

博士論文

腰割りの運動学的分析とトレーニング効果

平成30年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 スポーツ医学専攻

栖原 弘和

筑波大学

## 目次

第1章 緒言 .....	1
1. 研究の背景 .....	1
2. 文献研究.....	3
3. 本研究の目的.....	10
4. 本研究の課題.....	11
第2章【研究課題1】腰割りの筋活動動態および Kinematics, Kinetics 分析 .....	12
研究課題1-1. 腰割りにおける体幹, 下肢の筋活動動態および膝関節の Kinetics 分析	12
1. 背景・目的 .....	12
2. 研究方法.....	14
3. 結果 .....	35
4. 考察 .....	52
5. 結論 .....	56
研究課題1-2. 腰割りにおける股関節の Kinematics および Kinetics 分析.....	57
1. 背景・目的 .....	57
2. 研究方法.....	58
3. 結果 .....	66
4. 考察 .....	78
5. 結論 .....	81
第3章【研究課題2】腰割りの即時的効果に関する研究 .....	82



1. 背景・目的 .....	82
2. 研究方法.....	83
3. 結果 .....	91
4. 考察 .....	113
5. 結論 .....	117
第4章【研究課題3】腰割りの長期的トレーニング効果に関する研究.....	118
1. 背景・目的 .....	118
2. 研究方法.....	119
3. 結果 .....	126
4. 考察 .....	140
5. 結論 .....	144
第5章 総合討論.....	145
1. 本研究の目的.....	145
2. 本研究のまとめ .....	145
3. 本研究の限界.....	148
4. 今後の展望について.....	150
第6章 結語.....	151
謝辞.....	153
参考文献 .....	154

## 略語

本研究で用いる主な略語は以下の通りである。

OKC-Ex: Open Kinetic Chain Exercise

CKC-Ex: Closed Kinetic Chain Exercise

SQ: Squat

1RM: 1 Repetition Max

ACL: Anterior Cruciate Ligament

RSQ: Regular Stance Squat

WSQ: Wide Stance Squat

Bpm: Beats Per Minute

ES: Erector Spinae

RA: Rectus Abdominis

RF: Rectus Femoris

BF: Biceps Femoris

GM: Gluteus Maximus

RMS: Root Mean Square

MMT: Manual Muscle Testing

%MVC: % Maximum Voluntary Contraction

TFRVal: Tibiofemoral Rotation with Valgus

SEBT: Star Excursion Balance Test

SLR: Straight Leg Raise

## 図一覽

Figure 2-1 KOSHIWARI.....	17
Figure 2-2 Zenkei KOSHIWARI. ....	18
Figure 2-3 Knee in KOSHIWARI. ....	19
Figure 2-4 Regular stance SQ. ....	20
Figure 2-5 Wide stance SQ. ....	21
Figure 2-6 Equipment for regulating motion. ....	22
Figure 2-7 Phase setting. ....	24
Figure 2-8 Electrodes pasting place. ....	27
Figure 2-9 Overall experimental chart. ....	28
Figure 2-10 Shooting range and rest frame for calibration. ....	31
Figure 2-11 Target point. ....	32
Figure 2-12 Free body diagram. ....	33
Figure 2-13 Muscle activity of the elector spinae. ....	36
Figure 2-14 Muscle activity of the gluteus maximus. ....	38
Figure 2-15 Muscle activity of the rectus femoris. ....	40
Figure 2-16 Muscle activity of the biceps femoris. ....	41
Figure 2-17 Muscle activity of the rectus abdominis. ....	42
Figure 2-18 Angular impulse of knee extension. ....	44
Figure 2-19 Angular impulse of knee flexion. ....	45
Figure 2-20 Angular impulse of knee eversion. ....	46
Figure 2-21 Angular impulse of knee inversion. ....	48
Figure 2-22 Angular impulse of knee external rotation. ....	50

Figure 2-23 Angular impulse of knee internal rotation. ....	51
Figure 2-24 Temporal sequence in a KOSHIWARI (Sumo Squat) exercise and Squat exercise with wide stance (WSQ) . ....	60
Figure 2-25 Location of reflective markers on the body.....	63
Figure 2-26 Definition of hip joint coordinate system and vector of the longitudinal axis for the trunk segment. ....	64
Figure 2-27 Comparison of the joint angle of hip flexion between KOSHIWARI and WSQ. ....	70
Figure 2-28 Comparison of the corrected joint angle of hip flexion between KOSHIWARI and WSQ.....	70
Figure 2-29 Comparison of the joint angle of hip abduction between KOSHIWARI and WSQ. ....	71
Figure 2-30 Comparison of the corrected joint angle of hip abduction between KOSHIWARI and WSQ.....	71
Figure 2-31 Comparison of the joint angle of hip external rotation between KOSHIWARI and WSQ.....	72
Figure 2-32 Comparison of the corrected joint angle of hip internal rotation between KOSHIWARI and WSQ.....	72
Figure 2-33 Comparison of the joint angle of torso forward tilt between KOSHIWARI and WSQ.....	73
Figure 2-34 Comparison of the corrected joint angle of torso forward tilt between KOSHIWARI and WSQ.....	73
Figure 2-35 Comparison of the angular impulse of hip joint flexion between KOSHIWARI and WSQ.....	76
Figure 2-36 Comparison of the angular impulse of hip joint adduction between KOSHIWARI and WSQ.....	76

Figure 2-37 Comparison of the angular impulse of hip joint external rotation between KOSHIWARI and WSQ.....	77
Figure 3-1 Experimental protocol for short-term effect.....	84
Figure 3-2 Star Excursion Balance Test.....	89
Figure 3-3 ROM of hip flexion.....	91
Figure 3-4 ROM of hip extension.....	91
Figure 3-5 ROM of hip abduction.....	92
Figure 3-6 ROM of hip adduction.....	92
Figure 3-7 ROM of hip external rotation.....	93
Figure 3-8 ROM of hip internal rotation.....	93
Figure 3-9 ROM of hip external rotation (Abdominal position).....	94
Figure 3-10 ROM of hip internal rotation (Abdominal position).....	94
Figure 3-11 ROM of SLR.....	95
Figure 3-12 Joint torque of hip flexion (Peak torque).....	97
Figure 3-13 Joint torque of hip flexion (Peak torque / BW).....	97
Figure 3-14 Joint torque of hip extension (Peak torque).....	99
Figure 3-15 Joint torque of hip extension (Peak torque / BW).....	99
Figure 3-16 Joint torque of hip abduction (Peak torque).....	101
Figure 3-17 Joint torque of hip abduction (Peak torque / BW).....	101
Figure 3-18 Joint torque of hip adduction (Peak torque).....	103
Figure 3-19 Joint torque of hip adduction (Peak torque / BW).....	103
Figure 3-20 Joint torque of knee extension (Peak torque).....	105
Figure 3-21 Joint torque of knee extension (Peak torque / BW).....	105
Figure 3-22 Joint torque of knee flexion (Peak torque).....	107
Figure 3-23 Joint torque of knee flexion (Peak torque / BW).....	107

Figure 3-24 Broad jump .....	108
Figure 3-25 Vertical jump .....	108
Figure 3-26 Side step.....	109
Figure 3-27 Total score of SEBT .....	110
Figure 3-28 Anterior of SEBT .....	111
Figure 3-29 Posterolateral of SEBT .....	112
Figure 3-30 Posteromedial of SEBT .....	112
Figure 4-1 Experimental protocol for long-term effect .....	120
Figure 4-2 The difference between the ROM of hip joint .....	129
Figure 4-3 The difference between muscle strength of around hip and knee muscle (Peak torque) .....	132
Figure 4-4 The difference between muscle strength of around hip and knee muscle (Peak torque / BW) .....	134
Figure 4-5 Athletic performance.....	136
Figure 4-6 The difference between SEBT score .....	139

## 表一覽

Table 2-1 Position and motion in MMT (Manual muscle testing).....	26
Table 2-2 Comparison of the hip joint and torso angle between KOSHIWARI and WSQ. ....	68
Table 2-3 Comparison of the corrected joint angle of hip joint and torso between KOSHIWARI and WSQ. ....	69
Table 2-4 Comparison of the angular impulse of hip joint between KOSHIWARI and WSQ. ....	75
Table 4-1 ROM of hip joint.....	128
Table 4-2 Muscle strength of around hip and knee muscle (Peak torque).....	131
Table 4-3 Muscle strength of around hip and knee muscle (Peak torque / BW)..	133
Table 4-4 Athletic performance.....	135
Table 4-5 Score of SEBT.....	138

## 第1章 緒言

### 1. 研究の背景

日本の国技である相撲は土俵の中で互いにぶつかり合い、相手選手を押し倒すか、土俵から押し出すことで勝敗を決める競技である。低い体勢からのぶつかり合いによる押す動作を主軸として、相手の身体を持ち上げる、捻り倒す、相手の押す動作を受けるといった様々な要素が要求される。そのため、相撲ではこれらの競技形態を踏まえた、四股、腰割り、摺り足および鉄砲と呼ばれる相撲競技特有のエクササイズが存在する。これらは実践練習前のウォームアップ、あるいは実践練習後に体力向上を目的として実施されている。これらのエクササイズは基本的にいずれも自重で行い、股関節の可動範囲が非常に広いことが特徴である。その中でも腰割りは、他の相撲競技特有のエクササイズの中でも基本動作として位置付けられている。動作の特徴としては、肩幅の2倍強のスタンスで、股関節最大外旋位、体幹を地面に対し垂直位を保持したまま、股関節および膝関節の屈曲伸展運動を反復し、股関節周囲筋の筋力強化および柔軟性向上をエクササイズの主目的としている。また、海外では腰割りを **Sumo Squat** と呼び、殿筋群および股関節内転筋群の筋力強化をエクササイズの主目的として広く行われている。

