

2008 年度 修士論文

コンタクト系競技に特異的な
ジャンプトレーニングの効果について

— Effects of specific jump training for contact sports —

早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

身体運動科学領域

スポーツ科学専攻

5 0 0 7 A 0 2 2 - 3

倉持 江弥

Kuramochi, Koya

研究指導教員：矢内 利政 教授

コンタクト系競技に特異的なジャンプトレーニングの効果について

身体運動科学領域

5007A022-3 倉持 江弥

指導教員：矢内 利政 教授

1. 緒言

これまでに、コンタクトスポーツのチームにおいて、爆発的な筋力発揮を得るトレーニング種目として、スクワットジャンプ (SJ) が行われてきた。一方、コンタクト系競技では瞬間的に爆発的な筋力発揮をする特異的な能力が必要とされるため、動作の開始と同時に負荷のかかるラックスクワットジャンプ (RSJ) がトレーニング種目として実施され始めている。RSJ は SJ よりも実際のコンタクト動作に似た筋力発揮ができるという面で、主観的には効果があると判断されてきたが、今のところ科学的に RSJ の身体キネマティクスを検討した報告はない。

本研究では、RSJ のトレーニングを継続的に行っている熟練者で行っていない非熟練者を対象に、SJ と RSJ のパフォーマンス及び身体キネマティクスの違いを群内比較することによって、RSJ のトレーニング効果について検討することを目的とする。

2. 方法

RSJ のトレーニング経験が 1 年以上の熟練者 7 名と経験のない非熟練者 7 名の計 14 名を被験者とし、膝関節屈曲位 90° の静止姿勢から全力努力による 2 種類の SJ を行った。

- ① SJ : 肩にバーベルを担いだ状態で静止し、合図とともにジャンプをする。
- ② RSJ : ①の静止姿勢と同じ高さにバーベルを固定し、肩に触れているが負荷はかかっていない姿勢をする。この姿勢から合図とともにバーベルを押し上げ、ジャンプをする。

全試行は床反力計上で行われ、得られた床反力のうち鉛直方向のみを算出した。試行中は表面筋電法を用いて、腹直筋、脊柱起立筋 (ES)、大臀筋 (GM)、大腿二頭筋、大腿直筋 (RF)、外側広筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋の 8 筋において筋放電量を計測した。分析区間は、動作開始から動作終了までの時間を 100% として、pre (動作前 300 ミリ秒から動作開始)、0-30% (動作開始から 30% Total Time)、30-60% (30%~60% Total Time)、60-100% (60% Total Time から離地) の 4 区間とした。各試行における股、膝および足関節角度は、高速度カメラを用いて撮影された二次元の動作解析から算出した。

3. 結果

基本動作となる SJ において跳躍高、最大床反力発揮時のバーベル速度および各関節における角度変位に群間の差は見られなかった。また、表 1 に示す通り、RSJ では 0-30% 区間で全被験者が全負荷を身体に荷重し、バーベルの鉛直方向への移動を開始していることから、筋活動に関しては特に 0-30% 区間に着目した。

熟練者群では、SJ と RSJ の動作間において、最大床反力、力積、跳躍高、最大床反力発揮時におけるバーベル速度及び体幹部屈曲変位と、いずれも差は見られなかった。最大床反力発揮時の膝関節角度変位は SJ に比べ RSJ の方が大きくなったが、足関節角度変位ならびに股関節角度変位は SJ と RSJ の動作間で差は見られなかった。SJ と RSJ の筋放電量に、動作間で差は見られなかった。

一方、非熟練者では、最大床反力と力積はSJとRSJの動作間で差は見られなかったが、跳躍高と最大床反力発揮時のバーベル速度はRSJの方が有意に低値を示し、体幹部角度変位はRSJの方が大きかった。また、最大床反力発揮時の足関節角度変位はRSJの方が大きく、膝関節角度変位及び股関節角度変位はSJとRSJの動作間で差は見られなかった。筋放電量は、ES、GM、RFでRSJの方が少なかった。

4. 論議

非熟練者はSJとRSJの動作間で、力積に差がなかったものの、最大床反力発揮時におけるバーベル速度および跳躍高がRSJの方が有意に低値を示した。これは地面から得た運動量をバーベルに伝える際に、身体内部のどこかでエネルギーが消費されてしまったことが原因と考えられる。

非熟練者のRSJのバーベル速度および跳躍高が低かった原因として、まず0-30%区間でのESの筋活動がSJに比べ低下したことが挙げられる。脊柱の安定のためにはESの活動を大きくすることが必要（Anderson et al., 2005）となるが、筋を瞬間的に活動させると、事前に緊張させているよりも筋発揮が小さくなる（Linnaam et al., 2006）。RSJは全負荷が身体に荷重するまでは、負荷が変動しているため身体は安定しない。そのためRSJにおいても、身体を安定させるために早くESの活動を高める必要があった。

また、非熟練者のRSJの最大床反力発揮時の足関節角度変位と体幹部屈曲（図1）は、SJに比べ大きくなっている。RSJ動作は負荷が大きくなるほどバーベルによって肩を押さえつけられる割合が増えるため、バーベルが動かないにも関わらず下肢の伸展が進んだこと

で重心が上方及び後方へ移動したことが読み取れる。SQでは、重心が後方に移動することでRFの筋活動が抑制されることや（北元ら, 2002）、膝関節の屈曲が深いほどGMの活動が高まる（Caterisane et al., 2000）と言われていることから、本実験においては重心の上方及び後方への移動によって、非熟練者のRSJの0-30%区間のRFとGMの筋活動がSJに比べ低下したといえる。さらに、GMの筋活動のタイミングが早いほど、地面に早く力を伝えられる（Bobbert et al., 1991）のだが、GMの活動が遅かったために地面に力を伝えるのが遅くなったため、RSJの方がSJに比べバーベルの速度は低下し、跳躍高に関しても低値を示した。

一方、熟練者ではSJとRSJの動作間で、力積、最大床反力、最大床反力発揮時のバーベル速度ならびに体幹部屈曲に差は見られなかった。また、0-30%区間の筋活動では、どの筋においても動作間で差は見られなかった。熟練者は通常のトレーニングとしてRSJを行っていたことから、瞬間的に力を発揮することに慣れていたといえる。

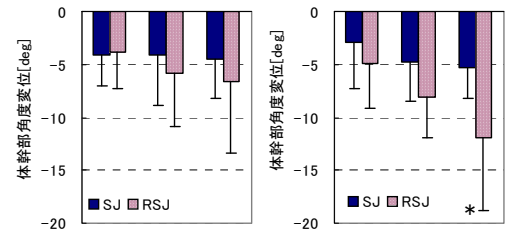
以上の結果より、RSJは脊柱を安定させるESと骨盤を安定させるGMおよびRFの活動す

表1. RSJの動作開始から全負荷荷重までの総動作に対する時間比率（%）

	20% Iso SQ	40% Iso SQ	60% Iso SQ
熟練者	11.6±1.4 % †	15.4±1.9 % †	17.1±3.4 %
非熟練者	18.2±3.4 %	20.9±4.6 %	21.0±5.6 %

† : P<0.05

るタイミングを早め、地面から得た運動量をロスなく対象物に伝える能力の向上に効果が



* : P<0.05

図1. 熟練者および非熟練者の動作時における最大床反力発揮時の体幹部屈曲変位の違い

目次

1.	緒言	
1-1.	序	1
1-2.	研究小史	
1-2-1.	コンタクトスポーツの競技特性	2
1-2-2.	S Jに関する研究	3
1-2-3.	コンタクトスポーツにおける競技特異的トレーニング	3
1-3.	目的	5
2.	方法	
2-1.	被験者	6
2-2.	測定対象動作	6
2-3.	測定項目	7
2-4.	分析	8
2-5.	統計処理	9
3.	結果	16
4.	論議	32
5.	まとめ	
5-1.	総括	37
5-2.	参考文献	38
5-3.	謝辞	40

1. 緒言

1-1. 序

今日、競技パフォーマンスを向上させるために、レジスタンストレーニングを行うことが一般的になっている。その中で、下肢筋群のトレーニングの最もポピュラーなエクササイズとして用いられているのがスクワット (SQ) である。SQ は、重りを肩に担いだ状態で下肢 (股関節および膝関節) の伸展屈曲動作を行うもの (Kellis et al., 2005) であり、トレーニングの目的に応じて負荷や回数を変えることで異なった効果をもたらす。例えば、SQ を素早く行って跳び上がるスクワットジャンプ (SJ) は SQ に比べ、より“爆発的”な (できるだけ短い時間で大きな) 力発揮を必要とする。そのため、このトレーニングはスプリントなどのパフォーマンスの向上に効果がある (Willson et al., 1993)。一方、コンタクト系の競技スポーツに特化したトレーニング動作として、近年、動作開始前からではなく動作開始後からバーベルの負荷がかかるラックスクワットジャンプ (RSJ) が導入されている。これは爆発的な力発揮をするだけでなく、「動作の途中から負荷がかかる」「姿勢の安定性を必要とする」といった特徴がある。そのため、RSJ を行うためにはこれまで行われてきた SJ に必要とされる力発揮能力とは異なる能力が必要になると考えられている。

これまでに SJ を対象とした実験では、負荷－速度－パフォーマンス関係やパフォーマンスと動作との関係という視点から検討されてきた。これらの研究から、負荷が大きくなることで発揮する力は上がるが速度は低下すること (Cormie et al., 2007)、膝関節角度 110° で最大の力を発揮する (Rahmani et al., 2001, Kellis et al., 2005) ことが明らかにされている。しかし、RSJ においては、身体キネマティクスやパフォーマンスの変化および重量負荷との関係について、検討した研究は見当たらない。これらの関係を明らかにすることは、これまで主観的に評価されてきた RSJ のトレーニング効果を科学的なデータを用いて検討することとなり、RSJ が競技パフォーマンス向上にどのような効果をもたらすかについての重要な知見となる。

そこで本研究は SJ と RSJ において身体キネマティクスやパフォーマンスの変化および重量負荷との関係について検討し、競技特異的と言われる RSJ のトレーニング効果を、RSJ トレーニング熟練者と非熟練者との横断的な比較から解明することを目的とする。

1-2. 研究小史

1-2-1. コンタクトスポーツの競技特性

アメリカンフットボールやラグビーなどのコンタクトスポーツにおいて、相手（対象物）の運動を妨げるために大きな力積を与えることは、相手との当たりに打ち勝つために重要な役割を持つ。動き出しから当たるまでは非常に短い時間である（高木, 2002）ため、その間もしくは当たっている最中にできるだけ大きな力積を相手に加えなければならない。そのためには、地面反力に起因する運動量を下肢から上肢を通じて、相手にロスなく伝える必要がある。アメリカンフットボールの技術書には、人に当たるときの注意点として「背中をまっすぐにして腰ではなく膝を曲げることで姿勢を保ち、最大限の力を統合するために両足からふくらはぎ・脚部や腰の大きな筋肉の力を一つにまとめあげなくてはならない」（Bass, 1991）と書かれている。これにより「脚で爆発的に生み出された力を、上肢を介してディフェンダーに伝え押しやる」（Bass, 1991）ことを可能にする。このことが守られず当たる際に腰が曲がっていると、力を伝えられないだけでなく、背中や腰を痛める原因になるとされている。コンタクト動作に関するバイオメカニクスの研究としては、アメリカンフットボールのライン選手に関する報告（Gatt et al., 1997）がある。これによると、コンタクトの際に腰椎 4-5 セグメントに対して自体重の約 2.6 倍のせん断力がかかるため骨盤と脊柱の安定性が必要であるとされる。またラグビー選手のコンタクトプレーにおける衝撃の力学的研究（山田ら, 1984）では、熟練者と未熟練者がタックルバッグにコンタクトする際の衝撃加速度と地面反力を測定した。これによると、未熟練者は衝突した際に身体が伸びあがり、コンタクトバッグに与えた力の反作用により、重心が上方へ移動してしまうため、相手に大きな力をする事ができないとされている。コンタクトスポーツではないが、剣道の打突に関する研究（西谷ら., 2006）では、優秀な選手は踏み込んだ脚において力が抜けることなく、持っている能力を有効に床に伝えることで、大きな踏み込みの力を発揮するとしている。これらのことから、体幹部を安定させることで、自分が発揮した力をロスなく相手に伝えることが可能になると考えられる。

