素とともに、より高い体力要素も必要とされる。村木（1990；1994，pp.102-136）は、人間の達成能力に関わる運動特質としての体力を、筋力、スピード、持久力、敏捷性、可動性（柔軟性）、調整（制御）能力といった種々の能力の全体を表すものと捉え、この様に広く捉えられた体力を、筋力、スピード、持久力から成るエネルギー系の体力、感覚運動的総合・制御能力に関する調整力、および両者の中間的な性質を持つ柔軟性の3つに大別している。さらに体力を、一般的運動達成能力と個々のスポーツ種目における専門的な運動達成能力に関わる、一般的体力と専門的体力の2つに分けている。体力の中で、筋力は人間の筋肉が力を発揮した結果、それに加わる外力または反作用に抗することができる能力（ザチオルスキー，1972，p.21）と定義され、重力下で身体運動を行う際の基本的な要素とみなされる。

筋力は、運動や目的とされる限定された運動局面、身体部位によって、筋の緊張の様式や性質が大きく変化する（村木，1994，pp.102-136）。跳躍運動に必要とされる筋力をジャンパーにとっての専門的体力という観点からみると、助走によって得られた水平速度を効率よく鉛直方向に変換する筋力発揮が求められる。Tidow（1985）は、人間の筋力特性の模式図の中で、跳躍運動の踏切時における脚の筋収縮の特徴を、爆発的・反動的・弾道的（Explosive-, Reactive-, Ballistic-）としてまとめ、その理由を、跳躍競技の競技パフォーマンスを決定づける主要局面での筋力発揮が極めて高速で、短時間で行われている点にあることに求めている。

また、跳躍運動で必要とされる筋力は、静的な筋力発揮時の力-時間関係に基づいて次

のように説明されている。Büchle et al. (1983) は、静的に発揮される最大値を静的最大筋力（以下、最大筋力）、筋力を発揮してから 30ms（または 50ms）をスタート筋力、筋力一時間曲線での最大勾配を爆発的筋力として定義し、スタート筋力はゼロから大きな力を発揮できる能力、爆発的筋力は運動中に時間あたりで大きな力を発揮できる能力と特徴づけている。また、最大筋力とそれを発揮するのに要した時間はスピード-筋力指数 (SSI: speed strength index) と呼ばれ、跳躍運動のように、時間的な制約がある中での運動と関係が深い。そして、これらの筋力にはそれぞれに独立した関係が認められるが、村木 (1994, p.104) は最大筋力の大きいことは、他の爆発的筋力やスタート筋力の大きさを何ら保証するものではないことを述べている。このことは、アイソメトリック筋力測定における筋力の立ち上がり速度とフィールドテストにみられる跳躍高との間に有意な相関関係はあるが、静的最大筋力との間には相関関係が認められないとする報告 (Wilson and Murphy et al., 1996) とも一致する。ただし、最大筋力を体重で除した相対筋力の高い選手は、垂直跳の跳躍高が高いという関係が示されている (ザチオルスキー, 1972, pp.123-124)。これは垂直跳での負荷が自重であること、この運動が最大筋力発揮時と類似した脚伸展運動であることが理由である。そのため、同じ最大筋力を発揮する選手でも、投てき選手と跳躍選手では相対筋力は異なることが知られている。したがって、対象とする競技種目を特定した中で、各々の運動に必要とされる専門的筋力を検討する必要がある。

これらの報告ならびに知見は以下のようにまとめることができる。

陸上競技・跳躍種目での踏切局面は、爆発的・反動的・弾道的な筋緊張が特徴とされる。筋力指標には、最大筋力、相対筋力、スピード-筋力指数、爆発的筋力などがあげられる。これらの筋力一時間関係における筋力指標の間には、それぞれが独立した関係が認められている。

2. 脚伸展力向上を目的としたレジスタンス・トレーニング

スピード・パワー系の運動とされる陸上競技のスプリント運動や跳躍運動では、主要局面で専門的な筋力が求められるため、専門的な筋力を高める基礎的な運動として、バーベルなどの重量物を用いたレジスタンス・トレーニングが行われている。ここでは、主な課題として最大筋力を発揮することが課されている。その理由は、最大筋力発揮時は、①最大数の運動単位が同時に関与する、②遠位性インパルスが同期化する、③運動単位の活動リズムが同期化する、などの生理学的特性があり（ザチオルスキー、1972、pp.41-45）、これらの特性は、踏切局面で必要とされる、個々の筋肉がタイミングよく協同的に働く際に必要であるということに求められる。

レジスタンス・トレーニングのうち、スクワットは、Rippetoe and Kilgore (2007, pp.8-9) がウェイトルームの中で最も効果的なトレーニングの一つであると述べているように、この種の運動の中心的なものとして行われている。Delavier (2001) は、負荷の形態とスタンス、保持する位置によって、スクワットをダンベルスクワット、スクワット、フロントスクワット、パワースクワット、ハックスクワットに大別している。そして、これらのスクワットに共通して用いられる主要筋群は、中殿筋、大殿筋、大腿四頭筋で、これら下体の筋群が出力発揮に関係していることから、彼はスクワットを **Legs** (脚) のカテゴリーに分類している。スクワットの主たる目的は下体の筋力強化にあるという同様な見解は、William and Leigh (2000) が、バックスクワットのレビューの中で、スクワットでは大腿四頭筋、殿筋、ハムストリングが主に動員されることを述べているように、多くの文献に見られる。

一方で、スクワットや直立姿勢から片脚を前方に出すことで前後開脚の姿勢を作り再び直立姿勢に戻るフォワードランジのトレーニング効果は脚伸展力のみでなく、上体の姿勢を保持するのに必要な体幹部のトレーニングとなることを述べている文献もある (Liebenson, 2002)。石井 (1999, pp.177-182) は、スクワットを大腿四頭筋、ハムスト

リング、大殿筋などの下肢筋群のトレーニングとして紹介している。しかし、体幹を強く固定するために、傍脊柱筋（下部脊柱筋群）、浅部および深部腹筋群が用いられるため、腰部に不安がある選手に対しては、スクワットの代用としてしばしばレッグエクステンションとレッグカールの組み合わせが行われるものの、こうした運動の組み合わせでは、総合的な効果の点でスクワットには遠く及ばないとして、スクワットが脚だけでなく体幹部の姿勢保持機能を高めるためにもあることを述べている。村木（1994, pp.106）もアイソメトリックなスクワット運動を例に、多関節運動での最大筋力発揮には運動技術や調整力に関連した複雑な条件が伴い、これらには、効果的な下体の伸展動作を可能にする上体の姿勢保持能力、主働筋群と同時に働く協働筋群の動員性に関わる筋肉間調整があげられると述べて、スクワットが下体だけでなく、上体および体幹部の姿勢保持に関わる運動であることを指摘している。Dick（2007）は、スクワット運動時の筋活動では、下体はコンセントリックやエキセントリックといったダイナミック（動的）な筋活動となるが、上体はスタティック（静的）な姿勢保持の筋活動になるとして、筋力発揮の筋活動は異なるが下体とともに上体のスタティックな筋活動がこの運動を遂行するために動員されることを指摘している。スクワット運動中の体幹部の筋活動に着目した Vakos et al. (1994) の研究では、運動初期段階では上体の姿勢保持に動員される脊柱起立筋の活動が中心となり、運動末期には脚伸展に働く股関節筋群の活動が顕著になることが報告されている。スクワットの出力が脚のみでなく、姿勢保持にも影響されることはトレーニングの現場ではよく知られているが、この運動の主たる目的として体幹部の支持機能の向上を挙げているものは少ない。

スクワットでは、立位姿勢をとるための上体、体幹部、下体の全ての筋肉が出力に反映するのに対し、座位姿勢での運動にレッグプレスがある。この運動の一種である脚を斜め上方に伸展させるアングルドレッグプレスでは、フットプレースに置く足の位置によって、上部では臀部とハムストリング、下部では大腿四頭筋、広げた状態では内転筋の動員が大きくなるという特徴がある（Delavier, 2001）。この運動は下体による伸展運動と考えられ

ているので、上体および体幹部の活動筋群の特徴を示した研究はない。また、スクワットとレッグプレスの運動様式が異なることから、Rippetoe and Kilgore (2007, pp.54-57) は、両運動の出力について、レッグプレスで挙上できる 1000lb の重量は、クォータースクワットで挙上できる 500lb の負荷に相当すると述べているものの、両者の違いについて正確なデータに基づいた分析はみあたらない。レッグプレスとスクワットとの間には、出力発揮時に上体および体幹部が運動に関与するか否かの違いがある。

これらの報告ならびに知見は以下のようにまとめることができる。

スクワットは、大腿四頭筋、大殿筋、ハムストリングを中心とする下体の脚伸展筋群の強化を目的としている。しかし、EMG による測定から姿勢保持に動員される脊柱起立筋の活動が認められるので、スクワットによって下体のみならず上体の姿勢保持に関わる筋群が動員されていることが明らかである。しかし、こうした体幹部の支持機能が出力に影響を及ぼすことに着目した報告は見当たらない。それゆえ、立位姿勢と座位姿勢によって出力にどのような違い生じるかについて、上体および体幹部の支持機能に着目して検討する必要がある。

3. 両側性低下現象

両側同時の出力 (BL) は、一側ごとの出力の合計 (UL) に比べて低くなるというのが両側性低下現象である。この現象を初めて報告したのは Henry and Smith(1961)である。ここでは両側試技による利き手による握力の等尺性最大筋力は、一側試技による利き手の最大筋力よりも 3%の出力低下が生じたことが示されている。下体を対象とした単関節による BL と UL の比較では、Howard and Enoka (1991) が膝関節伸展運動時 (Leg extension) の出力比較を行い、非鍛錬者で 9.5%の出力低下がみられたことを報告している。この出力低下は握力の場合と比べてかなり大きいことから、動かす関節の違いや運動の習熟度によって出力の低下が異なる可能性が示唆される。

下肢の多関節運動を対象とした両側筋力低下現象の報告については、Secher et al. (1978)が、レッグプレスによる静的脚伸展時の出力比較から、BLはULに比べて約25%の出力低下が示されたことを報告している。後年、Secher et al. (1988)は、トレーニングを行っていない男女90人を対象とした膝角度90度による脚伸展運動でULに対するBLの出力が20%低下したことを報告している。これは単関節を対象とした膝関節伸展時よりも大きな出力の低下である。

これらの研究では、いずれも静的な筋力発揮を対象としていたが、Vandervoot et al. (1984)は、男子体育大学生を対象として、cybexのアーム部分を足で押すレッグプレスで、静的な状態を含む、さまざまな角速度を用いた出力測定を行っている。最大筋力では、ULに対するBLの出力は9%の低下が認められたのに対して、424deg/sの角速度では48.8%の低下が報告されている。最大筋力時のBLの出力低下は、Secher et al. (1978, 1988)が報告したものよりも小さいが、対象が体育学生であったことから、測定運動に習熟していた可能性も考えられる。速い角速度では、静的な状態に比べて大きなBLの出力低下が示されている。このことには、両側性筋力低下が筋の収縮速度に左右される可能性が示されている。異なる筋収縮タイプにおける両側性筋力低下の割合を調べた研究には、両側試技による脚伸展運動を定期的に行っていなかった男子学生を対象として、約3秒で膝のトルクを徐々に増大させていくランプ（漸増）コンディションと、できるだけ短い時間に最大のトルクを発揮するステップ（段差）コンディションの2つの様式で運動を行わせたものがある（Koh et al., 1993）。その結果、ULに対するBLの低下はランプコンディションで17.0%、ステップコンディションで24.6%が示されたことを示し、短時間で大きな筋力発揮が求められる運動の方がULに対するBLの筋力低下の割合が大きくなることを報告している。

一方、両側性低下がみられなかったケースもある。Secher (1975)は、脚の伸展力をオリンピックおよび世界選手権の金メダリストと銅メダリストで測定したところ、BLの筋力が

ULよりも大きくなったことを報告している。また、Howard et al. (1991)も、ウェイトリフターの膝関節の伸展力では両側性低下はみられず、逆に両側試技の方が大きな筋力が発揮されたことに基づいて両側性促進現象というものを報告している。Taniguchi (1997)は、両側試技により6週間の等尺性握力、等速性上肢伸展力、等速性下肢伸展力のトレーニングを行ったグループでは、BLの筋力がいずれも上昇したことを報告している。こうした結果から、両側性低下では、運動に習熟することで両側同時発揮による筋力低下は小さくなる傾向があると考えられる。

両側同時筋力発揮による発揮筋力の低下のメカニズムについては、注意の分割、相反性神経支配、大脳半球間抑制、両側同時発揮時に速い運動単位が抑制されるため、などの理由が考えられているが、今日なお共通した見解は得られていない。

相反性神経支配とは、皮膚の刺激によって屈曲反射を引き起こす皮膚感覚ニューロンが活動すると、同側の屈筋が収縮して屈曲反射がおこるが、そのとき同時に拮抗筋である伸筋が抑制される仕組みをいう。大脳半球間抑制とは、左右両側の体部を同時に動員する場合には、両大脳半球を結びつける脳梁に何らかの相互抑制作用が働いて、これがパフォーマンスを低下するという考えをいう。

大築 (1997) は、両側性低下現象のレビューの中で、筋力低下とその中枢神経メカニズムについては不明な点が多いが、両側同時動作を課題動作とすると随意反応時間が増加するという現象や、経頭蓋磁気刺激を用いた実験などから、両側大脳半球間の相互抑制が関与している可能性が高いことを述べている。

これらの報告ならびに知見は以下のようにまとめることができる。両側性低下現象は、運動に習熟していない場合は平均して約10~20%みられる。ところが、運動に習熟してくるに従い出力低下がみられなくなる傾向が強い。また、筋収縮の速度が大きくなると、BLの筋力低下の割合は大きくなる傾向がある。こうした筋力低下のメカニズムはまだ解明されていないが、現在のところ両側大脳半球間の相互抑制が関与している可能性が高く、ト

レーニングによって両側性低下の割合は減少もしくは消去される可能性が考えられる。

4. 関節角度と出力の関係

単関節による関節角度と出力の関係は、Williams and Stutzman(1959)が、上肢と下体による運動中の角度と力の関係から、膝伸展力では 60 度で最大値を示し、その後は 90 度、110 度と膝角度が大きくなるにしたがって伸展力が小さくなるのに対して、股関節屈曲力は股関節 50 度で最大値を示し、股関節伸展力は股関節角度 0 度で最大値を示したことを報告している。丹羽（1970）は男性 5 名による運動中の出力測定から、それぞれの運動において最大筋力が出現した角度は、股関節屈曲運動では股関節の角度が 210 度、股関節伸展運動時では股関節角度が 90 度のときで、膝伸展運動では膝角度 100 度、足関節による底屈運動時では足関節の関節角度が 80 度のときであったことを報告している。これらの異なる報告からは、最大筋力の出現する角度は測定時の姿勢によって変わることが示される。このように単関節による関節角度と出力の関係でも共通の見解を得ることが難しいのに、多関節による角度と出力の関係の場合にはこのことにさらに動作を規定するという難しさが加わる。このような状況の中で Kuling et al. (1984) は、以下のような下体の多関節運動に関するいくつかの報告を示している。

多関節による関節角度と出力の関係については、Carpenter (1938)が仰臥位の姿勢から片脚を上方に伸展させるレッグリフトによる測定を行い、膝角度が 115～124 度で最大の伸展力が発揮されたことを報告したのが最初である。Carpenter と同様のレッグリフトを 37 名の高校生を対象に、100 度から 140 度の間で 10 度ごとの出力測定を行った Lindenburg (1964) の研究では、平均値で膝角度 140 度の筋力が大きい傾向が示されたものの、角度間で有意な差は認められなかったことが報告されている。Berger (1966) は、Carpenter らと同様のレッグリフトの測定を、一側試技（片脚）でそれぞれ 105 度、120 度、140 度で行い、140 度の筋力が大きく、それぞれの間で有意な差が認められたことを報告している。以

上の結果から、レッグリフトのように脚を挙上させる運動での出力を総合的に判断すると、120～140 度の間で最大筋力が発揮されていると考えられる。しかし、140 度以上の測定が行われていないため、最大筋力が発揮されると考えられるこの角度は推測の域を出ないものである。

一方、一側試技（片脚）によるレッグプレスでの脚伸展力については、Huge-Jones (1947) が 6 名の被験者を対象とした実験で、膝角度が 160 度の時に最大値を発揮したことを報告している。これと同様のものでは、Linford and Rarick (1968) が、20 名の男子学生を対象として上半身が直立した姿勢で、脚を水平方向に向けた 10 度ごとの脚伸展力の測定を 115 度から 164 度で行ったところ、膝角度が 135 から 164 度で最大値を示したことを報告している。以上の結果から、上体を起こした姿勢で、水平方向に脚伸展力を発揮する方法ではいずれの場合にも 160 度程度で最大出力を発揮する傾向がみられる。

立位によるスクワットでは、末井ら (1977) が、両側試技（両脚）による最大筋力を測定したところ、膝角度 40～60 度で最低値を示し、その後 120 度付近まで増加するが、これ以降の膝角度では筋力が減少したことを報告している。一方、スクワットでの最大筋力を一側試技（片脚）で測定した金原ら (1974) と阿江(1982)の研究では、膝角度が 140～150 度で最大値が発揮されたが、160 度以上になると膝が伸び切ってしまうことによって、力強く脚を伸展させることができなくなってしまったことが報告されている。以上のように、両側試技と一側試技では最大値が発揮される角度が異なる結果が示されている。とくに、一側試技での出力の場合には膝角度が 160 度以上に伸びきってしまうと十分に筋力を発揮できなかったのに対し、両側試技では片脚時での最高値を発揮した膝角度ですでに発揮される最大筋力が低下しはじめていることから、両側試技の場合の関節角度と発揮される力の関係は一側試技の場合と大きく異なることが考えられる。

これらの報告ならびに知見は、以下のようにまとめることができる。

単関節による関節角度と出力の関係については共通した見解が示されていない。多関節

によるこの関係についても同様で、レッグリフトのような脚を挙上される運動では、120～140度の範囲で最大出力が発揮され、上体を起こしたレッグプレスでは膝角度が130～160度であった。これに対して、スクワットで最大値を発揮した膝角度は、両側試技では120度であるのに対して、一側試技では140～150度であった。このように、筋力は、膝角度が深い状態から浅くなるに従い大きくなる傾向が示されている。しかし、最大値が出現する膝角度は運動時の姿勢や試技条件によって異なると考えられる。

5. クローズド・キネティック・チェーンにおける筋力発揮

キネティック・チェーンあるいはキネティックリングという語は、工学系の分野にその起源をもつが、そこでは四肢を剛体と仮定される体節が連結しているものであるとみなしたうえで、キネティック・チェーンは複雑な運動単位によって構成された一連の関節の連結であると定義されている (Steindler, 1955)。

この連結は、オープンあるいはクローズドのどちらかのタイプに分類される。

Steindler (1955) は、オープン・キネティック・チェーン (OKC : Open kinetic chain) を各関節が整然と配列され、最遠位の体節が自由に動きをとれる状態と定義し、Rivera (1994) はこれをうけて、座位での膝関節伸展運動 (Knee extension) は典型的な OKC の例であるとした。さらにエレンベッカー (2003) は、OKC では関節の回転軸上にストレスがかけられているため1つの回転軸上で運動が行われていて、体節を固定した状態でそれに隣接した体節を可動させられることがこの運動の特徴であると述べている。そして、この運動では筋の協働収縮はほとんど起こらないため、特定の筋を刺激することができることを報告している (Palmitier et al., 1991)。

一方、クローズド・キネティック・チェーン (CKC : Closed kinetic chain) とは、最遠位の体節に自由な動きを制限する外的負荷がかけられた状態である (Steindler, 1955)。この場合には、遠位端の体節の動きが制限されているため、体節が動きを起こすと隣接し

た体節にも動きが生じ、お互いの動きが相互に影響を及ぼしあうことになる。立位のスクワットは、下体の CKC の代表例とされ、膝関節に対しては長軸方向のストレスパターンが生じる多関節運動である。そこでの筋活動は協働的な収縮となり、動作パターンも機能的なことが特徴とされる (エレンベッカー, 2003)。このことから Palmitier et al. (1991) は、CKC 下で行われる運動が競技パフォーマンスを高めるためには重要になることを指摘している。

立位でのスクワットのように、身体各部を直列に配置したクローズド・キネティック・チェーンにはリミティングファクターと呼ばれる制限因子が存在している。山下 (2007) 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の出力によって制約されてしまうと述べている。こうした関係は、スクワットのような上体および体幹部を伴う脚伸展運動では、体幹部の支持機能が脚伸展力より低い場合、体幹部の支持機能によって出力に制限が生じるということにあてはまる。そのため、脚伸展力と体幹部の支持機能の対応関係を検討する必要がある。

これらの報告ならびに知見は、以下のようにまとめることができる。

オープン・キネティック・チェーンとは、肢体の遠位端が固定されておらず自由に動かせる環境下でのエクササイズあるいは動作パターンとみなされる。一方、クローズド・キネティック・チェーンは、動いているかまたは静止している物体に四肢の遠位端が固定された状態での運動あるいは動作のパターンである。クローズド・キネティック・チェーンは多関節筋群によって運動されるため、実際のスポーツ運動との関連が高い。また、クローズド・キネティック・チェーンにはリミティングファクターと呼ばれる制限因子が存在しているため、下体の筋力が最終出力に反映されないと考えられるので、下体の伸展力と体幹部の支持機能との関係を検討する必要がある。

6. 片脚スクワットでのトレーニング

片脚スクワットについては、筋力強化を対象としたものよりも、ACL (Anterior cruciate ligament : 前十字靭帯) を損傷した選手が競技復帰を果たすために必要なリハビリテーションにおける脚筋力変化や膝の外反度合いについて研究したものが多く。

Dimattia et al. (2005) は、片脚スクワット中の前額面上での股関節移動と股関節外転筋の関係について、50人の被験者を対象に2次元のキネティック分析を行っている。その結果、股関節外転筋と股関節内転角に弱い正の相関がみられたことを報告している。ここで被験者は男性26名、女性24名とほぼ同数であるが、性差による違いは検討されていない。Zeller et al. (2003) は、利き脚での片脚スクワットに関するキネマティック分析の結果と筋電位活動の男女間の違いについて、18名の大学生(男性9名、女性9名)を比較したところ、女性は足首の背屈と回内、股関節の内転と伸展と外旋が男性よりも大きく、体幹部の左右の伸展は少ないことを報告している。Willson et al. (2006) も同様に、24名の男性選手と22名の女性選手を対象とした片脚スクワット中の腹筋と下体のアライメントについて、女性は過度の前額面投影角に向かう傾向、つまり外反する傾向というものを報告している。また、男性と比較して体幹部、股関節、膝関節のトルクが低く、股関節外旋トルクは前額面投影角と極めて関係が深いことを示唆している。

Zeller et al. (2003) は、利き脚による片脚スクワットのキネマティック分析の結果と筋電位活動の男女間の違いについて、18名の大学生(男性9名、女性9名)を比較したところ、女性の大腿直筋の筋活動は男性よりも顕著に大きいという結果を報告している。この事実から、Zeller et al. (2003) は、女性は男性に比べて膝関節の内反を保持する能力に欠けていることを指摘している。同様に、Shields et al. (2005) は、男女15人を対象として片脚スクワットのEMG測定を行い、コントロールされた片脚スクワットは、ハムストリングと大腿四頭筋をバランスよく動員することができるということを示唆している。また、Beutler et al. (2002) は、男女18名(男性11名、女性7名)を対象に、片脚スクワットとステッ

プアップス時の大腿四頭筋の活動を比較したところ、いずれもこの筋群の活動が顕著に認められるので、リハビリテーションに効果的であると述べている。

さらに、McCurdy and Langford (2005) は、利き脚と非利き脚の膝角度 90 度での 1RM の筋力を男女で比較し、脚の左右差および性差はみられなかったことを報告している。

これに対し、McCurdy and Langford (2006) の研究では、wobble board を用いたバランステストの結果と膝角度 90 度での 1 RM の筋力との間には有意な相関関係がみられなかったことを報告している。

競技復帰のためのトレーニングを目的とした片脚運動の有効性を検討するために Hopkins et al.(1999) は、片脚による CKC の運動としてクォータースクワット、ラテラルステップアップス、フレックス（弾性）コード前方引き寄せ、フレックスコード後方引き寄せの運動を 28 人の女子学生に行わせ、内側広筋、外側広筋、大腿二頭筋の EMG を測定した。その結果、フレックスコード前方および後方引き寄せ時の大腿二頭筋の EMG 活動は、ステップアップスやクォータースクワットよりも大きいこと、フレックスコード前方引き寄せ運動時の内側広筋の EMG 活動がクォータースクワット、ステップアップス、フレックスコード後方引っ張りよりも大きいことを報告している。こうした結果に基づいて、この研究では、フレックスコードによる運動は安全で ACL リハビリ中の選手には有効であり、片脚スクワットよりもフレックスコードの方が競技復帰のための脚の機能向上には適していることを示唆しているが、競技パフォーマンスの向上を目的としたトレーニングにおける脚伸展力の出力特性という観点からの検討は行われていない。

脚伸展力の強化を目的とした片脚スクワットによるトレーニングは、Zhuk and Martynenko (1990) によって紹介されている。彼らは、陸上競技では片脚によって競技が遂行されているにもかかわらず、筋力トレーニングの代表であるスクワット運動は両脚で行っていることの問題点を指摘し、片脚スクワットによる脚伸展力トレーニングを推奨している。片脚スクワットでは、挙上する重量が両脚の負荷の半分で済むため、腰や膝など

の関節に対する負担が少なくなることで、実際の運動に近い片脚での支持運動であることの利点を挙げているが、両側試技と一側試技での筋力の違いについてのデータの提示はなされていない。両側試技と一側試技の出力関係については、47名の学生柔道選手を対象に検討した有賀ら（2004）の研究がある。そこでは1RMの片脚スクワットと両脚スクワットとの最大筋力には有意な相関関係が認められなかったことが報告されている。この報告では、被験者が柔道選手で跳躍選手とは異なっていること、一側試技では膝角度を90度まで屈曲してダンベルを負荷に用いた1RMを測定しているのに対して、両側試技にはバーベルを担いだ1RMの伸展力を測定しているというように、比較された2つの試技条件の運動が異なっているという問題があるだけでなく、BLとULの出力に内在している体幹部の支持機能に関する検討も行われていない。したがって、上体および体幹部の支持機能に着目してBLとULの違いを、身体の軸づくりが専門運動で求められる跳躍選手を対象に検討する必要がある。

これらの報告ならびに知見は、以下のようにまとめることができる。

片脚スクワットはACLからのリハビリ運動として多用されている。性差の問題から女性は膝が外反しやすく、膝関節を内反させる能力が欠けていることが指摘されている。

一方、脚伸展力の強化を目的とした片脚スクワットについては、Zhuk and Martynenko（1990）が片脚スクワットでは両脚の半分の出力で同等の効果があることを指摘しているが、実証データの提示はなされていない。また、ここでは膝角度の問題やリミティングファクターなどの問題も考慮されていないため、片脚と両脚の出力の関係を検討する必要がある。

III. 問題

ここでは、文献研究を通じて明らかとなった研究上の問題点を総括し、本研究において取り扱う運動の選定、研究課題およびそれに対する仮説、研究の限界について述べる。

1. 対象とする運動

本研究では、コーチングの現場に研究結果をフィードバックすることを目的としている。そのため、対象とする運動はトレーニング現場で行われているものから選定する必要がある。

跳躍選手による脚伸展力の強化を目的とした運動は、バーベルなどの重量を用いた多関節による脚伸展運動が中心に行われている。こうした運動の中でスクワットは最も基本的な運動と捉えられている。スクワットは両脚を伸展させた立位姿勢から膝関節と股関節を中心に脚を屈曲・伸展させる運動である。そこでは、下体による能動的な脚伸展力とこれを受ける上体および体幹部の受動的な支持筋力が発揮されている。つまり、立位姿勢からの運動では、筋力発揮形態の異なる上体と下体によって出力がなされているところに特徴がある。