一般的に筋力強化や柔軟性向上を目的としたエクササイズを選択する場合、様々な要素を考慮する必要があると考えられる。例えば、エクササイズの対象となる筋肉の末端部が、地面に固定されているか否かにより、エクササイズは **Open Kinetic Chain Exercise** (以下、**OKC-Ex**) と **Closed Kinetic Chain Exercise** (以下、**CKC-Ex**) に分類される (Steindler,1955)。一般的な下肢筋の強化を目的とした **CKC-Ex** には、スクワット (以下、**SQ**) が広く行われている。**SQ** は、立位にて下肢三関節 (足関節、膝関節、股関節) 及び体幹部を協調させて屈曲及び伸展を行う種目であり、股関節周囲筋および大腿部筋の筋力強化を目的として行われている。また、**SQ** には様々な種類があり、スタンス幅を狭くして行うナロースタンス **SQ**、スタンス幅を広くして行うワイドスタンス **SQ**、矢状面において大腿部が地面と平



行の高さになるまで股関節および膝関節を屈曲するパラレル SQ, 矢状面上において股関節部が膝部より低い位置になるまで股関節および膝関節を屈曲するディープ SQ, 上肢を挙げさせた状態で行うオーバーヘッド SQ など数多くの方法が存在する。このように, SQ などの CKC-Ex はスタンスの広さ, 沈み込みの深さ, 上肢の位置, 動作中のスピードや重量物を担ぐ位置などを変化させることで各種目における特徴があることから, 種目の変化により筋活動動態や関節トルクが変わることが先行研究にて明らかとなっている。

一方で, 腰割りは CKC-Ex に分類されるものの, ワイドスタンス SQ のスタンスおよび足趾の向き (股関節外旋位) をより強調した動作であり, CKC-Ex において SQ とは動作形態が大きく異なることから, 一般的に行われている SQ とは異なる特徴が存在すると考えられる。特に CKC-Ex に関する先行研究に対して, 腰割りや Sumo Squat に関する先行研究は皆無に等しく, 腰割りの運動学的特徴およびトレーニング効果は明らかになっていないのが現状である。したがって, CKC-Ex としての腰割りの運動学的特徴およびトレーニング効果を明らかにすることにより, スポーツにおけるパフォーマンス向上やスポーツ外傷・障害予防を目的としたフィジカルトレーニング, ウォーミングアップやアスレティックリハビリテーションなど様々な用途で腰割りを応用することが可能になると考えられる。

## 2. 文献研究

### 1) SQに関する先行研究

SQは、パフォーマンス向上や外傷・障害予防を目的としたフィジカルトレーニングや、怪我からの復帰を目的としたアスレティックリハビリテーションを実施する上で重要な役割を担うエクササイズである。また、SQには様々な方法があり、動作時の体幹の前傾角度や膝部のポジション、スタンス幅やつま先の向きを変化させることにより、体幹部や下肢の筋活動量および力学的パラメーターが変化することが明らかとなっている。

### 2) 筋活動量から検討したSQの特徴

Li et al. (2013), Aspe et al. (2014) および Gomes et al. (2015) はSQ時の挙上重量物の違いによる筋活動量の違いについて報告しており、挙上重量物の重量増加に伴い、大殿筋、大腿四頭筋および脊柱起立筋の活動量が増加することを報告している。また、McCaw et al. (1999) は挙上重量物の重量増加に伴い、内転筋群の筋活動量が増加したと報告している。

眞鍋ら(2007)は、SQ時における動作スピードの違いによる筋活動量の違いについて報告しており、挙上スピードが速い群は挙上スピードが遅い群に比べ大殿筋、大腿四頭筋、ハムストリングスおよび脊柱起立筋の筋活動量が高値を示したと報告している。

Caterisano et al. (2002) は、SQにおける沈み込みの深さが筋活動量に与える影響について報告しており、沈み込みの深さが増すほど大殿筋、大腿四頭筋およびハムストリングスの筋活動量が増加することを報告している。

McCaw et al. (1999) および Paoli et al. (2009) は、SQ中のスタンス幅の違いが股関節周囲筋群の筋活動量に及ぼす影響について報告しており、スタンス幅の狭いナロースタンスSQに比べスタンス幅の広いワイドスタンスSQは大殿筋および内転筋群の筋活動量が高値を示し、大腿四頭筋およびハムストリングスに違いは認められなかったと述べてい

る。また、Pereira et al. (2010) は、股関節外旋角度が 0 度から 30 度の範囲で内転筋群の活動量が高値を示したが、30 度から 50 度では差が認められなかったと述べており、SQ における 0 度から 30 度の股関節外旋角度は、内転筋群の筋発揮において筋長—筋張力関係が最大となる角度である可能性があるとして報告している。

以上のことから、SQ において股関節周囲筋群の中で最も大きい筋肉である大殿筋の筋活動量に影響を及ぼす要因について検討すると、バーベルなどの挙上重量物の負荷をより重くすること、沈み込んだ姿勢からの挙上スピードを高めること、沈み込みを深くすること、ワイドスタンスで行うことが挙げられる。SQ において、挙上重量物の負荷増大、動作スピード向上、より深く沈み込むことは動作遂行の難易度が高いと考えることができ、スタンス幅を広げたワイドスタンスで SQ を実施することが、最も簡易的に大殿筋の筋活動量を増加することのできる方法であると考えられる。

### 3) バイオメカニクスのパラメーターから検討した SQ の特徴

Orloff et al. (1997) は、SQ の熟練者と非熟練者を対象に、SQ 時に発揮する股関節トルクの違いについて報告しており、非熟練者は熟練者に比べ股関節伸展トルクの発揮が低値を示したと報告している。なお、非熟練者の股関節伸展トルクの発揮が低値を示した要因について、非熟練者は SQ 中に体幹部を正しい位置に保持することができなかつた結果、股関節伸展トルク発揮に関わるモーメントアームの長さが短くなり股関節伸展トルク発揮が低下したと述べている。

McLaughlin et al. (1978), Fry et al. (2003) および Lorenzetti et al. (2012) は、SQ における動作形態の違いが股関節トルクの発揮および膝関節トルクの発揮に与える影響について報告しており、SQ 時に矢状面上において膝部が足趾を超えないように実施した試技は、矢状面上において膝部が足趾を超えて実施した試技よりも股関節伸展トルクが高値を示し、膝関節伸展トルクは低値を示したと述べている。さらに、以上の要因について、膝部

の位置を規定したことにより、体幹部の前傾角度および股関節の屈曲角度が増加し、股関節伸展トルク発揮に関わるモーメントアームが長くなるとともに、膝関節伸展トルク発揮に関わるモーメントアームは短くなったことが挙げられると述べている。

Escamilla et al. (2001b) は、SQ におけるスタンス幅の違いが股関節トルクおよび膝関節トルク発揮に与える影響について報告しており、スタンス幅の狭いナローSQ 群、スタンス幅の広いワイドスタンス SQ 群、その中間のミディアム SQ 群で差は認められなかったと述べている。

Bryanton et al. (2012) および Cotter et al. (2013) は、SQ における沈み込みの深さが膝関節伸展トルクに与える影響について報告しており、沈み込む深さが増すほど膝関節伸展トルク発揮が増加することを報告している。また Bryanton et al. は、報告の中で SQ における挙上重量の重さが膝関節伸展トルクに与える影響についても報告しており、挙上重量が増えるほど膝関節伸展トルク発揮が増加することを報告している。一方 Cotter et al. は、挙上重量の増加は膝関節伸展トルク発揮に影響を及ぼさないとも報告しており、挙上重量の増加と膝関節伸展トルク発揮に関する一定の知見は得られていない。

以上のように、SQ に関して Kinematics および Kinetics パラメーターを用いて分析を行った研究は 2 次元分析のものが多く、矢状面上における股関節や膝関節の屈曲伸展運動のみを検討したものが多い。股関節の運動面は 3 面（屈曲伸展、外転内転および外旋内旋）あり多関節へ可動する関節であるため、前額面および水平面上の動きに関わるトレーニングも行うことが重要である（渡部ら、2010）。また、膝関節の運動面は 2 面（屈曲伸展、膝屈曲位での外旋内旋）であるが、主の運動は屈曲伸展であるため、過剰な外旋内旋運動は膝への負担になると考えられる。これらのことから、股関節および膝関節の Kinematics および Kinetics の特徴に関して、2 次元分析だけでなく 3 次元分析を行うことで、SQ などの CKC-Ex における詳細な力学的特徴を明らかにすることができると考えられる。

#### 4) SQ のトレーニング効果に関する先行研究

Matthew et al. (2016) は、SQ における沈み込みの深さが SQ 動作における 1RM の重量、カウンタームーブメントジャンプ、40 ヤード走の記録に及ぼす影響について報告しており、対象者をそれぞれ 3 群に分け (フル SQ 群、ハーフ SQ 群、クォーターSQ 群)、週 2 回の頻度で 16 週間エクササイズを実施した結果、フル SQ 群はフル SQ における 1RM、ハーフ SQ 群はハーフ SQ における 1RM、クォーターSQ 群はクォーターSQ における 1RM が向上するとともに、全ての群でカウンタームーブメントジャンプおよび 40 ヤード走の記録が向上したと述べている。一方 Hartmann et al. (2012) は、SQ における沈み込みの深さがカウンタームーブメントジャンプとスクワットジャンプにおける高さに及ぼす影響について、週 2 回の頻度で 10 週間フル SQ を実施した群はカウンタームーブメントジャンプおよびスクワットジャンプ高ともに有意に増化したのに対して、クォーターSQ を実施した群はカウンタームーブメントジャンプおよび SQ ジャンプ高の高さに変化は見られなかったと報告している。Hartmann et al. は、フル SQ にてジャンプ高が増加した要因を、深く沈み込むことによってより多くの筋を大きな可動域でトレーニングした結果、ジャンプ動作に関与する筋群に十分な刺激が加わったためであると述べており、フル SQ に比べ下肢関節の可動域が小さいクォーターSQ では、ジャンプ動作に関与する筋群に十分な刺激が加わらなかった可能性があると考えしている。