以上のことから、コンタクトスポーツにおいては、体幹部を安定させて下肢で発揮した力をロスなく上肢に伝えて、対象物に大きな力積を与える能力が必要不可欠であるといえる。しかしながら、これらの能力を向上させるためのトレーニング方法は未だ確立

されていない。

1-2-2. SJ に関する研究

短時間に大きな力を発揮するトレーニングとしては一般的にスクワットジャンプ (SJ) が導入されている。スクワット (SQ) や SJ を全力で行った場合、負荷が小さいほど最大速度が大きく、負荷が大きくなるほど最大床反力が大きくなる (Kellis et al., 2005)。Cormie et al (2007) は同じ負荷を用いた場合に、最大床反力ならびにバーベルの最大速度はどの負荷においても、SQ より SJ のほうが大きくなると報告している。SQ では身体やバーベルが投げ出されないように動作終盤に減速しなければならないため、より爆発的な動作を必要とするアスリートにとっては SJ の方が有効である (Willson et al., 1993)。Kellis et al (2005) は、膝関節屈曲位 80° からスミスマシンを使用した SJ において、膝関節屈曲位 $104\sim 115^{\circ}$ 、股関節屈曲位 $119\sim 135^{\circ}$ で最大床反力を発揮すると報告している。また Rahmani et al (2001) は、膝関節屈曲位 90° からの SJ において負荷に関わらず膝関節屈曲位 110° で最大の力を発揮するとしている。また、SJ 中の筋活動において、Eloranta (2003) は、ジャンプにおいて膝関節屈曲状態では大腿四頭筋群の活動が大きく、動作の終わりに近い伸展状態では活動が低下すると報告しており、McBride et al (2002) は、軽い負荷と重い負荷での SJ トレーニングを行うことで外側広筋の筋活動がそれぞれの重さに適応したことを報告している。Pandy et al (1991)、Bobbert et al (1999) は SJ において、大臀筋は股関節伸展のための主要な筋であり、下肢の爆発的な力を生み出すものと報告している。

1-2-3. コンタクトスポーツにおける競技特異的トレーニング

しかし、コンタクトスポーツ競技中の脚伸展動作と、レジスタンストレーニングで行われる脚伸展動作を比較すると、それぞれの力発揮の様式は異なる。例えばアメリカンフットボールで特に人と当たる機会の多いライン選手は、静止状態からスタートを行い、その直後に相手に当たる (Bass, 1991) ことが多い。これは動作開始時には負荷が自重のみで、動作開始直後に負荷がかかることを意味している。これに対し、スクワットやランジなど通常用いられるレジスタンストレーニングでは最初から肩にバーベルを担いでおり、動作開始前から重量負荷がかかっているため筋の緊張が高まっている。Linnamo et al (2008) は事前緊張がない場合、事前緊張があるときと比べ動作開始時の筋力発揮は低くなると報告している。また、Scholz et al (1995) は地面に置いてあ

る負荷を持ち上げる SQ において、負荷の増量に伴い脊柱起立筋の活動開始タイミングは遅れると報告している。

そこで、SJ をコンタクトスポーツに近い動作としてトレーニングで取り入れられるように、スクワットラックにバーベルを置き、動作開始前は負荷がかからずに動作開始と同時に負荷がかかる「ラックスクワットジャンプ (RSJ)」がコンタクトスポーツのチームにおいて行われている。このトレーニングは、より爆発的な力を発揮することだけでなく、重量負荷が完全に肩にかかったときに腰が丸まって姿勢が崩れないように体幹部の安定性を保つためにも効果があると考えられているが、RSJ に関する研究は行われていない。これ以外にアメリカンフットボールのライン選手でよく用いられるトレーニングとしてゴムチューブ (Cronin et al., 2003) やチェーン (Ebben et al., 2002) を使ったスクワットが挙げられる。スクワット動作ではスティッキングポイントと呼ばれる、動作の最下点付近において床反力は最大値となるが、チェーンやセラバンドによる負荷は、動作の前半では軽く、後半になるにしたがい徐々に増大する。これにより、動作範囲全体で最大に近い力が発揮され、姿勢の安定も必要とされることから、これらのトレーニングは競技特異的トレーニングとして位置づけられている (Berning et al., 2005)。Cronin et al (2003) は横向きのスレッドにおける SJ でゴムチューブをつけた場合とつけない場合で比較をした結果、どちらの種目も通常の SQ に比べ EMG や速度が大きくなることを報告している。また、彼らは、ゴムチューブあり・なしを比較するとゴムチューブありのエキシセントリック期における後半部分で外側広筋の EMG 活動が大きくなり、パフォーマンスにおいてはランジ動作のみ速くなるとしている。しかし、Ebben et al (2002) は選手の主観的感覚ではこれらのエクササイズに違いがあるものの、筋電図や床反力データでの差はないとしている。このように競技特異的と呼ばれるトレーニングの効果は、現場で感覚的にトレーニング効果があるとして用いられていても、実は狙いとしている効果が得られていないこともある。

競技特異的トレーニングとされている種目では、選手の主観的感覚や経験によって効果があると判断し使用されていることが多い。RSJ においては、身体キネマティクスやパフォーマンスの変化および重量負荷との関係について、検討した研究は見当たらない。これらを明らかにすることで、これまで主観的な感覚で用いられていた RSJ のトレーニング効果を判断する科学的根拠となり、競技パフォーマンスの向上へのトレーニング方法の立案につながることを期待される。

1-3. 目的

これまでに SJ において、負荷の増大とともに最大床反力の増加とバーベル速度が減少することとともに、膝関節角度が約 110° において最大の力を発揮し、負荷や膝関節の屈曲の深さに応じて各筋が協調して働くことがわかっている。しかし、競技特異的トレーニングとされるチューブやチェーンを使った研究では一致した見解は得られておらず、RSJ に関しては研究が行われていない。

そこで本研究の目的は、1) コンタクト系競技選手において、競技特異的トレーニングとして用いられているラックスクワットのトレーニング効果について RSJ に慣れた選手と慣れていない選手を対象に横断的に検討すること、および 2) 両選手群の一般的に用いられているスクワットジャンプを比較対象とし、RSJ に慣れた選手群の RSJ と SJ のパフォーマンスおよび身体キネマティクスの違いについて検討することである。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、関東大学アメリカンフットボール連盟に在籍し、本実験で行う特別なスクワット動作（RSJ）を用いたトレーニングを1年以上経験した熟練者7名（身長 171.9 ± 6.2 cm、体重 76.7 ± 5.8 kg、年齢 22.0 ± 1.3 歳、スクワット 1RM 143.2 ± 17.2 kg : 平均 $\pm$ SD）と1年未満もしくは経験したことのない非熟練者7名（身長 169.6 ± 5.7 cm、体重 71.9 ± 12.3 kg、年齢 20.6 ± 0.9 歳、スクワット 1RM 122.9 ± 17.9 kg）の計14名であった。実験に先立ち、被験者には本研究の目的や測定内容および危険性について説明し、放棄する権利があることを確認した上で、実験参加への同意を得た。なお、本研究は早稲田大学学術院倫理委員会の承認を得ており、実験は早稲田大学における学術研究倫理に係るガイドラインに従って実施された。

2-2. 測定対象動作

本研究では、レジスタンストレーニングにおいて通常用いられる SJ と競技特異的なトレーニングとして用いられる特別な SJ の2つの動作を対象とした。SQ 動作は動作終盤で減速してしまう（Willson et al., 1993）ことから本研究では SJ を用いた。2動作の違いは下記に示すである通り。

① スクワットジャンプ（SJ）

バーベルを肩に担ぎ、膝関節屈曲位 90° の位置でしっかりと静止する。1秒以上静止したのが確認できてから合図とともにジャンプをする。（図1 上）

② ラックスクワットジャンプ（RSJ）

膝関節屈曲位 90° になる高さに設定されたスクワットラックにバーベルを乗せ、被験者はバーベルの下に膝関節屈曲位 90° の姿勢で静止する。このとき肩とバーベルは触れているが、負荷のかかっていない状態を保持しておく。この姿勢から合図とともにバーベルを上を押し上げジャンプする。（図1 下）

どちらの姿勢においても正面を向いて背中をまっすぐに保ち、体幹部を安定させておく。各動作はできるだけ速く下肢を伸展させ、できるだけ高く跳ぶようにという指示のもと最大努力で行われた。離地後は正面を向き体幹部、下肢を伸展状態にするように注

意した。

SJ および RSJ の測定に先立ち、重量設定のために、膝関節屈曲位 90° の位置でバーベルをスクワットラックに固定し、さらにバーベルの両端を検者が押さえた状態で全力等尺性スクワット (Iso SQ) を行った。被験者は最大努力による 5 秒間の下肢伸展筋力発揮を行い (熟練者 $121.8 \pm 19.7\text{kg}$ 、非熟練者 $105.5 \pm 14.7\text{kg}$)、5 秒間の内、安定した 300 ミリ秒を対象にして、平均値を最大床反力値とした。Iso SQ の 20~60% の重さを 10% 刻みで重量負荷として使用した。各試行は 2 回ずつ測定し、ランダムに 20 回行われた。ただし反動動作が入った場合や 1 秒以上静止できていない試行は回数にカウントせず、再度測定を行った。また、ここから得られた筋放電量の平均値は筋活動水準を相対値化する際に用いた。

いずれの測定においても、被験者は十分なウォームアップを行った後、正しい動きの確認をしてから実験を開始した。

2-3. 測定項目

全試行は床反力計 (FP6012-15, Bertec 社製) 上で行われた。床反力計から得られた信号は、A/D 変換機 (Power Lab/16SP, ADInstruments 社製) を介してサンプリング周波数 1kHz でデジタル変換した後、パーソナルコンピュータ (PC) に記録した。

試行中の筋活動は表面筋電図法を用いて計測した。被験筋は腹直筋 (AB)、脊柱起立筋 (ES)、大臀筋 (GM)、大腿二頭筋 (BF)、大腿直筋 (RF)、外側広筋 (VL)、腓腹筋内側頭 (MG)、ヒラメ筋 (SOL) の 8 筋とした (図 2)。各筋の筋腹中央に直径 10mm のディスポーザブル型電極 (Blue sensor, Ambu A/S 社製) を電極間 20mm で貼付した。電極貼付前に皮膚抵抗を低減させるために、体毛および角質を除去しアルコール綿で清浄した。各筋から得られた筋放電量は生体用アンプ (Bagnoli-8 EMG system, Delsys 社製) によって増幅し、A/D 変換機 (同上) を介してサンプリング周波数 1kHz でデジタル変換した後、PC に記録した。

各試行中における被験者の動きを被験者の右側約 5m から、高速度カメラ (HSV-500, NAC 社製) を用い 250 コマ/秒で撮影した。その際、被験者の右中足指節関節、踵、外果、膝関節中心、大転子、第 11 肋骨下端部、バーベル端部に反射マーカー (直径 10mm) を貼付した (図 3)。VHS ビデオに記録された映像はメディアコンバータ (ADVC-100, Canopus 社製) を介してデジタル変換した後、PC に取り込んだ。

EMG 信号と撮影したビデオ画像の同期は同期ユニット（シンクロナイザ PH-100A, DKH 社製）を用いて行い、ライトの光がカメラに映るようにした。（図 5）

2-4. 分析

図 6 に実際に得られた波形を示す。動作の開始は、SJ においては静止時における体重＋負荷の平均値から 3SD 以上床反力が増加した時点とし、RSJ においては静止時における体重の平均値から 3SD 以上床反力が増加した時点とした。また、これより以前の 300msec を pre 期間とした。分析対象は各試行において跳躍高が高い試行を選択した。ただし、ここでの跳躍高とは質量中心の鉛直変位のことではなく、バーベルの最大到達地点と立位静止姿勢でのバーベル地点の差のことを指す。

床反力計から得られた信号の内、鉛直方向の成分のみを取り出し最大床反力と力積を算出した。水平方向の成分に関しては鉛直方向成分に対して 1 パーセント未満であったため、無視した。

電極と送信機を繋ぐケーブルの揺れによる基線動揺の影響を排除するために、得られた EMG データをソフトウェア（Chart, ADInstruments 社製）上で 6Hz のローパスフィルタをかけた後、全波整流を行った。被験者間の比較を行うため、筋放電量を Iso SQ 中の値を用いて相対値化し筋活動水準を算出した。分析区間は、動作開始から離地までの時間を 100%として分析区間を pre(動作前 300 ミリ秒)、0-30%(動作開始から 30% Total Time)、30-60% (30-60% Total Time)、60-100% (60% Total Time から離地) の 4 区間とした。