一方、脚伸展運動には立位姿勢とは異なり、座位姿勢での脚伸展運動もある。レッグプレスはこの代表的な運動で、多くのウェイトトレーニングルームにもこの運動を行うためのトレーニング機材が設置されている。この運動では、上体を脚の伸展方向に対して垂直に立てて、脚を伸展させた座位姿勢から膝関節と股関節を中心として脚を屈曲・伸展させる。そして、脚伸展力の作用線上に上体および体幹部が配置されていないところに特徴がある。つまり、座位姿勢からの運動は下体しか関わらないため、上体と下体が運動に携わるスクワットとは出力特性が異なるのである。ところが、この 2 つの運動は、脚伸展力の強化を目的とした同種の運動として位置付けられていることが多く、姿勢が異なること

で生じる上体と体幹部の影響や出力特性が明らかにされていない。したがって、トレーニング方法の観点から姿勢の異なる運動の出力特性を明らかにし、目的に応じたトレーニングを選択するための有益な知見を収集する必要がある。

以上の理由により、本研究では、スクワットとレッグプレスをそれぞれ立位姿勢と座位姿勢による代表的な脚伸展運動として位置付け研究をすすめる。さらに、これらはトレーニング方法の観点に基づいて以下のように分類することができる。

多関節による脚伸展運動は関節角度の違いによって出力が異なることが知られている。そのために、脚伸展力の強化を目的とした運動は、膝関節の角度によって運動が規定されて一定の名称が与えられている場合が多い。例えば、スクワットでは脚が完全伸展時の180度から膝角度が完全に屈曲した状態または60度まで屈曲させて伸展させる運動はフルスクワットと呼ばれている。そして、膝角度が90度まで屈曲させて伸展させる運動はハーフスクワット、膝角度が120度まで屈曲させて伸展させる運動はクォータースクワットと呼ばれ、それぞれの運動が区別されている。異なる膝角度のスクワットでは、関節角度とトルクの関係から、膝角度が60度のフルスクワットから膝角度が120度のクォータースクワットになるにしたがって出力が著しく大きくなることが知られている。跳躍選手は、踏切時に大きな脚伸展力が求められていることから高出力による脚筋力を強化するときには膝角度が浅い120度によるクォータースクワット、筋肥大や深い膝関節での脚筋力を強化するときには膝角度が深い90度によるハーフスクワットのようにトレーニングの目的に応じて使い分けて行っていることが多い。こういった目的に応じた使い分けはレッグプレスについても同様である。本研究では多関節脚伸展運動を分類する項目として膝角度にも着目して考察を加えることとする。本研究で扱う膝角度は、跳躍選手がスクワットまたはレッグプレスを行うときに比較的多く用いられている、膝角度の深い90度の時と浅い120度の時の2つの異なる膝角度を考察対象とする。

脚伸展運動は、運動を遂行するときの試技条件の違いに基づいて、一般的に広く行われ

ている両脚によるもの（両側試技）と跳躍運動の助走や踏切と同様な片脚で行われるもの（一側試技）という、2つの運動に分けられる。Zhuk and Martynenko (1990) の実践報告では、片脚によって発揮される脚伸展力の合計は両脚によって発揮される脚伸展力と同じになると述べられているが、両脚では両側性筋力低下やリミテイングファクターによる出力制限が影響するため、試技条件が異なる運動時の出力は異なることが考えられる。したがって、試技条件の違いについても比較して検討する必要がある。

以上のことをまとめると、トレーニングで行われる脚伸展力の強化を目的とした多関節の脚伸展運動は、立位姿勢と座位姿勢という運動条件、膝角度が深い90度と浅い120度という角度条件、両脚と片脚という試技条件の3つによって分類できる。Fig. 1には、こうした観点から本研究で対象とする運動を図で示した。

しかし、立位運動では左右の足の位置が異なることで、両脚による同一膝角度での脚伸展運動でも発揮される出力や動員される筋肉が異なるということが考えられる。例えば、Fig. 2に示されるように、片脚（左）を固定し自由脚（右）の足位置を外側に移動させていくと、クローズドスクワット、ナロースクワット、ワイドスクワットの順に変化し、それぞれの運動で発揮される出力や用いられる主働筋も変化していく。また、前方へ自由脚を移動させていくと運動は左右開脚から前後開脚、すなわちレッグランジ系の運動へと変化する。レッグランジ系の運動では、前脚は大腿部後面の筋群が作用し、これより後方に位置する脚は大腿部前面の筋群が作用する。さらに、クローズドのポジションから前方に踏み出した自由脚を伸展動作によってもとの状態に戻すとフォワードランジと呼ばれる運動となり、もとのポジションから一定の台の上に乗る運動はステップアップスと呼ばれ、より複雑な運動へと変化する。したがって、立位運動、膝角度、両脚という条件を同じにしても、足の位置関係によって発揮される出力と筋活動は異なってくることが考えられる。こうした理由から、本研究では、Fig.2に示される Bilateral narrow squat のような、立位姿勢による両脚での脚伸展運動を一般に多く用いられている左右開脚による両脚スクワッ

トに限定して研究をすすめていく．これに準じてレッグプレスでも，両脚によって行われ運動を左右開脚によるスクワットと同程度のスタンスによる運動と規定する．なお，片脚スクワットはクローズドポジションから自由脚を接地面から離れた状態のことを指している．以上のことはレッグプレスの場合にも同様である．

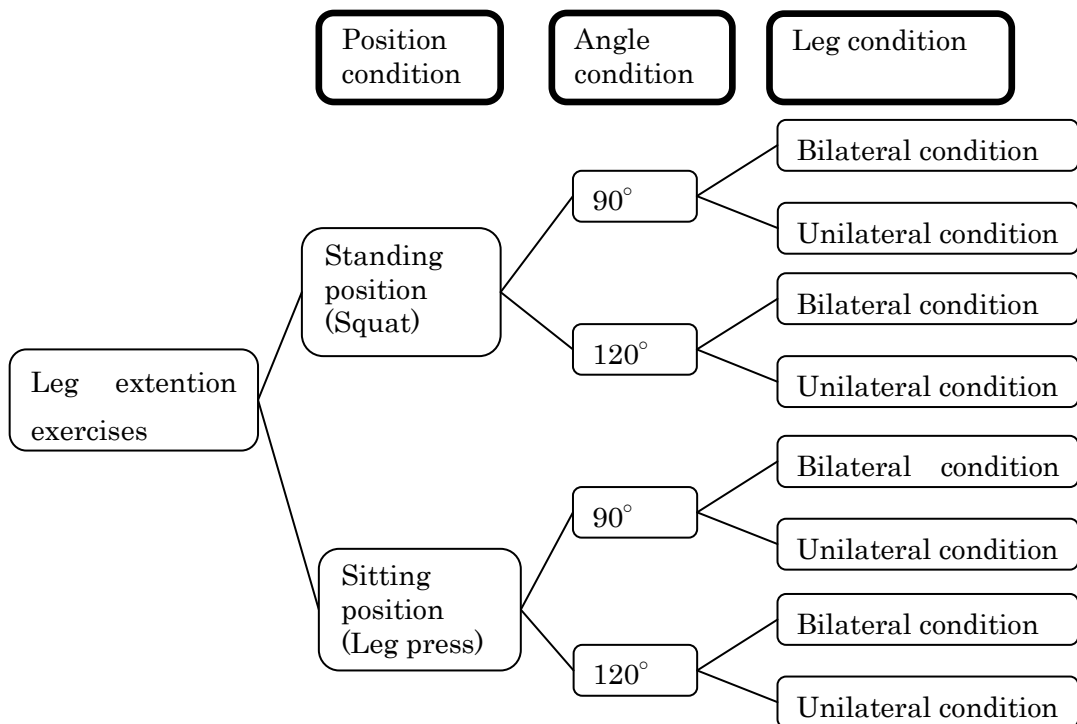


Fig. 1 Classification of the various leg extention exerscises at the different conditions.

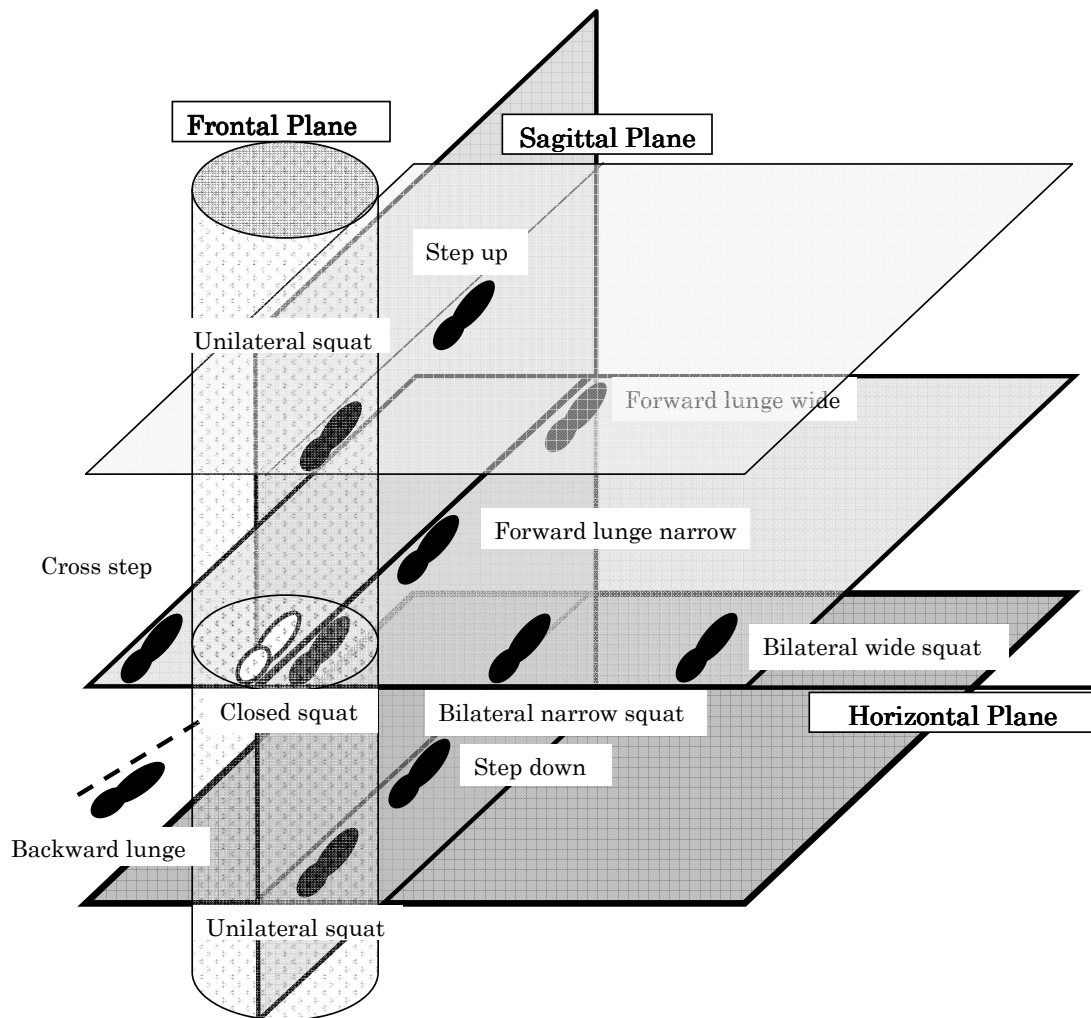


Fig. 2 Bilateral and unilateral squat exercises on different foot positions.

2. 問題の所在

すでに述べたように、本研究で扱う運動は、跳躍選手がトレーニングで用いている多関節による脚伸展運動から、①スクワット（立位運動）とレッグプレス（座位運動）という運動条件、②膝角度 90 度と 120 度という角度条件、③両脚または片脚という試技条件によって分類できる(Fig. 1)。この分類に基づいて、以下に示される問題が明らかにされる必要がある。

2.1. 同一運動内における各種条件下の出力と特徴 (問題 1)

各種条件下における脚伸展運動では出力特性に違いがあることが考えられるが、これまでの研究では脚伸展運動を運動条件、角度条件、試技条件の観点から分類して、それぞれの出力を比較した研究は行われていない。また、こうした条件下での EMG の特徴を扱った研究も行われていない。トレーニング方法の観点から、異なる運動中の出力特性や筋活動電位の違いを明らかにすることは、目的に合ったトレーニングを選択できることにつながるものと考えられる。そこで、まず、立位または座位運動で発揮される同一運動内の脚伸展運動の出力を角度条件と試技条件の 2 要因から比較し、それぞれの運動中で発揮される出力と筋活動の特徴を明らかにして、トレーニングで必要とされる基礎的な知見を収集する。

2.2. 立位運動と座位運動の出力の違い (問題 2)

本研究で対象としたスクワットとレッグプレスは、それぞれ多関節による脚伸展運動の代表的な運動とされている。立位姿勢と座位姿勢による運動の違いには、運動への上体および体幹部の動員の有無が考えられる。このように姿勢が異なる運動間の出力関係は、Rippetoe and Kilgore (2007) がレッグプレスで挙上できる半分程度の重量がクォータースクワットで挙上できる重量であることを紹介しているものの、正確な出力データの提示は行われていない。また、両脚や片脚といった試技条件や膝角度の違いを踏まえて 2 つの運動を比較したものも見当たらない。したがって、異なる運動条件でみられる出力の特徴について比較し検討する必要がある。

2.3. 競技パフォーマンスの結果およびフィールドテストの出力とレッグプレス・スクワット時の出力比較 (問題 3)

跳躍選手が負荷を用いた脚伸展運動を行う目的は、競技パフォーマンスを向上させるためである。ところが、跳躍運動は技術要素が競技パフォーマンスに影響するため、脚伸展

力と競技パフォーマンスの関係を直接検討することは難しい。そこで、跳躍運動に必要な体力要素と脚伸展力の関係を検討するときは、フィールドテストとして反動なし・ありの垂直跳や連続跳躍のような比較的簡単な跳躍運動での跳躍高を用いることが多い。跳躍選手によるこの種のテストの跳躍高と競技パフォーマンスとの相関関係は高い。また、フィールドテストの跳躍高は、スクワットにおける相対筋力と相関関係が高いことが知られている（ザチオルスキー，1972）。しかし、これまでの研究では、フィールドテストとの対応関係は両脚による脚伸展力との対応関係だけをみたもので、片脚による脚伸展力との対応関係については検討されていない。また、連続跳躍では、下体には衝撃的（反動的）・爆発的・弾道的に短時間で発揮される大きな筋力と、この力を受ける上体には姿勢保持と力の作用線上に身体各部を適切に配置する能力とが求められるというように、それぞれが違う目的で筋力を発揮していると考えられる。こうした高強度で上体と下体が異なる力を発揮する運動と、立位姿勢または座位姿勢での脚伸展運動との関係についてもこれまでの研究からは明らかにされていない。したがって、各種条件が異なる運動時の出力とフィールドテストの出力や競技パフォーマンスの結果との関係を検討する必要がある。

3. 研究課題および仮説

上述した問題点から以下の研究課題を設定することができる。本研究の目的を達成するにはこれらの研究課題を究明し、仮説を検証する必要がある。

3.1. 研究課題

研究課題 1: 角度条件と試技条件が異なるスクワット（立位運動）およびレッグプレス（座位運動）それぞれの脚伸展運動の出力特性を明らかにする。（問題 1）

研究課題 1-1: スクワット（立位運動）を角度条件（90 度と 120 度）と試技条件（両側試技と一側試技）によって分類し、それぞれの出力特性を検討する。また、EMG によって、この 2 つの条件下の立位運動中に動員される筋の特徴を明らかにする。（実験 1: 第 IV 章）

研究課題 1-2：レッグプレス（座位運動）を，角度条件(90 度と 120 度)と試技条件(両側試技と一側試技)によって分類し，それぞれの出力特性を検討する．また，EMG によって，この 2 つの条件下の座位運動中に動員される筋の特徴を明らかにする．（実験 2：第 V 章）

研究課題 2：角度条件（膝角度 90 度と 120 度）と試技条件（両側試技と一側試技）が異なるスクワットとレッグプレスで発揮される出力を直接比較することで，2 つの運動の出力特性を明らかにする．（実験 3：第 VI 章）

研究課題 3：各種条件下で発揮されるスクワットとレッグプレスの出力（最大筋力，相対筋力，爆発的筋力）と競技パフォーマンスおよびフィールドテスト結果との対応関係を検討する．（実験 3：第 VI 章）

3.2. 研究仮説

研究課題 1-1 に対する仮説：スクワット（立位運動）では，下体の伸展力と上体および体幹部の支持機能によって出力が発揮される．クローズド・キネティック・チェーンでは各関節の最も弱い部分によって出力が制限されることから，脚伸展力が大きくなると，この力を受ける上体および体幹部の支持機能によって出力が制限される．したがって，関節角度とトルクの関係から，膝角度が浅い 120 度では脚伸展力が体幹部の支持機能を大きく上回り，両脚で発揮される出力 (BL) と，左右それぞれの片脚で発揮された出力の合計 (UL) の差が顕著になるであろう．

研究課題 1-2 に対する仮説：レッグプレス（座位運動）では，膝角度が大きくなるにしたがって出力は増大する．しかし，この運動での脚伸展力は上体と体幹部を介することなくダイレクトに出力されるため，立位運動で考えられる上体と体幹部による出力制限は起

こらないと考えられる。したがって、関節角度とトルクの関係から、膝角度 120 度となることで脚伸展力が大きくなっても、BL と UL は同じ程度の出力となることが予想される。ただし、BL は、両側性筋力低下現象によって UL よりも 10%程度の出力低下がみられるという報告もあることから、両者に差がみられたとしても 10%程度の出力低下にとどまるであろう。

研究課題 2 に対する仮説：レッグプレスでは体幹部の支持機能が関与しないため BL も UL も脚伸展力がダイレクトに出力されたものとなると考えられる。一方、スクワットは脚伸展力が上体と体幹部を介して出力されるため、両脚スクワットのように両側同時によって大きな脚伸展力が発揮された場合は体幹部の支持機能により出力は制限される。しかし、片脚スクワットのように一側単独による脚伸展力は、体幹部の支持機能の範囲内に収まるため、両脚スクワットにみられる出力低下は生じないと考えられる。したがって、スクワットの UL は、レッグプレスの BL および UL と同程度になるであろう。これに対して、スクワットの BL は上体と体幹部によって出力に制限が生じることから、スクワットの UL とレッグプレスの BL と UL との間出力差が生じるであろう。

研究課題 3 に対する仮説：フィールドテストによる各種の跳躍運動は全身運動である。全身をつかったジャンプ運動では下体によって発揮される脚伸展力と、力の作用線上に上体と体幹部を適切に配置するとともに姿勢を保持する能力、いわゆる“軸づくり”が求められる。一方、スクワットも全身を使った脚伸展運動であることから負荷とされる重量を挙上するためには、大きな脚伸展力と共に、上体および体幹部を力の作用線上に配置すること、そして座屈しないように姿勢を保持することが求められる。したがって、フィールドテストとの相関関係は、膝角度の浅い両脚スクワットとの間でみられるであろう。

4. 研究の限界

本研究には、以下に列挙する方法および結果の解釈に関する限界、得られた知見の一般化、普遍化に関する限界が存在する。

4.1. 方法および結果の解釈に関する限界

- ① 本研究では、立位運動と座位運動の運動条件については、上体および体幹部の関与の有無に大きな違いがあると考えている。そして、座位運動ではこの部位が排除された脚伸展運動という前提で研究を展開している。その理由には、脚の作用線上に上体および体幹部が配置されていないことが想定されている。しかし、この部位の作用を完全に排除することはできない。
- ② 本研究では、スクワットもレッグプレスも膝角度によって動作を分類して、関節角度と出力の関係を検討した。そのため、股関節や足関節の角度は規定していない。個人によって骨格、筋肉の長さ、関節の柔軟性も異なるため、膝角度だけで完全に同一の動作とみなすことは困難である。
- ③ 立位の片脚運動ではバランス保持能力が求められる。しかし、本研究では、アイソメトリックな筋力発揮を用いて体幹部の支持機能が出力に及ぼす影響を検討しているため、バランス能力による出力の増減を論じることはできない。

4.2. 一般化、普遍化に関する限界

本研究では、大学陸上競技部に所属する跳躍選手を対象とした。そのため、日常的に運動を行っていないものや他の競技の競技者に対しては、本研究で得られた知見をそのまま適用することには限界がある。

IV. 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

(研究課題 1-1)

1. 章のねらい

陸上競技の跳躍種目では、踏切局面で必要とされる跳躍力のうち、身体の支持部位を含めた脚伸展力を強化する運動としてスクワットが行われている。

スクワットは、バーベルを肩に担ぎ、足の位置を左右に開脚した立位姿勢から、両脚を同時に屈曲・伸展させることで、踏切時に必要な脚伸展力を強化している。しかし、踏切り、助走局面を含めて跳躍運動では脚は交互に動かされている。つまり、両脚支持による脚の屈曲・伸展の局面はなく、片脚による屈曲・伸展によって運動が遂行されている。Zhuk and Martynenko (1990) は、跳躍運動とそれを強化するために行っている運動が異なっていることを指摘し、片脚スクワットを専門運動との類似性が高く、片脚保持に必要とされる筋群の強化が行える方法として紹介している。また、両脚スクワットの筋力 (BL) は、左右それぞれの脚によって発揮された片脚スクワットでの筋力の合計 (UL) と等しいという考えに基づいて、一側試技によるスクワットでは両側試技によるスクワットの半分の重量で、脚には同等の負荷をかけられることから、腰部に対する傷害予防になることも指摘されている。

しかし、彼らのこの報告は実証的な出力データが示されていない。スクワットのような多関節運動では、膝角度を 60 度から 140 度へ変化させるにつれて発揮される最大筋力は大きくなることが知られている (阿江ら, 1983 ; 阿江, 1992)。また、スクワットのような直列多関節系の運動では、最終的に発揮される出力が各関節で発揮される最も小さい出力に規定される。したがって、膝角度が浅い状態では発揮される脚伸展力が著しく大きくなるため、これを受ける上体と体幹部の出力制限によって BL と UL に差が生じることが予想される。

そこで本章は、トレーニング方法論の観点から、両側試技（両脚）と一側試技（片脚）によるスクワットについて、トレーニング場面で用いられる 2 種類の代表的な膝角度（90 度と 120 度）を用いて、この姿勢から最大努力で力を発揮する際の出力とここでの筋活動から、各種条件下のスクワットの運動特性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

2.1. 被験者

被験者には、継続的に筋力発揮運動を行っており、比較的速度・筋力要素が高度に発達していると考えられる大学陸上競技男子跳躍選手（11 名）を選定した（Table 1）。実験に際して、被験者には詳細な実験内容と共に、危険を感じた場合にはいつでも中止できる旨を説明し、任意参加の同意を得て実施した。

Table 1 Characteristics of the subjects (mean \pm SD).

Event	n	Personal Best (m)	Height (m)	Weight (kg)	Age (yrs)
High jump	4	2.14 (\pm 0.09)	1.82 (\pm 0.24)	70.6 (\pm 3.3)	19.5 (\pm 0.6)
Long jump	5	7.33 (\pm 0.34)	1.76 (\pm 0.42)	67.0 (\pm 3.8)	19.0 (\pm 0.7)
Triple jump	2	15.95 (\pm 1.70)	1.76 (\pm 0.35)	64.3 (\pm 1.1)	24.5 (\pm 6.4)

2.2. 実験課題と測定項目

(1)スクワット運動時の脚伸展力の測定

立位による脚伸展力の出力測定のために、両脚スクワットと踏切脚および自由脚のみによる片脚スクワットを用いた。これらのスクワットでは、膝角度を 90 度と 120 度に固定した 2 タイプの静的な最大努力による出力発揮を行わせた。Fig. 3 に示されているようにアイソメトリックラックの基盤にフォースプレート（Kistler 社製）を設置し、この上で実験試技を行わせて測定した。その際に、両試技とも、脚の外果と肩峰とを結ぶ線がフォースプ

レートと垂直になるように動作を規定した。なお、片脚スクワットの測定時には、過度の上体前傾を避けるために自由脚を身体前方へ出す姿勢で行わせた。

フォースプレートから得られたデータは A/D コンバータを介してパソコンに取り込み、発揮された最大値から最大筋力 (Fmax : maximum force) を抽出した。得られた最大筋力からは、体重当たりの筋力として相対筋力 (rF : relative force) を算出した。単位時間当たりの筋力の大きさをみるため、最大筋力とこの筋力が発揮されるのに要した時間からスピード-筋力指数 (SSI : speed strength index, F_{max}/T_{max}) を算出した (ザチオルスキー, 1972, pp.31 ; Bührle, 1985 ; 村木, 1994, pp.105)。測定は原則としてそれぞれ 2 回ずつ行い、最大筋力が大きいほうの結果を資料として用いた。

(2) EMG の測定

両脚スクワットと片脚スクワットにおける主働筋群の作用の違いを検討するため、表面電極を利用して活動筋群の EMG 測定を行った。被検筋は、脊柱起立筋(M. erector spinae), 大殿筋(M. gluteus maximus), 中殿筋(M. gluteus medius), 大腿直筋(M. rectus femoris), 内側広筋(M. vastus medialis), 大腿二頭筋長頭(M. biceps femoris caput longum), 長内転筋(M. adductor longus)とした。脊柱起立筋については左右両側を被検筋とし、これ以外はいずれも被験者の踏切脚側を対象とした。

各筋の活動電位は双極誘導法によりマルチテレメーターシステム(日本光電工業製)を用いて増幅し(時定数 0.03s), データーレコーダー(共和電業社製)にテープ速度 1.9m/s で収録した。また、収録された信号は、即時にデジタルオシロスコープ(横河電機社製)およびサーマルアレイレコーダー(日本電気三栄社製)にて再生モニターした。

2.3. 統計処理

スクワット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 つの要因を比較す

るため繰り返しのある 2 元配置の分散分析を行った。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-Karmer 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。同一出力による BL/UL 比および LL/TL 比の違いを角度間で比較したものについては対応のある t 検定を行った。いずれの処理も有意水準は 5%未満で判定した。

3. 結果

3.1. スクワットの出力

(1)最大筋力および相対筋力

Fig. 4 はスクワットにおける最大筋力の BL と UL を膝角度 90 度と膝角度 120 度で示している。膝角度 90 度の最大筋力は、BL が $1730.1 \pm 372.8\text{N}$ 、UL が $1773.6 \pm 402.5\text{N}$ であった。膝角度 120 度の最大筋力は、BL が $2837.9 \pm 445.9\text{N}$ 、UL が $3944.0 \pm 629.6\text{N}$ であった。各種条件下で得られたスクワットの最大筋力を角度条件と試技条件の 2 つの要因で比較したところ、交互作用がみられたため、全組み合わせによる多重比較をおこなった。その結果、膝角度 90 度では、最大筋力の BL と UL との間には差が認められなかった。しかし、膝角度 120 度では、UL が BL よりも大きく、有意な差が認められた。BL と UL それぞれを角度間で比較したところ、膝角度 90 度の BL は、膝角度 120 度の BL と膝角度 120 度の UL との間に有意な差が認められた。また、膝角度 90 度の UL は、膝角度 120 度の UL と膝角度 120 度の BL との間に有意な差が認められた。

Fig. 5 には、スクワットの BL/UL 比を膝角度 90 度と膝角度 120 度で比較したものを示している。最大筋力の BL/UL 比は、膝角度 90 度が $97.8 \pm 5.5\%$ 、膝角度 120 度が $72.6 \pm 10.7\%$ であった。それぞれの膝角度による最大筋力の BL/UL 比を角度間で比較したところ、膝角度 90 度の BL/UL 比が膝角度 120 度のものよりも大きく有意な差が認められた。

Fig. 6 と Fig. 7 には、異なる膝角度と異なる試技条件によって発揮されたそれぞれの最大筋力の相互関係が示されている。その結果、膝角度 90 度の BL と膝角度 90 度による UL ($r = 0.96$)、膝角度 90 度の BL と膝角度 120 度の UL ($r = 0.70$)、膝角度 90 度の UL と膝角度 120 度の UL ($r = 0.65$) との間に有意な相関関係が認められた。一方、膝角度 90 度の BL と膝角度 120 度の BL、膝角度 90 度の UL と膝角度 120 度の BL、膝角度 120 度の UL と膝角度 120 度の BL との間には有意な相関関係は認められなかった。