以上のように SQ のトレーニング効果に関する報告は 1RM の重量、ジャンプ能力、スプリント能力などから検討したものが多く、関節可動域、股関節の筋力などの、より詳細な体力要素に及ぼす影響について検討された報告は少ない。また、SQ のトレーニング効果に関する報告は、バーベルなどの重量負荷を加えた状態での検討が多く、自体重負荷にて検討されたものも少ない。パフォーマンス向上を目的としたトレーニングプログラムの導入およびアスレティックリハビリテーションでは、自体重負荷での SQ も実施されていることから、重量負荷を加えた状態での検討とともに、自体重負荷での SQ などを中心とした CKC-

Exに関する検証も必要であると考えられる。

## 5) 下肢の外傷・障害とその発生要因に関する先行研究

高橋ら（2017）は、Groin pain の発生要因に関して股関節周囲筋の筋硬度、筋活動量および股関節の Kinematics パラメーターから分析しており、Groin pain 既往歴群は Control 群と比較して長内転筋の筋硬度が上昇していたことを報告している。高橋らは、Groin pain の発生および再発を予防するためには長内転筋の筋硬度を低下させるアプローチをすること、股関節周囲筋の筋力強化による股関節部の安定性獲得を行うことが重要であると述べている。

Mascal et al.（2010）は、股関節および膝関節の Kinematics および Kinetics パラメーターから、ACL 損傷などの脛骨大腿関節に発生する外傷や、ジャンパー膝などの膝蓋大腿関節に発生する膝関節伸展機構障害などに関連する要因について報告しており、膝関節の近位に存在する股関節の動きが膝関節の動きに大きく影響するため、様々な動作で股関節を正しく動かすことが膝関節の外傷や障害を予防する上で重要であると述べている。また、Pollard et al.（2010）は着地動作を股関節および膝関節の Kinetics パラメーターおよび筋活動量から分析しており、着地動作において大殿筋の筋活動量を増加させることが、着地において膝部の安定性を高めると述べている。Pollard et al. は、着地動作において大殿筋の筋活動量が増加することにより、矢状面上における股関節の貢献度が高まることで、衝撃を吸収する目的でエキセントリックに筋収縮する大腿四頭筋の活動量が減少し、股関節と膝関節で減速動作における貢献度を分け合う結果、着地動作において膝部の安定性が高まると述べている。

以上のことから、下肢の外傷・障害の予防、再発予防のプログラムを実施する上で、股関節内転筋群の柔軟性を向上させることや、大殿筋の筋活動量を増加させ、股関節を正しく動作させることが重要であると考えられる。

## 6) 下肢の外傷・障害予防を目的としたプログラムの効果に関する先行研究

Tyler et al. (2002) は、National Hockey League に所属するプロアイスホッケー選手の中で、内転筋群の筋挫傷のリスクが高いと指摘された選手に対して、プレシーズントレーニングプログラムとして内転筋群の筋挫傷予防プログラムを実施した結果を報告している。Tyler et al. は、Sumo squat を含む内転筋群の強化を主目的とした予防プログラムを実施した結果、内転筋群の筋挫傷発生率を低下させることができたことを報告している。

Tyler et al. (2010) は、US Major League Soccer に所属するプロサッカー選手に対して Groin Injury の発生予防プログラムを実施した結果を分析している。Tyler et al. は対象者を、股関節周囲筋に対するダイナミックウォームアップを中心とした予防プログラムを実施する群と、それらを実施しないコントロール群に分け、週 3 回、約 20 分ずつ行うプロトコルを実施し、シーズン中の Groin Injury の発生率を調査した結果、予防プログラム実施群はコントロール群に比べ障害発生率が 28%減少したと報告している。

Masclal et al. (2003) は、殿筋群を主とする股関節周囲筋群の強化プログラムが、片脚で行う下肢の動的アライメント評価における Kinematics パラメーターに及ぼす影響について報告しており、プログラム実施前に行った評価で股関節内転、膝外反、下腿外旋位のマルアライメントを呈していた対象者が、殿筋群を主とする股関節周囲筋群の強化プログラムを 14 週間にわたり実施した結果、マルアライメントが改善されたと述べている。また Masclal et al. は、股関節内転、膝外反、下腿外旋位のマルアライメントは ACL 損傷などの脛骨大腿関節に発生する外傷やジャンパー膝などの膝蓋大腿関節に発生する障害の発生要因となるため、殿筋群を主とする股関節周囲筋群の強化プログラムを実施することは、膝関節に発生する外傷および障害の発生を予防する上で重要であると述べている。

以上のことから、股関節周囲筋に対するダイナミックストレッチをウォームアップに組み込むことや内転筋群を強化することが下肢の外傷・障害の予防および再発予防に有効であると考えることができる。また、殿筋群を主とする股関節周囲筋群の強化プログラムを実

施することは、膝部の外傷および障害の予防、再発予防に有効であると考えられるが、先行研究における介入は様々なエクササイズを組み合わせて行った報告が多いため、エクササイズごとのトレーニング効果に関する分析を行うなど、より詳細な検討が必要であると考えられる。

以上のように、CKC-Ex における SQ の運動学的分析およびトレーニング効果に関して調べられた研究は多く見られるが、腰割りの運動学的分析およびトレーニング効果に関して調べられた研究は皆無に等しい。また文献研究から、立位で行う CKC-Ex に関して Kinematics および Kinetics パラメーターを用いて 3 次元分析を行うこと、自体重負荷における CKC-Ex のトレーニング効果として関節可動域、筋力、運動能力、バランス能力などの詳細な体力要素へ及ぼす影響を明らかにすることが必要であると考えられる。



### 3. 本研究の目的

本研究は、腰割りの運動学的特徴およびトレーニング効果を明らかにすることを目的とし、腰割りと SQ における筋電図および Kinematics, Kinetics パラメーターを比較・検討するとともに、腰割りと SQ における股関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力の即時的効果と長期的トレーニング効果について比較・検討することとした。

これらを明らかにすることは、目的に合わせた効果的なフィジカルトレーニング、ウォームアップやアスレティックリハビリテーションのトレーニングプログラムを立てる上で、腰割りを有効に活用するための重要な資料になり得ると考える。

#### 4. 本研究の課題

本研究の目的を達成するために、以下の3つの研究課題を設定した。

##### 【研究課題1】 腰割りの筋活動動態および Kinematics, Kinetics 分析

研究課題 1-1. 腰割りにおける体幹, 下肢の筋活動動態および膝関節の Kinetics 分析

研究課題 1-2. 腰割りにおける股関節の Kinematics および Kinetics 分析

腰割りと SQ の運動学的特徴について筋活動量データおよび Kinematics, Kinetics パラメーターを用いて比較・検討した。

##### 【研究課題2】 腰割りの即時的効果に関する研究

腰割りおよび SQ が股関節可動域, 下肢筋力, 運動能力, 動的バランス能力に及ぼす即時的効果について比較・検討した。

##### 【研究課題3】 腰割りの長期的トレーニング効果に関する研究

長期間の腰割りおよび SQ が股関節可動域, 下肢筋力, 運動能力, 動的バランス能力に及ぼす長期的トレーニング効果について比較・検討した。

## 第2章【研究課題1】腰割りの筋活動動態および Kinematics, Kinetics 分析

### 研究課題1-1. 腰割りにおける体幹, 下肢の筋活動動態および膝関節の Kinetics 分析

#### 1. 背景・目的

相撲における基本エクササイズは股関節を広い可動範囲で動かすことが特徴であり, その中でも腰割りは, 海外において Sumo squat と呼ばれ, 股関節周囲筋の筋力強化および柔軟性向上を目的としてスポーツ現場や医療現場で取り入れられるようになってきている. 股関節周囲筋の中でも殿筋群は, 股関節の安定性を向上させ, 股関節および膝関節の正しいアライメント保持に貢献しており, 殿筋群の弱化は膝部の外傷・障害や腰痛などを引き起こす可能性があると報告されている (Macadam et al., 2015). 殿筋群の強化を目的としたエクササイズについては, SQ が一般的に行われており, その中でも腰割りに類似したワイドスタンス SQ の先行研究によると, ワイドスタンス SQ は大殿筋および内転筋群の筋活動量がナロースタンス SQ に比べ高値を示したと報告されている. また, 膝部の外傷・障害および腰痛の予防として殿筋群の強化が重要である一方, SQ によって膝部および腰部に負荷がかかり, 外傷や障害を引き起こす可能性があるという先行研究も存在する (Garrett et al., 2010). なお, SQ 時の各関節への負荷などについて検討したものでは, 下肢関節の Kinematics および Kinetics パラメーターを用いて, 脛骨大腿関節への剪断力および圧迫力, また膝蓋大腿関節への圧迫力に関して分析されているものが存在する (Escamilla, 2001a). これらの報告は, 矢状面上における 2 次元での分析が多く, 前額面上の外反内反方向および水平面上の外旋内旋方向なども含めた 3 次元での分析が行われた先行研究は乏しい. また, これらはバーベルなどの重量負荷を加えた状態で行った試技での分析が多く, 自体重負荷において検討されたものも少ない. 以上のことから, 自体重負荷での SQ を中心とした CKC-Ex は, アスレティックリハビリテーションやフィジカルトレーニングの導入として広く実施されているにも関わらず, 自体重負荷での筋活動量および膝関節における 3 次元でのバイオメカニクス的検討がされたものは少なく, 腰割りと比較・検討されたものは

存在しないため、検討が必要であると考えられる。そこで本研究は、腰割りにおける体幹、下肢の筋活動動態および膝関節の運動力学的特徴を明らかにすることを目的とし、腰割りおよび SQ を股関節周囲筋の筋活動量および膝関節の Kinetics パラメーターを用い比較・検討することとした。