得られた画像については、動作解析ソフト（Frame-DIASⅢ, DKH 社製）を用いて各点をデジタイズし、足関節・膝関節・股関節それぞれの角度および角速度を算出した。各関節の定義は、中足指節関節—踵および外果—膝関節中心の成す角を足関節、外果—膝関節中心—大転子の成す角を膝関節、膝関節中心—大転子—肋骨下端部の成す角を股関節とした。また、体幹部の姿勢変位の指標として大転子—肋骨下端部—バーベル端部の成す角を求め体幹部とした。各関節の角度変化については動作開始時の関節角度を 0 とし、抗重力（伸展）方向への角度変化をプラスとした。関節角速度においても伸展方向への角速度変化をプラスとし、屈曲方向への角速度変化をマイナスとした。（図 4）

2－5．統計処理

熟練者および非熟練者のグループ内での SJ と RSJ において二元配置の分散分析を行ったのち、各測定項目の差の検定に対応のある t 検定を用いた。また熟練者と非熟練者における各測定項目の平均値の差の検定については、二元配置の分散分析を行ったのち、対応のない t 検定を用いた。全ての検定において危険率 5%をもって有意とした。



SJ



RSJ

図 1. SJ（上図）と RSJ（下図）の動作開始前の姿勢

正面



背面



図 2. 表面筋電図貼付部位



図 3. マーカー貼付位置

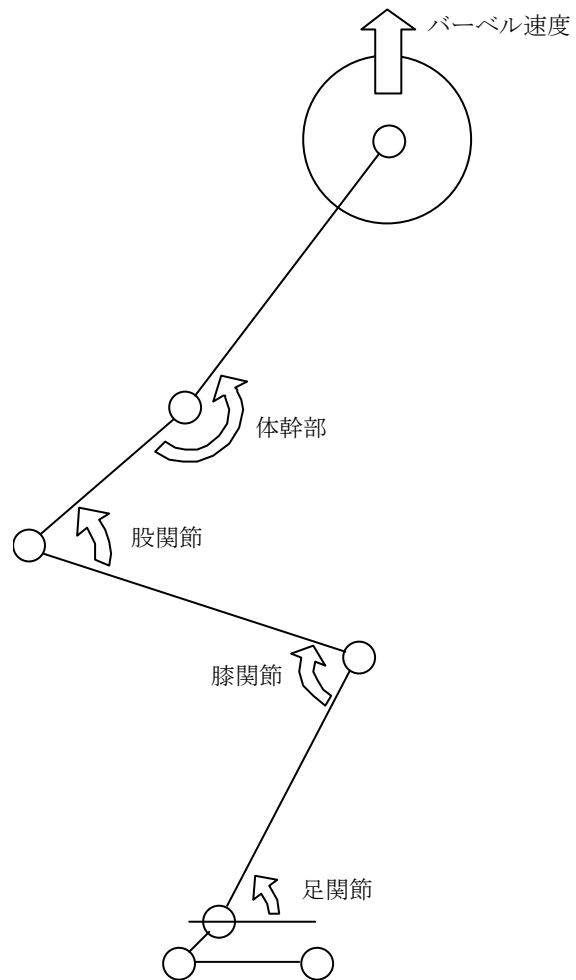


図 4. 各関節と体幹部の角度定義

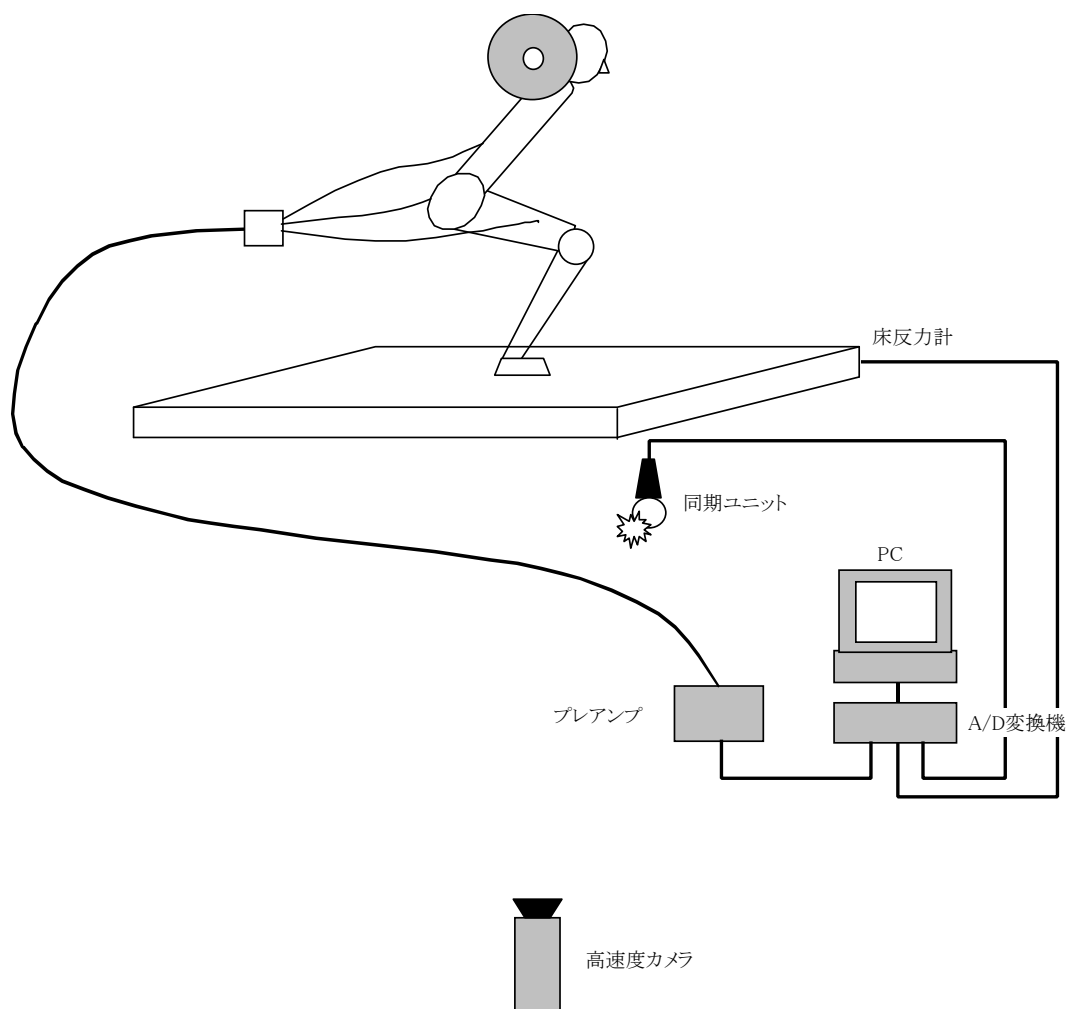


図 5. 実験設定

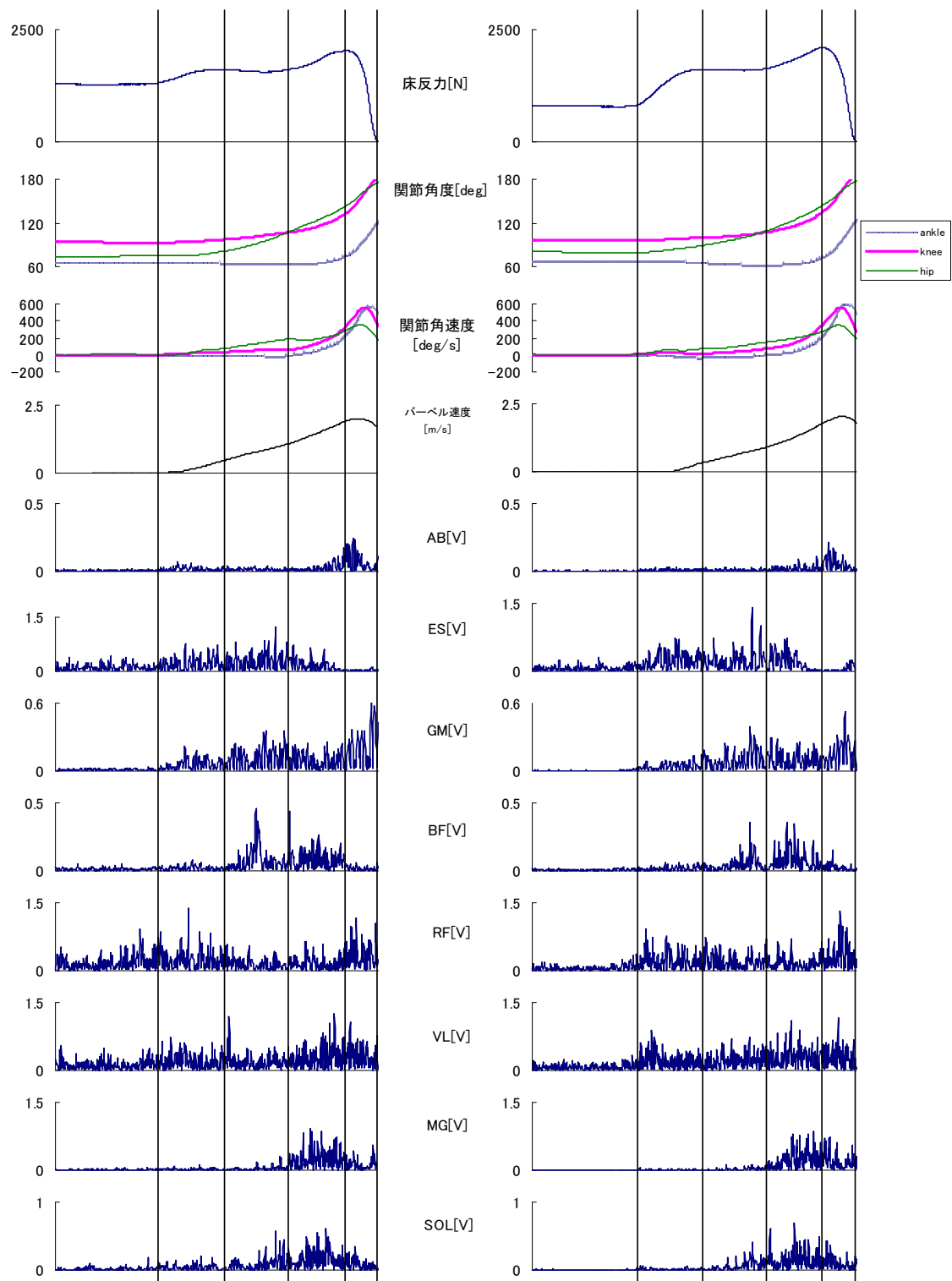


図 6. 今回の実験で得られた波形の典型例 SJ (左図) と RSJ (右図)

3. 結果

跳躍高

図 7 に各動作における跳躍高を示した。どちらの群・どちらの動作においても負荷の増加とともに跳躍高は低くなった。SJ・RSJともに群間で差は見られなかった。

群内で動作の違いによる跳躍高を比較すると、非熟練者群では SJ における跳躍高は RSJ のそれに比べ 20%・50%・60% Iso SQ の負荷で大きく、30% Iso SQ の負荷で統計的に有意ではないものの大きい傾向 ($P=0.07$) が見られたが、40% IsoSQ の負荷では差が見られなかった。熟練者においてはどの負荷においても SJ と RSJ の動作間に有意な差は見られなかった。

最大床反力と力積

各動作における最大床反力（上図）、力積（下図）を図 8 に示した。負荷の増加とともに最大床反力値、力積はどちらの群においても増加したが、どちらの動作においても群間に差は見られなかった。

群内で比較すると最大床反力については熟練者、非熟練者とも各動作において有意な差は見られなかった。力積についても、熟練者の場合にはどの負荷においても SJ と RSJ の動作間に有意な差は見られなかった。非熟練者では 30% Iso SQ にのみ差が見られたが、それ以外の負荷に有意な差は見られなかった。