Fig. 8 には、膝角度 90 度と膝角度 120 度で発揮された相対筋力を示している。膝角度 90 度では、BL が 2.6 ± 0.6 、UL が 2.7 ± 0.6 であった。膝角度 120 度では BL が 4.3 ± 0.6 、UL が 6.0 ± 1.1 であった。各種条件下で得られたスクワットの相対筋力を角度条件と試技条件の 2 つの要因で比較したところ、交互作用がみられたため、全組み合わせによる多重比較をおこなった。その結果、膝角度 90 度では、BL と UL には差が認められなかった。しかし、膝角度 120 度では、UL が BL よりも大きく、有意な差が認められた。相対筋力の BL と UL それぞれを角度間で比較したところ、膝角度 90 度の BL は、膝角度 120 度の BL と UL よりも小さく、有意な差が認められた。膝角度 90 度の UL は、膝角度 120 度の BL と UL よりも小さく、有意な差が認められた。

(2) スピード-筋力指数

Fig. 9 には、スクワットにおけるスピード-筋力指数の BL と UL を膝角度 90 度と膝角度 120 度ごとに示している。膝角度 90 度におけるスピード-筋力指数は、BL が $1.2 \pm 0.3 \text{N/ms}$ 、UL が $1.3 \pm 0.3 \text{N/ms}$ であった。膝角度 120 度におけるスピード-筋力指数は、BL が $1.3 \pm 0.4 \text{N/ms}$ 、UL が $1.8 \pm 0.4 \text{N/ms}$ であった。角度条件と試技条件の 2 つの要因による分散分析の結果、膝角度 90 度の平均は $1.2 \pm 0.3 \text{N/ms}$ 、120 度では $1.6 \pm 0.5 \text{N/ms}$ で、有意な差が認められ、試技条件の違いでは BL が $1.3 \pm 0.4 \text{N/ms}$ 、UL が $1.5 \pm 0.4 \text{N/ms}$ で、有意な差が認められた。両要因の交互作用は認められなかった。

Fig. 10 には、スピード-筋力指数の BL/UL 比を角度間で比較したものを示している。膝角度 90 度では $98.4 \pm 28.2\%$ 、膝角度 120 度では $76.8 \pm 23.9\%$ が示された。それぞれの BL/UL 比は平均値で大きな差がみられたが、有意な差は認められなかった。

(3)脚の機能的特性の違いに基づく出力

Fig. 11 には、踏切脚 (TL) と自由脚 (LL) による片脚スクワットでの最大筋力を、脚の機能的特性 (TL と LL) と角度条件 (膝角度 90 度と 120 度) の 2 つの要因で比較したものを示している。膝角度 90 度における TL は、 $920.1 \pm 219.0\text{N}$ 、LL は $853.5 \pm 197.0\text{N}$ であった。一方、膝角度 120 度では、TL は $1995.6 \pm 294.0\text{N}$ 、LL は $1948.4 \pm 373.5\text{N}$ であった。最大筋力を脚の機能的特性と角度条件の要因ごとに比較した結果、膝角度 120 度の最大筋力が膝角度 90 度よりも大きく、有意な差が認められたが、TL と LL の間には差は認められなかった。

Fig. 12 には、スクワットでの TL の最大筋力に対する LL の最大筋力の割合 (LL/TL 比) を図で示している。最大筋力の LL/TL 比は、膝角度 90 度では $93.2 \pm 11.1\%$ 、膝角度 120 度では $97.7 \pm 12.2\%$ であった。最大筋力の LL/TL 比を角度間で比較したところ、有意な差は認められなかった。

Fig. 13 には、スクワットでの相対筋力を、脚の機能的特性と角度条件の 2 つの要因で比較したものを示している。膝角度 90 度の TL は 1.4 ± 0.3 、LL は 1.3 ± 0.3 であった。膝角度 120 度では、TL は 3.0 ± 0.5 、LL は 2.9 ± 0.6 であった。相対筋力を脚の機能的特性と角度条件の 2 つの要因で比較した結果、膝角度 120 度の相対筋力が膝角度 90 度よりも大きく、有意な差が認められたが、TL と LL の間には差は認められなかった。

Fig. 14 には、スクワットでのスピード-筋力指数を、脚の機能的特性と角度条件の 2 つの要因で比較したものを示している。膝角度 90 度では、TL は $0.7 \pm 0.2\text{N/ms}$ 、LL は $0.6 \pm 0.2\text{N/ms}$ であった。膝角度 120 度では、TL は $0.9 \pm 0.3\text{N/ms}$ 、LL は $0.9 \pm 0.2\text{N/ms}$ であ

た。スピード-筋力指数を角度条件ごとに比較したところ、膝角度 120 度のスピード-筋力指数が膝角度 90 度のものよりも大きく、有意な差が認めれたが、TL と LL の間には差は認められなかった。

Fig. 15 には、スクワットでの TL のスピード-筋力指数に対する LL のスピード-筋力指数の割合 (LL/TL 比) を図で示している。スピード-筋力指数の LL/TL 比は、膝角度 90 度が $96.2 \pm 36.8\%$ 、膝角度 120 度が $97.0 \pm 35.9\%$ であった。スピード-筋力指数の LL/TL 比を角度間で比較したところ、有意な差は認められなかった。

3.2. 両脚および片脚スクワット時の活動筋群について

Fig. 16 は、同一被験者を用いて異なる試技条件 (両側試技と一側試技) で脚伸展運動を行ったときの踏切脚の EMG 記録の代表例を示している。上段には膝角度 90 度における EMG 記録を両側試技 (左側) と一側試技 (右側) に分けて示した。膝角度が 90 度のときの両側試技では、左右の脊柱起立筋、大腿直筋および内側広筋の EMG が大きい傾向が示された。同一膝角度の一側試技では、両側試技で顕著であった筋の EMG が大きいことは変わらないが、全体的に両側試技と比べて一側試技の EMG が各筋で大きい傾向が示された。

一方、下段には、膝角度 120 度における EMG 記録を両側試技 (左側) と一側試技 (右側) で示している。膝角度 120 度の両側試技では、左右の脊柱起立筋、大腿二頭筋、内側広筋の EMG が大きい傾向が示された。同一膝角度の一側試技では、右側の脊柱起立筋、大腿二頭筋、内側広筋の EMG が大きい傾向が示された。同一角度内で EMG を比較したところ、一側試技には左側の脊柱起立筋が両側試技よりも小さくなる傾向がみられた。

異なる膝関節における EMG の比較では、膝角度 90 度による両側試技および一側試技での大腿直筋の EMG が角度 120 度のときよりも顕著であった。膝角度 120 度による一側試技での大腿二頭筋長頭の EMG は膝角度 90 度のときよりも大きかった。また、膝角度 90 度の一側試技では左右の脊柱起立筋の EMG が大きかったのに対し、膝角度 120 度の一側

試技では左側（TL 側）の脊柱起立筋の EMG が小さいという特徴が示された。

4. 考察

4.1. 最大筋力の出力比較

膝角度と試技条件が異なるスクワットでは、膝角度 120 度のときに発揮される最大筋力は膝角度 90 度のときに発揮される最大筋力よりも大きかった。また、同一角度で発揮された最大筋力の BL と UL それぞれを比較した結果、膝角度 90 度では、BL と UL の間に差は認められなかった。しかし、膝角度 120 度では、UL が BL よりも大きくなる特徴が示された (Fig. 4)。Zhuk and Martynenko(1990)の報告は、BL と UL の出力は同じとする考えに基づいていたが、このことは膝角度 90 度の最大筋力についてはあてはまるが、発揮される最大筋力が大きくなる膝角度 120 度にはあてはまらなかった。

膝角度 90 度では最大筋力の BL と UL との間に差はみられなかったののに対して、膝角度 120 度では BL と UL に有意な差が認められた。それぞれの膝角度で BL と UL の出力関係が異なっているため、膝角度の変化に伴う BL と UL の変化を比較したところ、膝角度 120 度のものが 90 度のものよりも大きいという結果が示された。膝関節の伸展力は生力学的条件の影響から、膝角度が約 60 度で最も出力が低く、その後約 140 度まで増加する (阿江ら, 1983 ; 阿江, 1992)。本研究も、膝角度が 90 度の最大筋力よりは膝角度 120 度の最大筋力が大きいという結果が示されていることから、先行研究を支持する結果が示されたといえる。つぎに、膝角度の変化に伴う最大筋力の変化の詳細を BL と UL それぞれについて見てみると、UL では膝角度 120 度と膝角度 90 度の筋力差が約 2200N と、膝角度 120 度のものが 90 度のものよりも 2 倍以上に増大している。これに対して、BL では膝角度 120 度と 90 度との筋力差が約 1100N と、膝角度が大きくなっても UL ほど出力は増大していない。そこで、同一角度条件における最大筋力の BL と UL との相互関係を検討してみると、

膝角度 90 度では BL と UL の最大筋力には有意な相関関係が認められているのに対して、膝角度 120 度では BL と UL との間には相関関係が認められなかった (Fig. 6). この結果から、膝角度 90 度では BL も UL も同じ出力が発揮されるが、より大きな出力が発揮される膝角度 120 度では、試技条件が異なると発揮される出力も異なることが示された。

両脚スクワットのように両側を同時に屈曲・伸展させる運動では、一側単独で行うものよりも筋力が低下することは両側性低下現象 (Henry and Smith, 1961) として知られている。レッグプレスを用いて BL と UL を比較した研究では、UL に対して BL の出力が 25% 低下したことが報告されている (Secher, 1978)。また、膝角度ごとに異なる被験者を用いた同様の実験では、UL に対して BL の出力が膝角度 90 度のときに 19%、膝角度 150 度ときには 20% の出力低下を示したことが報告されている (Secher, 1988)。こうした結果と他の単関節による運動の出力比較に基づいて大槻 (1997) は、筋力の両側性低下は平均して 10~20% であると述べている。本研究での BL/UL 比は、膝角度 90 度が $97.8 \pm 5.5\%$ 、膝角度 120 度では $72.6 \pm 10.7\%$ であったので、両側試技の出力低下はそれぞれ 2.2%、27.4% であった。膝角度 90 度も 120 度ともに両側試技の最大筋力が低下していることから、こうした出力低下の要因は両側性低下現象によるものとも考えられる。しかし、膝角度 90 度と 120 度の低下率の開きは大きく、2 つの角度間には有意な差が認められていることから、両側低下現象だけが膝角度 120 度の場合の出力低下の原因とは考えにくい。膝角度が増大し、出力が大きくなるのにしたがって両側試技の出力低下も大きくなっていることを考慮すると、むしろこの出力低下は以下に述べるリミティングファクターによる出力制限が影響していると考えられるべきであろう。

山下 (2007) はリミティングファクターについて、直列系に関節が連結されたクローズド・キネティック・チェーン下の運動では、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、そのうち最も弱い関節出力によって制約されると説明している。立位で行われるスクワットでは、バーベルを肩で保持しているため、脚

によって発揮される伸展力とこの筋力に負けずに上体の姿勢を保持する筋力が同時に発揮される (Dick, 2007). そのため, 下体の筋群とともに姿勢保持に働く上体および体幹部の筋群も最終出力に大きく影響を及ぼしていることが推測される. 膝角度 90 度での両脚スクワットでは, 多関節による角度と関節トルクの関係から, 発揮される脚伸展力が小さかったため, 体幹部の支持機能の範囲に収まったことで脚伸展力が出力された. つまり, この角度では, 2 つの試技条件とも脚伸展力が体幹部の支持機能の制約を受けない範囲の出力であったため BL と UL との間に出力差がみられなかったと考えられた. ところが, 膝角度が大きくなると発揮される伸展力も顕著に大きくなるため, 姿勢保持のために発揮される上体と体幹部の支持機能を上回ることになる. 特に, 両脚スクワットは両脚同時に脚伸展力が出力されるため, この影響を大きく受ける. 一方, 片脚スクワットは片脚での脚伸展力発揮であるため, 体幹部の出力制限による影響を受けにくい. したがって, 膝角度 120 度の両脚スクワットでは上体および体幹部の支持機能がリミティングファクターとして出力に影響したが, この角度での片脚スクワットはその影響を受けなかったことを反映する結果であったと解釈するのが妥当であろう. このことは, 各種条件が異なる最大筋力の相互関係からも確認することができる (Fig. 7). 膝角度 120 度の UL では脚伸展力が直接的に出力されたため, 膝角度 90 度での BL や UL のように, 体幹部の出力制限を受けないことで脚伸展力が出力にダイレクトに反映される運動との間に相関関係が認められている. これに対して, 膝角度 120 度の BL では, 膝角度 90 度の BL と同角度の UL との間には相関関係が認められていない. これは, 膝角度 120 度の BL では上体および体幹部の支持機能が出力に反映されたためと考えられる.

4.2. スピード-筋力指数の出力比較

スクワットにおける, 角度条件 (膝角度 90 度と 120 度) と試技条件 (両脚と片脚) の違いに基づいてスピード-筋力指数を比較した結果, 角度条件の違いの間にも試技条件の違い

の間にも有意な差が認められた (Fig. 9).

膝角度が浅いときは深いときよりもスピード-筋力指数が大きい結果が示されているが、これは本研究の被験者が跳躍選手であることと関係があると思われる。跳躍種目では助走で得られたスピードを踏切り局面で鉛直方向に変換させることが求められる。専門種目と選手の跳躍タイプにもよるが、一般的にここでの膝角度は 125~170 度の範囲で遂行されることが多く (村木, 1994, pp.106-107.), 本研究で用いた膝角度 120 度と類似性が高い。そして、踏切では 0.13~0.2 秒と時間的な制約がある中でできるだけ大きな出力発揮が求められている。したがって、専門運動で必要とされるこれらの要因に基づいて、膝角度の違いによるスピード-筋力指数の違いが生じたと考えられる。

試技条件の違いが出力に影響を及ぼしていることについてみると、BL は UL よりも有意に低いものであった。Vandervoot ら (1987) は種々の速度を用いたレッグプレスでの BL と UL の出力比較に基づいて、角速度が大きくなるにしたがいピークトルクの BL/ UL 比が小さくなることをみだし、100 回連続した試技の疲労が両側試技よりも一側試技の方が大きかったことから、両側試技による出力低下は主に FT 運動単位の動員が抑制されたために生じるという見解を主張している。また、Koh ら (1993) も 3 秒かけて徐々に筋力を増加させていくランプ (漸増) 収縮と最大速度で一気に最大値を出してすぐに脱力するステップ (段差) 収縮の 2 様式で筋力を発揮させた結果に基づいて、両側性低下率はランプ収縮が 17.0%であったのに対し、ステップ収縮では 24.6%と大きかったことを報告し、この結果から両側性低下は FT 運動単位の動員が抑制されたことによると結論している。本研究でも、UL の出力は BL のものよりも大きい結果が示されており、先行研究と同様、一側試技による出力発揮時には両側試技よりも速い運動単位が動員された可能性が高い。さらに、専門運動で必要とされる運動は片脚によって行われ、そこでは踏切局面の時間的な制約を伴いながら行なわれる。こうしたことから、被験者が片脚による時間当たりの大きな出力発揮に習熟しているという種目特性が影響していたことも考えられる。

4.3. 片脚スクワットでの出力

片脚スクワットで得られた TL と LL それぞれの出力を，脚の機能的特性（TL と LL）と角度条件（膝角度 90 と 120 度）の 2 つの要因で比較した結果，最大筋力では，膝角度 120 度のものが膝角度 90 度のものよりも有意に大きかったが，TL と LL との機能的特性の違いはみられなかった（Fig. 11.）. スピード-筋力指数については，最大筋力と同様，膝角度 120 度のものが膝角度 90 度のものよりも有意に大きかったが，TL と LL のスピード-筋力指数は同程度の出力が示され，機能的な違いは認められなかった（Fig. 14）.

膝角度の変化に伴う最大筋力の増加については，関節トルクと出力の関係により，膝角度 60 度から 140～150 度となるにしたがい出力は大きくなることが知られている（金原ら，1974；阿江，1982）. 本研究の結果も，膝角度 120 度の方が膝角度 90 度より有意に大きく，先行研究の結果が支持されたといえる.

脚の機能的特性の違いでは，最重要局面である踏切りが TL で遂行されるため，TL の最大筋力が LL より大きいことが予想されたが，本研究の結果は，平均値では TL の出力が LL よりも大きかったものの，有意な差は認められなかった. このことは，スピード-筋力指数でも同様であった. 跳躍運動は左右それぞれの脚が交互に接地し出力を発揮する運動で，助走局面ではどちらの脚も同じような出力が求められている. これが最大筋力とスピード-筋力指数で脚の機能的特性の違いが認められなかった理由であろう. 一方で，踏切時には左右脚の役割は異なってくることが知られている. 踏切脚は爆発的・弾道的・反動的な筋力発揮をしているのに対して，踏切 1 歩前の自由脚は，重心を下げたまま，上方に跳ばないように注意しながら腰を送り出すようにして最適な踏切姿勢を作り出している. つまり，踏切 1 歩前では脚は力をためるようにしながら受動的な筋力が発揮されている. 本研究のような静的な筋力発揮からでは，跳躍運動で求められる専門的筋力による脚の機能的特性の違いを検証することができなかった. しかし，より専門運動に近い内容と条件で測

定すれば脚の機能差が表れてくる可能性はあるであろう。

4.4. スクワット運動時の筋活動機序

角度条件と試技条件によるスクワット中の筋活動の違いをみるため、EMGによる測定を行った。試技条件の違いを同一膝角度で比較したところ、膝角度 90 度では主働的に作用している筋肉には両側試技と一側試技とでは大きな違いはないものの、全体的に一側試技の EMG は両側試技時よりも大きい傾向が示された (Fig. 16 上段)。一側試技時の EMG が両側試技時よりも大きい傾向がみられた理由は、片脚による膝角度 90 度の条件では姿勢を保持するのも困難で、筋の活動が脚伸展力だけに作用したのではなく、姿勢保持のためにも活動したためと考えられる。さらに、膝角度 90 度のときは、最大筋力の BL と UL の値が同程度のものが示されていて、両者には有意な差が認められなかったにも関わらず、全体的な EMG 活動で大きさの違いがみられていることも、この考えを支持していると考えられる。一方、膝角度 120 度の両側試技時では左右の脊柱起立筋に同じ程度の EMG が示されていたのに対して、同角度の一側試技時には自由脚側 (右側) の脊柱起立筋の EMG が踏切脚 (左側) と比べて大きくなっていった (Fig. 16 下段)。スクワットでは脚伸展力とこれを受ける上体と体幹部の支持機能が働くため、膝角度が浅くなり大きな出力が発揮されると、これを受ける上体と体幹部の支持機能も高出力が要求される。両側試技時には、両脚によって脚伸展運動が遂行されるため、脊柱起立筋の左右それぞれの EMG は同程度のものが示された。しかし、一側試技時には脚を伸展している側 (左側) だけが脚伸展力を受ける。上体と体幹部の左側だけがこの伸展力をうけると、上体と体幹部の反対側 (右側) は下がってしまうため適切な身体配列ができなくなる。スクワットでは、脚伸展力の作用線上に上体と体幹部を配置しなければ脚伸展力が出力として反映されないため、上体と体幹部の右側が下がった姿勢では脚伸展力が出力され難くなる。膝角度 120 度の一側試技時に、右側の脊柱起立筋の EMG が大きく活動した理由は、片脚で発揮される脚の作用線上に適切

に身体配列をするとともに姿勢保持することで脚伸展力の出力低下を防ごうとしたためと考えられる。

5. 要約

本章の目的は、角度条件（90度と120度）と試技条件（両側試技と一側試技）といった異なる条件下での出力比較を立位運動の代表とされるスクワットを用いて行うことで、各種条件下の運動特性を示すことであった。この背景には、スクワットにおけるBLとULがと等しいとする Zhuk and Martynenko(1990)らの実践報告を検証することにあった。本研究の結果から以下の内容が明らかにされた。

- ① 最大筋力については、同一膝角度でBLとULを比較した結果、膝角度90度ではBLとULは同程度のものが示され、有意な差は認められなかったが、膝角度120度ではULがBLよりも大きく、有意な差が認められた。これは直列多関節系における出力の特徴とされるリミティングファクターの影響が大きく、体幹部の支持筋力によって脚筋力の出力が制限されたためと考えられる。
- ② スピード-筋力指数では、膝角度120度のときの出力が膝角度90度のものよりも大きく、ULはBLよりも大きい結果が示された。
- ③ 脚の機能的特性の違いに基づく出力差については、TLとLLの間に差は認められなかった。
- ④ EMGの所見からは、膝角度90度で両側試技と一側試技を比較したところ、主に活動している筋のEMGには大きな違いはないものの、全体的に一側試技時のEMGは両側試技時よりも大きい傾向が示された。一方、膝角度120度のBL時では左右の脊柱起立筋が同じ程度のEMGが示されていたのに対して、同角度のUL時では自由脚側（右側）の脊柱起立筋のEMGが踏切脚側（左側）に比べて大きかった。

以上の結果からは、Zhuk and Martynenko(1990)らの実践報告と同様に、膝角度が深い 90 度の時には、最大筋力の BL と UL の値は同程度であることが検証された。また、スピード・筋力指数も UL 時の方が BL 時よりも大きいだけでなく、EMG も一側試技時の方が両側試技時よりも大きなものが示されていた。こうした結果からも、片脚による膝角度が深いスクワットは両脚で行うスクワットのように大きな負荷を用いることなく、同程度の出力を発揮することができること、そして多くの部位の筋活動を動員することができることから、効果的なトレーニングの可能性を持っていると考えられる。したがって、膝角度の深い 90 度では彼らの提言は実証されたといえる。

一方、膝角度 120 度における最大筋力の BL と UL の比較では、UL の方が BL よりも顕著に大きいという結果が示された。両脚スクワットでは、脚伸展力とともに体幹部の支持機能が出力に影響を及ぼしている。これに対して片脚スクワットでは、脚伸展力が大きく出力に影響してだけでなく、片脚支持で必要とされる上体と体幹部の筋群が作用したものと推測される。トレーニングでは、両脚スクワットは体幹部の支持機能を向上すること、片脚スクワットは片脚支持に必要な身体配列と脚伸展力の強化が目的となるため、2 つの運動の位置付けは異なると考えられる。

以上のことから、彼らの提言は膝角度が浅い 120 度のように高出力が発揮される際には該当しないことが明らかとなった。

Table 2 Correlations between various output measurements during bilateral and unilateral squats at 90 and 120 degrees of the knee angles.

* p< 0.05	Fmax_BL_90	Fmax_UL_90	Fmax_BL_120	Fmax_UL_120	rF_BL_90	rF_UL_90	rF_BL_120	rF_UL_120	SSI_BL_90	SSI_UL_90	SSI_BL_120	SSI_UL_120
Fmax_BL_90	1	0.96*	0.30	0.70*	0.97*	0.98*	0.39	0.67*	0.44	0.48	-0.18	0.27
Fmax_UL_90		1	0.38	0.65*	0.89*	0.97*	0.40	0.56	0.31	0.35	-0.12	0.18
Fmax_BL_120			1	0.58	0.17	0.27	0.94*	0.41	0.53	-0.13	0.23	0.39
Fmax_UL_120				1	0.70*	0.68*	0.71*	0.95*	0.83*	0.58	0.03	0.74*
rF_BL_90					1	0.96*	0.34	0.74*	0.46	0.51	-0.22	0.30
rF_UL_90						1	0.37	0.66*	0.35	0.42	-0.16	0.23
rF_BL_120							1	0.63*	0.67*	-0.04	0.19	0.53
rF_UL_120								1	0.81*	0.60	-0.04	0.74*
SSI_BL_90									1	0.43	0.29	0.89*
SSI_UL_90										1	-0.37	0.33
SSI_BL_120											1	0.36
SSI_UL_120												1

The key is as follows; Fmax: maximum force, rF: relative force, SSI: speed strength index, BL: the output value of bilateral condition, UL: sum of the output value of unilateral conditions, 90: 90degrees of the knee angle, 120: 120degrees of the knee angle.

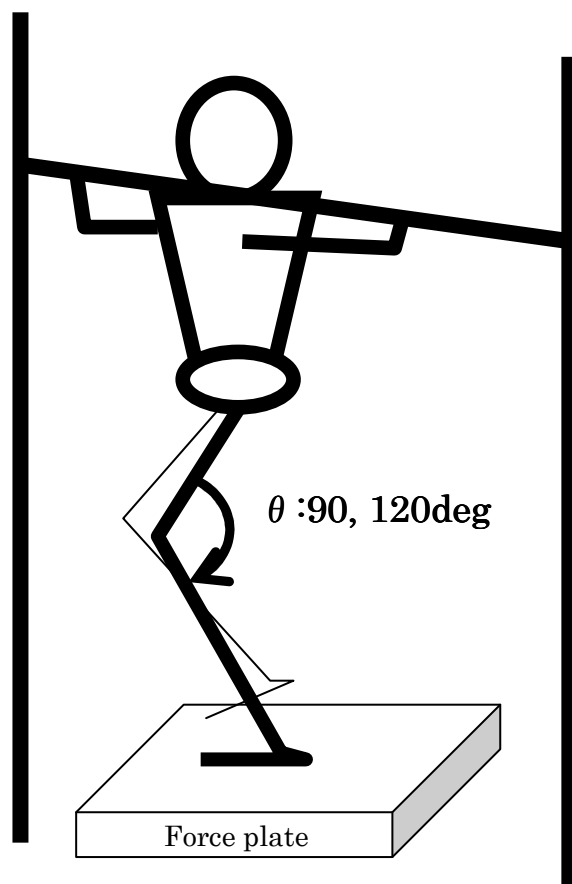


Fig. 3 Set up of the isometric squat strength measurement.

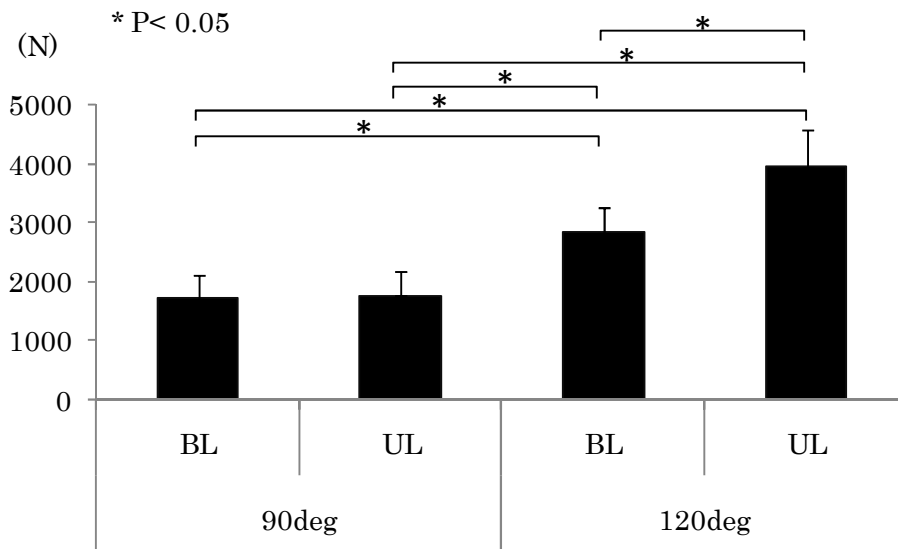


Fig. 4 Comparison of the output values of the maximum forces (Fmax) during bilateral and unilateral squats; both squats were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

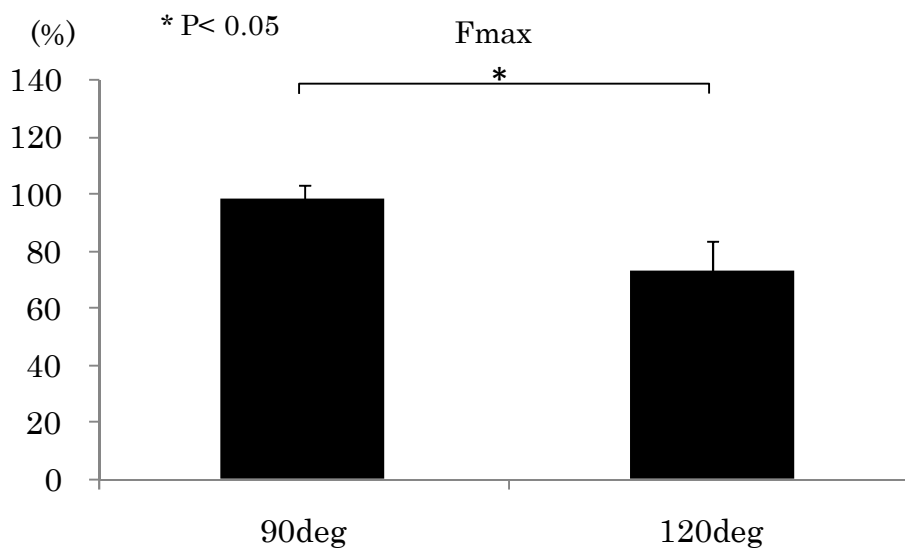


Fig. 5 Comparison of BL/ UL ratio of the maximum force (Fmax) at 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.