## 2. 研究方法

### 1) 対象

一般健常男性 5 名を対象として行った。対象者の年齢，身長，体重の平均値および標準偏差は，それぞれ  $24.4 \pm 0.6$  歳， $179.4 \pm 5.2\text{cm}$ ， $69.4 \pm 4.7\text{kg}$  であった。また，利き足はボールを蹴る足と定義し，全ての対象者の利き足は右脚であった。なお，対象者は過去 1 年以内に下肢に外傷・障害を発生しておらず，現在疼痛や違和感などの訴えがないものとした。対象者には事前に本研究の目的および方法，実験により起こりうる危険性に関して十分な説明を行い，本人の同意を得て実施した。なお，本研究は筑波大学研究倫理委員会の承認を得ている。承認番号 (22-359)

### 2) 測定項目および測定方法

#### A. 実験試技

実験試技は，腰割り 3 種類および SQ 2 種類とした。正しい腰割りに加え，腰割りを指導する際に「不適切なフォーム」と指導することの多い，動作時に体幹を前傾させる腰割り（以下，前傾腰割り），および動作時に膝部が内側に変位し Knee-in toe-out のマルアライメントを生じる腰割り（以下，KI 腰割り）を採用した。SQ は，スタンス幅および足尖の方向の異なる 2 種類のレギュラースタンス SQ（以下，RSQ），およびワイドスタンス SQ（以下，WSQ）を採用した。以上，計 5 試技を動作課題とした。全ての試技において左右の手は後頭部に当て，股関節，骨盤周囲筋の筋電図にノイズが入らないように配慮した。以下に，各試技の注意点を示す。

・腰割り：腰割りは、鈴木ら（2005）の方法に準じ、スタンス幅は膝関節 90 度屈曲位まで下降した際に大腿部の下面が床と平行となる任意のスタンスで行い、足趾の方向（股関節外旋角度）は、上記の動作が正確に行える各被験者の最大角度とした。また、股関節最大外旋位を保持した状態で、体幹・下腿を出来るだけ垂直に維持し、膝部と足尖の向きを揃え股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示をした（Figure 2-1）。

・前傾腰割り：スタンス、足趾の方向は腰割りと同様とした。側面から見て、最下降位にて体幹を地面に対し 45 度前傾させ、膝部と足尖の向きを揃え股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示をした（Figure 2-2）。

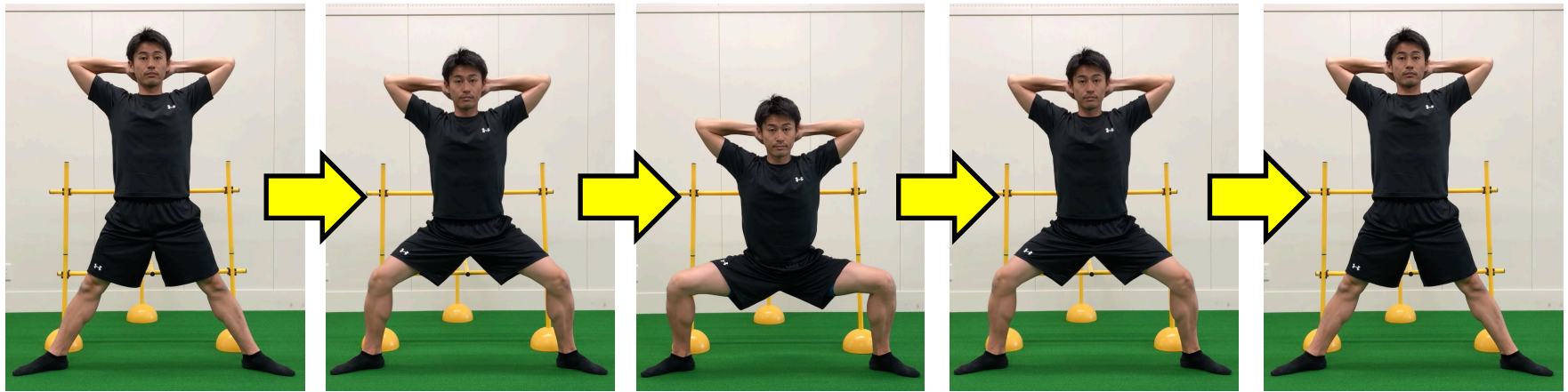
・KI 腰割り：スタンス、足趾の向きおよび体幹の肢位は腰割りと同様とした。スタート時は腰割りと同様の姿勢から、股関節および膝関節の屈曲とともに大腿を内旋させ、Knee-in toe-out 肢位を取る様に股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示をした（Figure 2-3）。

・RSQ：RSQ は McCaw et al. (1999) の方法に準じ、スタンスは肩幅とし、足趾は前方に向け左右の足部は平行とした。側面から見て膝部が足趾より前方へ出ないように意識するとともに、最下降位にて体幹部を 45 度前傾させ、骨盤の前傾を意識した状態で、膝部と足尖の向きを揃え股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示をした（Figure 2-4）。

・WSQ：WSQ は McCaw et al. (1999) の方法に準じ、スタンスは肩幅の 140%とし、足趾の方向は 15 度外方（股関節 15 度外旋位）とした。側面から見て膝が足趾より前にならないように意識するとともに、最下降位にて体幹部を 45 度前傾させ、骨盤の前傾を意識した状態で、膝部と足尖の向きを揃え股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示をした（Figure 2-5）。

各試技とも負荷は自重とし、右足をフォースプレートの上に乗せた状態で行った。動作範囲に関しては、各試技とも膝関節 0-90 度までとした。各被験者の後方に膝関節の角度を規定する装置を設置し、最下降位にて膝関節屈曲角度が 90 度となるようにバーの高さを調節し、殿部がバーに触れるまで股関節および膝関節を屈曲する様に指示することで動作角度を規定した (Figure 2-6)。各動作は、60bpm に設定した電子メトロノームに合わせて、1 動作が下降局面 2 秒、最下降位にて 1 秒保持、上昇局面 2 秒の計 5 秒となるように設定した。測定は、各試技とも 1 秒の休止をはさんだ連続 3 回を実施した。なお、各被験者には各動作を一定の速度で正確に行えるよう、事前に 2 週間の練習を行った上で測定を実施した。

Frontal plane



Sagittal plane

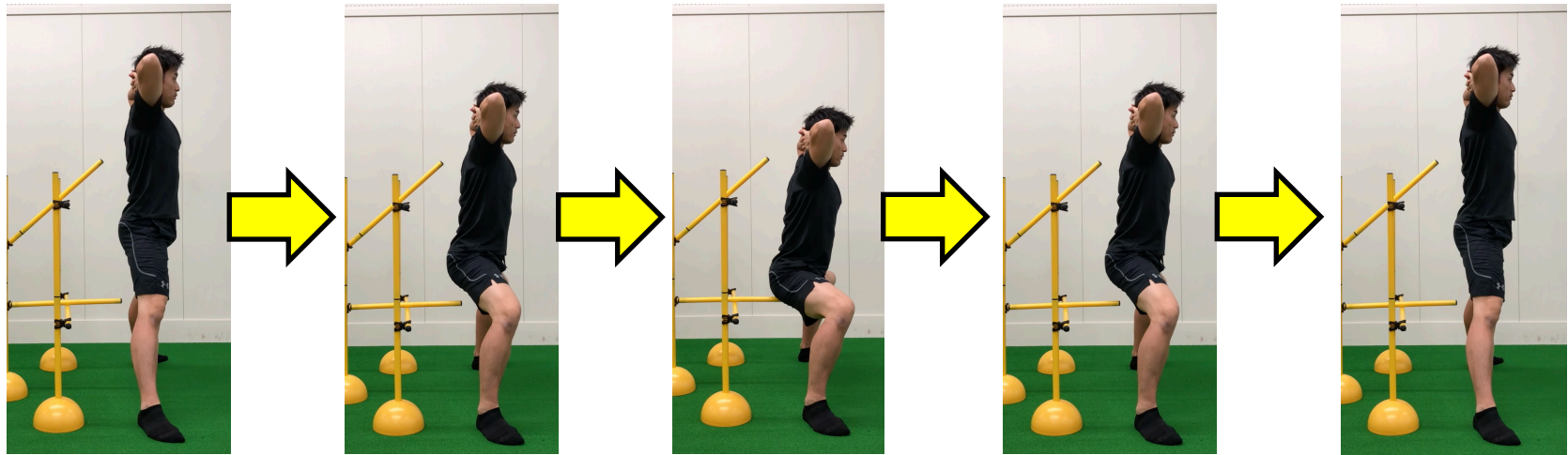
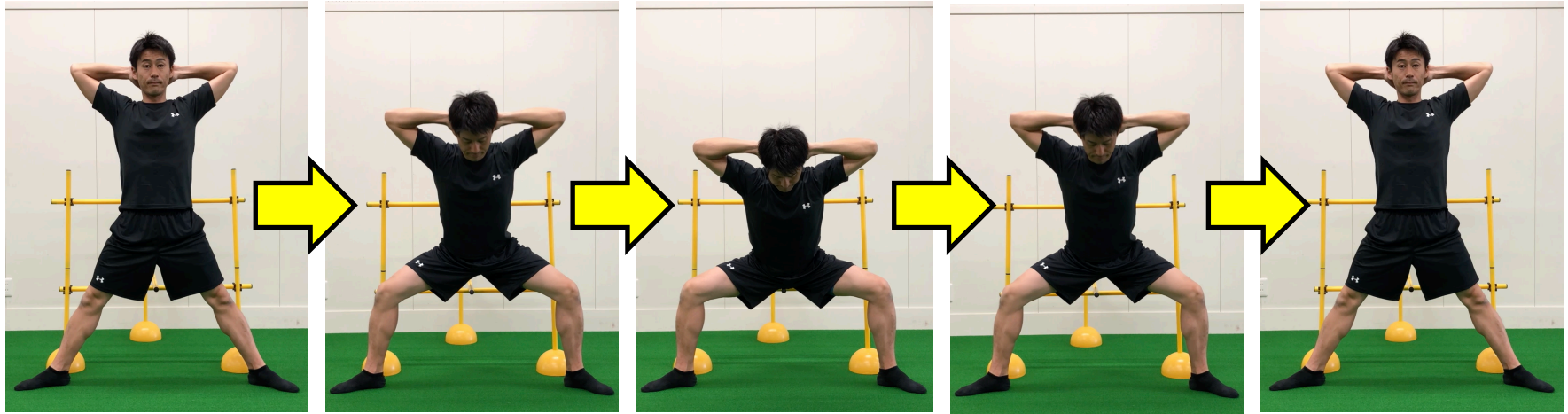


Figure 2-1 KOSHIWARI.