総動作時間

負荷の増加とともに総動作時間は両群とも増加した（表 1）。SJ では群間で差は見られなかったが、RSJ では熟練者の方が 20%・30%・40% Iso SQ の負荷で総動作時間は短く、50% Iso SQ の負荷で総動作時間は統計的に有意ではないものの短い傾向 ($P=0.08$) が見られ、60% Iso SQ の負荷では差が見られなかった。

群内では熟練者・非熟練者群においては SJ と RSJ の動作間に差は見られなかったが、非熟練者群では 50% と 60% Iso SQ の負荷において、RSJ のほうが SJ に比べ総動作時間は長くなった。

総動作時間に対する最大床反力到達時間の比率

表 2 に各動作における総動作時間に占める最大床反力への到達時間の割合を示した。SJ・RSJ とともに群間で差は見られなかった。熟練者および非熟練者のどちらの群においても、動作間に差は見られなかった。

最大床反力発揮時におけるバーベル速度

どちらの群・どちらの動作においても負荷の増加とともにバーベル速度は低下した(図 9)。SJ・RSJ とともに群間で差は見られなかった。

バーベル速度を群内で比較すると、非熟練者に関しては SJ と RSJ の動作間で 40% Iso SQ の負荷を除いて SJ のほうが速い結果となった。熟練者では SJ と RSJ の動作間で 50% Iso SQ の負荷のときに SJ のほうが速くなったものの、それ以外の負荷では差が見られなかった。

RSJ における全負荷荷重までの時間比率

RSJ 時に動作開始から全負荷が身体に荷重しバーベルが動き出すまでの時間を総動作時間で除した値を表 3 に示した。20%・40% Iso SQ において熟練者の方が有意に短い時間で、鉛直方向へのバーベルの移動を開始した。また、全被験者で、動作開始から 30% Total Time までの間に全負荷を身体にかけ、バーベルの鉛直方向への移動を開始している。

最大床反力発揮時における各関節角度変位と角速度

図 10～図 12 は最大床反力発揮時における各関節の角度変位と角速度を示したものである。

足関節角度はどちらの動作においても群間で差は見られなかった。熟練者の場合に RSJ ($7.4 \pm 5.8 \sim 8.1 \pm 4.0^\circ$) と SJ ($8.0 \pm 6.1 \sim 10.0 \pm 3.1^\circ$) の動作間で差はなかったが、非熟練者の場合には RSJ ($8.7 \pm 3.4 \sim 13.3 \pm 4.8^\circ$) と SJ ($9.5 \pm 5.5 \sim 11.4 \pm 7.2^\circ$) の動作間で、60% Iso SQ の重量において統計的に有意ではないが RSJ の方が大きい傾向 ($P=0.06$) が見られた。足関節角速度においては両群の両動作間において、差は見られなかった。

膝関節角度は両群ともに負荷の増加に伴い、最大床反力発揮時の膝関節角度は大きくなった。SJ では群間で差は見られず、RSJ では 40% Iso SQ の負荷で非熟練者の方が大きくなったものの、それ以外の負荷では差が見られなかった。膝関節角速度は負荷の増加とともに小さくなり、SJ・RSJ ともに群間では差が見られなかった。群内で比較すると、熟練者の場合に膝関節角度変位は RSJ ($35.7 \pm 4.4 \sim 40.2 \pm 4.5^\circ$) のほうが SJ ($37.8 \pm 4.2 \sim 43.0 \pm 4.6^\circ$) に比べ小さくなった。膝関節角速度は RSJ ($397.7 \pm 57.4 \sim 297.5 \pm 49.7 \text{deg/s}$) のほうが SJ ($399.5 \pm 57.3 \sim 330.8 \pm 46.4 \text{deg/s}$) に比べ負荷の増加とともに小さくなる結果となった。一方、非熟練者においては、膝関節角度変位は RSJ ($36.3 \pm 5.5 \sim 40.0 \pm 4.1^\circ$) と SJ ($33.8 \pm 4.6 \sim 41.7 \pm 6.1^\circ$) で差が見られず、膝関節角速度についても RSJ ($369.0 \pm 42.7 \sim 309.5 \pm 32.5 \text{deg/s}$) と SJ ($358.6 \pm 39.2 \sim 299.2 \pm 37.3 \text{deg/s}$) で差が見られなかった。

股関節角度変位と角速度に関しては、SJ・RSJ ともに群間で差が見られなかった。両群とも SJ と RSJ の動作間で差は見られず、どちらの動作においても負荷の増加とともに股関節角度変位は大きくなり、角速度は減少した。

各筋における筋放電量

図 13～16 に各部位における筋放電量の経時変化を示した。バーベルを最初から持っている、もしくは持っていないという動作の違いがあるために、ES、RF、VL において動作開始前の筋放電量に差が見られた。表 2 で、RSJ 動作において全被験者が動作開始から 30% Total Time までに全負荷を身体に荷重させ、バーベルの鉛直方向への移動が開始することが示されている。負荷が大きくなるにつれて、筋が活動するタイミングが遅くなるという Scholz (1995) の報告から、全負荷がかかるまでは SJ と RSJ において筋放電のタイミングに差があるといえる。そこで特に動作開始から 30% Total Time に到達するまでの筋放電量に着目した。SJ はどの筋においても群間で差が見られず、RSJ では RF の 40%・60% Iso SQ の負荷で熟練者の方が筋放電量が大きくなったものの、それ以外の筋および負荷では差が見られなかった。脊柱起立筋に関しては非熟練者の 40%・60% Iso SQ の負荷で SJ の方が大きくなった。大臀筋に関しては非熟練者の 60% Iso SQ の負荷で SJ の方が大きくなり、40% Iso SQ の負荷で SJ が統計的に有意ではないものの大きい傾向が見られた。大腿直筋に関しても非熟練者の 40%・60% Iso SQ の負荷で SJ が大きい結果となった。しかしこれら 3 つの筋において、熟練者では動作の違いで、どの負荷についても有意な差は見られなかった。

30% Total Time から 60% Total Time まで、および 60% Total Time から離地までの分析区間では両動作において顕著な差は見られなかった。

体幹部の変位

図 17 に最大床反力発揮時の体幹部の変位を示した。マイナス方向への変位が大きいということはすなわち、体幹部の屈曲が大きいということを示している。SJ・RSJ とともに群間で差は見られなかった。非熟練者では、60% Iso SQ の負荷で RSJ の方が体幹部の角度変位が大きくなり、40% Iso SQ の負荷で RSJ の方が統計的に有意ではないものの大きい傾向 ($P=0.07$) を示した。熟練者においてはこのような違いは見られなかった。

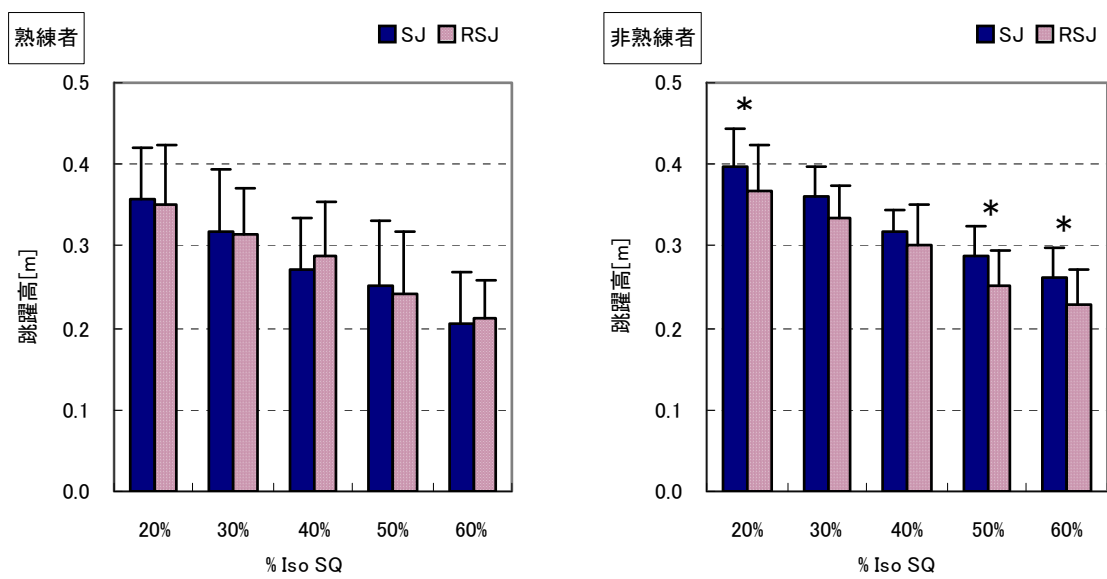


図 7. 熟練者および非熟練者の動作の違いによる跳躍高の比較

* : 熟練者群および非熟練者群における動作間の差 ($P < 0.05$)

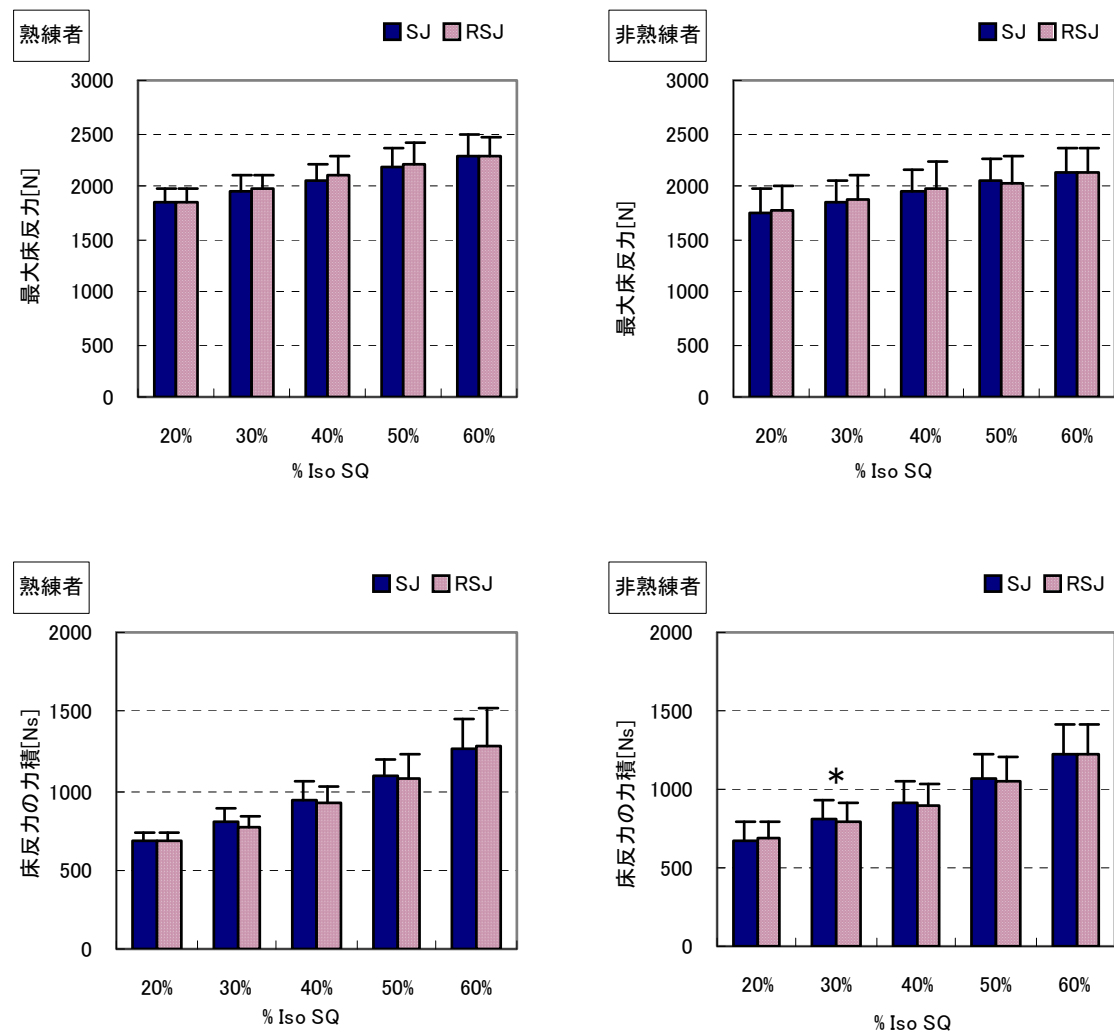


図 8. 熟練者および非熟練者の動作間の最大床反力（上図）と力積（下図）

*： 熟練者群および非熟練者群における動作間の差（ $P<0.05$ ）

表 1. 熟練者および非熟練者の各動作における動作開始から離地までの総動作時間

* : 熟練者群および非熟練者群における動作間の差 (P<0. 05)