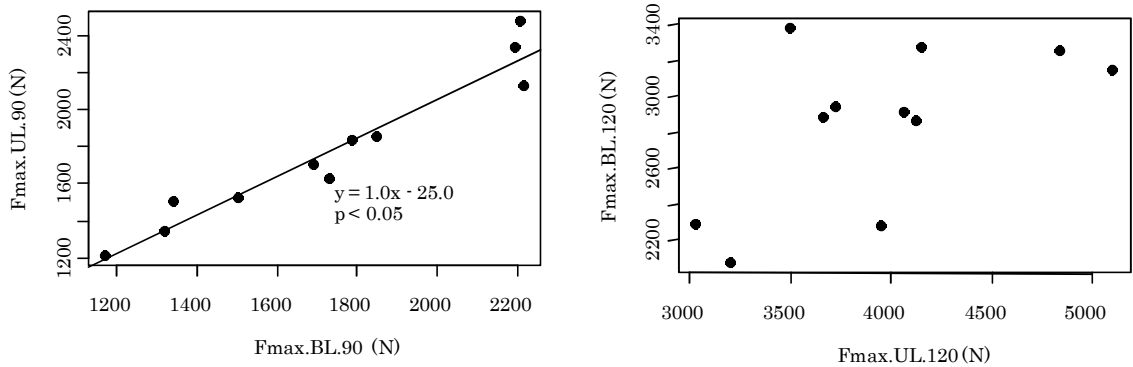


Fig. 6 Relationships between the output values of the maximum force (Fmax) during the bilateral (BL) and sum of the unilateral (UL) squat at 90 (left) and 120 (right) degrees of the knee angles.

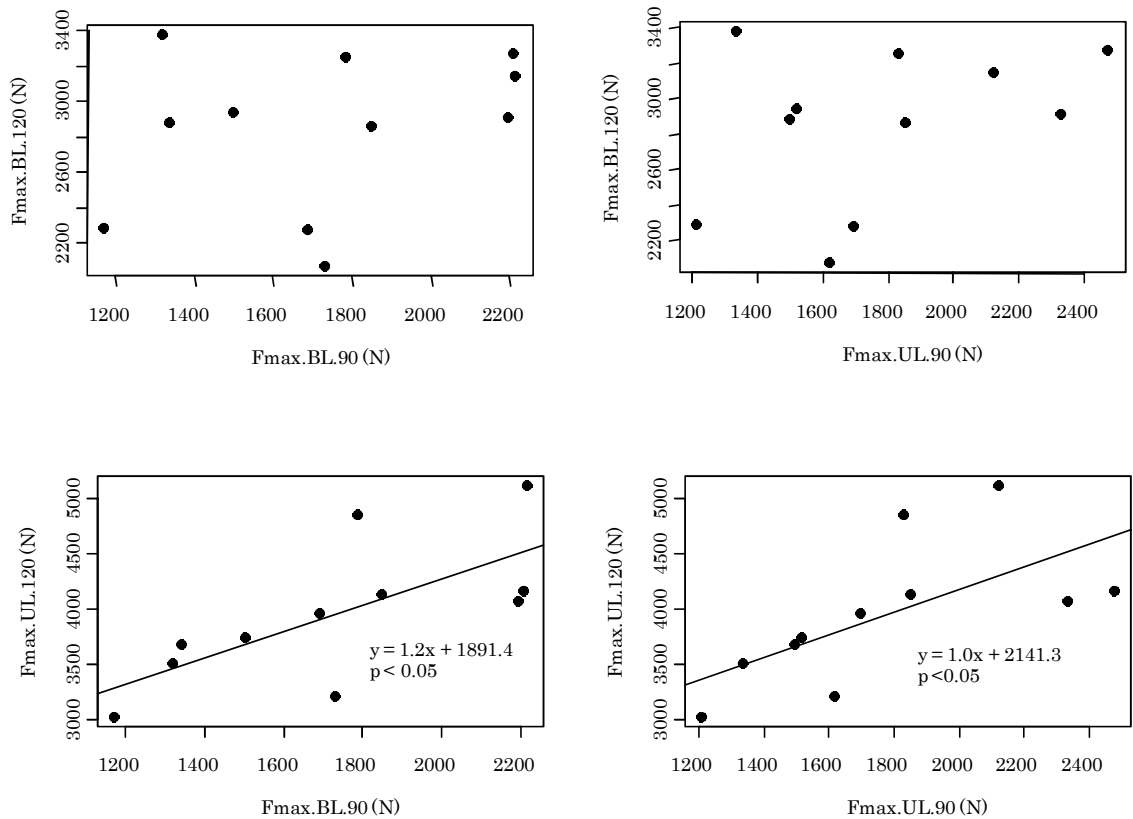


Fig. 7 Relationships between the output values of the maximum force (Fmax) during the bilateral (BL) and sum of the unilateral (UL) squat at 90 and 120 degrees of the knee angles.

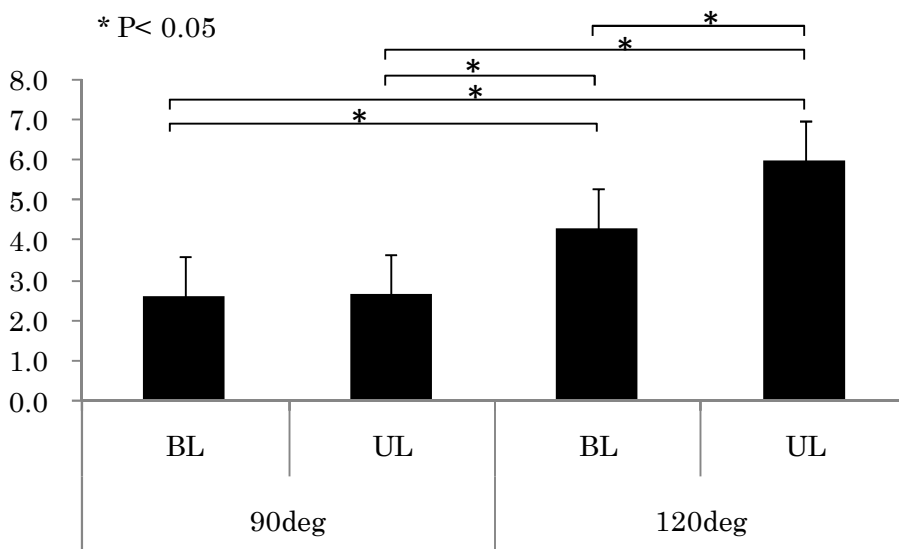


Fig. 8 Comparison of the output values of relative force (rF) during bilateral and unilateral squats; both squats were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

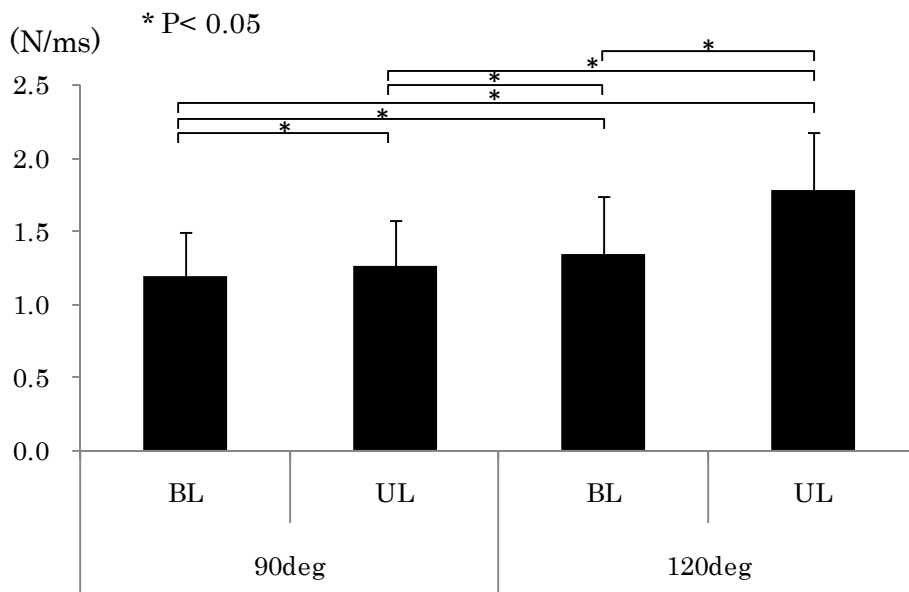


Fig. 9 Comparison of the output values of the speed strength index (SSI) during bilateral and unilateral squats; both squats were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

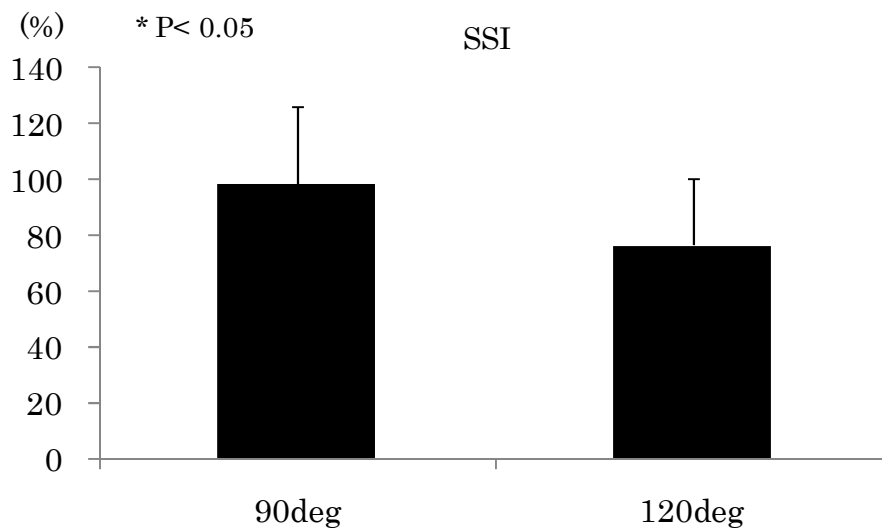


Fig. 10 Comparison of BL/ UL ratio of the speed strength index (SSI) at 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.

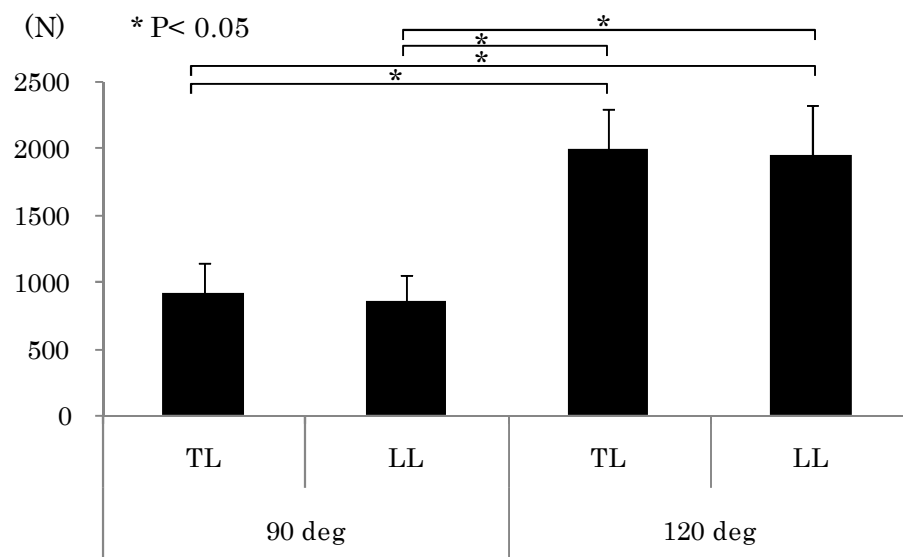


Fig. 11 Comparison of the output values of the maximum force (Fmax) between take off leg (TL) and lead leg (LL); both legs were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.

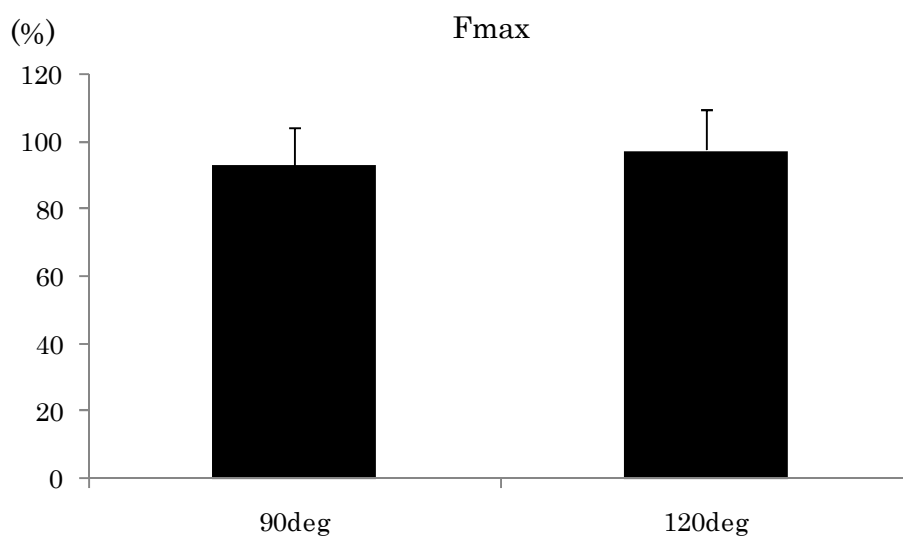


Fig. 12 Comparison of LL/ TL ratio of the maximum force (Fmax) between 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.

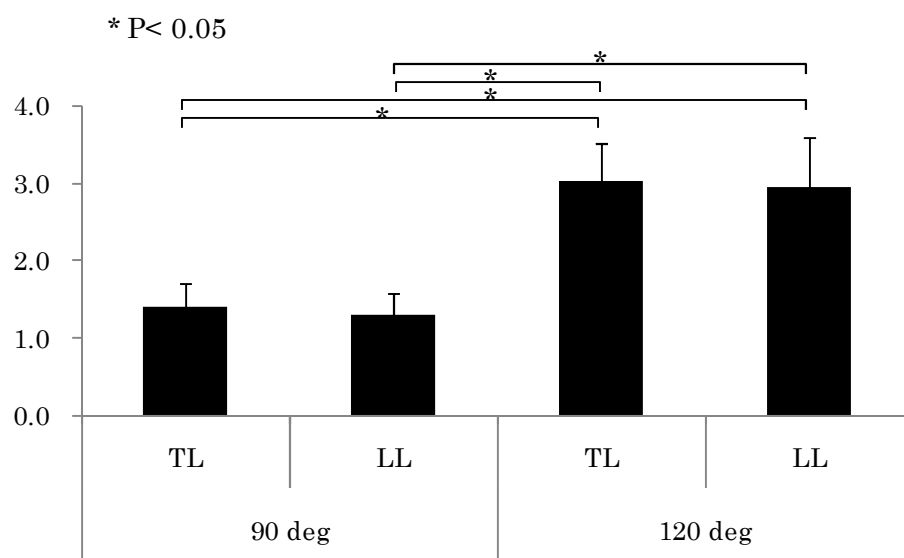


Fig. 13 Comparison of the output values of the relative force (rF) between take off leg (TL) and lead leg (LL); both legs were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.

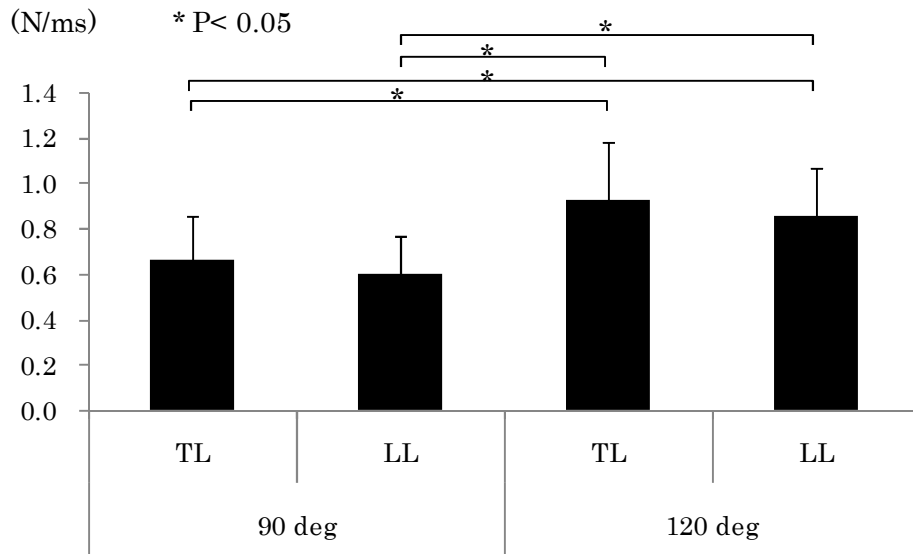


Fig. 14 Comparison of the output values of the speed strength index (SSI) between take off leg (TL) and lead leg (LL); both legs were performed at 90 and 120 degrees of the knee angles.

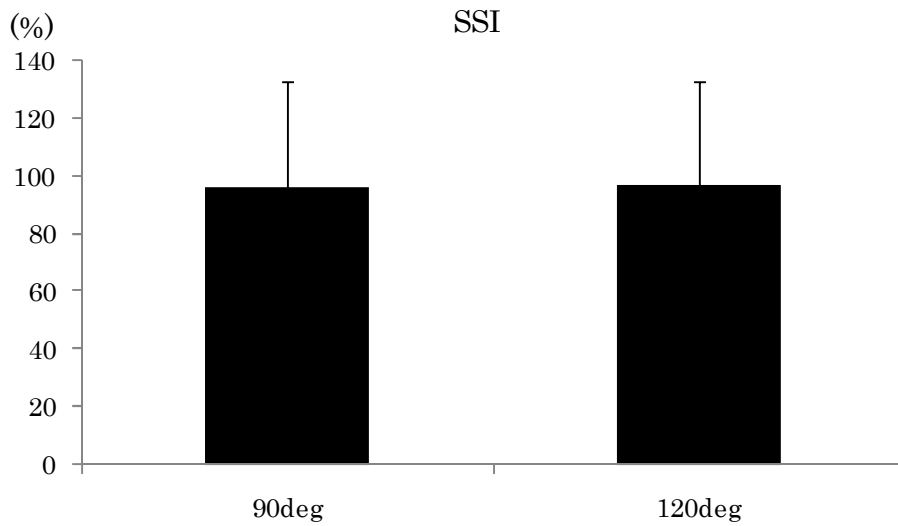
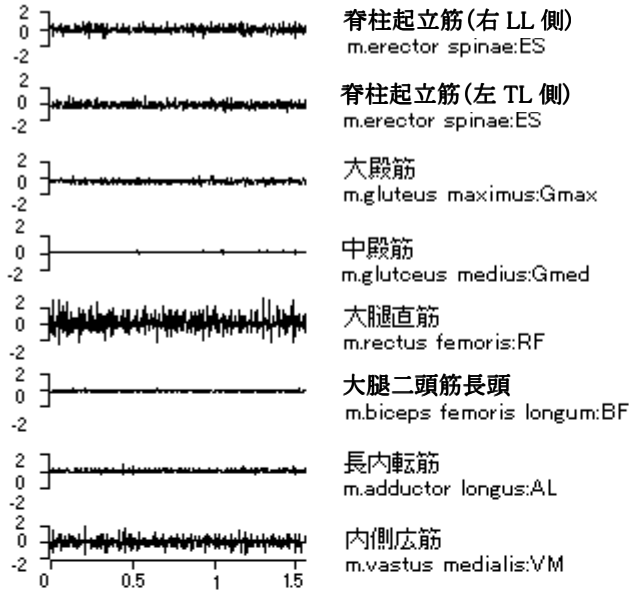


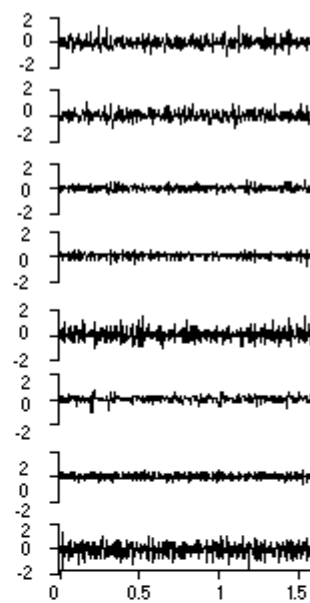
Fig. 15 Comparison of LL/ TL ratio of the speed strength index (SSI) between 90 and 120 degrees of the knee angles during the isometric squats.

Squat at 90 degrees of the knee angles

(BL : Bilateral condition)

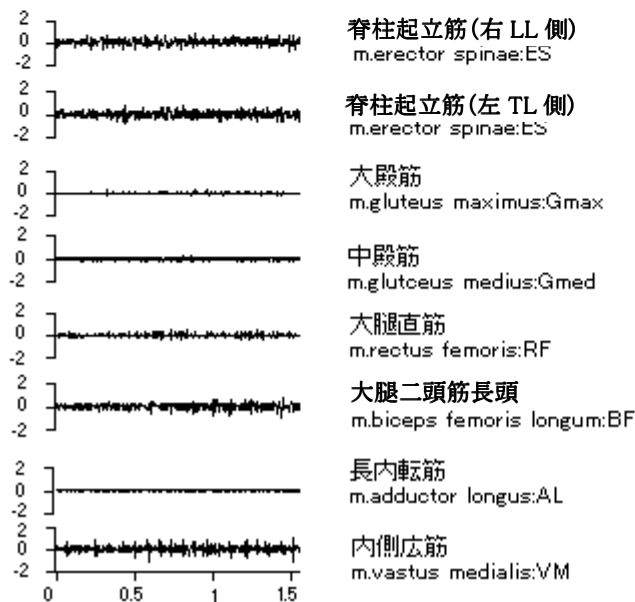


(UL : Uilateral condition)



Squat at 120 degrees of the knee angles

(BL : Bilateral condition)



(UL : Uilateral condition)

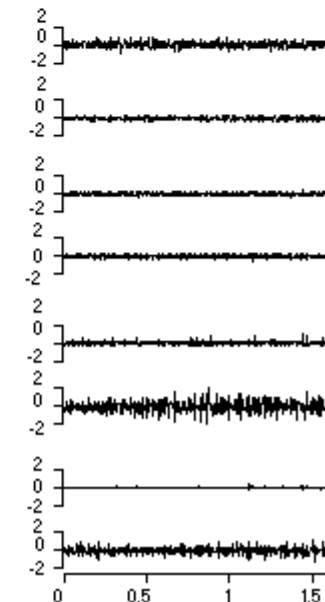


Fig. 16 Sample EMG during the bilateral (left) and unilateral condition (right) of the isometric squats at 90 degrees (upper) and 120 degrees (lower) of the knee angles.

V. 両脚および片脚による座位脚伸展力の比較

(研究課題 1-2)

1. 章のねらい

これまで、立位による脚伸展運動の代表とされるスクワットを用いて、角度条件（膝角度 90 度と 120 度）と試技条件（両側試技と一側試技）の異なる条件下で発揮される出力を検討してきた。その結果、膝角度 90 度でのスクワットの最大筋力は BL と UL は同程度が示されたが、膝角度 120 度のときには UL は BL よりも大きいという結果が示された。このことは、スクワットのように、直列多関節系の運動で最遠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にあるクローズド・キネティック・チェーン (エレンベッカー・デービス 2003) では、出力は最も弱い部分に規定されるために (山下, 2007), 脚伸展力が体幹部の支持機能によって制限されたためと考えられた。しかし、両側試技での出力は一側試技での出力に比べて低下するという両側性低下現象(Henry and Smith, 1961; Coyle et al. 1981; Ohtsuki, 1981) の可能性も無視できない。したがって、体幹部の支持機能が関与していない座位姿勢による脚伸展運動であるレッグプレスを用いて検討する必要がある。

また、跳躍選手は踏切時に必要とされる脚伸展力を強化する運動として、主としてスクワットを採用しているのに対して、同じ多関節脚伸展運動であるレッグプレスの使用頻度は低い。この理由は、レッグプレスにはスクワットに内在する体幹部の支持機能の強化が含まれていないだけでなく、座位姿勢における角度条件や試技条件といった各種条件下での出力特性が明らかになっていないためだと考えられる。

そこで本章は、膝角度と試技の条件が異なるレッグプレスの出力特性を明らかにすることを目的とした。そして、ここでの結果に基づいて、膝角度 120 度の両脚スクワットでみられた出力低下の原因を間接的に検討する。両脚スクワットの出力低下が体幹部の支持機

能によるものと仮定するならば，上体および体幹部の出力制限を伴わない下肢伸展運動とみなされるレッグプレスでは，膝角度が浅く出力が大きくなっても，両側試技も一側試技も脚伸展力がダイレクトに出力されるため，BL/UL比は2つの膝角度で同程度の割合が示されると考えられる。

2. 研究方法

2.1. 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。Table 5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，文書によって任意の実験参加に対する同意を得た。

Table 3 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

2.2. 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 (Fig. 17) 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。

実験課題は両脚同時と片脚のみ（踏切脚と自由脚）による静的レッグプレスで，前章に

示した研究と同様に、膝角度が 90 度と 120 度の 2 つに設定した状態で脚の伸展運動を行わせた。膝角度 90 度はハーフスクワット時の膝角度に相当し、120 度はクォータースクワット時の膝角度に相当する。測定時の足は、両脚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。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（膝角度 90 度と 120 度）と試技条件（両側試技と一側試技）の違いが活動筋群に及ぼす影響をモニターするために、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：以下「MVC」と略す）を行わせた。

- 大殿筋：解剖学的正位から膝関節 90 度の屈曲位をとらせ、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 度の屈曲位をとらせ、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。

2.3. データの記録

(1)筋力

脚伸展力の測定は、Fig. 17 のレッグプレスマシン下部にチェーンにてロードセル(共和電工社製)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計装用コンデンサーを介して A/D 変換し、パーソナルコンピューターに取り込んだ。取り込まれたデータは、1kHz のサンプリングレートでフィルタリングを施した。

(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（日本光電工社製）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ー (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 で低域遮断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。

2.4. 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、本章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。得られた最大筋力から、体重当たりの筋力である相対筋力(rF)を算出した。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、同一膝角度ごとに BL と UL の出力比較を行った後、膝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 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。

2.5. 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-Karmer 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。

3. 結果

3.1. 最大筋力および相対筋力

Fig.18 は、レッグプレスにおける最大筋力 (Fmax) の BL と UL を異なる膝角度ごとに示している。膝角度 90 度では BL が $2174.0 \pm 355.0\text{N}$, UL が $2382.5 \pm 321.5\text{N}$, 膝角度 120 度では BL が $3735.0 \pm 636.9\text{N}$, UL が $4076.0 \pm 404.6\text{N}$ であった。角度条件と試技条件の 2 要因による分散分析をしたところ、角度条件では膝角度 120 度の最大筋力は膝角度 90 度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。

Fig. 19 は、最大筋力の BL/ UL 比を異なる膝角度間で比較したものを示している。最大筋力における BL/ UL 比は膝角度 90 度では $91.4 \pm 10.9\%$, 膝角度 120 度では $91.8 \pm 15.0\%$ であった。90 度と 120 度の BL/UL 比を比較したところ、両者に差は認められなかった。

Fig. 20 は、異なる膝角度のレッグプレスによって発揮された相対筋力の BL と UL を示している。膝角度 90 度では BL が 3.3 ± 0.5 , UL が 3.7 ± 0.5 , 膝角度 120 度では BL が 5.7 ± 0.9 , UL が 6.3 ± 0.6 であった。角度条件と試技条件による 2 要因による分散分析の結果、角度条件では膝角度 120 度の相対筋力は膝角度 90 度のものより有意に大きく、試技条件では相対筋力の UL は BL よりも有意に大きかった。

3.2. 爆発的筋力

Fig. 21 は、レッグプレスにおける爆発的筋力 (Fexp) の BL と UL を異なる膝角度ごとに示している。膝角度 90 度では BL が $8.8 \pm 4.5\text{N/ms}$, UL が $9.3 \pm 5.2\text{N/ms}$ であった。膝角度 120 度では BL が $11.7 \pm 6.2\text{N/ms}$, UL が $17.2 \pm 9.5\text{N/ms}$ であった。角度条件と試技条件による 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-Karmer 法) を行った。その結果、膝角度 120 度での爆発的筋力の UL は、膝角度 90 度での爆発的筋力の BL と UL よりも有意に大きかった。

Fig. 22 は、爆発的筋力の BL/ UL 比を異なる膝角度間で比較したものを示している。爆

発的筋力の BL/ UL 比は，膝角度 90 度では $104.1 \pm 38.3\%$ であったのに対し，膝角度 120 度では $74.3 \pm 29.9\%$ であった．爆発的筋力の BL/UL 比を 2 つの膝角度で比較したところ，膝角度 90 度の BL/UL 比が膝角度 120 度のものよりも大きく，両者に有意な差が認められた．

3.3. レッグプレスにおける出力の相関関係

Table 4 には，各種条件下におけるレッグプレスで得られた出力の相関関係が示されている．

最大筋力では，膝角度 90 度での 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，膝角度 90 度の BL と UL との間 ($r=0.82$)，膝角度 90 度の BL と膝角度 120 度の BL との間 ($r=0.75$)，膝角度 90 度の BL と膝角度 120 度の UL との間 ($r=0.56$)，膝角度 90 度の UL と膝角度 120 度の BL との間 ($r=0.87$)，膝角度 90 度の UL と膝角度 120 度の UL との間 ($r=0.64$)，膝角度 120 度の BL と膝角度 120 度の 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，膝角度 90 度での最大筋力の UL と膝角度 90 度での爆発的筋力の UL との間 ($r=0.59$)，膝角度 90 度での最大筋力の UL と膝角度 120 度での爆発的筋力の BL との間 ($r=0.60$) に有意な相関関係が認められた．

3.4. 筋電位活動の変化

Table 5 には，角度条件 (90 度と 120 度) が異なるレッグプレス運動中の被検筋の %MVC を試技条件 (両側試技と一側試技) ごとに示している．また，Fig. 23 には，膝角度 90 度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ている．膝角度 90 度での両側試技時の %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、膝角度 90 度での一側試技時の%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。

Fig. 24 には、膝角度 120 度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ている。膝角度 120 度での両側試技時の%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。

Fig. 25 には、両脚レッグプレス時における被検筋の%MVC を異なる膝角度で比較したものを示している。両側試技時に膝角度 90 度の%MVC の平均値が膝角度 120 度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、両側試技時に膝角度 120 度の%MVC の平均値が膝角度 90 度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。

Fig. 26 には、片脚レッグプレス時における被検筋の%MVC を異なる膝角度で比較したものを示している。一側試技時では膝角度 90 度の%MVC の平均値が膝角度 120 度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、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、膝角度 120 度の%MVC の平均値が膝角度 90 度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。

4. 考察

4.1. 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 要因で比較したところ、UL は BL よりも大きく、膝角度 120 度の最大筋力は膝角度 90 度のものよりも大きいという結果が示された (Fig. 18).