Frontal plane



Sagittal plane

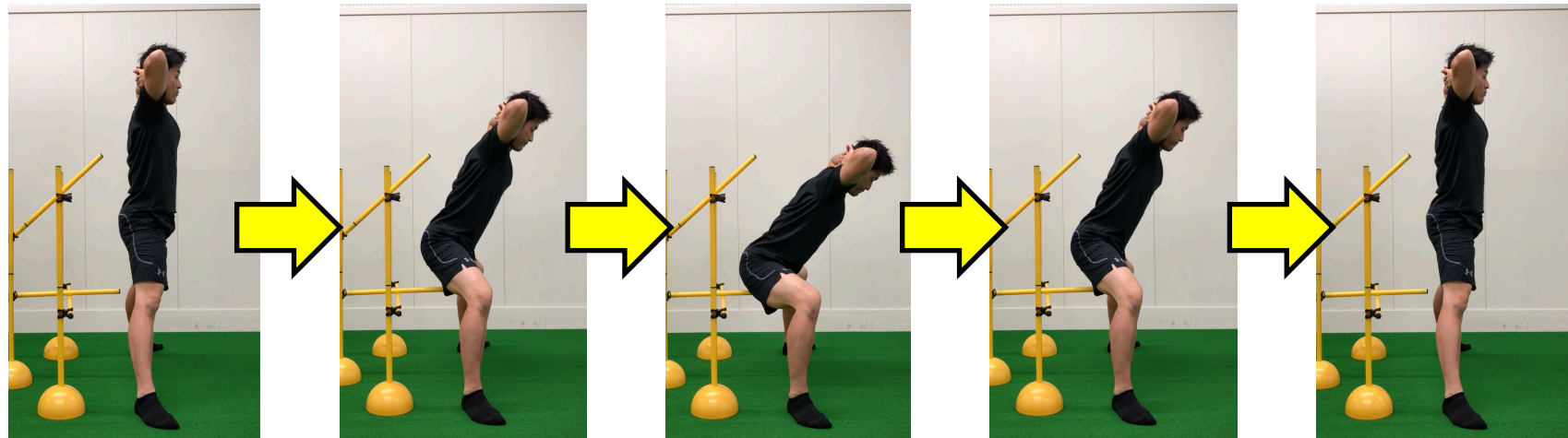
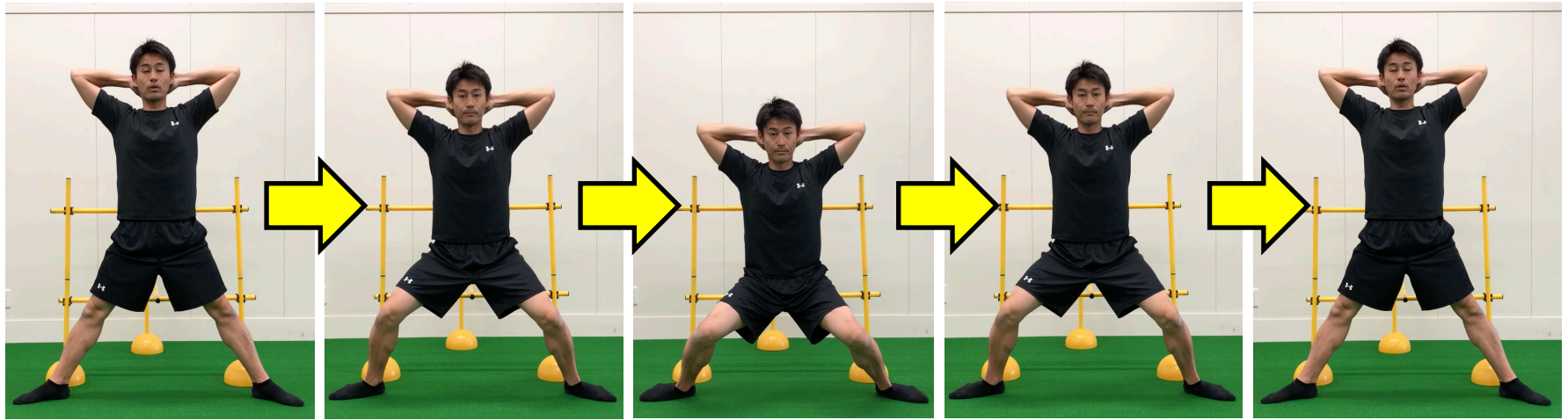


Figure 2-2 Zenkei KOSHIWARI.

Frontal plane



Sagittal plane

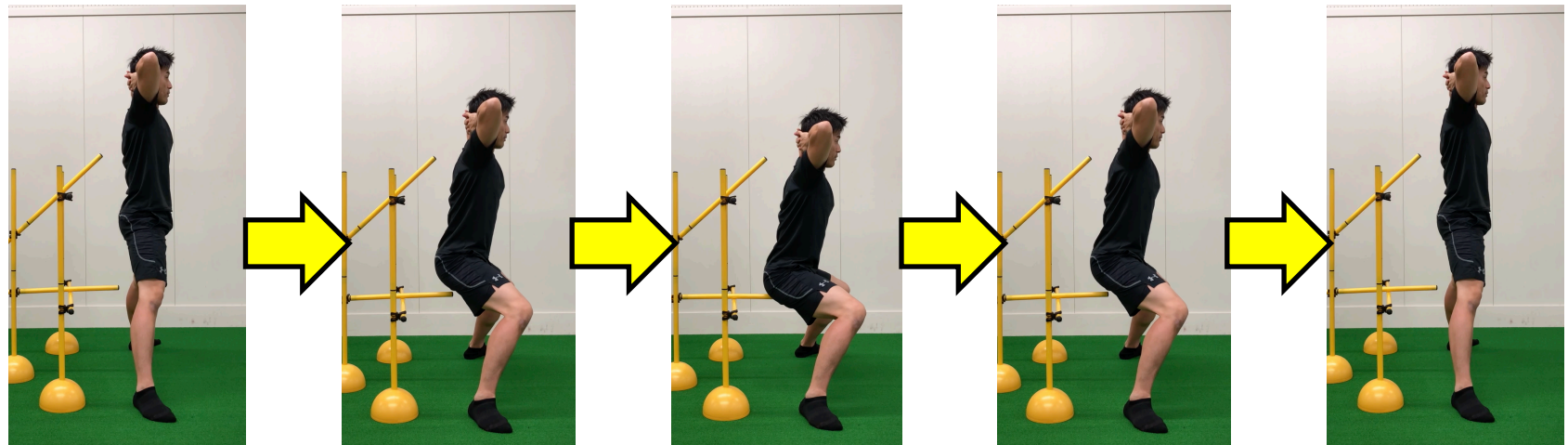
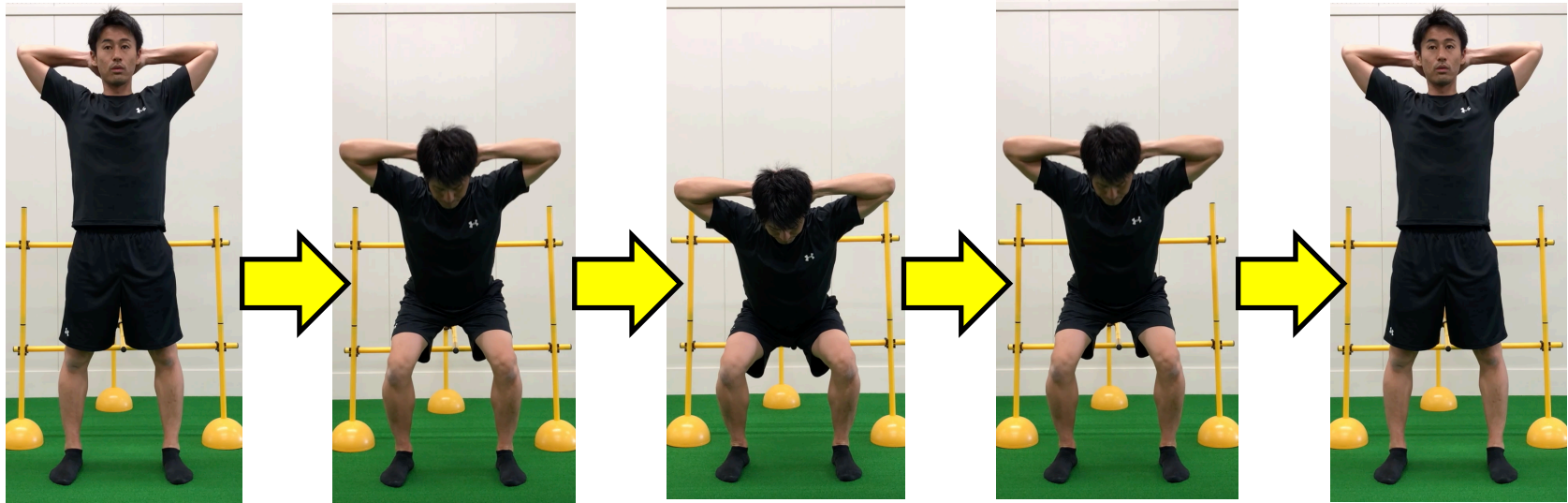


Figure 2-3 Knee in KOSHIWARI.