† : RSJ の群間の差 (P<0. 05)

		20% Iso SQ	30% Iso SQ	40% Iso SQ	50% Iso SQ	60% Iso SQ
熟練者	SJ	0.489±0.035	0.542±0.046	0.597±0.059	0.659±0.044	0.733±0.067
	RSJ	0.500±0.029 †	0.541±0.024 †	0.617±0.027 †	0.680±0.076	0.773±0.097
非熟練者	SJ	0.531±0.064	0.599±0.058	0.633±0.052	0.703±0.056 *	0.792±0.078 *
	RSJ	0.560±0.045	0.617±0.073	0.669±0.045	0.750±0.062	0.834±0.060

(sec)

表 2. 熟練者および非熟練者の各動作における総動作時間に対する最大床反力到達時間の比率

		20% Iso SQ	30% Iso SQ	40% Iso SQ	50% Iso SQ	60% Iso SQ
熟練者	SJ	81.0±3.3%	81.8±2.0%	82.1±2.3%	83.0±2.0%	83.7±2.3%
	RSJ	80.2±3.1%	81.5±3.1%	83.0±2.3%	83.1±1.3%	84.5±2.2%
非熟練者	SJ	81.0±4.3%	83.4±2.2%	82.8±1.5%	83.9±1.5%	83.4±3.1%
	RSJ	82.1±2.0%	82.2±2.8%	83.7±2.5%	84.7±2.0%	84.0±5.7%

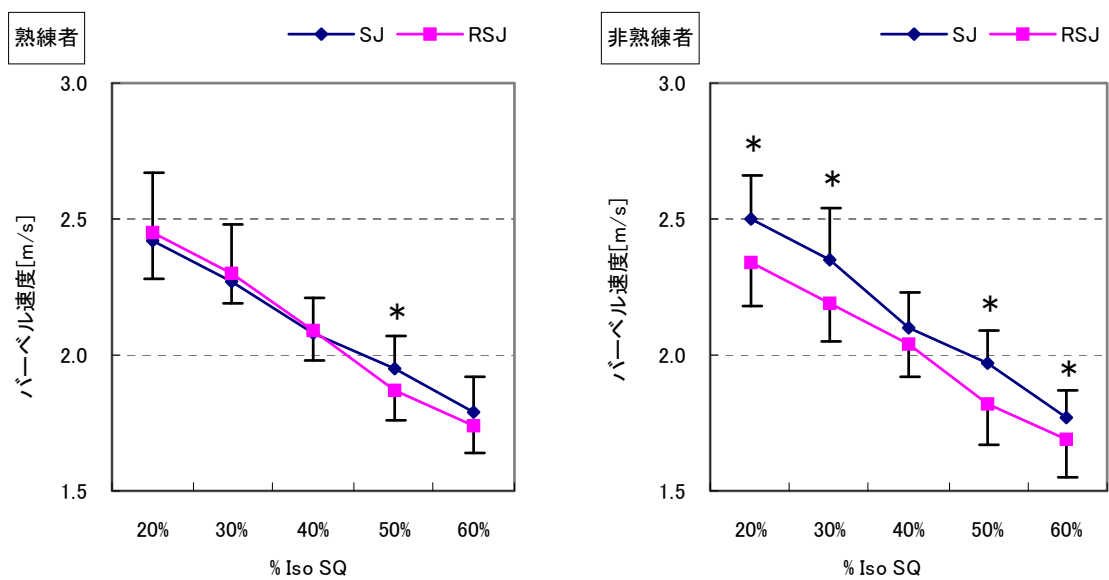


図 9. 熟練者および非熟練者の動作間の最大床反力発揮時のバーベル速度

* : 熟練者群および非熟練者群における動作間の差 ($P < 0.05$)

表 3. RSJ の総動作時間に対する動作開始から全負荷が荷重するまでの時間比率の
熟練者群と非熟練者群間の比較

†: RSJ の群間の差 (P<0.05)

	20% Iso SQ	40% Iso SQ	60% Iso SQ
熟練者	11.6±1.4 % †	15.4±1.9 % †	17.1±3.4 %
非熟練者	18.2±3.4 %	20.9±4.6 %	21.0±5.6 %

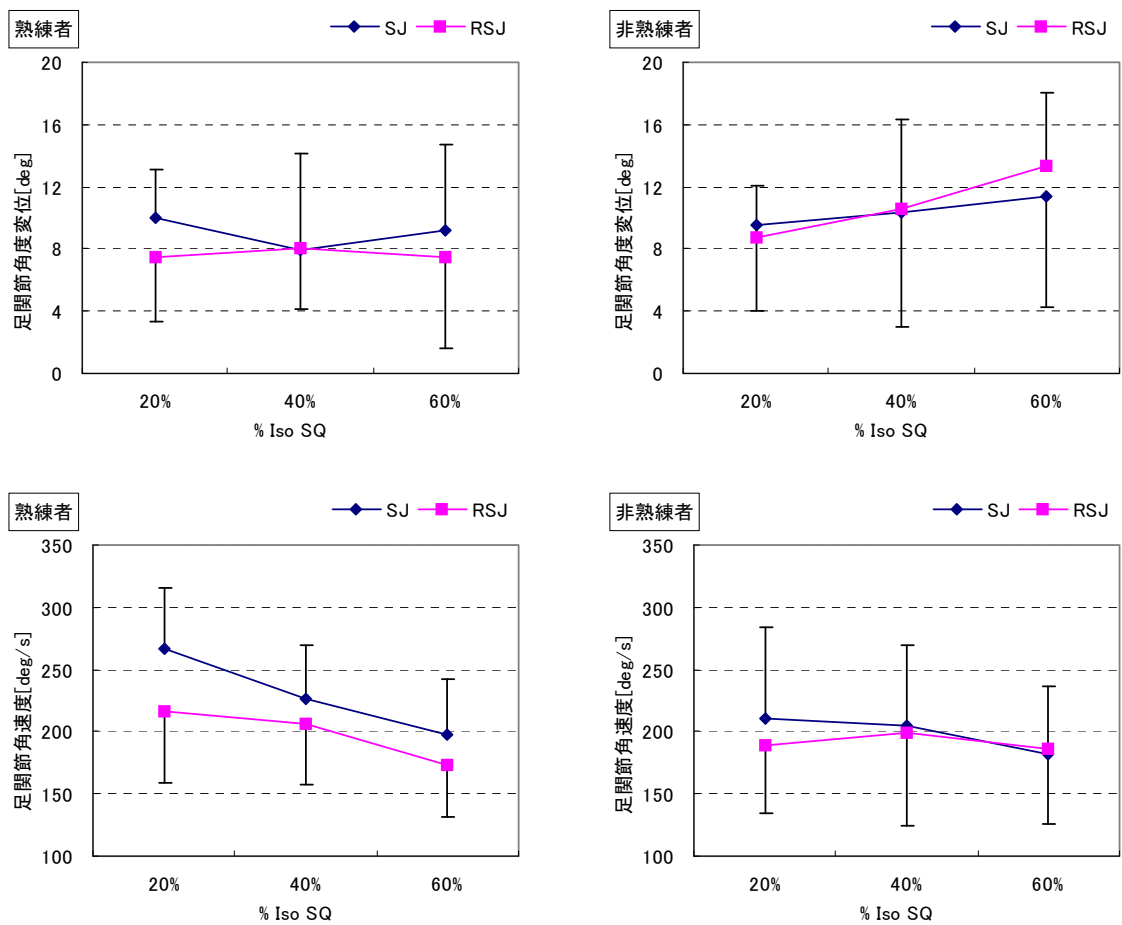


図 10. 熟練者および非熟練者の動作開始から最大床反力発揮までの足関節角度変位（上図）ならびに最大床反力発揮時の足関節角速度（下図）

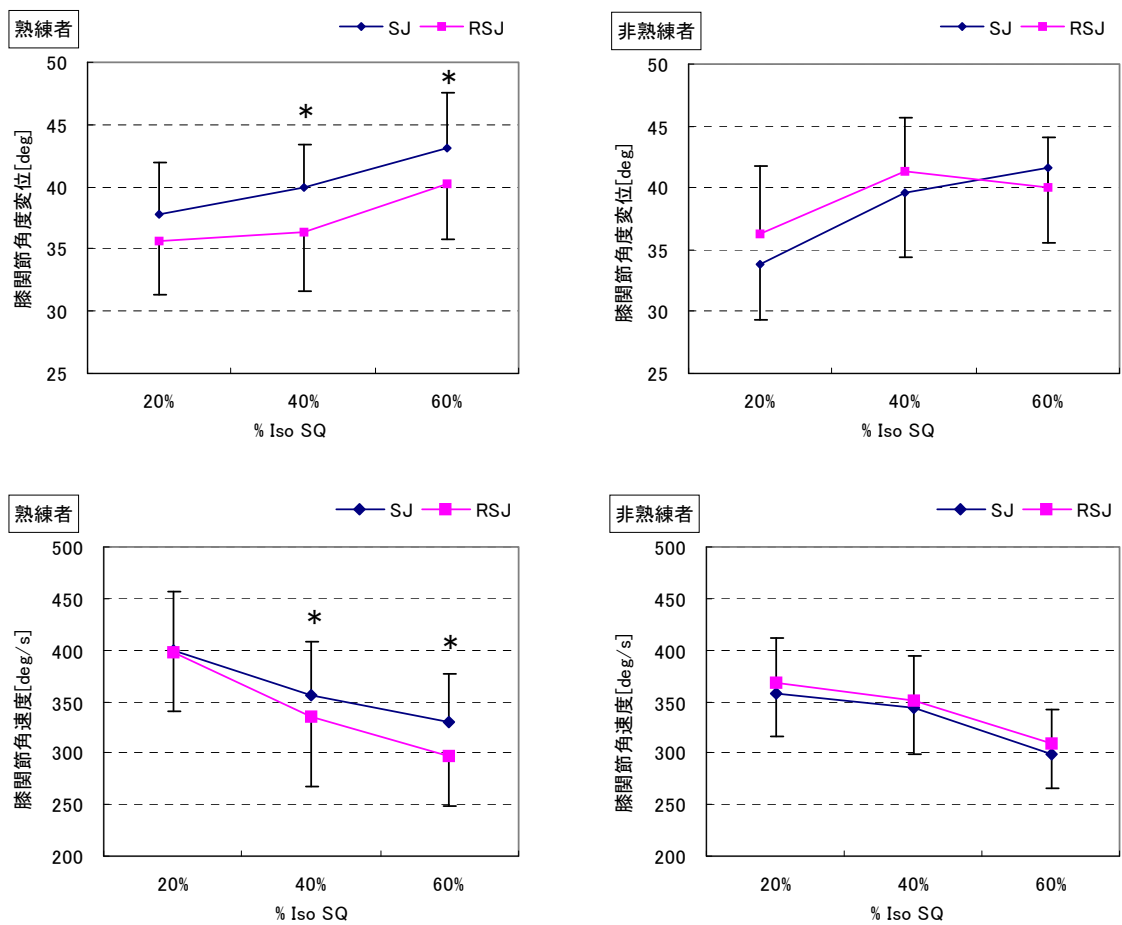


図 11. 熟練者および非熟練者の動作開始から最大床反力発揮までの膝関節角度変位（上図）ならびに最大床反力発揮時の膝関節角速度（下図）

* : 熟練者群および非熟練者群における動作間の差 ($P < 0.05$)