同一膝角度で発揮される最大筋力の BL と UL との関係を検討してみると、平均値の差では膝角度 90 度では約 200N、膝角度 120 度では約 350N と、いずれの膝角度も UL の値が BL よりも大きいという結果が示されている。同一試技条件で発揮される異なる膝角度の最大筋力の差は、BL では 1561N の差が示され、UL ではの 1694N の差が示された。こうした BL と UL の出力関係を角度条件ごとに BL/UL 比で表すと、膝角度 90 度のときは $91.4 \pm 10.9\%$ 、膝角度 120 度のときは $91.8 \pm 15.0\%$ が示され、それぞれの膝角度における BL の出力低下率は約 10% であった。このように、左右肢を最大努力で同時に伸展または屈曲したときの出力は一側単独に屈曲または伸展させたものの合計よりも低下するという現象は両側性低下現象として知られている (Henry and Smith, 1961; Coyle et al. 1981; Ohtsuki, 1981; Oda and Moritani, 1995; Seki and Ohtsuki, 1990, Rube and Secher, 1990; Schantz et al., 1989). Secher et al (1988) は、本研究と同様のレッグプレスマシンを用いて、膝角度ごとに異なる被験者を用いた実験で、膝角度 90 度のときには BL/UL 比が $90.0 \pm 3.5\%$ 、膝角度 150 度のときには $82.0 \pm 2.1\%$ であったことを報告している。こうした結果から、大築 (1997) は、両側性筋力低下による出力低下率は一般に 10~20% であると述べている。本研究では、膝角度が大きいときは脚伸展力も増大しているが、いずれの膝角度でも BL/UL 比が同程度を維持したことから、両脚レッグプレスの出力低下は両側性出力低下によるものと考えるのが妥当であろう。

この結果に基づいて、IV章でみられた膝角度 120 度による両脚スクワットの出力低下に

ついて考察しておきたい。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とみなされるが、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といった違いがある。この姿勢の違いに基づいて、スクワットでは脚伸展力と上体および体幹部の支持機能の合計によって出力されるのに対して、レッグプレスでは上体および体幹部の支持機能が出力に関与せず、脚伸展力がダイレクトに出力されると考えられている。

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、スクワットでは膝角度90度で97.8%、同120度で72.6%という値が示された。2つの膝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、この原因として両側性低下現象が考えられた。しかし、スクワットでは、膝角度90度のときのBLの出力低下率が2.2%であったのに対して、膝角度120度のときには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つの膝角度で大きな開きがあったこと、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、両側性低下現象よりも、むしろリミティングファクターによって出力が低下した可能性が考えられる。つまり、スクワットのような立位での運動は、上体および体幹部による支持機能が下体によって発揮される脚伸展力の制限をしたために出力が低下したと考えられる。また、この出力低下は、大きな脚伸展力が発揮される膝角度でより顕著に示されたことから、この解釈の妥当性が支持されると思われる。

一方、レッグプレスにおけるBL/UL比の平均値は、膝角度90度のときは91.4%、同120度のときは91.8%が示されていて、角度間では差は認められなかった。つまり、膝角度が浅くなり、高い脚伸展力が発揮されても両側試技の出力低下がみられなかったことが示されている。こうした結果は、スクワットのような立位運動の出力は、脚伸展力とこれを受ける上体および体幹部の支持機能によって出力が発揮されるのに対して、レッグプレスでは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

えを支持したものと見える。したがって、スクワットとレッグプレスには、上体と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違いがあることが示唆された。

4.2. 各種条件下における爆発的筋力の出力特性

同一膝角度による爆発的筋力の BL と UL の比較では、膝角度 90 度の BL と UL には差が認められなかった。膝角度 120 度でも 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、膝角度 120 度での爆発的筋力の UL は、膝角度 90 度での BL と UL に比べ有意に大きいという結果が示された(Fig. 21)。

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ことが示唆されている (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、短時間で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考えられた。しかし、いずれの膝角度でも爆発的筋力の BL と UL との間には有意な差が認められなかったことから、試技条件の違いは爆発的筋力の出力に影響を及ぼさないことが示された。これに対して、角度間を比較すると、120 度での爆発的筋力の UL は、膝角度 90 度での BL および UL と比べて有意に大きかった。これは、被験者の種目特性が作用したと考えられる。専門種目の特異性が出力に影響をおよぼすことは、両脚同時の脚伸展力が求められるボート選手の最大筋力では両側性筋力低下がみられず、逆に促進がみられたことや (Secher, 1975)、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 (谷口, 1993 ; 小田, 1998) であるとの報告からも推測される。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、そこでは 0.2 秒以内の短時間で大きな出力が要求される (Zatsiorsky, 1995)。そして、この局面の膝角度は 125~170 度前後であり (村木, 1994, pp.105-106)、本研究における膝角度 120 度と類似性が高い。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、こうした種目特性によって膝角度の浅い片脚での出力が大きくなったと考えるのが妥当であろう。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ろう。

4.3. 異なる姿勢による筋電位活動の変化

最大努力によるレッグプレス運動中の%MVCについて、異なる試技条件（両側試技と一側試技）の比較を同一膝角度で行った。その結果、膝角度 90 度では、両側試技時の左右の脊柱起立筋の%MVC は一側試技時のものよりも有意に大きく、一側試技時の大殿筋の%MVC は両側試技時のものよりも有意に大きかった (Fig. 23)。膝角度 120 度では、一側試技時の中殿筋の%MVC が両側試技時のものよりも有意に大きかった (Fig. 24)。

膝角度 90 度では、両側試技時の左右の脊柱起立筋%MVC は一側試技時のものより大きいという結果が示されている。これに対して、膝角度 90 度での最大筋力は ULの方が BLよりも大きいという結果が示されていた。すでに、レッグプレスでは、上体および体幹部が出力に大きな影響を及ぼさないことが示唆されているので、体幹部の筋肉である脊柱起立筋の活動と最大筋力の結果がこのように相反する関係になったことは、これまでの研究結果を支持するものと考えられる。また、膝角度 90 度では、一側試技時の大殿筋、中殿筋、内側広筋、大腿直筋の%MVC が両側試技時よりも大きく、このうち大殿筋には有意な差が認められている。最大筋力では ULの方が BLよりも大きかったことから、膝角度 90 度の一側試技時には、これらの筋の動員性が高まったことが出力増大の理由と考えられる。

膝角度 120 度では、一側試技時の中殿筋、大殿筋、大腿二頭筋の%MVC が両側試技時よりも大きい傾向が示され、このうち中殿筋には有意な差が認められている。膝角度 120 度での一側試技時には、これらの筋の動員性が高まることで最大筋力の増大に貢献したと考えられる。一方、中殿筋は骨盤の安定保持に大きく作用する筋群であり(ウェルズ・ラット

ゲンズ, 1979, p.173), 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, 膝関節が浅くなり, これに伴う出力の増大によって, 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ったと考えられる.

次に, 両側試技と一側試技それぞれについて, 膝角度 90 度と 120 度の%MVC を比較した結果, 両側試技では, 膝角度 120 度の中殿筋, 大殿筋, 大腿二頭筋の%MVC は膝角度 90 度のものよりも大きい傾向が示されている. これとは反対に, 膝角度 90 度の内側広筋と大腿直筋の%MVC は膝角度 120 度よりも大きい傾向が示されている (Fig. 25). この傾向は一側試技でも同様であった (Fig. 26). このうち, 大腿直筋と大腿二頭筋は二関節筋であるため, 股関節での筋の効率は膝の位置により左右される. すなわち, 膝を伸展位に固定すればそのぶん股関節の伸展作用が強くなる(カパンディ, 1986; ロルフ, 1986). 大腿直筋の活動が, 膝角度が 90 度のときに比べて 120 度で減少しているのに対して, 大腿二頭筋の筋活動が大きくなる傾向がみられたことは, 膝が伸展位で固定され, 股関節伸展作用が強くなったと捉えるべきで, これは股関節伸展筋である大殿筋の活動が顕著になったことから裏付けられる. 大殿筋は下体の中で大きな部類に入る筋で (石井, 2001), 膝角度 120 度では, この筋と中殿筋, 大腿二頭筋の股関節伸筋群の活動が最大筋力を大きくすることに貢献したと考えられる.

左右の脊柱起立筋では, 膝角度 90 度の%MVC が膝角度 120 度のときよりも大きい傾向が示され, 一側試技での踏切脚側の脊柱起立筋をのぞいて, いずれも有意な差が認められた (Fig. 25, 26). 前述したように, 最大筋力では膝角度 120 度の方が膝角度 90 度のものよりも大きい. しかし, 左右の脊柱起立筋の%MVC は膝角度 90 度の方が膝角度 120 度よりも大きかった. つまり, 左右の脊柱起立筋の結果と最大筋力の結果は, 同一角度による試技間の比較と同様に, 相反する関係となったのである. このことから, これらの筋は出力に大きな影響を及ぼしていないことが示唆される. 膝角度 90 度でこれらの筋の%MVC

が著しく大きかった理由には以下のことが考えられる。レッグプレスの姿勢はちょうど膝の曲がった体前屈に類似し、上体と脚を近づけた状態になっている。この姿勢から脚を伸展させるときには股関節の伸展筋群が作用するとともに、腹圧も高まっているので、背筋運動によって体を倒そうとする作用が働く。脊柱起立筋群はこれに作用する筋群であり、膝角度 90 度の時には上体と脚をなす角度が膝角度 120 度のものよりも深いため、この筋群の収縮作用が強く働いたことで筋活動が大きくなったと考えられる。

5. 要約

本研究は、座位姿勢による脚伸展運動の代表とされるレッグプレスを用いて、角度条件（膝角度 90 度と 120 度）と試技条件（両側試技と一側試技）による比較から、各種条件が異なるときのこの運動中の出力特性を明らかにすることが目的であった。この背景には、高出力下のスクワットでみられた最大筋力の UL に対する BL の低下が、直列多関節系の出力発揮時にみられる体幹部のリミティングファクターによるものか、あるいは両側低下現象によるものかを検討するというねらいがあった。被験者は大学陸上競技部に所属する跳躍選手 14 名を対象にした。実験試技では、膝角度を 90 度と 120 度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。比較対象とした筋力は、最大筋力、相対筋力、爆発的筋力であった。さらに、筋活動の違いを検討するため EMG による測定を行い、%MVC 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、膝角度が 90 度のときより 120 度の方が大きく、UL は BL よりも大きい結果が示された。同一角度での BL と UL の比較でみられた最大筋力の BL の低下は、両側性筋力低下現象によるものが大きいことが示唆された。
- ② 爆発的筋力は、膝角度 120 度の UL の方が膝角度 90 度の BL および UL よりも大きかった。
- ③ 筋電位活動は、膝角度が深いときから浅くなるにしたがい、股関節伸筋群の活動が

大きくなる傾向が示された。また、膝角度 90 度では一側試技の大殿筋の活動が両側試技のものより大きく、膝角度 120 度では一側試技の中殿筋の活動が両側試技より大きいという結果が示された。

高出力下のスクワットでみられた両側試技の最大筋力低下の原因を検討するため、レッグプレスにおける BL/UL 比に基づいて検討をおこなった。その結果、スクワットでは膝角度 90 度で 97.8%，120 度で 72.6%と角度間に大きな差がみられたのに対して、レッグプレスでは膝角度 90 度で 91.4%，120 度で 91.8%とほとんど差が認められなかった。この結果から、スクワットでは脚伸展力に対して体幹部の支持機能がリミティングファクターとして出力に関係しているのに対して、レッグプレスの場合には脚伸展力がダイレクトに出力されることが示唆された。

Table 4 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.

	Fmax_BL_90	Fmax_UL_90	Fmax_BL_120	Fmax_UL_120	Fexp_BL_90	Fexp_UL_90	Fexp_BL_120	Fexp_UL_120
* p < 0.05								
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.

Table 5 %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	g med	g max	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	g med	g max	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

Significant: * 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, g-med: m.glutceus medius, g-max: m.gluteus maximus, bf: m.biceps femoris longum, vm: m.vastus medialis, rf: m.rectus femoris.

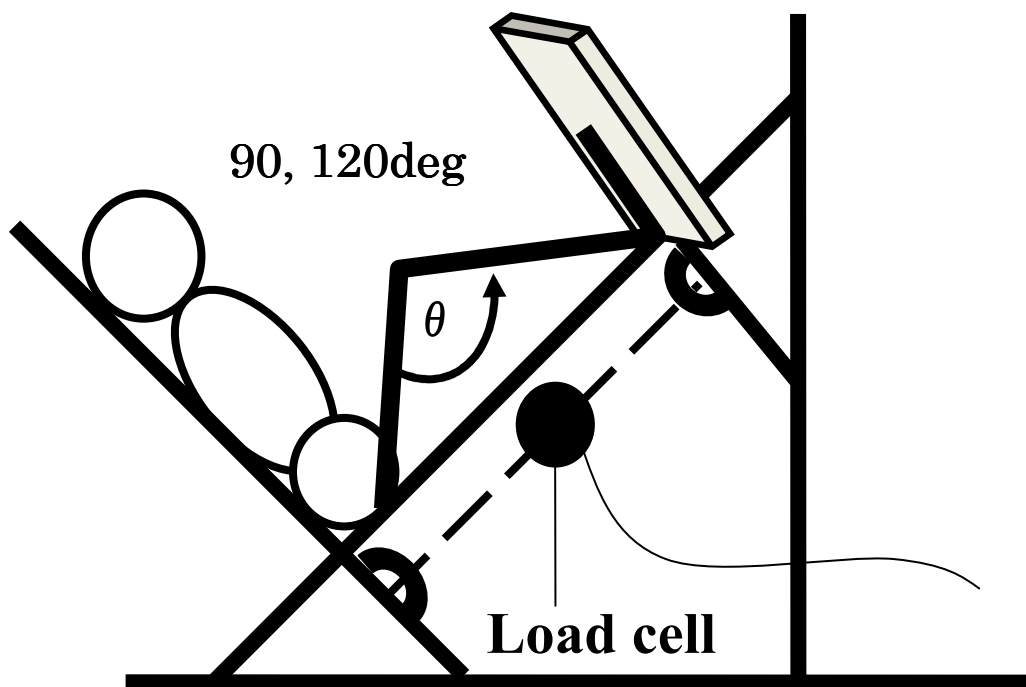


Fig. 17 Set ups of the experimental apparatus and the knee joint angle (θ)

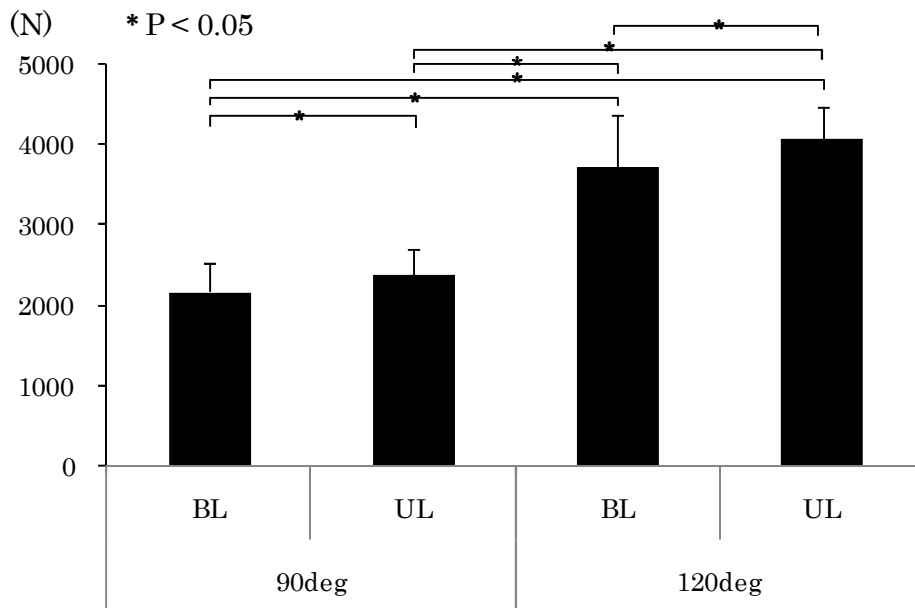


Fig. 18 Comparisons of the mean and the standard deviation of the maximum force (Fmax) at the 90 and 120 degrees of the knee angles between bilateral and unilateral conditions in the isometric leg press.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

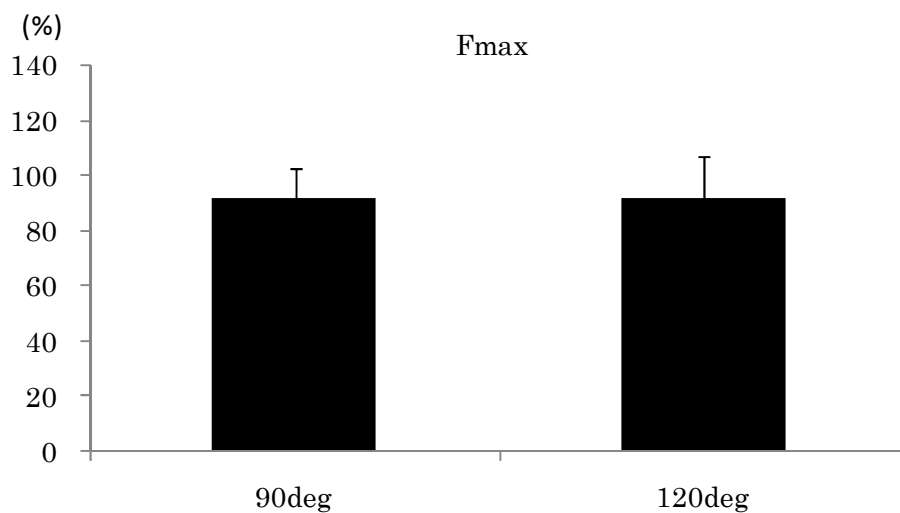


Fig. 19 Comparison of the mean and the standard deviation of the BL/ UL ratio of the maximum force (Fmax) between at 90 and 120 degree knee angles during the isometric leg press.

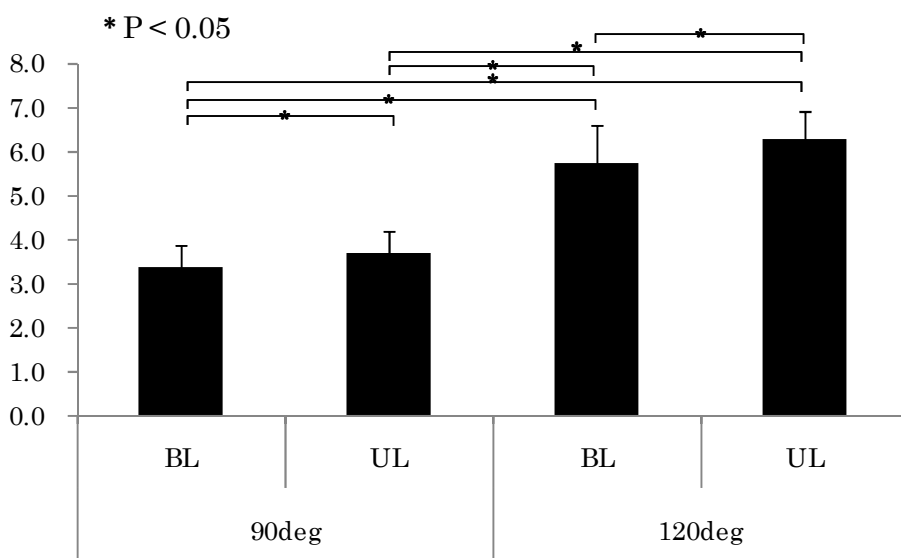


Fig. 20 Comparisons of the mean and the standard deviation of the relative force (rF) at 90 and 120 degrees of the knee angles to the body weight as 1.0 between bilateral and unilateral conditions in the isometric leg press.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

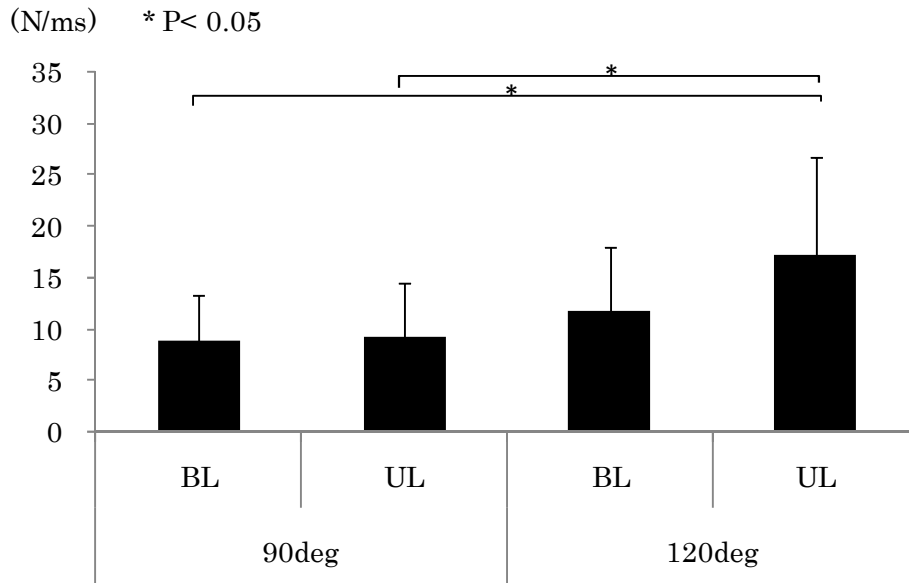


Fig. 21 Comparisons of the mean and the standard deviation of the explosive strength (F_{exp}) at 90 and 120 degrees of knee angles between bilateral and unilateral conditions during the isometric leg press.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

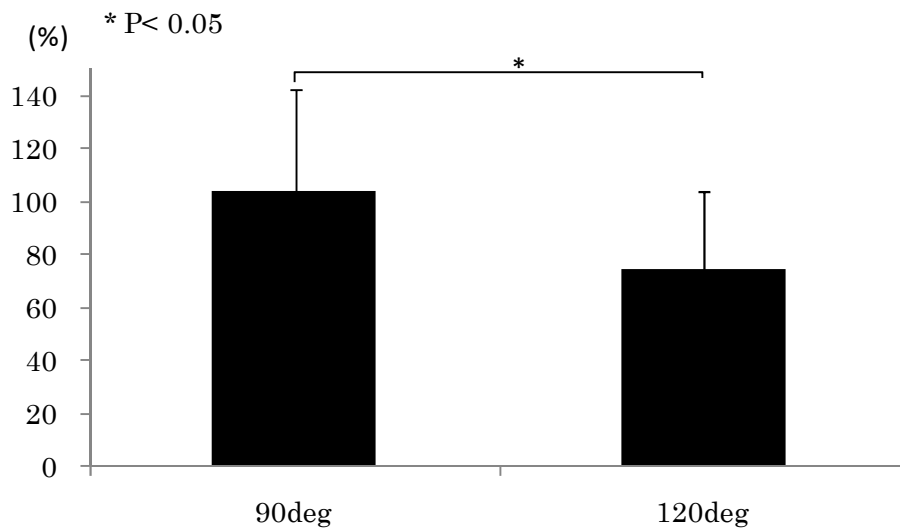


Fig. 22 Comparison of the mean and the standard deviation of the BL/ UL ratio of the explosive strength (F_{exp}) between at 90 and 120 degree knee angles during the isometric leg press.