Frontal plane



Sagittal plane

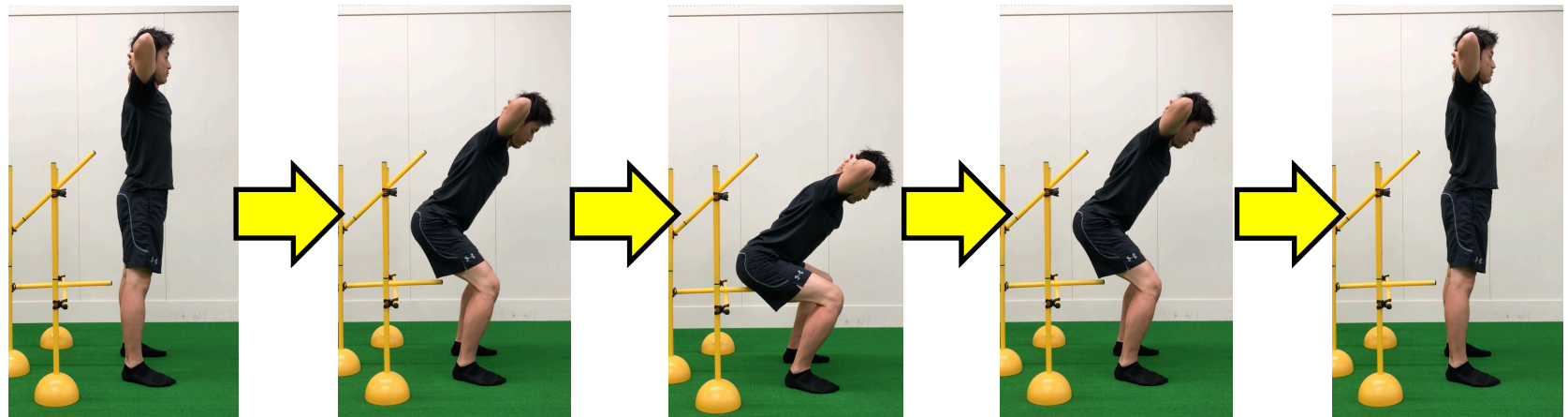
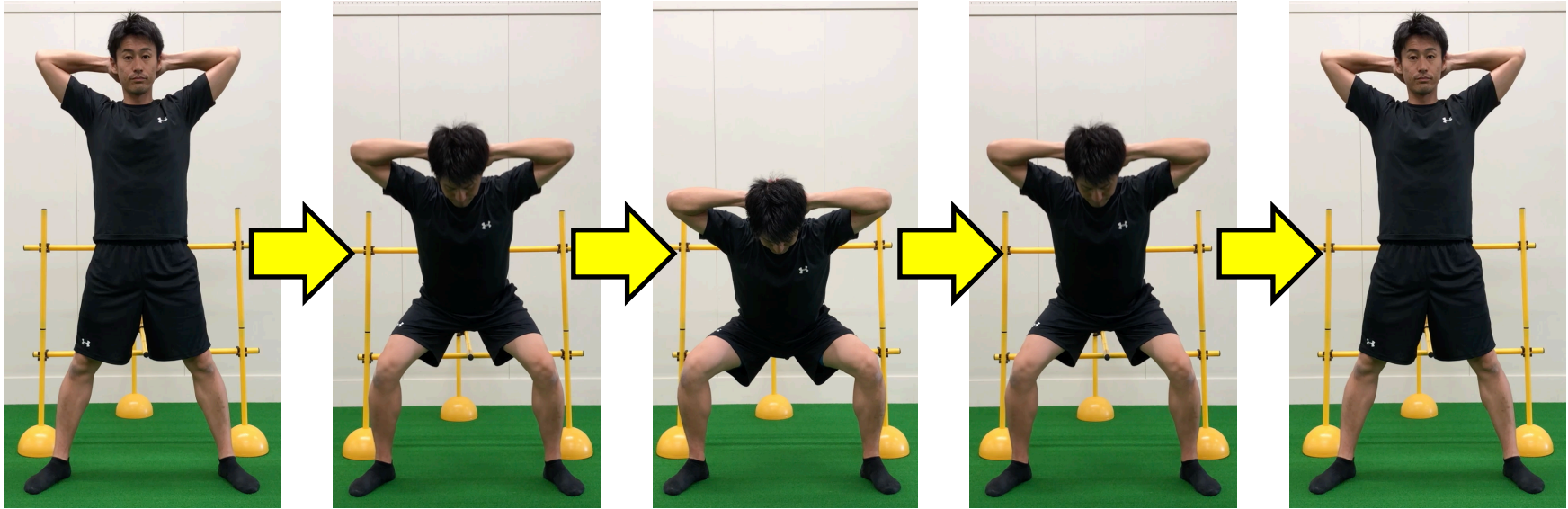


Figure 2-4 Regular stance SQ.



Frontal plane



Sagittal plane

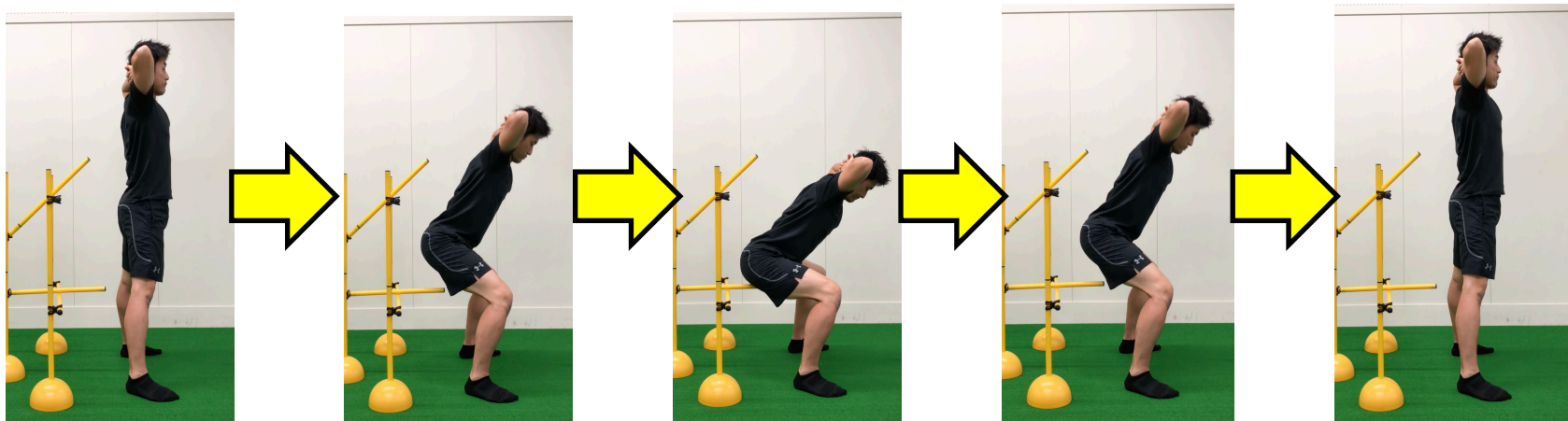
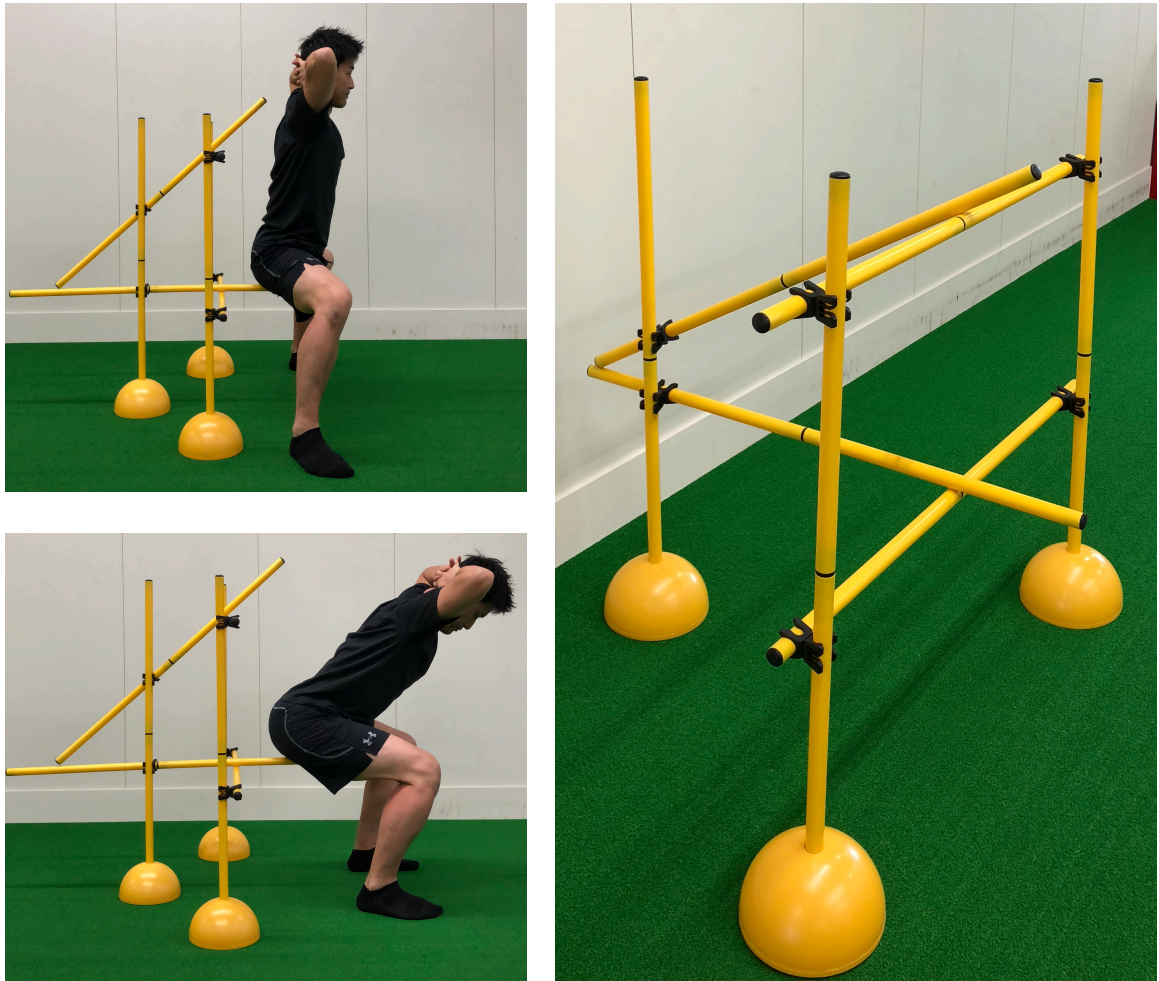


Figure 2-5 Wide stance SQ.