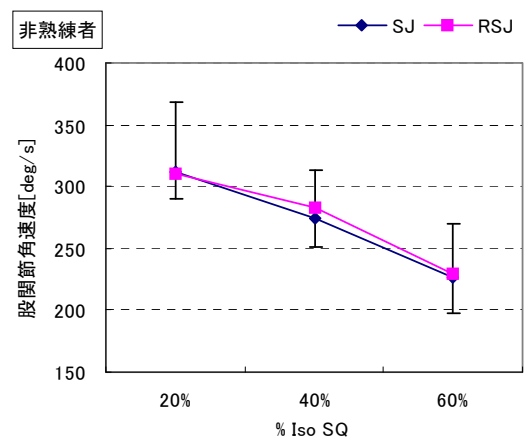
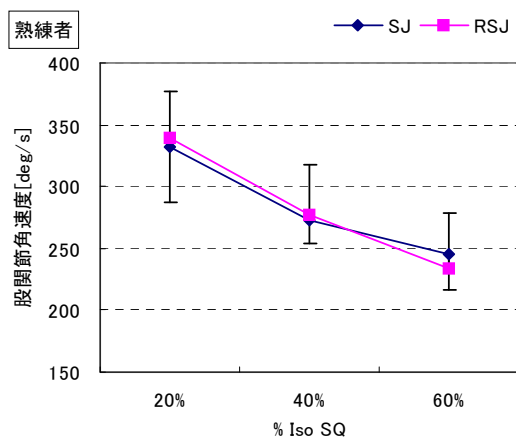
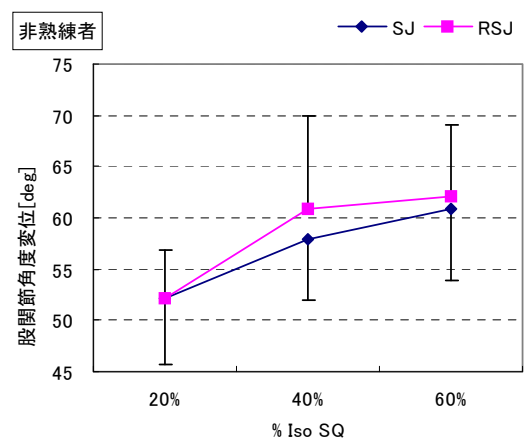
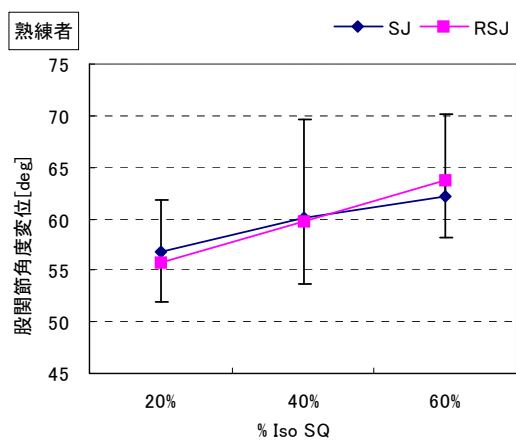
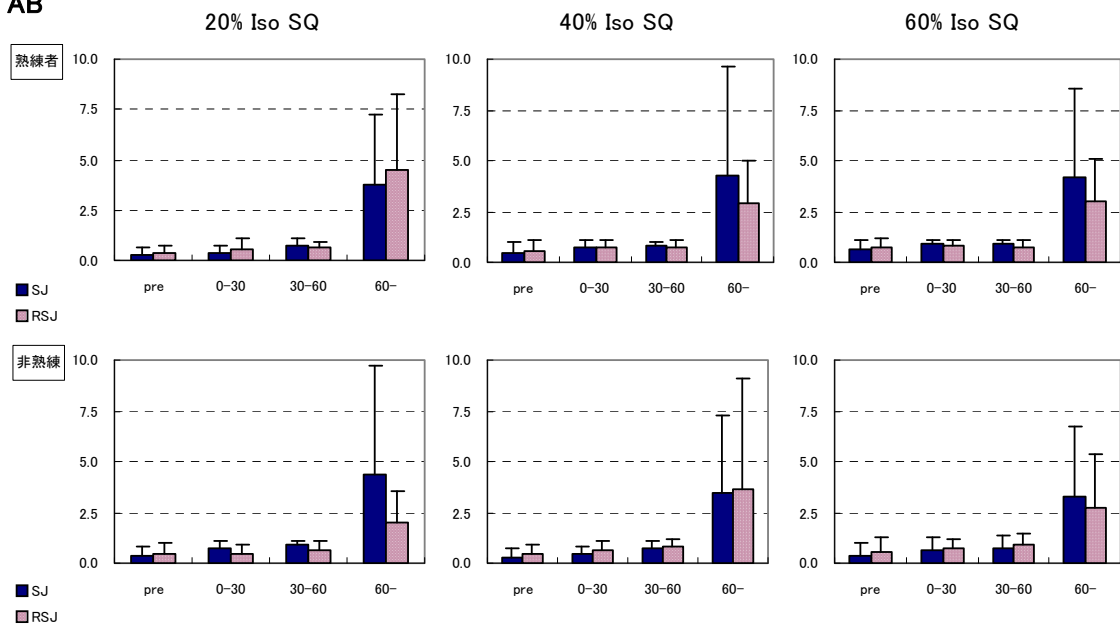


図 12. 熟練者および非熟練者の動作開始から最大床反力発揮までの股関節角度変位（上図）ならびに最大床反力発揮時の股関節角速度（下図）

AB



ES

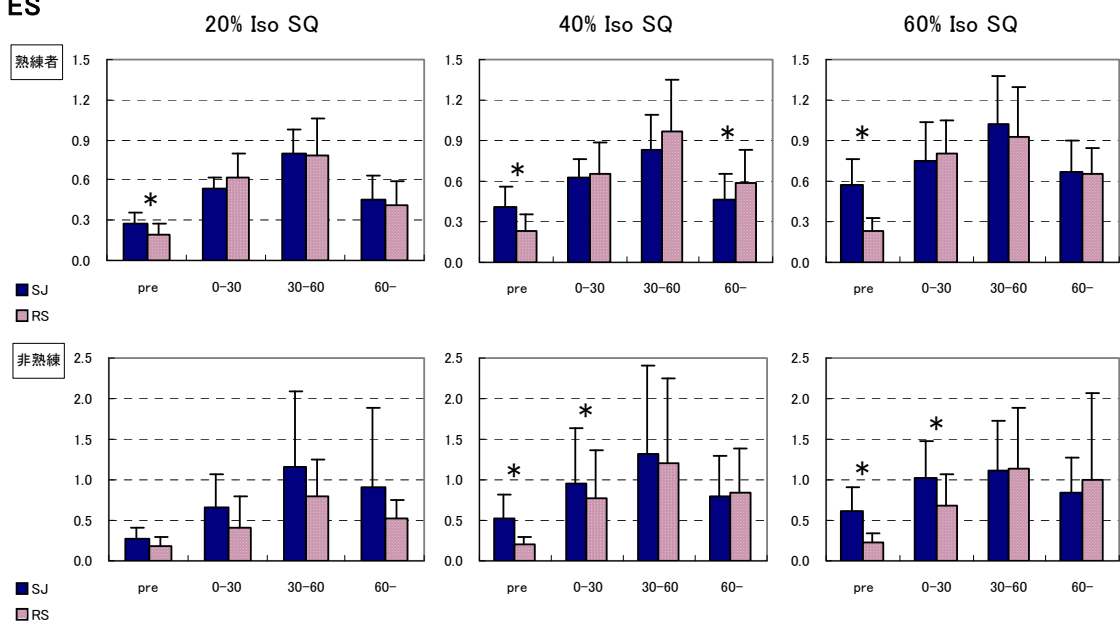
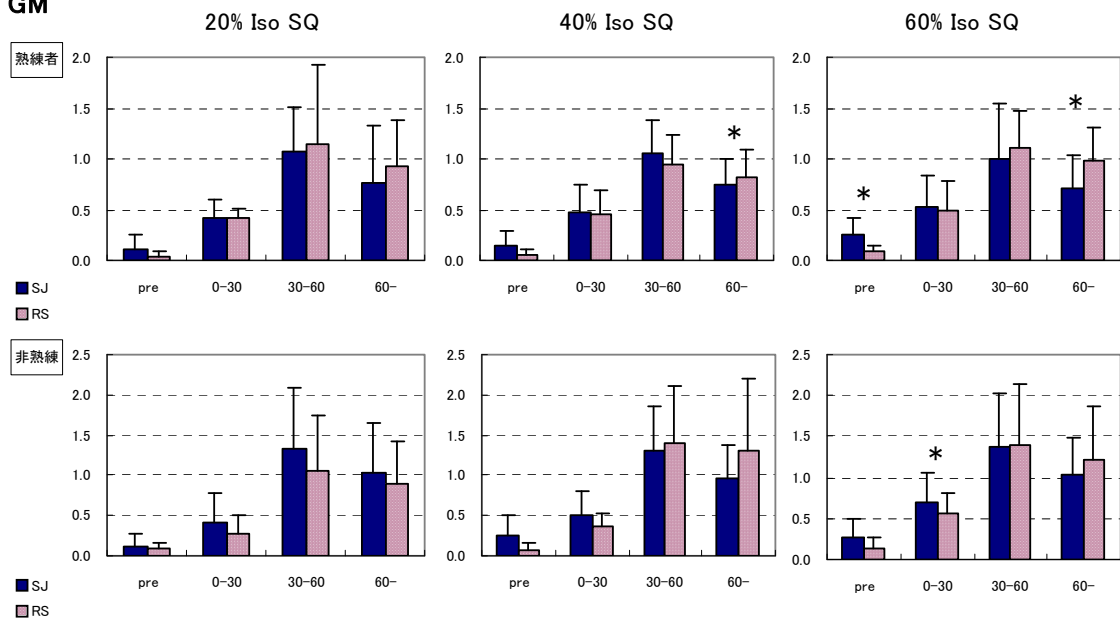


図 13. 熟練者および非熟練者の筋活動水準の時間経過 AB（上図）と ES（下図）

*：熟練者群および非熟練者群における動作間の差（ $P<0.05$ ）

GM



BF

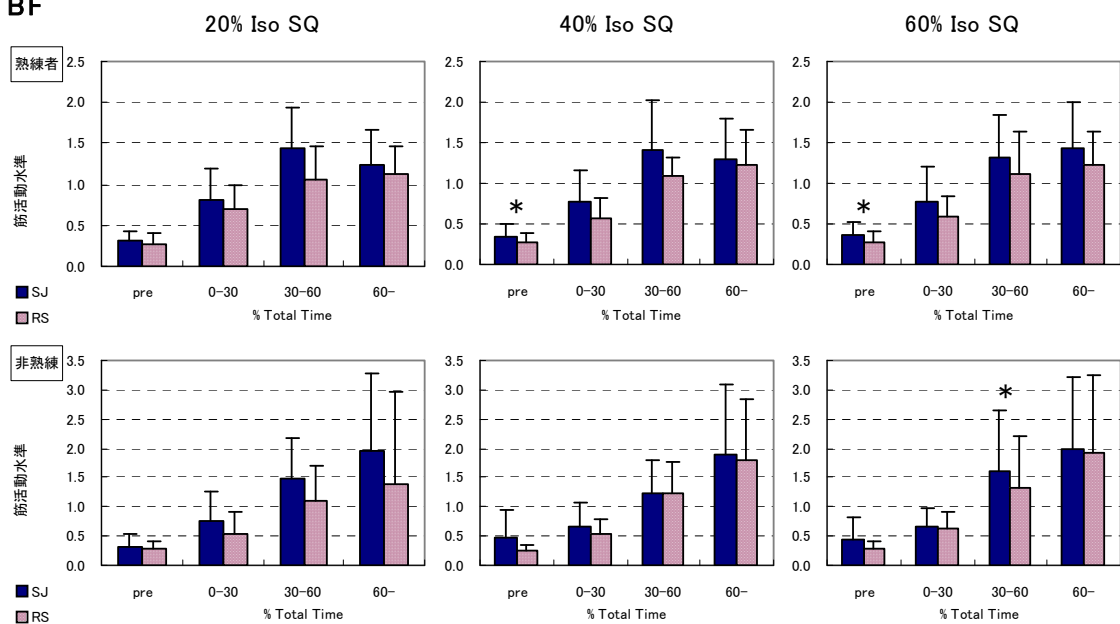
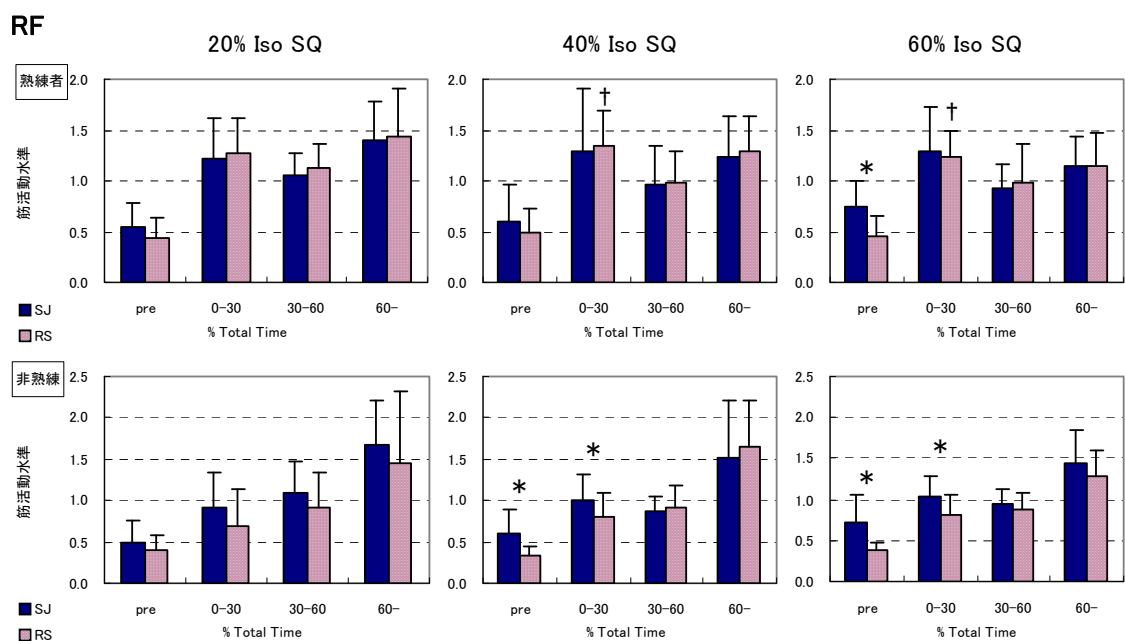