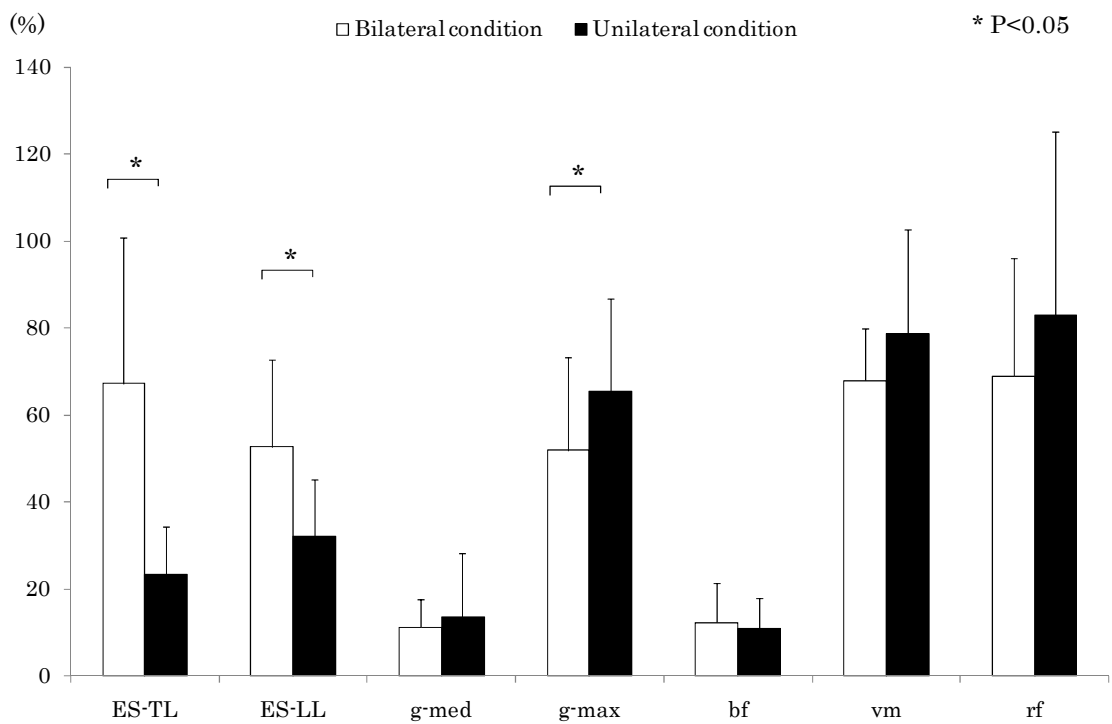


Fig. 23 Comparison of %MVC activities of bilateral and unilateral leg press at 90 degrees of the knee angles.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, g-med: m.glutceus medius, g-max: m.gluteus maximus, bf: m.biceps femoris longum, vm: m.vastus medialis, rf: m.rectus femoris.

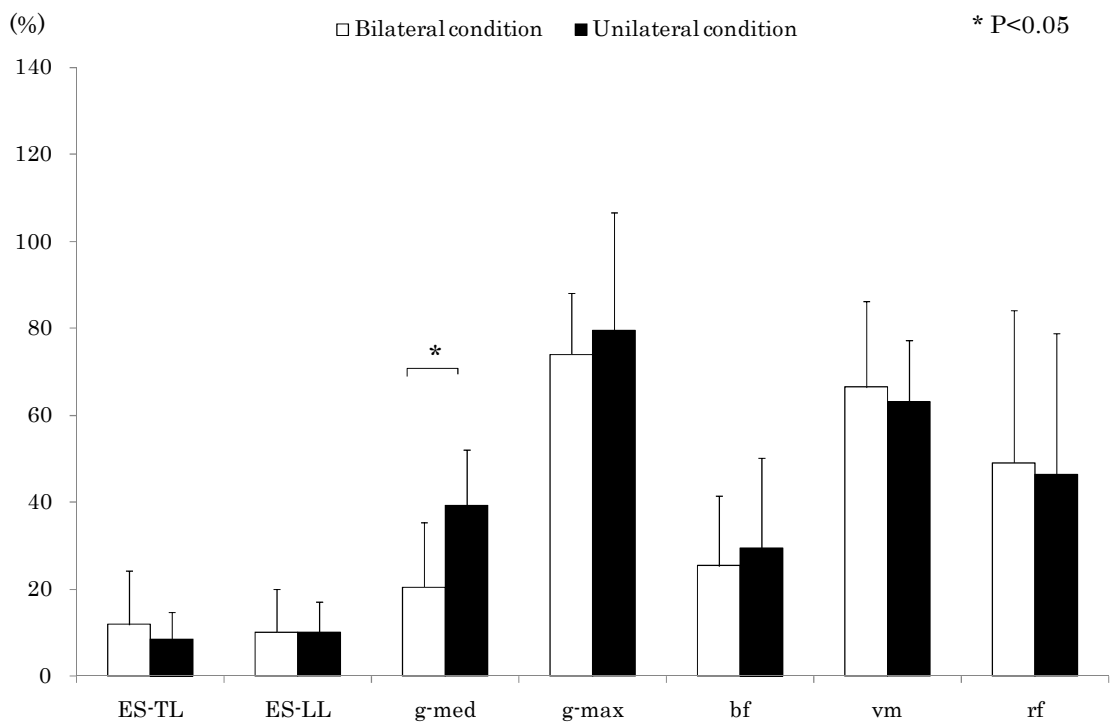


Fig. 24 Comparison of %MVC activities of bilateral and unilateral leg press at 120 degrees of the knee angles.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, g-med: m.glutceus medius, g-max: m.gluteus maximus, bf: m.biceps femoris longum, vm: m.vastus medialis, rf: m.rectus femoris.

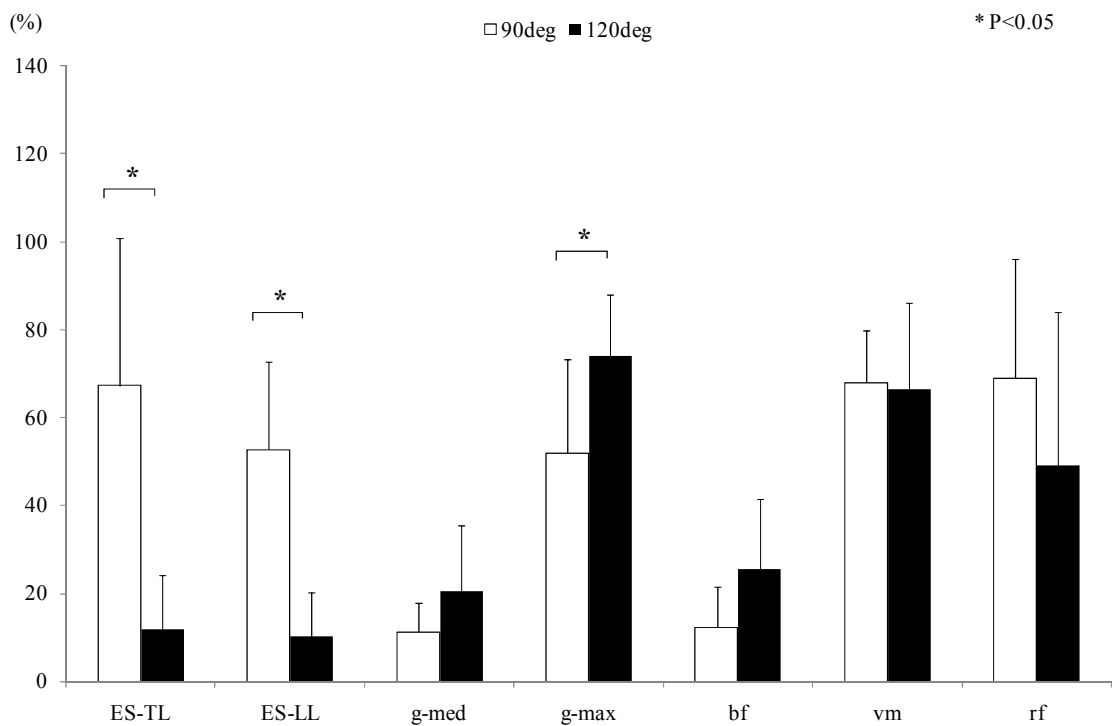


Fig. 25 Comparison of %MVC activities at 90 and 120 degrees of the knee angles during bilateral leg press.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, g-med: m.glutceus medius, g-max: m.gluteus maximus, bf: m.biceps femoris longum, vm: m.vastus medialis, rf: m.rectus femoris.

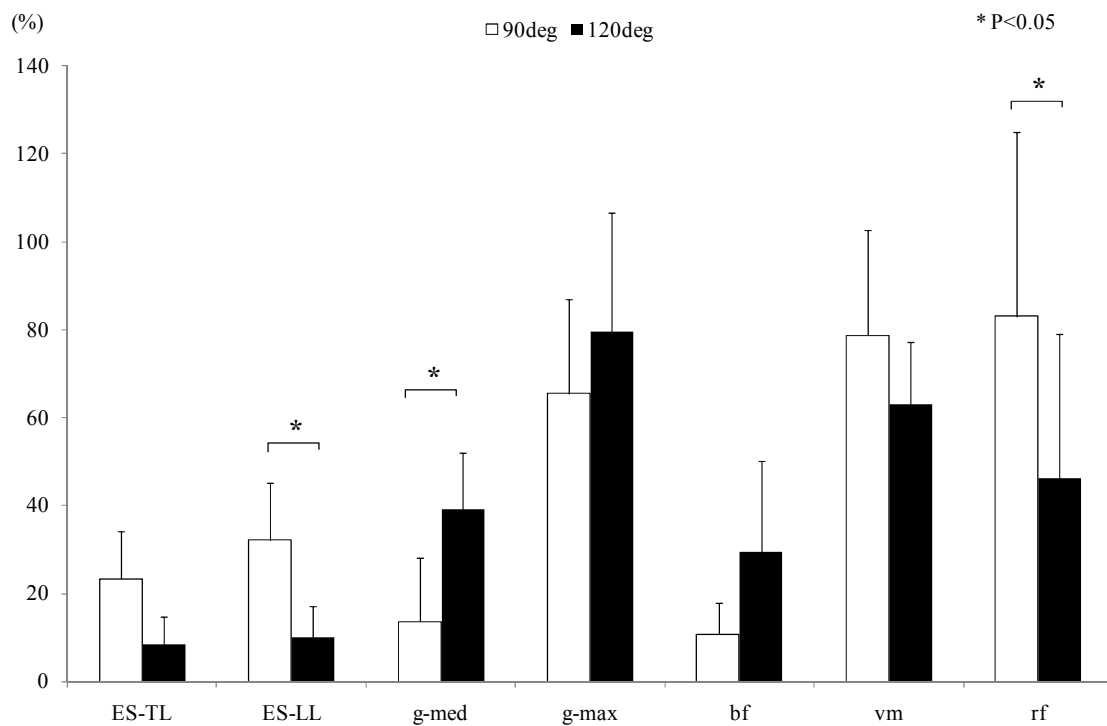


Fig. 26 Comparison of %MVC activities at 90 and 120 degrees of the knee angles during unilateral leg press.

The key is as follows, ES-TL: m.erector spinae of take off leg, ES-LL: m.erector spinae of lead leg, g-med: m.glutceus medius, g-max: m.gluteus maximus, bf: m.biceps femoris longum, vm: m.vastus medialis, rf: m.rectus femoris.

VI. スクワットおよびレッグプレスの出力と競技パフォーマンスおよびフィールドテストの結果との比較

(研究課題 2, 3)

1. 章のねらい

これまで、各種条件下における脚伸展運動中の出力特性を検討するために、立位運動のスクワットと座位運動のレッグプレスを、角度条件(膝角度 90 度と 120 度)と試技条件(両側試技と一側試技)によって分類し、それぞれの条件下で発揮される出力を比較した。その結果、最大筋力は、膝角度 120 度のときに発揮されるものが膝角度 90 度のときに発揮されるものよりも大きく、一側試技時に発揮される左右の合計出力は両側試技時に発揮されるものよりも大きいことが明らかになった。さらに、スクワットでは脚伸展力と上体および体幹部による支持機能がリミティングファクターとして出力に影響しているのに対して、レッグプレスでは脚伸展力がダイレクトに出力されることが示唆された。しかし、これまでの 2 つの研究ではそれぞれの運動を異なる被験者に行わせ、BL/UL 比に基づく相対的な評価によって検討がなされている。立位運動と座位運動の出力特性を明らかにするには、同一被験者を用いた高出力での脚伸展力について、運動条件による違いを比較して検討する必要がある。

また、スクワットは脚伸展力が上体および体幹部を介して出力されるため、力の作用線上に身体各部を配置しなければ大きな重量を挙上することが難しくなる。このことは、走ったり跳んだりする場合も同様で、脚によって地面に対して発揮された力の反作用(地面反力)を推進力や跳躍力に変換するには力の作用線上に身体各部を配置する、いわゆる“軸づくり”が求められる。この“軸づくり”には身体各部を配列するだけでなく、この部位

の姿勢を保持する能力も求められる。脚伸展力のだけ強化を目的としたときは、スクワットもレッグプレスも多関節による脚伸展運動であるため、どちらの運動を選択しても同じであろう。しかし、スクワットでは脚伸展力の強化を行いながらこうした軸づくりに必要な体幹部の支持機能も強化することができると考えられる。これに対して、レッグプレスは脚伸展力だけが出力発揮に関与しているので、体幹部の支持機能を強化するのは難しいと考えられる。したがって、スクワットのトレーニング意義を明確にするためにも、同一被験者によって各種条件下で発揮された出力を比較し、さらにその結果と動的な運動中の出力との対応関係を検討する必要がある。

以上のことから、本章では、第一に、スクワットとレッグプレスとの出力比較を同一被験者で行うことで、異なる運動条件による脚伸展力の出力特性を明らかにすることを目的とした。次に、各種条件が異なる脚伸展運動によって得られた出力と競技パフォーマンスおよびフィールドテストとの対応関係を検討することで、両脚および片脚スクワットのトレーニング意義を明らかにして、実践面に有用な知見を収集することを目的とした。

2. 研究方法

2.1. 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: $1.77 \pm 0.05\text{m}$, 体重: $68.1 \pm 5.3\text{kg}$ ）を選定した。Table 6 には、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。

被験者の競技パフォーマンスは、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 7 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。

Table 6 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 7 Mean and standard deviation of the personal best record (PB), PB scores, season best record (SB) and SB scores by event.

Event	n	PB(m)	PB score	SB(m)	SB score
HJ	2	2.10 (± 0)	962.0 (± 0)	2.08 (± 0.04)	938.0 (± 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 scores and SB scores were calculated from IAAF Scoring table.

2.2. 実験課題と測定項目

(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最大努力での静的最大筋力発揮を両脚と左右の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、一側試技による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側試技による全力発揮を1回行ってから本試技を行った。試技では、反動動作を使わずに、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て、最大出力に達してから2秒程度保持するように指示した。被験者ごとの実験課題の試技の順番は、運動の習熟による出力変化を抑えるためランダムとし、試技回数は各1回とした。また、疲労の影響をさけるため、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機能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置（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競技者を対象として設置されていたので、被験者全員が使用経験を有するものであった。

実験運動は両側試技と一側試技（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、両側試技時に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、一側試技時に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、腕や自由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ずに、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。

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側試技による全力発揮を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、被験者ごとの実験課題の試技順は運動の習熟による出力変化を抑えるためにランダムに行った。また、疲労の影響をさけるため、試技間には十分な休息を設けた。

(3) フィールドテスト

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わせ、その際の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。

体幹部の支持機能の一つの要素として背筋力 (back strength) を測定した (Fig.27)。ここでの姿勢は、膝角度 120 度の状態から上体の反動動作を使わないように注意して実施させた。握力による出力低下を防ぐためストラップをバーベルと手に巻きつけた。

2.3. 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) によって記録した。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、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最大筋力 (F_{max}) 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 ($g = 9.81m/s^2$) 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) を用いて以下の式から DJindex(関子ほか, 1993)を求めた。

$$\text{跳躍高} = 1/2g(t_a/2)^2$$

$$\text{DJindex} = 1/2g(t_a/2)^2 / t_c$$

2.4. 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出力と競技パフォーマンス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。

3. 結果

3.1. スクワットおよびレッグプレスにおける出力

Fig. 28 は、スクワットとレッグプレスの最大筋力 (F_{max}) を BL と UL で比較したものを示している。スクワットの BL は $3258.9 \pm 631.3N$, UL は $4582.8 \pm 993.8N$, レッグプレスの BL は $5071.1 \pm 1030.1N$, UL は $4882.2 \pm 737.5N$ であった。それぞれの出力を比較した結果、スクワットの BL は、スクワットの片脚レッグプレスの両脚レッグプレスの UL より小さく、全てに対して有意な差が認められた。

相対筋力では、スクワットの BL が 4.9 ± 0.7 , スクワットの UL が 6.8 ± 1.2 , レッグプレスの BL が 7.6 ± 1.4 , レッグプレスの UL が 7.3 ± 0.8 であった。

Fig. 29 は、スクワットとレッグプレスの爆発的筋力 (F_{exp}) の BL と UL を示している。爆発的筋力は、スクワットの BL が $7.4 \pm 2.5N/ms$, スクワットの UL が $9.7 \pm 3.4N/ms$, レッグプレスの BL が $19.5 \pm 8.6N/ms$, レッグプレスの UL が $20.8 \pm 6.8N/ms$ であった。それぞれの出力を比較した結果、スクワットの BL は、レッグプレスの BL およびレッグプレスの UL より小さく、有意な差が認められた。また、スクワットの UL についても、レッグプレスの BL およびレッグプレスの UL よりも小さく、有意な差が認められた。

3.2. フィールドテスト

Fig. 30 は、フィールドテストにおけるそれぞれのジャンプの跳躍高の比較を示している。フィールドテストの結果は、SJ の跳躍高が $46.5 \pm 4.6cm$, CMJ の跳躍高が $51.5 \pm 5.0cm$, RDJ の跳躍高が $44.7 \pm 6.3cm$ 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。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。背筋力は $1814.2 \pm 243.9N$ であった。

Fig. 31 には背筋力、両脚スクワットおよび両脚レッグプレスの最大筋力とを比較したも

のを示している。背筋力と両脚スクワット、背筋力と両脚レッグプレスおよび両脚スクワットと両脚レッグプレスの最大筋力との間に有意な差が認められた。

3.3. 項目間の相関関係

Table 8 には、競技パフォーマンス、フィールドテスト、スクワット、レッグプレスおよび背筋力の出力との関係を相関行列で示している。また、Fig. 32 には、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。ここでのグループとは、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、DJindex および背筋力（フィールドテストグループ）、PB score と SB score（競技パフォーマンスグループ）とした。

競技パフォーマンス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。また、PB score と背筋力、SB score と背筋力との間には有意な相関関係が認められた。しかし、競技パフォーマンスグループとスクワットグループおよびレッグ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 とスクワットでの相対筋力の BL、DJindex とスクワットでの爆発的筋力の BL、DJindex とスクワットでの最大筋力の UL、DJindex とスクワットでの相対筋力の UL、DJindex とスクワットでの爆発的筋力の UL 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、スクワットでの最大筋力の BL とレッグプレスでの最大筋力の UL 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、競技パフォーマンスグループでは、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最大筋力の BL と相対筋力の BL の, 最大筋力の BL と UL, 最大筋力の BL と相対筋力の UL, 相対筋力の BL と最大筋力の UL, 相対筋力の BL と UL, 爆発的筋力の BL と UL, 最大筋力の UL と相対筋力の UL と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, 最大筋力の BL と相対筋力の BL, 最大筋力の BL と UL, 最大筋力の BL と相対筋力の UL, 相対筋力の BL と最大筋力の UL, 相対筋力の BL と UL, 爆発的筋力の BL と UL, 最大筋力の UL と相対筋力の UL との間に有意な相関関係が認められた。

4. 考察

4.1. スクワットおよびレッグプレスにおける出力比較

異なる運動間での最大筋力の比較では, スクワットの BL はレッグプレスの BL および UL との間に有意な差が認められた。一方, スクワットの UL はレッグプレスの BL および UL との間に差は認められなかった (Fig. 28)。これまでの研究から, スクワットのような立位運動では, 脚伸展力が体幹部の支持機能を介して出力されるため, 発揮される脚伸展力が体幹部の支持機能よりも大きくなると, リミティングファクターによる体幹部の出力制限によって発揮される出力は小さくなることが示唆されている。そして, この傾向は両脚スクワットのように, 両脚で一度に大きな脚伸展力が発揮される場合には顕著になることが知られている (吉田ら, 2003)。これに対して, 座位運動であるレッグプレスは, 体幹部による出力制限の影響をうけにくいいため, 脚伸展力がダイレクトに出力されると考えられる。スクワットの BL とレッグプレスの BL および UL との間に有意な差が認められたのは, 運動条件が異なることで体幹部の関与の違いが生じ, 両脚スクワットではこの部位の出力制限によって脚伸展力が出力に反映しなかったためと考えられる。一方, スクワット

の UL はレッグプレスの BL および UL との間に有意な差は認められず、同程度の出力が示されている。片脚スクワットは、両脚スクワットと同様に立位運動であるため、脚伸展力が体幹部を介して出力される。しかし、片脚スクワットでは、片脚分のみの脚伸展力にとどまるため体幹部による出力制限の影響を受けにくい結果であると解釈するのが妥当である。したがって、片脚スクワットは体幹部の支持機能を含んだ立位運動ではあるが、ここでは脚伸展力がダイレクトに反映されると考えられる。

次に、同一運動における最大筋力 (F_{max}) の比較では、スクワットの UL は BL よりも大きく、有意な差が認められた。一方、レッグプレスでは、最大筋力の BL と UL の間には有意な差は認められなかった (Fig. 28)。これらの結果は、これまでの研究と同様、スクワットでは上体および体幹部による出力制限によって最大筋力の BL と UL の間に差が生じるが、レッグプレスでは脚伸展力がダイレクトに出力されるため両者は同程度となるという考えを支持しているものと考えられる。

爆発的筋力 (F_{exp}) の比較では、スクワットの BL と UL は、レッグプレスの BL と UL との間に有意な差が認められた (Fig. 29)。

爆発的筋力 (F_{exp}) を運動条件ごとにみると、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 $20.8 \pm 6.8 \text{N/ms}$ で、ここには 2 倍以上の開きがみられる。スクワットとレッグプレスでこのように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際に、下体のみならず、体幹部の働き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、脚伸展力は上体および体幹部の支持機能を介して出力される。その際の上体および体幹部は、脚伸展力に負けないように筋力を発揮すると共に、各部位を脚伸展力の作用線上に配置することが求められる。ところが、レッグプレスのように下体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上体および体幹部の支持機能は除外されている。つまり、上体および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、脚伸展力が直接出力として反映されている。レッグプレスでは、こうした機能をもつ上体および体幹部の働きが含まれていないために脚伸展力がダイレクトに反映されたことが、スクワットの爆発的筋力と比べて単位時間当たりの出力が大きくなった理由と考えられる。

4.2. 被験者の跳躍能力

本研究の被験者である跳躍選手の特徴を明らかにするため、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 の間に有意な差が認められた (Fig. 30)。こうした跳躍高と競技パフォーマンス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たが、SB score と SJ および CMJ との間には認められなかった (Fig. 32)。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 の高さが最も高く、SJ は RDJ と同程度の結果が示されていた。そこでは、RDJ のような連続跳躍は、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 であり、この連続跳躍が SJ や CMJ とはまったく異なる跳躍のスタイルであることが報告されている。

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運動を効率よく行うには、作用・反作用の原理に基づいて地面反力をうまく利用することが鍵となる。村木 (1982, pp.42-49) 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・集積されるように、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) が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。本章の研究において、RDJ や DJindex と

SB score との間に有意な相関関係が認められたことは、この種目の競技者が競技力を高めるには、連続跳躍で必要とされる跳躍力と作用線上への身体配列が求められるためだと考えられる。また、本研究の DJindex は 3.0 ± 0.5 であった。この結果は、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かったという図子ら (1993) の研究結果と同じであり、本章の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できていたと考えられる。

4.3. 競技パフォーマンスおよびフィールドテストの結果と各種条件下における脚伸展運動による出力との相関関係

本章の 3.3 で述べた競技パフォーマンスグループと、スクワットグループおよびレッグプレスグループの各脚伸展運動における出力との間には相関関係は認められなかった (Fig. 32)。

跳躍選手がスクワットやレッグプレスのようなレジスタンス・トレーニングを行うのは、踏切時により大きなパワーを発揮できるようにすることが一つの目的となっている。パワーとは“単位時間になされる仕事”と定義され、“力×速度”に等しいことから (金子, 1988)、レジスタンス・トレーニングを行う背景には、発揮される筋力を大きくすることで大きなパワーを獲得するという狙いが存在している。しかし、本研究では、競技パフォーマンスとスクワットグループおよびレッグプレスグループの各出力の間には有意な相関関係は認められなかった。これは、筋力が大きくなることでパワーが大きくなる可能性はあるとしても、競技力を高めるには、パワーだけではなく、スピードや跳躍運動を効果的に行うための技術要素も求められているためと考えられる。

跳躍選手の競技パフォーマンスとの間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と脚伸展運動における出力に着目してみると、DJindex と両脚スクワットの最大筋力を除くすべての出力との間に有意な相関関係が認められた。しかし、レッグプレスグ

ループとの間には有意な相関関係は認められなかった (Fig. 32).

前述したように、競技パフォーマンスには体力要素だけでなく、技術要素も影響するため、脚伸展力との関係を直接検討することは難しい。そこで、フィールドテストを用いて、跳躍運動の競技パフォーマンスに必要な体力要素と脚伸展力が検討された。フィールドテストにおける DJindex と有意な相関関係が認められたスクワットグループを両側試技と一側試技に着目して比較してみると、両脚スクワットは相対筋力と爆発的筋力との間に有意な相関関係が認められている。最大筋力と DJindex との間には有意な相関関係は認められなかったものの、相関係数は大きい傾向が示されている。そして、片脚スクワットでは、最大筋力、相対筋力、爆発的筋力といった対象とした筋力のすべてに有意な相関関係が示されている。この結果については、両側試技や一側試技という試技条件の違いがフィールドテストの DJindex に作用していると考えるよりは、DJindex は立位運動であるスクワットとの間に相関関係があると捉えるべきであろう。そこで、スクワットの出力形態に着目してみると、この運動は下体によって能動的に筋力を発揮しているのに対し、上体および体幹部は姿勢保持という受動的な筋力発揮を行っている (Dick, 2007)。そして姿勢保持が行われている上体および体幹部は、下体によって発揮される力の作用線上に配置されなければ負荷を効果的に挙上することはできない。つまり、スクワットでは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。このことはスクワットと有意な相関関係が認められた DJindex も同様である。なぜなら、DJindex は RDJ の跳躍高を接地時間で除した指標で、これを大きくするためには、下体と腱のバネ機構を利用した大きな出力と、こうして発揮された地面反力の作用線上に身体各部を配置すること、そして、より短い時間で運動を遂行する能力が求められているからである。DJindex は、ダイナミックな運動で、短い接地時間で大きな跳躍力が必要とされるので、実際の跳躍運動に必要なとされる体力要素に極めて近い指標であると考えられる。このことは、SB score と DJindex の間に有意な相関関係が認められていることにも示されている。DJindex が動的な運動で得

られた指標であるのに対して、スクワットの出力は静的な状態で発揮された出力であり、それぞれの運動形態には違いはあるものの、下体によって大きな力が発揮されること、こうして得られた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”が求められていることは共通している。一方、レッグプレスは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脚伸展運動である。爆発的筋力についても、レッグプレスでは脚によるダイレクトな伸展力が出力されることから、スクワットよりも大きい値が示されていた (Fig. 29)。ところが、こうした時間当たりの筋力と関係が大きいと考えられたフィールドテストとの相関関係では、レッグプレスとの間に有意な相関関係は認められず、逆にスクワットとの間に認められている (Fig. 32)。この結果から、単に脚伸展力を高めても跳躍運動に必要とされる出力アップにつながらないと考えられる。したがって、跳躍種目での専門運動に必要とされる脚伸展力を高めるためには、上体と体幹部の姿勢を保持し、この部位を力の作用線上に配置することを前提として、脚伸展運動を行う必要があると思われる。

4.4. 軸づくりに必要な体幹部の機能

スクワットと DJindex で必要とされる“軸づくり”は、上体と下体を結ぶ体幹部が鍵を握っていると考えられる。村木 (1982, pp.34-39) は上体と下体間の連結に関して、全身運動では脊柱が重要であり、特に腰部の作用は「力の伝導性」の中心的存在であることを指摘している。このような指摘がなされるのは、跳躍運動のコーチングで“腰が抜けている”、“腹を出すな”といった指示が選手に与えられているように、効果的に運動を行うためには“軸づくり”や「力の伝導性」が重要で、それには体幹部が鍵となることをコーチが経験的に理解しているからであろう。

そこで、腰部の出力と考えられる背筋力について検討しておきたい。本研究で用いた背筋力は、一般的な体力測定で行われる背筋力とは異なり、膝をやや屈曲した膝角度 120 度

の姿勢で測定している。したがって、出力は下体による脚伸展力と上体および体幹部の支持機能が関係する。この姿勢ではスクワットに比べて腰部にかかるモーメントが大きくなるため、スクワットと比べると脚伸展力は上体と体幹部の支持機能によってより大きく制限されると考えられる。Fig. 31 には、膝角度 120 度での両脚レッグプレス、両脚スクワット、背筋力の最大筋力を比較したものが示されている。レッグプレスの最大筋力は、スクワットと背筋力よりも大きく、有意な差が認められている。そして、スクワットの最大筋力は背筋力より有意に大きい結果が示されている。最大筋力の発揮に際して、上体および体幹部の支持機能との関わり合いでは、レッグプレスがこの部位の支持機能が関与しない運動であるのに対して、スクワットと背筋力は上体と体幹部の支持機能が出力に影響を及ぼす運動である。これまでの研究から、レッグプレスの最大筋力が、スクワットと背筋力の最大筋力より大きいのは、上体と体幹部の支持機能による制限を受けないことで脚伸展力がダイレクトに出力されたためであることが示唆されている。次に、スクワットの最大筋力は背筋力よりも大きいものが示されている。負荷がかかるポジションは、背筋力測定では両手のバーグリップであるのに対して、スクワットでは両肩である。こうした違いはモーメントの違いとなるため出力を発揮する際には大きく影響する。背筋力はモーメントアームがスクワットよりも長くなることで、脚伸展力が上体と体幹部の支持機能により大きく制限されることになる。つまり、背筋力はスクワットよりも上体および体幹部の支持機能の働きに左右される。

この背筋力と本研究の出力結果の相関関係をみてみると、背筋力は競技パフォーマンスグループ (PB score と SB score) との間に有意な相関関係が認められ、フィールドテストグループにおける RDJ の跳躍高および DJindex との間にも相関係数が大きいという傾向が示されている (Fig. 31)。このことは、競技パフォーマンスを高めたり、RDJ の跳躍高や DJindex を大きくしたりするには、“身体の軸” に必要とされる上体および体幹部の支持機能が重要となることを意味していると考えられる。したがって、跳躍運動に必要とされる

出力を高めるには、立位姿勢による運動によって、脚伸展力だけでなく、上体および体幹部の支持機能を同時に高めていく必要があると考えられる。

5. 要約

本章の研究の目的は、膝角度 120 度によるスクワットとレッグプレスでの BL と UL の出力比較に基づいて、運動と試技条件が異なるときの出力特性を明らかにし、競技パフォーマンスに関係する脚伸展運動を検討することであった。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。実験課題として、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わせ、その際の脚の伸展力を測定した。さらに、フィールドテストとして、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、背筋力を行わせた。なお、競技パフォーマンスは種目間を越えて横断的な評価を行うために得点化して、脚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パフォーマンス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}) は、体幹部の支持機能の影響を受けるため、スクワットの BL はスクワットの UL、レッグプレスの BL と UL に比べて有意に小さかった。
- ② 爆発的筋力 (F_{exp}) は、レッグプレスの BL および UL がスクワットの BL および UL よりも有意に大きかった。これは、レッグプレスは脚伸展力をダイレクトに出力に反映するのに対して、スクワットは脚伸展力が体幹部の支持機能を介して発揮されたためと考えられる。
- ③ フィールドテストのうち、DJindex とシーズン最高記録 (SB score)、背筋力と PB score、背筋力と SB score の間には、有意な相関関係が認められた。さらに、DJindex

は、スクワットでの最大筋力 (F_{max}) の UL, 相対筋力(rF)の BL と UL, 爆発的筋力 (F_{exp}) の BL と UL との間に有意な相関関係が認められた. 一方, DJindex と レッグプレスとの間には有意な関係は認められなかった.