**Figure 2-6 Equipment for regulating motion.**

## B. 動作の局面分け

各試技における 3 回分の試技動作から、運動速度、動作角度がより一定であるものを選択し、各被験者のデータとした。分析の対象は、1 回の試技動作の 5 秒間とした。下降局面 2 秒間を 1 秒毎に下降前期 (Early descending)、下降後期 (Late descending)、膝関節屈曲 90°で維持する 1 秒間 (以下、Hold とする)、上昇局面 2 秒間を 1 秒毎に上昇前期 (Early ascending)、上昇後期 (Late ascending) と計 5 つの phase に分けた (Figure 2-7)。なお、動作の局面分けは全ての試技で同様に行った。

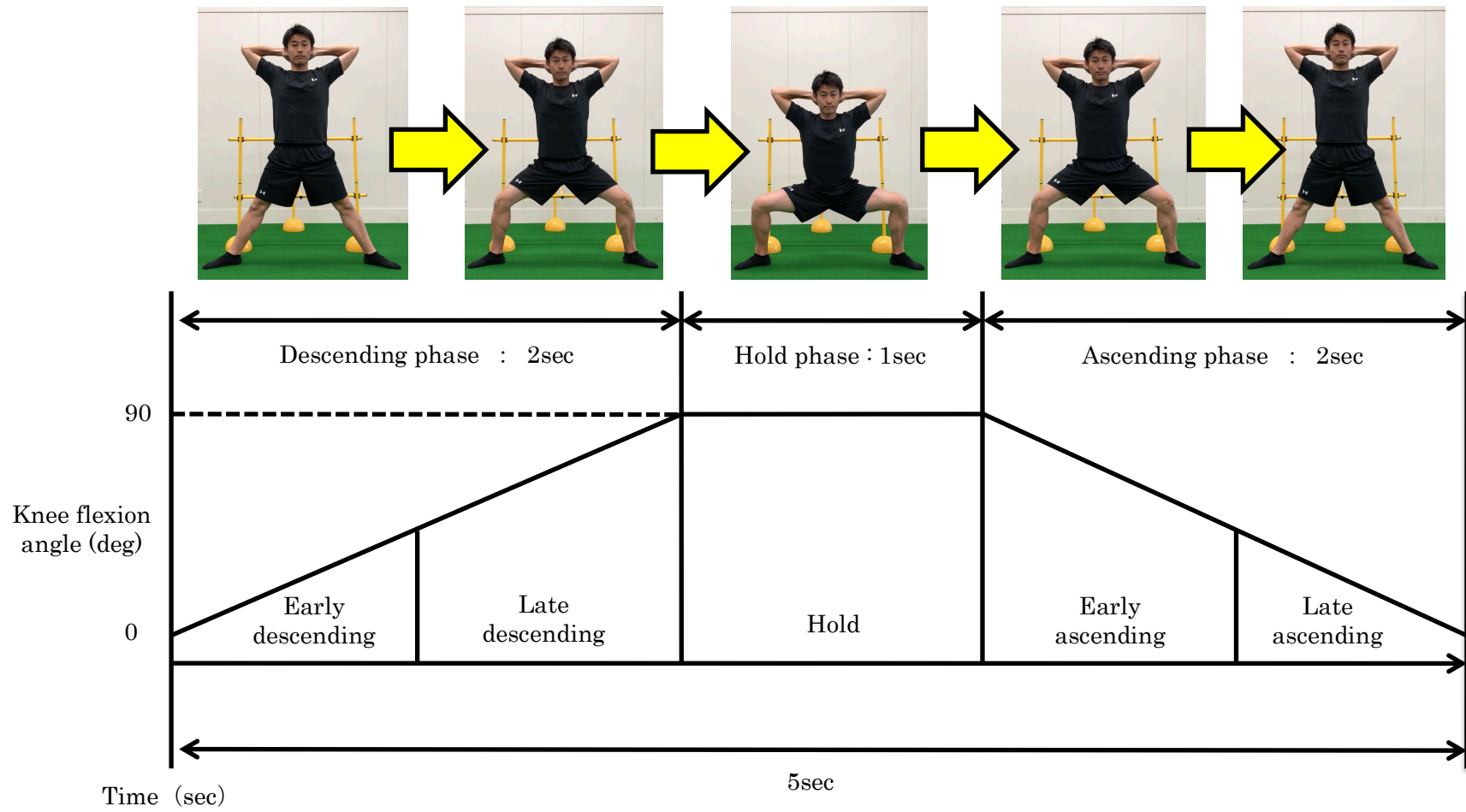


Figure 2-7 Phase setting.

### C. 筋電図の計測

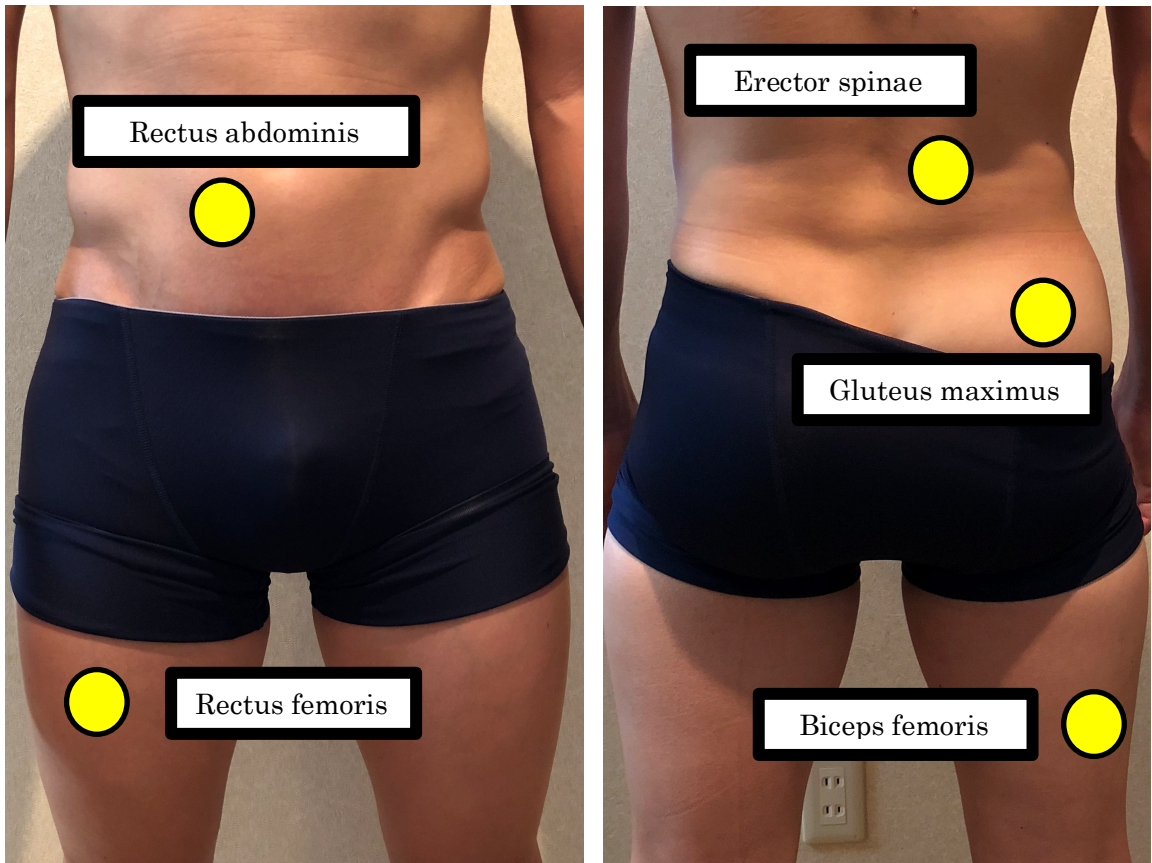
被験筋には、体幹伸展筋として脊柱起立筋 (Erector spinae : 以下, ES), 体幹屈曲筋として腹直筋 (Rectus abdominis : 以下, RA), 膝関節伸展筋として大腿直筋 (Rectus femoris : 以下, RF), 膝関節屈曲筋として大腿二頭筋 (Biceps femoris : 以下, BF), 股関節伸展筋として大殿筋 (Gluteus maximus : 以下, GM), の計 5 筋を選択した (Figure 2-8). 電極の貼付位置は, Basmajian and De Luca (1985) の研究を参考にして, 筋腹中央よりも起始腱または停止腱側にずらして電極を配置した. 筋活動の導出にはディスポ電極 (F-150S, 日本光電社製) を用い, 電極間距離を 1.0cm (大殿筋については 2.0cm) とし, 角質除去を行った皮膚表面に貼付した. 筋電データは, マルチテレメーターシステム (WEB-5000, 日本光電社製) を用いて時定数 0.03sec, 高域遮断周波数 450Hz 以上にて導出し, MP100WS (BIOPAC 社製) を介して, サンプリング周波数 1,000Hz で A/D 変換を行った. 変換後の筋電データはパーソナルコンピュータに取り込み, 解析ソフト (Acqknowledge 3.5, BIOPAC 社製) を通じて画面上にモニタリングした (Figure 2-9).