図 14. 熟練者および非熟練者の筋活動水準の時間経過 GM（上図）と BF（下図）

*： 熟練者群および非熟練者群における動作間の差（ $P < 0.05$ ）



VL

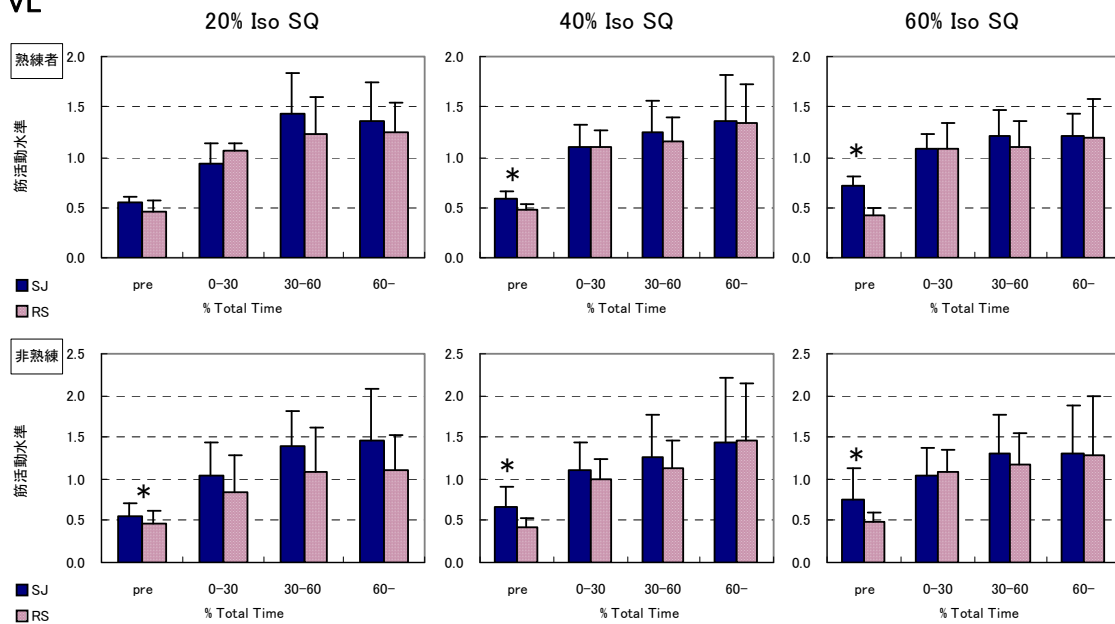
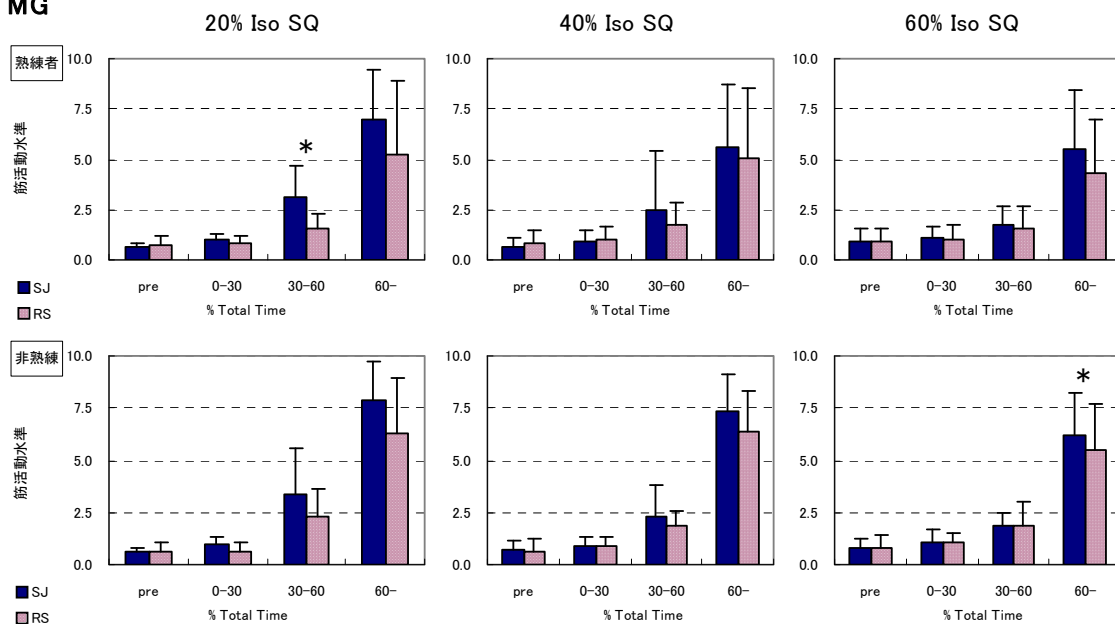


図 15. 熟練者および非熟練者の筋活動水準の時間経過 RF (上図) と VL (下図)

* : 熟練者群および非熟練者群における動作間の差 ($P < 0.05$)

† : RSJ の群間による差 ($P < 0.05$)

MG



SOL

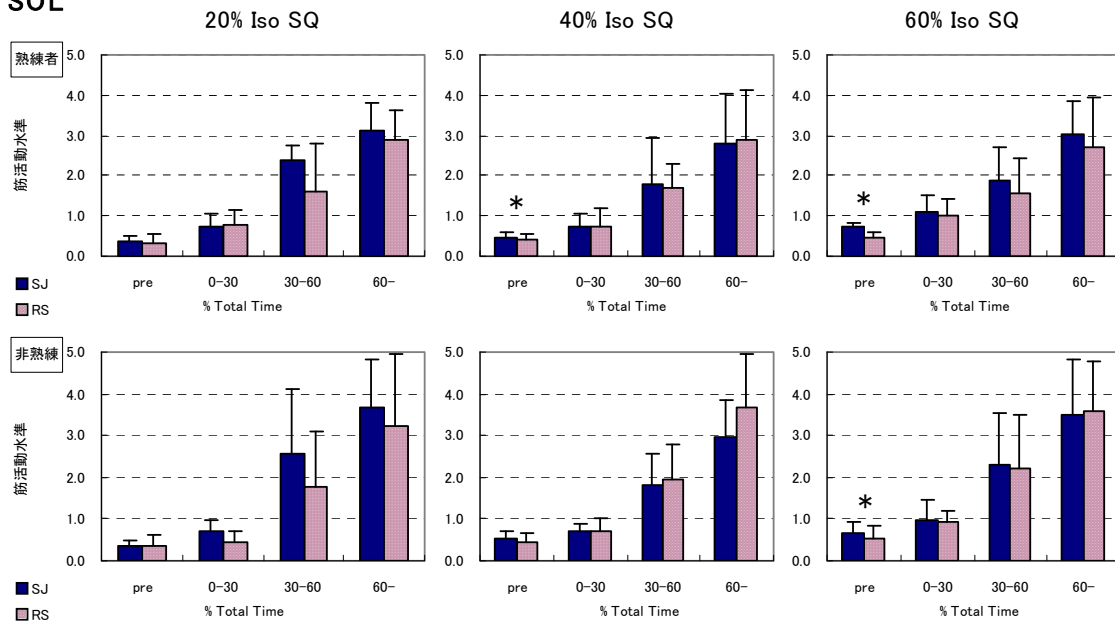


図 16. 熟練者および非熟練者の筋活動水準の時間経過 MG（上図）と SOL（下図）

*：熟練者群および非熟練者群における動作間の差（ $P < 0.05$ ）

4. 論議

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 熟練者においては、SJ と RSJ の力積、最大床反力発揮時におけるバーベル速度ならびに跳躍高に差は見られなかった。それに対し、非熟練者では、SJ によるバーベル速度および跳躍高が RSJ による跳躍高を上回った。
- 2) 熟練者において SJ と RSJ の最大床反力発揮時の膝関節角度変位および角速度に差が見られた。一方、非熟練者では SJ と RSJ の膝関節角度変位および角速度に差は見られなかった。
- 3) 熟練者において SJ と RSJ の間で動作開始から 30% Total Time まで、どの筋群においても筋活動水準に差は見られなかった。しかし、非熟練者では SJ の方が RSJ より脊柱起立筋、大臀筋、大腿直筋における筋活動水準が高かった。

4) 熟練者においては SJ と RSJ の最大床反力発揮時における体幹部屈曲に差が見られなかったが、非熟練者では RSJ においてより大きな体幹部屈曲が見られた。

物体に与えられた力積は、運動量の変化を引き起こす。そのため、身体+バーベルに作用した力積が同じ場合、身体が得た運動量が大きい時ほど、バーベルが得る運動量は小さくなる。

基本動作となる SJ の跳躍高およびバーベル速度に、群間の差は見られなかった。跳躍高の平均値で差があるように見えるが、これらは熟練者の体重および使用した負荷が重かったことが原因と考えられるが有意な差ではない。熟練者では SJ と RSJ の動作間で力積に差は生じずに、最大床反力発揮時におけるバーベル速度も動作間で変わらなかった。その結果、跳躍高においても SJ と RSJ の動作間で差が生じなかった。しかし、非熟練者においては SJ と RSJ の動作間で力積に差がなかったにも関わらず、最大床反力発揮時におけるバーベル速度は RSJ の方が小さくなった。これにより跳躍高に関しては RSJ が SJ に比べ低下するという結果になった。このことより、非熟練者においては地面反力に起因する運動量を、十分にバーベルに伝えることができず、身体の運動量として所有してしまったために、RSJ におけるバーベル速度は SJ に比べ小さくなり、跳躍高に関しても低くなったと考えることができる。非熟練者は、この RSJ の動作に慣れていないことも一因に挙げられる。西谷ら（2004）は剣道の打突動作において、剣道の競技力優秀群と一般群を対象に踏み込み動作時で発揮された床反力を脚伸展パワーで除した「踏み込み指数」を用いて筋肉の使われ方の有効性を調べている。この報告によると、下肢筋力では一般群の方が高い数値を示したものの、踏み込み指数では優秀群のほうが高い数値を示している。深代ら（2000）も動作時間が非常に短いバリスティックな動作に必要な能力と、等速性筋力発揮に必要な能力は、比較的独立性が高いとされている。このことから、その競技に優秀な人ほど自分の持っている筋力を有効に使うことができると言える。

次に骨格筋の活動についてだが、まず図 13～16 で pre 区間における筋活動水準から、動作開始前の筋緊張が SJ に比べ RSJ の方が小さいことがわかる。肘関節伸展における事前緊張に関する報告（Linnamo et al., 2006）によると、動作開始の 300ms 前から 100%MVC で活動させたのちに筋発揮させると、瞬間的に立ち上げるよりも筋発揮が大き