Table 8 Correlation matrix between various variables of the performance scores, field tests, output values of the squat and leg press.

	PB score	SB score	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	B-strength
PB score	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	0.51*
SB score		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	0.67*
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	0.14
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	0.01
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	0.46
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	0.46
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	0.24
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	0.38
Sq-B-Fexp									1.00	0.43	0.44	0.73*	0.05	-0.03	0.07	-0.14	-0.33	0.36	0.25
Sq-U-Fmax										1.00	0.94*	0.42	0.15	-0.12	-0.26	0.31	-0.03	-0.14	0.25
Sq-U-rF											1.00	0.48	-0.01	-0.16	0.09	-0.11	-0.14	0.33	
Sq-U-Fexp												1.00	-0.16	-0.25	-0.15	-0.26	-0.43	0.29	0.08
Lp-B-Fmax													1.00	0.91*	0.05	0.78*	0.72*	0.21	0.31
Lp-B-rF														1.00	0.23	0.54*	0.69*	0.28	0.40
Lp-B-Fexp															1.00	-0.10	0.11	0.63*	0.30
Lp-U-Fmax																1.00	0.86*	-0.08	0.04
Lp-U-rF																	1.00	-0.07	0.14
Lp-U-Fexp																		1.00	0.39
B-strength																			1.00

* p< 0.05

The key is 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: maximum force strength, rF: relative force strength, Fexp: explosive strength.

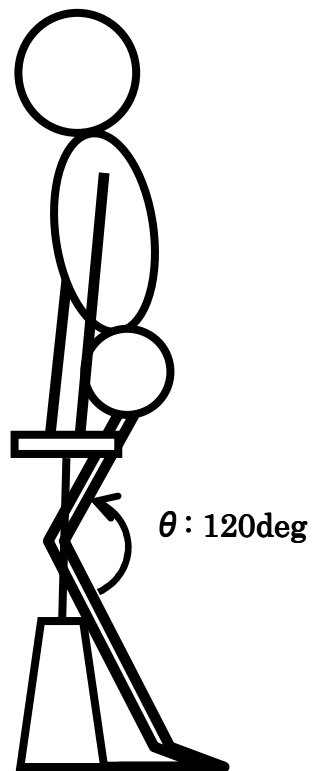


Fig. 27 Set up of the back strength measurement.

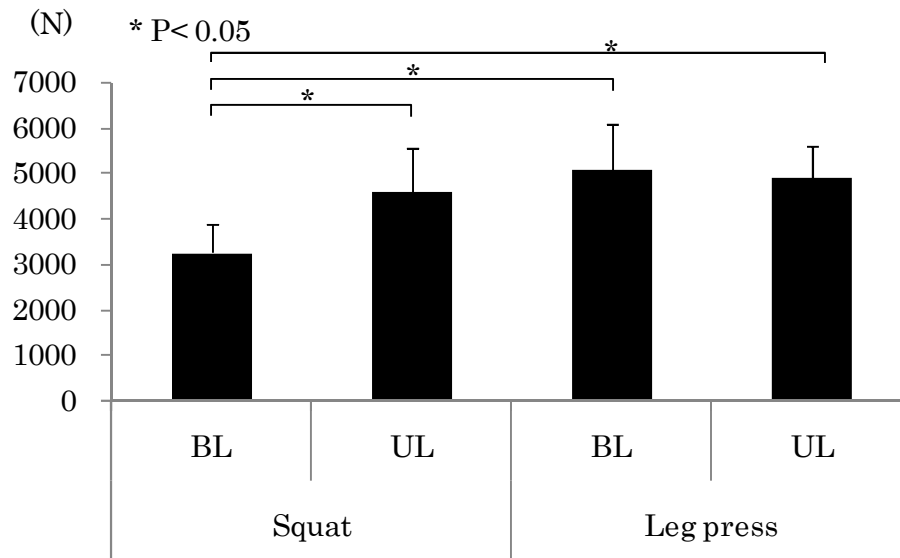


Fig. 28 Comparison of the maximum force (F_{max}) between squat and leg press by bilateral and unilateral conditions.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

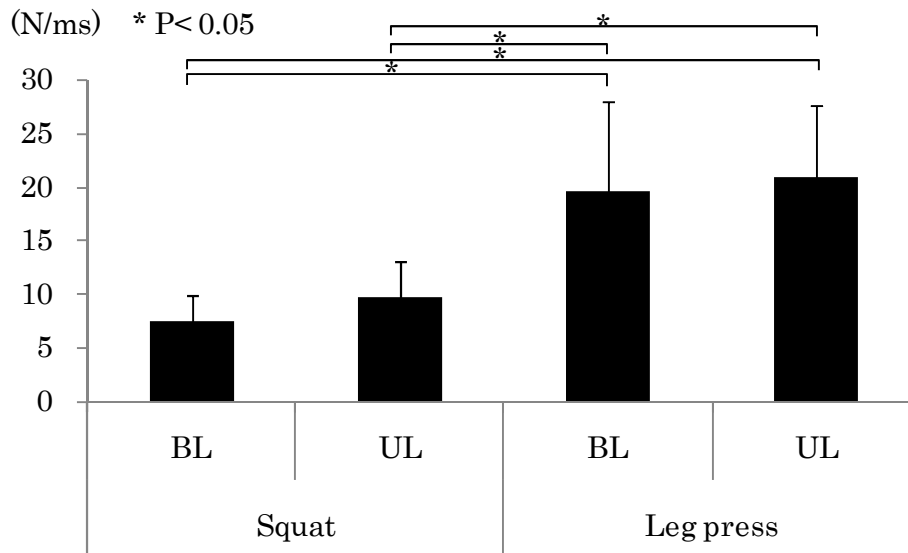


Fig. 29 Comparison of the explosive strength (F_{exp}) between squat and leg press by bilateral and unilateral conditions.

BL: the output value of bilateral condition
 UL: sum of the output value of unilateral conditions

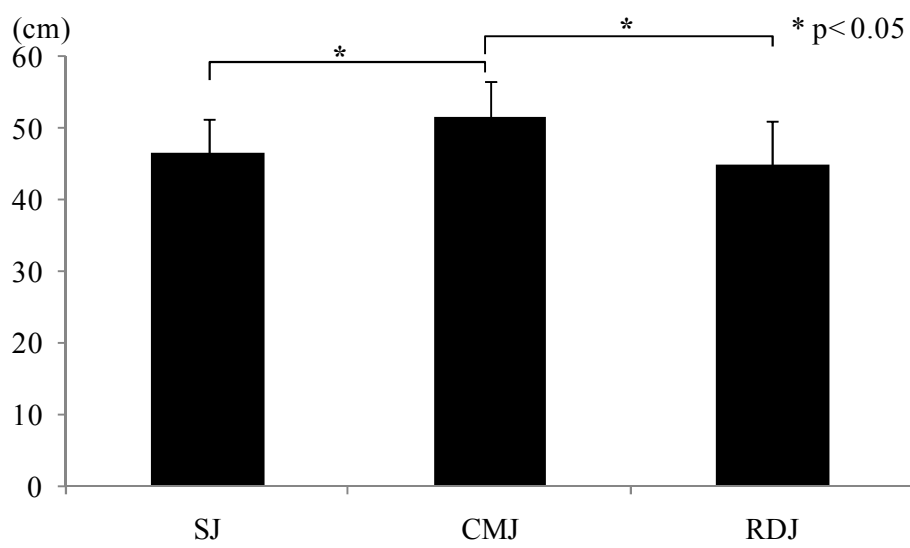


Fig. 30 Comparison of the jumping height reached by the standing jump (SJ), counter movement jump (CMJ) and rebound drop jump (RDJ).

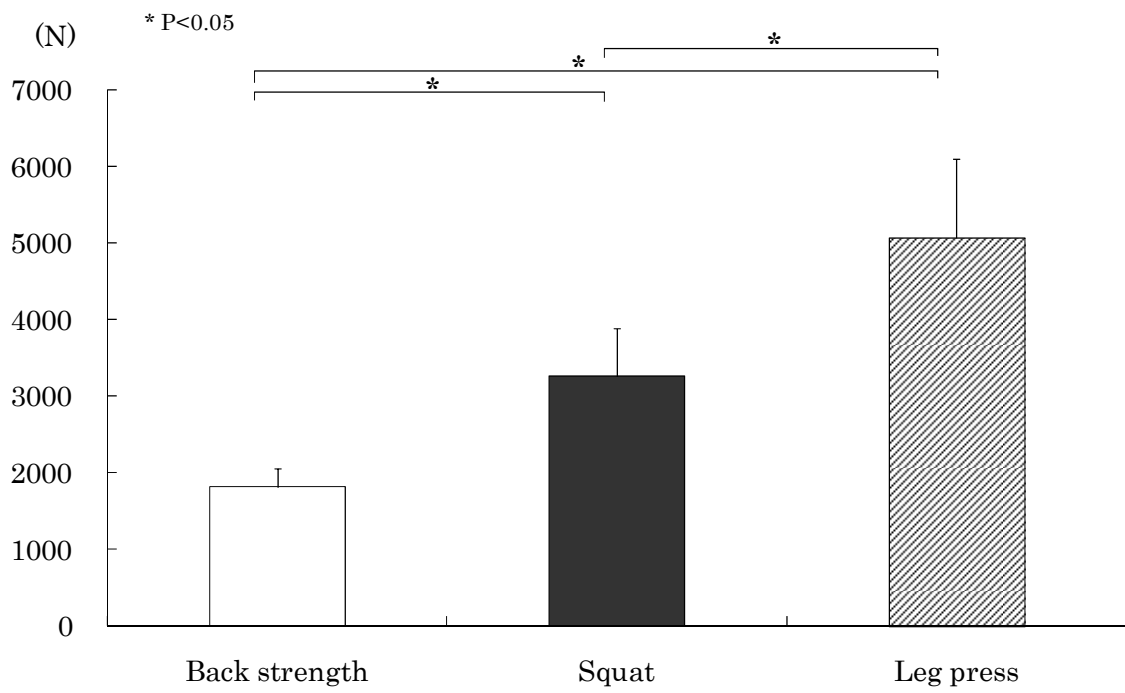


Fig. 31 Comparison of the output value of the maximum forces (Fmax) between back strength, bilateral squat and bilateral leg press at 120 degrees of the knee angles.

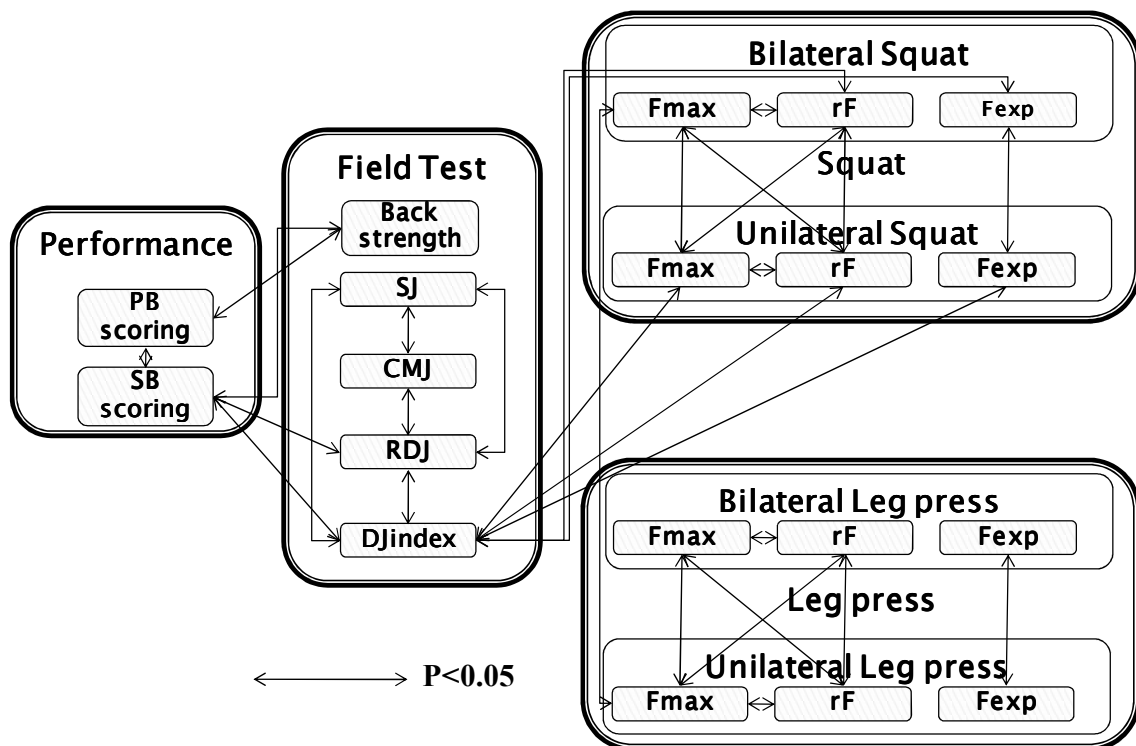


Fig. 32 Relationships between the groups of performance, back strength, field tests, strength values of Squat and Leg press. Arrows show the significant correlation.

The key is as follows; SJ: squat jump, CMJ: counter movement jump, RDJ: rebound drop jump, Fmax: maximum force strength, rF: relative force strength, Fexp: explosive strength.

VII. 討論

本研究の目的は、多関節による代表的な脚伸展運動とされるスクワットとレッグプレスについて、膝角度と試技の仕方の異なる条件下における出力特性を明らかにすることであった。そして、この 2 つの運動の出力特性に基づいて、異なる脚伸展運動の相互関係と競技パフォーマンスおよびフィールドテストとの対応関係を検討してきた。ここでは、両者の特徴を総合的に考察することによって、それぞれの運動のトレーニング方法論上の意義を明らかにしておきたい。

1. 両脚および片脚による脚伸展力について

陸上競技の跳躍選手は、踏切局面で必要とされる筋力を高めるために、多関節による脚伸展運動とみなされるスクワットを行っている。脚伸展力を強化する代表的な運動には、この他にレッグプレスもあるが、この運動は腰部に不安があるときの補助的運動といった位置付けで行われることが多い。Zhuk and Martynenko (1990) は、陸上競技の多くの主要な局面の運動が片脚によって行われるのに対して、これを強化するスクワットは足を左右に開いたスタンスで、両脚による脚の伸展・屈曲が行われることが多いことを指摘している。そして、彼らは右脚と左脚それぞれで発揮した筋力の合計が両脚での筋力であるという考えに基づいて、トレーニング手段としての運動に片脚スクワットを推奨している。しかし、スクワットのような直列多関節系の運動では、リミティングファクターの影響によって発揮される出力が最も弱い部分に規定される可能性が推測される。このため、膝角度が変化することで脚伸展力が大きくなると、発揮される出力が上体と体幹部によって制限されることが考えられた。また、両脚による試技条件の運動（両側試技）では、片脚単独で行われる運動（一側試技）よりも出力が低下するという両側性低下現象も指摘されて

いる。つまり、運動に関連するさまざまな条件が異なることで、発揮される出力に違いが生じることが予想された。トレーニングの実践現場では、立位や座位の運動、膝角度、両脚と片脚などさまざまな手段で脚伸展力の向上をめざした練習が行われているものの、それぞれは脚伸展力を強化できるとする推測のもとで行われている。しかし、これまで、これらの運動の出力特性については明らかにされてはいない。したがって、目的に合致した運動を選択するためにも、各種条件下の運動特性を理解することは極めて重要であると考えられる。

このような背景から、本研究では専門運動で筋力・パワー要素が求められる跳躍選手を対象として、脚伸展力の強化を目的として行われているスクワットとレッグプレスを立て姿勢と座位姿勢で行われる代表的な運動と位置づけて、これに膝角度が 90 度と 120 度という角度条件と、両脚と片脚による試技条件を加えることによって、それぞれの運動を分類した。本研究では、こうして分類された各種条件下における運動の出力を測定した結果から、それぞれの運動の出力特性を明らかにすることに基づいて、トレーニングに適した方法を提示することを目的として、以下に述べるIV章からVI章までの実験研究が行われた。

本論のIV章では、大学陸上競技部の男子跳躍選手を対象に、角度条件と試技条件が異なるスクワットの出力比較を行った。その結果、最大筋力では、膝角度 90 度のときは BL も UL も同程度の出力が示されたが、最大筋力がより増大する膝角度 120 度のときは BL と UL との間に有意な差が認められる結果が得られた。その際に、BL/ UL 比をこの 2 つの膝角度で比較したところ、膝角度 90 度では 97.8%であったのに対して、120 度では 72.6%となり、両者の結果には有意な差が認められた。この関係は相対筋力についても同様に認められた。膝角度 120 度の時の両脚スクワットの最大筋力と片脚スクワットの左右の出力を合計した最大筋力の間には差がみられた要因は、スクワットのような立位での脚伸展運動は、最遠位が固定された多関節運動とみなされるクローズド・キネティック・チェーン (Closed Kinetic Chain) の典型であり、このような条件下での出力は各関節の中で最も弱い部分に

規定されるということに求められる。両脚スクワットでは、上体の姿勢保持に必要とされる体幹部の筋力が両脚によって発揮される出力に耐えられないため、体幹部の支持機能がスクワットの出力を制限する要因として働くが、片脚スクワットは片脚による脚伸展力であるために出力が小さく、体幹部の支持能力の許容範囲内に収まったことで、脚筋力がそのまま出力に反映されたと解釈することができた。膝角度 90 度の時にそのような差が生じなかったのは、膝角度と関節トルクとの関係に基づいて、この角度では脚が大きな伸展力を発揮できなかったため、両脚スクワットの出力も体幹部の支持能力の範囲内にあったためと考えられた。一方で、両脚スクワットの出力低下は両側性低下による影響も指摘され、この可能性も否定できないものであった。さらに、スクワットでのスピード-筋力指数は、膝角度 120 度のものは膝角度 90 度のときのものよりも大きく、UL が BL よりも大きい結果が示された。また、ここでの EMG の特徴は、膝角度 90 度における片脚スクワットの EMG が同角度の両脚スクワットよりも大きい傾向が示された。

V 章では、座位による代表的な多関節脚伸展運動として、上体と体幹部が出力に影響を及ぼさないと考えられるレッグプレスを用いて、スクワットと同様に角度条件と試技条件という 2 つの要因の異なる脚伸展運動の比較を行った。最大筋力では、レッグプレスの ULの方が BL よりも大きく、膝角度が 120 度の方が膝角度 90 度よりも大きいという結果が示された。しかし、ここでの角度ごとの BL/UL 比は、膝角度 90 度では 91.4%、膝角度 120 度では 91.8%を示し、膝角度 120 度のスクワットでみられたほどの BL/UL 比の低下 (72.6%) はみられなかった。レッグプレスでの UL に対する BL の出力低下は、先行研究の報告に基づいて、BL が UL と比べて約 10~20%低下するという両側性低下による可能性が考えられた。一方、両脚スクワットの出力低下は、脚伸展力がダイレクトに出力されると考えられるレッグプレスよりも大きかったことから、体幹部の支持機能というリミティングファクターによる出力制限の影響が大きいことを支持することが示された。一方、レッグプレスでの爆発的筋力は、膝角度 120 度の UL が膝角度 90 度の BL と UL のものよ

りも有意に大きい結果が示された。膝角度 120 度による片脚レッグプレスの運動は、跳躍種目における踏切時の膝角度と類似性が高い。また、一側試技という条件では両側試技という条件のものとは比べ FT 運動単位の動員も大きいとの示唆も得られていることから、被験者の種目特性によって膝角度の小さい場合との間に差が生じたと考えられた。ただし、膝角度 120 度の爆発的筋力の UL は結果にばらつきが大きいので更なる検討が必要である。さらに、最大随意収縮時の iEMG に対するレッグプレスの運動時の EMG の割合 (%MVC) を比較することによって、それぞれの条件下で発揮された出力との対応関係を踏まえて検討した。その結果、最大筋力での出力結果と同様に、一側試技の EMG が両側試技よりも有意に大きくなった筋は、膝角度 90 度では大殿筋、膝角度 120 度では中殿筋であった。

すでに述べたように、IV章では、スクワットにおける角度条件と試技条件が異なる運動の出力測定を行い、V章ではレッグプレスで同様の測定を行った。この 2 つの結果から、スクワットの最大筋力は、膝角度 120 度のように大きな脚伸展力が発揮される時は、上体と体幹部の支持機能の影響によって、BL と UL では差が生じることを確認することができた。レッグプレスでは、最大筋力の UL が BL よりも大きいという結果が示されたが、上体と体幹部の制限を受けないため、膝角度 120 度の BL/UL 比は 91.8%であり、同角度のスクワットのもの (72.6%) とは大きく異なっていた。この結果は、片脚スクワットに比べて両脚スクワットの出力が大きく低下することは上体と体幹部の支持機能に基づく出力制限によるものであることを支持するものであった。しかし、これまでの研究では、同一被験者で比較が行われていなかったため、それぞれの運動によって得られた出力を直接比較することができなかった。

そこでVI章では、同一被験者を用いて、膝角度 120 度での両側試技と一側試技によるスクワットとレッグプレスでの出力測定を行った。その結果、スクワットでの最大筋力の BL は、スクワットの UL、レッグプレスの BL と UL に比べて有意に小さいという結果が示された。この結果から、両脚スクワットでは体幹部による支持筋力がリミティングファクタ

一として最終出力に影響を及ぼしているために最大筋力が小さくなるという仮説が支持された。また、スクワットの UL, レッグプレスの BL と UL との間では同程度の出力が発揮され、いずれの間にも有意な差は認められなかった。これに関連して、すでにIV章では、片脚スクワットでは脚伸展力が上体および体幹部を介して出力されるものの、片脚によって脚伸展力が発揮されることから上体と体幹部の出力制限による影響が少ないことが指摘されている。また、V章では、両脚レッグプレスも片脚レッグプレスも上体と体幹部を伴わない運動であるため、脚伸展力がダイレクトに出力に反映されていることが指摘されている。したがって、スクワットの UL も、レッグプレスの BL と UL も、脚伸展力がダイレクトに出力に反映されたために、同程度の出力が発揮されたと考えられる。また、爆発的筋力は、スクワットの方がレッグプレスよりも有意に小さいという結果が示された。これは、両脚スクワットも片脚スクワットも立位運動であるため、上体および体幹部を下体によって発揮される力の作用線上に配置しながら力を発揮しなければならないのに対し、レッグプレスでは下体の伸展運動によってダイレクトに力が発揮されるということによると考えられる。つまり、レッグプレスでは上体の身体配列が不要となるという運動条件のため、スクワットの出力との間に差が生じたと考えられる。

2. 跳躍運動に必要な筋力発揮と軸づくり

これまで、スクワットとレッグプレスそれぞれの異なる運動による出力について、試技条件と膝角度の違いによる出力特性を検討してきた。スクワットでは、脚伸展力が上体および体幹部を介して出力されるのに対して、レッグプレスでは、脚伸展力がダイレクトに出力される。そして、スクワットのような直列多関節系の運動では、リミティングファクターという意味で、最も低い力を発揮する部位に出力が規定されるということに基づいて、脚伸展力が大きくなると、上体と体幹部の支持機能が制限因子となると考えられた。このことは、両脚スクワットを脚伸展力の強化として行った場合、膝角度が浅く、高出力が発

揮される状態で行うと、脚伸展力ではなく、むしろ上体と体幹部の支持機能を強化していることになる。一方、レッグプレスは、上体と体幹部の支持機能を伴わない運動であるためダイレクトに脚伸展力が出力される。したがって、この運動では上体および体幹部の支持機能を向上させることは難しい。

スクワットに内在する脚伸展力と上体および体幹部の支持機能は、跳躍運動との類似性が指摘されている。跳躍運動の踏切局面で必要とされる跳躍力、いわゆる“バネ要素”は、①身体の起こし回転運動によるもの、②身体の自由部位の振上げ運動によるもの、③身体支持部位の伸展運動によるものに分けられる（阿江ら、1980）。このうち、スクワットやレッグプレスの脚伸展運動は、主として③身体支持部位の伸展運動での出力を高めることを目的として行われている。この脚伸展力の大きさは、その場から高く跳ぶときの“バネ要素”とみなされる垂直跳（SJ）の跳躍高と筋力（相対筋力）の大きさに比例する。しかし、陸上競技の跳躍運動のように助走を利用したランニング跳躍では、①身体の起こし回転運動の貢献度が大きくなる。この起こし回転運動は、助走によって並進運動してきた身体が踏切に入り、足を急激に停止させられた結果、身体が踏切脚を軸に長軸方向に回転することによって生じる（阿江、1992）。この運動を有効に遂行するには、身体を座屈させないよう1本の棒のようにして、Fig. 33のように地面反力の作用線上に上体と下体を直線的に配置する能力が求められる。このことを陸上競技のコーチングでは“軸づくり”もしくは“ブロック”と呼び、これによって上体と下体を結合する部位である体幹部が力を伝導する上で重要な役割を果たしていることを表現している。しかし、こうしたジャンプ運動に必要とされる“軸づくり”と脚伸展力の関係についてはこれまでほとんど検討されてこなかった。本論でこれまで取り上げてきた脚伸展運動は、競技パフォーマンスを向上させることがその目的である。この目的を実現するためには、これらの運動で発揮される脚伸展力とフィールドテストの関係に基づいて、これらの運動が目的に合致しているか否かを検討する必要がある。

そこで、VI章ではスクワットとレッグプレスの各種条件下で発揮された出力とフィールドテストおよび競技パフォーマンスとの相関関係を検討した。その結果、フィールドテストのうち RDJ と DJindex には、シーズン最高記録との間に有意な相関関係が認められた。これらの運動は、フィールドテストの中でも“軸づくり”や“ブロック”に通じる反動的・爆発的筋力が求められるため、跳躍種目での踏切局面で用いられる脚の伸展力と近いタイプの筋力発揮であると考えられる。フィールドテストとスクワットおよびレッグプレスの脚伸展力の関係を検討したところ、DJindex には、スクワットでの最大筋力の UL, スクワットでの相対筋力の BL, スクワットでの相対筋力の UL, スクワットでの爆発的筋力の BL, スクワットでの爆発的筋力の UL との間に有意な相関関係が認められた。一方で、レッグプレスの出力とフィールドテストの出力との間には有意な関係は認められなかった。スクワットの出力形態に着目してみると、そこでは下体が動的な筋力を発揮するのに対して、上体は姿勢保持といった静的な出力発揮を行うという特徴が認められる (Dick, 2007)。しかも、脚筋力の作用線上に上体および体幹部をうまく配置しないと負荷を挙上できない。DJindex は、RDJ での跳躍高を接地時間で除した値であるため、短時間で地面反力を効率よく跳躍力に変換するようになりアクティブな脚伸展力が必要とされる。また、そこでもスクワットと同様に、下体によって発揮された出力の作用線上に上体を配置しないと偏心推力が大きくなってしまい、効率よく跳躍力に変換することができない。スクワットも DJindex も、下体による伸展力および“バネ”とこれを受ける上体および体幹部による姿勢保持と身体配列、いわゆる“軸づくり”が必要とされる点で共通している。これに対して、レッグプレスでは、スクワットで必要とされる上体の姿勢保持を必要としない、下体だけの伸展力の発揮が行われている。したがって、レッグプレスには、スクワットや RDJ で必要とされた上体と体幹部の支持機能が含まれていないため、フィールドテストとの間に相関関係が認められなかったと考えられる。

レッグプレスとスクワットで発揮される爆発的筋力の比較でも、レッグプレスの出力が

スクワットのものよりも 2 倍近く大きく、有意な差が認められた。しかし、スクワットで認められたフィールドテストとの相関関係がレッグプレスには認められなかったことを考えると、脚伸展運動では単に大きな力を出力すれば良いのではなく、力の作用線上に身体各部を配置した中で大きな力を発揮する必要があると考えられる。

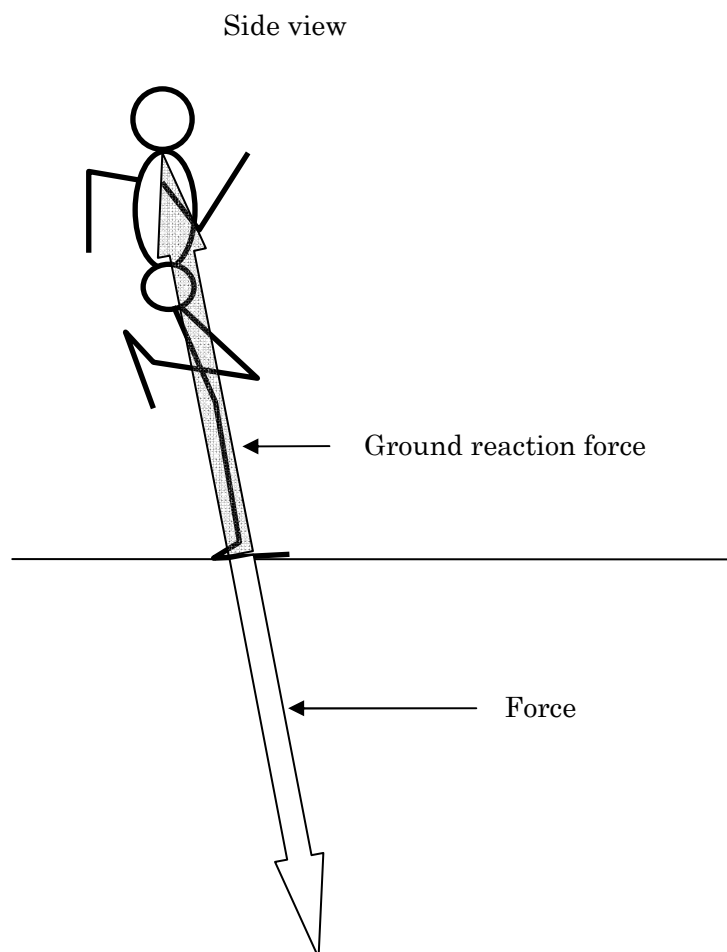


Fig. 33 Effective body alignment during the first half of the take off phase of the running jump such as long jump and high jump.

3. それぞれの脚伸展運動の特徴とトレーニングの意義

これまでに、スクワットとレッグプレスという運動条件の異なる脚伸展運動を試技条件と角度条件によって分類し、各条件下での運動時の出力および筋電位活動の比較から、それぞれの運動の特徴が示されてきた。両脚スクワットでは脚伸展力とともに上体の姿勢保持に必要な体幹部の支持能力が出力に影響する。片脚スクワットでは脚伸展力が上体と体幹部を介して出力されるが、上体および体幹部の支持機能による影響を受けにくいために、脚伸展力の多くが出力に反映される。レッグプレス（両側試技および一側試技）は体幹部の支持機能による影響を排除した出力であり、この運動の場合にも脚伸展力がダイレクトに出力へ反映される。こうした特徴は、同一被験者による膝角度 120 度でのスクワットとレッグプレスの比較からも確認され、スクワットでの最大筋力の BL はスクワットの UL やレッグプレスの BL および UL よりも小さい値が示された。

スクワットでは一般的に脚伸展力を高めることが主たる目的とされている。しかし、膝角度 120 度での両脚スクワットのように脚伸展力が両脚で、なおかつ高出力で発揮されるときは、脚伸展力よりはむしろ上体と体幹部の支持機能が出力に影響を及ぼしている。したがって、この条件下におけるトレーニングの目的は、脚伸展力を強化するよりは上体と体幹部の支持機能を向上させることに置くべきであろう。そして、高出力時の脚伸展力を強化するには、これまでの結果から、膝角度が浅い片脚スクワットと両脚および片脚レッグプレスが考えられるが、跳躍選手が脚伸展力の強化を目的とする場合には、下記に述べる理由により片脚スクワットを用いる方が合目的と考えられる。

膝角度 120 度では、片脚スクワットの最大筋力 (UL) は両脚および片脚レッグプレス (レッグプレスの BL と UL) のものと同程度の出力が示された (Fig. 28)。そして、片脚スクワットでの最大筋力はフィールドテストにおける DJindex との間に有意な相関関係が認められたが、同一膝角度によるレッグプレス（両側試技および一側試技）には認められなかった (Fig. 32)。片脚スクワットも両脚および片脚レッグプレスも脚伸展力が出力に大きく

反映している点では共通しているが、これらには本質的に異なる点がある。それは片脚スクワットが立位運動であるのに対し、レッグプレスでは座位運動という点である。立位運動では、脚伸展力が上体と体幹部を介して発揮される。これに対してレッグプレスは下体による運動のため、上体と体幹部を排除した出力となっている。陸上競技の跳躍種目では下体による脚伸展力だけでなく、それを受け止める上体の姿勢づくりも求められている。そこでは、脚伸展力の作用線上に身体各部を適正に配置する能力、いわゆる“軸づくり”が求められているのである。このことは、スクワットでも同様で、負荷とされる肩に担いだバーベルと上体および体幹部を脚伸展力の作用線上に配置しなければ、重量物を挙上することはできない。それゆえ、この運動でも、陸上競技の跳躍運動と同様に、“軸づくり”が求められている。しかし、下体だけの伸展力であるレッグプレスでは、こうした上体と体幹部の支持機能を必要としないため、大きな脚伸展力を発揮することができるが、専門運動に必要とされる機能を強化することは難しいと考えられる。例えば、時間的な要因が出力に含まれる爆発的筋力は、レッグプレスの場合には、両側試技でも一側試技でもスクワットの 2 倍以上の出力が示された。しかし、スクワットとレッグプレスそれぞれの爆発的筋力とフィールドテストおよび競技パフォーマンスとの相関関係を見てみると、片脚スクワットの爆発的筋力は DJindex との間に有意な相関関係が認められているのに対して、レッグプレスとフィールドテストおよび競技パフォーマンスの間には相関関係が認められなかった。このことから、跳躍運動に必要とされる脚伸展力は単に大きな力を発揮すれば良いのではなく、上体および体幹部の姿勢保持と身体配列を機能させること、つまり“軸づくり”をしながら脚伸展力の強化を図る必要があると思われる。この理由から、跳躍選手の場合のように踏切りで必要とされる高出力の脚伸展力を強化するには、膝角度が浅い片脚スクワットが適していると考えられる。

一方、比較的出力が低い膝角度 90 度の片脚スクワットの最大筋力の左右の合計出力 (UL) は、両脚スクワットのもの (BL) と同程度のものが示された。膝角度 120 度のように比較

的高い脚伸展力が発揮されるときには、上体と体幹部の支持機能によってスクワットの BL と UL は異なる。しかし、膝角度 90 度では脚伸展力が低出力となり、両脚スクワットも片脚スクワットも上体と体幹部の支持機能の範囲内に脚伸展力が収まるため、BL と UL は同程度となる。つまり、Zhuk and Martynenko(1990)の提言は、膝角度が深い 90 度の状態でのスクワットについてあてはまり、この条件下では両脚スクワットも片脚スクワットも脚伸展力がダイレクトに出力されると考えられる。この膝角度での同一筋の EMG を試技条件で比較したところ、片脚スクワットの方が両脚スクワットに比べて大きくなる傾向がみられた。こうした結果をまとめると、膝角度が深いときの片脚スクワットは、両脚スクワットと同じ程度の脚による最大筋力が発揮され、両脚時よりも筋の動員性が高い運動といえる。したがって、膝角度が深い片脚スクワットは、両脚スクワットに比べて半分の重量で行えるにも関わらず筋力面では両脚と同等の効果が期待できること、そして筋の動員性も高くなることから、基礎的な脚伸展力の強化として効果的な方法であることが示唆される。

スクワットに対して、レッグプレスは体幹部の支持機能を排除した下体による伸展力である。そのため、腰部を故障しているまたは不安のあるときの練習としては適しているであろう。ただし、座位では地面反力を効率よく跳躍力に変換するための上体の姿勢保持や身体配列に関わる能力を養うことができないため下肢の補助的目的に限定すべきであろう。

VIII. 結論

本研究の目的は、立位運動と座位運動、膝角度 90 度と 120 度、両脚と片脚のように、条件の異なる脚伸展運動の出力を比較・検討することで、それぞれの脚伸展運動の運動特性を明らかにすること、そしてこうして得られた出力と競技パフォーマンスおよびフィールドテストの結果との相関関係を検討することで、跳躍選手にとって合目的なトレーニング方法を提示することにあつた。その結果、以下の結論を得た。

- 1 立位運動であるスクワットの最大筋力は、脚伸展力が上体および体幹部を介して出力される。スクワットのようなクローズド・キネティック・チェーンでは、リミティングファクターによって出力が最も小さい身体部分に規定される。したがって、脚伸展力が大きくなると体幹部による出力制限が生じ、脚伸展力よりはむしろ体幹部の支持機能が出力に反映されたと考えられる。このことは、膝角度が浅く、両脚という試技条件下の運動で顕著となった。一方、片脚スクワットは脚伸展力がダイレクトに反映されることが明らかになった。スピード-筋力指数は、膝角度が浅いものが深いものよりも大きく、一側試技のものが両側試技のものよりも大きかった。また、膝角度 90 度のときの片脚スクワットの EMG は両脚スクワットよりも大きい傾向が示された。
- 2 座位運動であるレッグプレスでは、上体と体幹部の支持機能の制限を受けず、脚伸展力がダイレクトに出力されることが明らかとなった。最大筋力では、両側性低下によってレッグプレスの UL が BL よりも 10%大きいという結果が示された。爆発的筋力では、膝角度 120 度でのレッグプレスの UL が膝角度 90 度でのレッグプレスの BL と UL よりも大きいという特徴が示された。

- 3 各種条件下での出力とフィールドテストの相関関係を検討した結果、DJ-index はスクワットの出力とは有意な相関関係が認められたが、レッグプレスとは認められなかった。これは、DJ-index とスクワットでは、上体および体幹部の姿勢保持と、下部によって発揮される筋力の作用線上に上体を配置する、いわゆる“軸づくり”が求められているためだと考えられる。これに対して、レッグプレスでは、上体および体幹部の作用を排除したダイレクトな脚伸展力の発揮が示される。したがって、この運動では身体配列を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相関関係がみられなかった理由と考えられる。

これらの知見はトレーニングの実践面に対して以下のような示唆を与えるものである。

- ① スクワットは立位で行われるため、脚伸展力だけでなく、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可能性が大である。特に、高出力下で行われる膝角度 120 度での両脚スクワットは、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の意義が大きいであろう。
- ② 膝角度 120 度の片脚スクワットは、身体各部を配置しながらの脚伸展力と解され、この場合には、脚に対する負荷は両脚スクワットに比べて高くなる。したがって、跳躍運動に必要とされる身体の軸を形成した状態で、高負荷による脚伸展力の改善に主眼を置いた専門的なトレーニングとして用いることが有効であると考えられる。ただし、ここでの脊柱起立筋の活動は作用脚側と自由脚側とは異なっていた。左右の背筋力のバランスを保つためにも一方の脚だけでなく、左右それぞれの脚によってこの運動を行うべきであろう。
- ③ 膝角度 90 度におけるスクワットでの最大筋力の UL は BL と同程度の値が示され、

- EMG では片脚スクワットの方が両脚スクワットよりも活動が大きい傾向が示された。片脚スクワットでは、負荷となる重量が両脚スクワットの半分で済むので、発育期にあるジュニア選手が基礎的な脚伸展力を強化する方法として効果的であろう。
- ④ 座位で行われるレッグプレスは体幹部での支持機能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。ただし、座位では上体の姿勢保持や身体配列に関わる能力を養うことができない。

このように、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。

IX. 今後の課題

本研究で得られた結論を踏まえると、以下のような今後の課題が提起される。

- ① 本研究では、各種条件の異なる脚伸展運動の出力比較からそれぞれの運動の特徴を収集した。その結果、スクワットとレッグプレス、両側試技と一側試技のような異なる条件下では、上体および体幹部の支持機能が出力に影響を及ぼすことが示唆された。この部位の支持機能は、腰部だけの筋力だけでなく、骨盤の大きさによって生じるモーメントの違い、出力発揮の際のタイミングなど複雑な要因が影響しているため、本研究による出力と筋電図の測定からだけではその詳細を明らかにすることはできなかった。上体および体幹部の支持機能は、RDJや跳躍運動にも必要とされる“軸づくり”にも関連が深いと考えられるため、さらにこれを構成する要因を明らかにすることはトレーニングに有益な知見となるものと考えられる。
- ② 本研究では、被験者として跳躍選手を対象とした。スピード・筋力指数や爆発的筋力では、膝角度 120 度の一側試技の出力が大きい傾向が示されたが、このことが被験者の種目特性によるものなのかをコントロール群を設けて検証する必要がある。
- ③ 両側性低下現象とは、一般に両側試技時には一側試技時に比べて出力が低下することをいう。しかし、ボート競技の五輪選手では両側試技時の出力低下がみられず、逆に出力が促進されたという結果も得られており、運動習熟によって出力が増減する種目特性の可能性も示唆されている。陸上競技では主に片脚で運動が遂行されるが、本研究で提示した両脚と片脚の脚伸展運動のトレーニング効果の際をさらに検証することでトレーニング上に有益な知見を収集することが考えられる。

謝辞

本論文を完成するにあたり、有益なご助言、ご教示をいただきました筑波大学の村木征人教授、尾縣貢准教授、河合季信講師、大山卞圭悟講師に心よりお礼申し上げます。村木教授には、研究者としてだけでなく、指導者としてスポーツの現場に向き合う姿勢を教えていただきました。深くお礼申し上げます。

また、朝岡正雄教授、阿江通良教授、木塚朝博准教授をはじめ諸先生方から、多くのご指導、ご助言を賜りました。深くお礼申し上げます。

本論文をまとめるにあたって、多くの貴重なご助言ならびにご配慮をいただきました国立スポーツ科学センタースポーツ情報部の宮地力副主任研究員、伊藤浩志君に深く感謝します。

実験ならびに論文作成に多大なご協力をいただきました筑波大学コーチング論研究室の皆様、快く被験者として実験に参加していただいた筑波大学陸上競技部の皆様、ご支援いただきました関彰育英会に対して深く感謝いたします。

最後に、これまで修行を支援し続けてくれた両親と妻に感謝します。

参考文献

- 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.
- 阿江通良 (1982) 高く跳ぶための跳に関する運動生力学的研究—踏切における身体各部の貢献とメカニズムについて—. 筑波大学大学院博士課程体育科学研究科, 昭和56年度博士論文.
- 阿江通良・渋川侃二 (1983) その場から高く跳ぶ跳躍—垂直跳のバイオメカニクス. *J.J. Sports Sci.*, 2(8): 590-599.
- 阿江通良 (1992) 陸上競技のバイオメカニクス. 日本陸上競技連盟編 陸上競技教本基礎理論編. 大修館書店: 東京, pp.33-53.
- 有賀誠司・芝本幸司・中西英敏・山下泰裕・白瀬英春・恩田哲也・麻生敬・生方謙 (2004) 柔道選手における片脚スクワットについて. *東海大学スポーツ医科学雑誌*, 16: 34-44.
- Beutler A.I., Cooper L.W., Kirkendall D.T., and Garrett Jr W.E. (2002) Electromyographic analysis of single-leg, closed chain exercises: Implications for rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of athletic training*, 37(1): 13-18.
- Berger R.A. (1966) Leg extension force at three different angle. *The research quarterly*: 37(4): 560-562.
- Bührle M., Schmidbleicher D., and Ressel H. (1983) Die spezielle Diagnose der einzelnen Kraftkomponenten im Hochleistungssport. *Leistungssport*, 3: 11-16.
- Bührle M. (1985) Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In: Bührle M. (Hrsg.) *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings*.: Schorndorf, pp.82-111.
- Carpenter A. (1938) Study of angles in the measurement of the leg lift. *The research*

quarterly, 9(3): 70-72.

Coyle, E.F., Feiring, D.C., Rotkis T.C., Cote III R.W., Roby F.B., Lee W. and Wilmore J.H (1981) Specificity of power improvement through slow and fast isokinetic training. J. Appl. Physiol., 51(6): 1437-1442.

Delavier F. (2001) Strength training anatomy. Human Kinetics Published: IL, pp.80-84.

Dick F.W., (2007) Sports training principles. 5th edition. A and C black Published: London, pp.102-114.

Dimattia M. A., Livengood A.L., Uhl T. L., Mattacola C. G., and Malone T. R. (2005) What are the validity of the single-leg-squat test and its relationship to hip-abduction strength? Journal of sport rehabil, 14: 108-123.

エレンベッカー・デービス：渡部賢一・小柳好生訳 (2003) CKC エクササイズ. ナップ: 東京, pp.1-22.

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 - 垂直跳, 階段駆け上がり, ランニングについて - . 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.

福間博樹 (2008) 醍醐直幸君の復活と日本新記録を支えて. 陸上競技研究, 73: 40-49.

服部恒明 (1996) ヒトのかたちと運動. 大修館書店：東京, pp.82-111.

Henry F.M. and Smith L.E., (1961) Simultaneous vs. separate bilateral muscular contractions in relation to neural theory and neuromotor specificity. The research quarterly, 32: 42-46.

Hopkins J.T. and Sandrey M.A. (1999) An electromyographic comparison of 4 closed chain exercises. Journal of Athletic Training, 34(4):353-357.

- Howard J.D. and Enoka R.M. (1991) Maximum bilateral contractions are modified by neutrally mediated interlimb effects. *J. Appl Physiol*, 70: 306-316.
- 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. Physiol*, (Lond.) 105: 332-346.
- IAAF Scoring tables of Athletics 2003 edition. (2003) Published: Monaco.
- 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.
- 石井直方 (2001) 筋と筋力の科学 1 重力と闘う筋. 山海堂: 東京, pp.20-24.
- カパンディ: 荻島秀男監訳・嶋田智明訳 (1986) カパンディ 関節の生理学Ⅱ 下肢. 医薬薬出版株式会社: 東京, pp.44-64.
- 金子公宥 (1988) パワーアップの科学 人体エンジンのパワーと効率. 朝倉書店: 東京, pp.1-7.
- 金原勇・大西暁志・阿江通良・高松薫 (1974) 走高跳の踏み切りにおける身体各部の使い方に関する基礎的研究. 昭和 48 年度日本体育強化スポーツ科学研究報告Ⅳ, 跳躍の向上 第一次研究報告, pp.12-25.
- Koh T.J., Grabiner M.D. and Clough C.A. (1993) Bilateral deficit is larger for step than ramp contractions. *J Appl Physiol*, 74: 1200-1205.
- Kulig K., Andrew J.G., and Hay J.G. (1984) Human strength curves. In : Terjung R.L. (Ed) *Exercise and sports science review*. Lexington: Massachusetts, 12 : 417-466.
- 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
- Liebenson C. (2002) Squat and Lunges for 'Core' stability. *Journal of bodywork and movement therapies*, 6(4): 255-256.

- Lindenburg F.A. (1964) Leg angle and muscular efficiency in the inverted leg press. *The research quarterly*, 35(2): 179-183.
- Linford, A.G., and Rarick, G.L. (1968) The effect of knee angle on the measurement of leg strength of college males. *The research quarterly*, 39: 582-586.
- McCurdy K., and Langford G. (2005) Comparison of unilateral squat strength between the dominant and non-dominant leg in men and women. *Journal of sports science and medicine*, 4: 153-159.
- McCurdy K., and Langford G. (2006) The relationship between maximum unilateral squat strength and balance in young adult men and women. *Journal of sports science and medicine*, 5: 282-288.
- 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.
- 村木征人 (1990) 体力の運動学的認識. 金子明友・朝岡正雄編 運動学講義. 大修館書店: 東京, pp.53-58.
- 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.
- 丹羽昇 (1970) 角度と筋力の関係 - 脚筋力の場合 -. *体育学研究*, 15 (1): 48-53.
- 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.
- Oda, S. and Moritani, T. (1995) Cross -correlation of bilateral differences in fatigue during sustained maximal voluntary contraction. *Eur. J. Appl. Physiol*, 70: 305-310.
- 小田伸午 (1998) 身体運動における右と左～筋出力における運動制御メカニズム～. 京都大学学術出版会: 京都, pp.30-73.
- Ohtsuki, T. (1981) Decrease in grip strength by simultaneous bilateral exertion with reference to finger strength. *Ergonomics*, 24(1): 37-48.
- 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.

Palmitier R.A., An K.N., Scott S.G., and Chao E.Y. (1991) Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med*, 11(6): 402-413.

Rippetoe M. and Kilgore L. (2007) *Starting strength 2nd edition. Basic barbell training.* The Aasgaard company Published: Texas USA.

Rivera J.E. (1994) Open versus closed kinetic chain rehabilitation of the lower extremity: a functional and biomechanical analysis. *J Sport Rehabil*, 3: 154-167.

ロルフ：金子公宥訳・松本迪子訳（1986）目で見る動きの解剖学，スポーツにおける運動と身体のメカニズム．大修館書店：東京，pp.31-46.

Rube N. and Secher N.H. (1990) Effect of training on central factor in fatigue following two- and one-leg static exercise in man. *Acta. Physiol. Scand.*, 141: 87-95.

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.

Schmidtbleicher, D. (1992) Training for power events. In: P. V. Komi(Ed.) *Strength and power in sport.* Blackwell Scientific: London, pp.381-395.

Seki, T. and Ohtsuki, T. (1990) Influence of simultaneous bilateral exertion on muscle strength during voluntary sub maximal isometric contraction. *Ergonomics*. 9: 1131-1142.

Secher N.H. (1975) Isometric rowing strength of experienced and inexperienced oarsmen. *Med. Sci. Sports*, 7: 280-283.

Secher N.H., Rube N. and Elers J. (1988) Strength of two and one-leg exertion in man. *Acta Physiol Scand*, 134: 333-339.

Secher N.H., Rorsgaard S. and Secher O. (1978) Contralateral influence on recruitment of curarized muscle fibers during maximal voluntary extention of the legs. *Acta Physiol Scand*, 103: 456-462.

- Shields R.K., Madhavan S., Gregg E., Leitch J., Petersen B., Salata S., and Wallerich S. (2005) Neuromuscular control of the knee during a resisted single-limb squat exercise. *The American journal of sports medicine*, 33(10): 1520-1526.
- Steindler A. (1955) *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions*. Springfield, IL: Charles C Thomas.
- Stone, M. H, Stone, M and Sands, W. A. (2007) *Principles and practice of resistance training*. Human kinetics: Champaign, IL, pp.157-179
- 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.
- Taniguchi Y. (1997) Lateral specificity in resistance training, the effect of bilateral and unilateral training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 75: 144-150.
- Taniguchi, Y. (1998) Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 78: 229-230.
- 末井健作・金子公宥 (1977) 種々の関節角における下肢伸筋力の測定. *姫路工業大学研究報告*, 27-B: 88-95.
- Tidow G. (1985) Aspects of strength training in athletics. *New Studies in Athletics*, 1: 93-110.
- Vakos J.P., Nitz A.J., Threlkeld A.J., Shapiro R., and Horn T. (1994) Electromyographic activity of selected trunk and hip muscle during a squat lift. *Spine*, 19(6): 687-695.
- Vandervoot A.A., Sale D.G. and Moroz J. R. (1984) Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension. *J. Appl. Physiol Respirat Environ Exerc Physiol*, 56: 46-51.
- Vandervoot, A.A., Sale, D.G., and Moroz, J.R. (1987) Strength-velocity relationship and fatiguability of unilateral versus bilateral arm extension. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 56: 201-205.

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。

Williams M. and Stutzman L. (1959) Strength variation through the range of joint motion. *Physical Therapy*, 39: 145-152.

William P. E. and Leigh D. H. (2000) The role of the back squat as a hamstring training stimulus. *National strength and conditioning association*, 22(5): 15-17.

Wilk K. E., Escamilla R. F., Fleisig G. F., Barrentine S. W., Andrews J. R. and Boyd M. L. (1996) A comparison of tibiofemoral joint force and electromyographic activity during open and closed kinetic chain exercises. *The American journal of sports medicine*, 24(4): 518-257.

Wilson G. J. and Murphy A. J. (1996) The use of isometric test of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine* 22: 19-37.

Willson J., Ireland M. L., and Davis I. (2006) Core strength and lower extremity alignment during single leg squat. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(5): 945-952.

山下謙智（2007）多関節運動学入門．ナッブ：東京，pp.85-100.

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，一両脚・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.

Zatsiorsky V.M. (1995) Science and practice of strength training. *Human Kinetics: Champaign*, pp. 34

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。

Zeller B. L., McCrory J. L., Kibler W. B. and Uhl T. L. (2003) Differences in kinematics and electromyographic activity between men and women during the single-leg squat. *The American journal of sports medicine*, 31: 449-456.

Zhuk, V. 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.

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.