くなるとされている。そのため、動作開始時の筋の立ち上がりが遅くなることが予想された。しかし、図 13～16 に示されている 0-30% 区間までの RSJ における筋活動水準を比較すると、非熟練者では脊柱起立筋、大臀筋、大腿直筋において動作間に差が見られたものの、熟練者では各筋に動作間の差が見られなかった。表 3 は RSJ における動作開始から全負荷が荷重してバーベルが動き出すまでの時間を示しているが、非熟練者の方が熟練者に比べバーベルが動き出すまでが長く、筋の活動するタイミングが遅くなったことによりバーベルを鉛直方向に移動できなかったということがわかる。

Anderson et al (2005) は、バランスディスクなどの不安定な場所におけるスクワット動作と通常スクワット動作における筋活動において、場所が不安定なほど脊柱起立筋の活動が大きくなると報告している。今回使用した RSJ では、筋の事前緊張が少なく動作開始と同時に負荷がかかることから、バーベルが加重している間は身体が不安定な状態にあると言える。この状況の中で、脊柱起立筋を素早く立ち上げることが姿勢を安定させ、より早い時間でバーベルを鉛直方向へ移動させることを可能にしていると予想される。そのため、SJ に比べ全負荷を身体にかけてバーベルを押し上げるのに時間がかかった。これらのことから、姿勢の安定のためには特に脊柱起立筋の筋活動を高めることが重要と言える。

また、今回の研究で得られた SJ と RSJ の最大床反力発揮時における体幹部の動態を比較すると、熟練者は両動作間で差が見られなかったが、非熟練者においては重量が重くなるほど RSJ における体幹部の屈曲が大きくなった。山田ら (1984) はラグビーのコンタクトプレーにおける衝撃と力学的研究に関する報告を、熟練者と非熟練者を対象にして行っている。この実験では水平方向に設置されたダミーブロックに対して、どれだけ大きな力を伝えることを目的にしている。これによると、非熟練者では衝突中に身体が上方へ浮きあがって（衝撃を水平面に与えようとしているが、重心は上方に変位してしまっている）しまい、鉛直地面反力が減少傾向を示すため、相手に大きな力を作用することができないのに対し、熟練者では衝突中における鉛直地面反力が増加傾向を示すため、相手に大きな力を作用することができると報告している。北元ら (2002) は重心を前後に移動させたスクワット動作において筋出力がどのように変化したかを報告している。これによると後方重心のスクワットにおいて膝伸展と股関節屈曲に作用する大腿直筋の活動が抑制され、内側広筋の筋出力に変化が見られなかったとし、大腿二頭筋に関しても筋出力を増加させることに限界があるとしている。今回の研究において、非

熟練者が RSJ を行った際に SJ と比較し負荷が大きくなるほど、最大床反力発揮時の体幹部屈曲と足関節角度変位が大きくなるが、膝関節角度変位は生じていない。このことから非熟練者は RSJ では負荷が大きくなるほど SJ に比べて、重心位置が後方に移動したと予想される。これにより、大腿直筋の筋活動が抑制され、骨盤が安定されずに骨盤の後傾が生じたのではないかと考えられる。

Caterisane et al (2002) は SQ 動作で膝関節の屈曲が深いほど大臀筋の活動が高まるとし、Bobbert et al (1991) は SJ において大臀筋の立ち上がりが早いほど地面に早く力を伝えることができると述べている。最大床反力発揮時における膝関節角度から、熟練者は 40% Iso SQ 以上の負荷のときに、RSJ のほうが SJ よりも膝が屈曲している（深い姿勢にいる）のに対し、非熟練者は SJ と RSJ の間で差はない。このことは、非熟練者は RSJ において、脊柱の不安定と骨盤の後傾により重心位置が高くなったために大臀筋の活動が高まらず、地面に力を伝えるのが遅くなったことを意味している。これにより非熟練者は、SJ に比べ RSJ でバーベル速度が有意に低下し、その結果跳躍高にも有意な差が出たと思われる。

これらのことから、非熟練者は RSJ を行う際に、筋の事前緊張が少なかったために徐々に負荷がかかってくる状況において、脊柱を安定させる役割を持つ脊柱起立筋の活動タイミングが遅れてしまった。そのため、重心が上方および後方へ移動し、大腿直筋の活動が抑制され、骨盤の後傾が生じたと予想される。このことが股関節伸展筋とされる大臀筋における動作開始から 30% Total Time までの活動を低下させ、地面への力の伝達が遅くなったことにより SJ に比べバーベルの速度が低下し、跳躍高が低下したと言える。アメリカンフットボールのライン選手が相手にヒット（当たる）した瞬間にどれくらいの力が脊柱に加わるかという報告 (Charles et al., 1997) によると、腰椎 4-5 セグメントにかかる圧縮力は自体重の約 7 倍、前後方向へのせん断力は自体重の約 2.6 倍と報告されている。この報告の中では力の伝達および腰椎の傷害予防という二つの観点から特にせん断力と力の方向性との関係に着目しており、脊柱の安定性のために脊柱起立筋・腹筋全般の強化、骨盤の安定性のために大腿直筋・大臀筋の強化が必要だと提言している。本研究において熟練者と非熟練者の SJ と RSJ の動作間で脊柱起立筋、大臀筋、大腿直筋の筋活動に差が見られた。これら 3 つの筋が脊柱と骨盤を安定させるとともに、跳躍高というパフォーマンスに影響を及ぼすことができ、Charles et al., 1997 の提言を支持する結果となった。

以上の知見を考慮すると、RSJにおいて、熟練者は筋の事前緊張が少ない状況から急にバーベルが加重する過程においても、RSJの動作に慣れているため脊柱の安定に貢献する脊柱起立筋が活動するタイミングを早くし、筋放電量を大きくした。脊柱が安定したことで身体の重心移動がおきないことから大腿直筋と大臀筋の活動するタイミングが早くなり、骨盤を安定させることができた。その結果、地面から得た力をバーベルに対してロスなく作用することができ、SJと同じバーベル速度と跳躍高を記録することができた。それに対し、非熟練者はバーベルが急に加重する過程において、筋の事前緊張が少なかったために、脊柱を安定させる役割を持つ脊柱起立筋の活動タイミングを早められなかったと言える。そのため、鉛直方向に地面を押しているにも関わらずバーベルの負荷によって肩が抑えつけられる姿勢となり、重心が上方および後方へ移動したと言える。この後方への重心の移動が大腿直筋の活動を抑制し、上方への重心の移動が大臀筋の活動を低下させた。SJとRSJの間で力積に差が見られないにも関わらず、最大床反力発揮時のバーベル速度に差が出ることとなり、結果跳躍高に差が生まれた。

本研究の結果から、RSJは事前緊張がない状態からであっても、脊柱を安定させる脊柱起立筋と、骨盤を安定させる大臀筋および大腿直筋の活動するタイミングを早める効果があることが示唆された。その結果、地面から得た運動量を身体内部で所有することなく、対象物に伝える能力の向上に効果があることが示唆された。

5. まとめ

5-1. 総括

本研究は競技特異的トレーニングとして用いられているラックスクワットのトレーニング効果について、RSJに慣れた選手と慣れていない選手を対象に横断的に検討すること、また一般的に用いられているSJを比較対象としパフォーマンスおよび身体キネマティクスの違いから検討することを目的として実施された。その結果示唆された主な知見は以下の通りである。

1. RSJでは特に脊柱起立筋と大腿直筋の筋活動が、体幹部の姿勢を維持することに影響を及ぼし、大臀筋の活動が跳躍高に影響を及ぼした。
2. RSJに慣れた選手は、姿勢の安定と跳躍に影響を及ぼす筋群を素早く立ち上げることができ、下肢で発生された力をロスなく上肢に伝えることを可能にした。その結

果、力積や跳躍高において SJ との差がなくなった。

3. 実際の競技においても RSJ に慣れていない選手のように腰が浮いてしまい力が発揮できないということが起きていることから、この RSJ トレーニングを行うことで競技パフォーマンスの改善に効果がある。

5-2. 参考文献

1. Anderson K, Behm DG : Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. Can J Appl Physiol. 2005 Feb; 30(1): 33-45
2. Bass T : Play football the NFL way. St Martin' s Press
3. Bobbert MF, van Zandwijk JP : Dynamic of force and muscle stimulation in human vertical jumping. Med Sci Sports Exerc. 1999 Feb; 31(2): 303-310
4. Caterisano A, Moss RF, Pellingner TK, Woodruff K, Lewis VC, Booth W, Khadra T : The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscle. J Strength Cond Res. 2002 Aug; 16(3): 428-32
5. Cormie P, Mccauley GO, Triplett NT, McBride JM : Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. Med Sci Sports Exerc. 2007 Feb; 39(2): 340-349
6. Cronin J, McNair PJ, Marshall RN : The effects of bungy weight training on

- muscle function and functional performance. J Sports Sci. 2003; Jan 21(1): 59-71
7. Ebben WP, Jensen RL : Electromyographic and kinematic analysis pf traditional, chain, and elastic band squats. J Strength Cond Res. 2002 Nov; 16(4): 547-50
 8. Eloranta V : Influence of sports background on leg muscle coordination in vertical jumps. Electromyogr Clin Neurophysiol. 2003 Apr-May; 43(3): 141-156
 9. Gatt CJ Jr, Hosea TM, Palumbo RC, Zawadsky JP : Impact loading of the lumbar spine during football blocking. Am J Sports Med. 1997 May-Jun; 25(3): 317-21
 10. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ : Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. J Appl Biomech. 2005 Feb; 21(1): 31-43
 11. Kellis E, Arambatzi F, Papadopoulos C : Effects of load on ground reaction force and lower limb kinematics during concentric squats. J Sports sci. 2005 Oct; 23(10): 1045-1055
 12. 北元歩, 大津慶子 : スクワット動作時の前後の重心移動による筋出力の変化. 理学療法学, 2003, 30
 13. Linnamo V, Strojnik V, Komi PV : Maximal force during eccentric and isometric actions at different elbow angles. Eur J Appl Physiol. 2006 Apr; 96(6):672-8
 14. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU : The effect of heavy- vs. light- load jump squats on the development of strength, power, and speed. J Strength Cond Res. 2002 Feb; 16(1), 75-82
 15. 西谷広大, 政岡貴幸, 國分國友, 前阪茂樹, 山本正嘉 : 床反力, 脚筋力, 競技能力から見た剣道選手における打突動作の特性. スポーツトレーニング科学, 2004, 6, 5-13
 16. Pandy MG, Zajac FE : Optimal muscular coordination strategies for jumping. J Biomech, 1991; 24(1): 1-10

17. Rahmani A, Viale F, Dlleau G, Lacour JR : Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. Eur J Appl Physiol. 2001 Mar; 84(3): 227-32
18. Scholz JP, Millford JP, McMillan AG : Neuromuscular coordination of squat lifting, I : effect of load magnitude. Phys Ther, 1995 Feb; 75(2): 119-32
19. 高木達也 : アメリカンフットボールのライン選手のスタート動作における下肢の運動力学的解析. 東京大学大学院広域科学専攻生命環境化学系, 修士学位論文, 2002
20. Wilson GJ, Nweton RU, Murphy AJ, Humphries BJ : The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. Med Sci Sports Exerc. 1993 Nov; 25(11): 1279-86
21. 山田憲政, 小林一敏, 与志田康, 前田寛, 飯本雄二 : ラグビーのコンタクトプレーにおける衝撃の力学的研究. 東京体育学研究, 1984, 11, 139-141

5-3. 謝辞

本研究は、指導教員である矢内利政教授のご指導の下において行われました。矢内利政教授には親切丁寧なご指導を賜り、心から感謝しております。

川上泰雄教授におきましては、ご多忙にも関わらず研究に関する助言を数多くいただきました。ありがとうございました。

福永哲夫教授におきましては、社会人からの入学のきっかけをくださっただけでなく、研究への取り組み方などを学ばせていただきました。入学して本当に良かったです。

ありがとうございました。

金久博昭教授におきましては、論文の修正に際し、細かな助言をいただきました。ありがとうございました。

矢内研究室、および川上研究室の皆様には、幾度となく研究に関する助言をいただきました。特に、助手の宮本さん、光川さん、平山さんにはご多忙中にも関わらず、時間を割いていただきました。また、福谷君には毎回の実験に協力していただきました。心より感謝致します。

2008 年 12 月 10 日

倉持 江弥