A/D 変換を行った筋電データは, 3Hz-500Hz のバンドパスフィルターを介してアーチファクトの除去を行った. それぞれの筋の各 phase における筋活動量 (Root Mean Square : 以下, RMS) を算出し, Manual Muscle Testing (MMT : Table 2-1) による 1 秒間の随意等尺性最大収縮時の活動量で相対値化 (%MVC) したものを各被験者のデータとした. これらの方法によって得られた被験者 5 名の各試技における各筋の%MVC の平均値を基に, 試技間の比較を行った.



**Table 2-1 Position and motion in MMT (Manual muscle testing).**

Muscle	Position	Motion
Elector spinae	Abdominal position, Trunk mild extension, Knee extension	Trunk Extention
Rectus abdominis	Supine position, Hip 90° flexion, Knee 90° flexion	Trunk Flexion
Gluteus maximus	Abdominal position, Hip mild extension, Knee 90° flexion	Hip Extension
Rectus femoris	Sitting position, Hip 90° flexion, Knee 45° flexion	Knee Extension
Biceps femoris	Abdominal position, Knee 45° flexion, External rotation of lower leg	Knee Flexion



Front side

Back side

Figure 2-8 Electrodes pasting place.

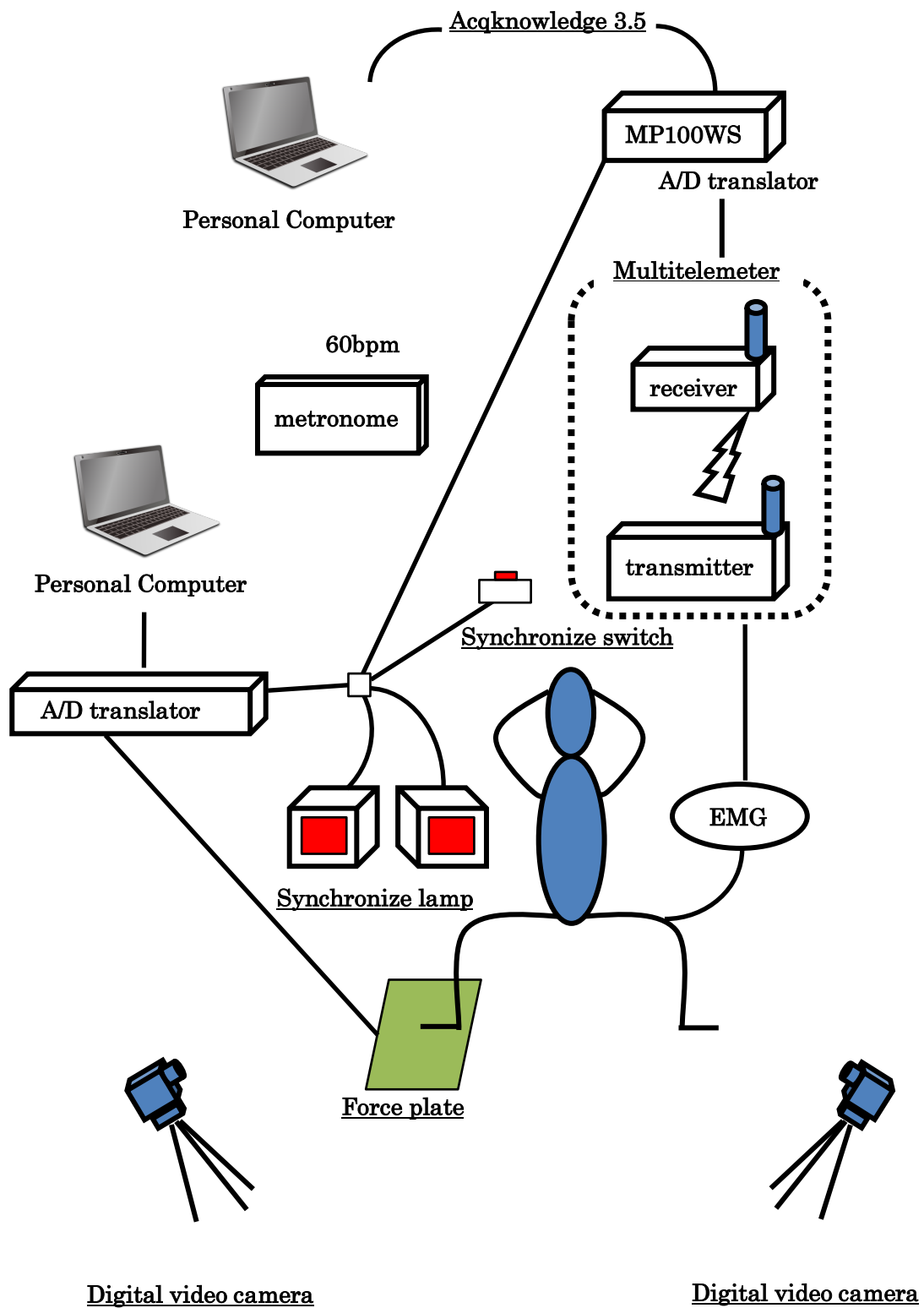


Figure 2-9 Overall experimental chart.

#### D. Kinetics data の測定

試技の撮影には 2 台のデジタル VTR カメラ (SONY 社製) を用い撮影速度毎秒 60 コマ, シャッタースピード 1/1000 秒で撮影した. カメラは被写体の左右斜め前方 15m 地点に設置した (Figure 2-10). 実験にて得られた画像から, 足趾先端, 母趾球, 踵, 足関節中心, 膝関節中心, 股関節中心, 肋骨下端, 肩関節中心, 肘関節中心, 手関節中心, 手, 胸骨上縁, 耳珠点, 頭頂部の計 26 点 (Figure 2-11) の 2 次元座標値を 60Hz で測定した. カメラ 2 台分の 2 次元座標とカメラ定数を用いて Direct linear transformation 法 (DLT 法) により 3 次元座標を構築した. 3 次元座標値については, Wells and Winter (1980) の方法により測定点毎に, 最適遮断周波数 (0.6-6.0Hz) を決定し, Butterworth digital filter を用いて平滑化した. 平滑後の座標値を Body Segment Parameter (阿江, 1996) により各被験者を足部セグメント, 下腿セグメント, 大腿セグメント, 体幹下部セグメント, 体幹上部セグメント, 上腕セグメント, 前腕セグメント, 手部セグメント, 頭部セグメントに分割し, 各セグメントの質量, 慣性モーメント及び重心位置を推定した.

試技中の右足に作用する地面反力を測定するために, 1 台のフォースプラットフォーム (Kistler 社製) を用いた. フォースプレートからの出力信号は専用アンプ (Kistler 社製) を介して A/D 変換し, サンプリング周波数 1000Hz でパーソナルコンピューターに取り込んだ. また, 地面反力データと VTR 画像及び筋電位信号を同期させる為に同期装置 (DKH 社) を画像に映し込み, 同期信号をフォースプレートと筋活動電位測定装置の A/D 変換ボードへ取り込んだ (Figure 2-9).

コンピューターに取り込んだ地面反力データと画像から得られた関節角度, 関節角速度, セグメントの重心位置, 重心加速度, 角速度および慣性モーメントにもとづき, 以下の逆動力学計算によって膝関節の関節トルクを算出した. 算出した関節トルクを, phase 毎に積分することで角力積を算出し, 各被験者のデータとした. これらの方法によって得られた被験者 5 名の各試技における各角力積の平均値を基に, 試技間の比較を行った.

Figure 2-12 は、身体部分のフリーボディーダイアグラムを示したものである。部分  $i$  が近位端において隣接する部分  $i+1$  から受ける関節力  $\mathbf{F}_i$  及び関節トルク  $\mathbf{T}_i$  を、以下の運動方程式を遠位部分から近位へ順次解くことにより算出した。

$$\mathbf{F}_i - \mathbf{F}_{i-1} - m_i \mathbf{g} \mathbf{k} = m_i \mathbf{a}_i$$

$$\mathbf{T}_i - \mathbf{T}_{i-1} + \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i - \mathbf{r}_{i,i-1} \times \mathbf{F}_{i-1} = \dot{\mathbf{H}}_i$$

ここで、 $\mathbf{r}_i$ ,  $\mathbf{r}_{i,i-1}$  は、部分  $i$  の重心から近位端および遠位端へ向かうベクトル、 $\dot{\mathbf{H}}_i$  は部分  $i$  の重心まわりの角運動量の微分である。

足部の  $Z$  軸まわりについては、足部から地面に作用するフリーモーメント  $\mathbf{M}$  をフォースプラットフォームにより測定し、以下の運動方程式を用いた。

$$\mathbf{T}_f + \mathbf{r}_f \times \mathbf{F}_f - \mathbf{r}_{f,g} \times \mathbf{F}_g - \mathbf{M} = \dot{\mathbf{H}}_f$$

ここでの下付き文字の  $f$  は足部、 $g$  は地面を示し、 $\mathbf{F}_f$ ,  $\mathbf{T}_f$  は足部が下腿から受ける関節力及び関節トルクを、 $\mathbf{r}_f$  は足の重心から足関節へ向かうベクトルを、 $\mathbf{F}_g$  は足部から地面に作用する力を、 $\mathbf{r}_{f,g}$  は足の重心から地面反力の作用点へ向かうベクトルをそれぞれ示す。

#### 関節角度定義

- 1) 股関節伸展屈曲角度：股関節伸展方向を正、屈曲方向を負とした。
- 2) 股関節外転内転角度：股関節外転方向を正、内転方向を負とした。
- 3) 股関節外旋内旋角度：股関節外旋方向を正、内旋方向を負とした。
- 4) 膝関節伸展屈曲角度：膝関節伸展方向を正、屈曲方向を負とした。
- 5) 膝関節外反内反角度：膝関節外反方向を正、内反方向を負とした。
- 6) 膝関節外旋内旋角度：膝関節外旋方向を正、内旋方向を負とした。
- 7) 足関節伸展屈曲角度：足関節伸展方向を正、屈曲方向を負とした。
- 8) 足関節外転内転角度：足関節外転方向を正、内転方向を負とした。

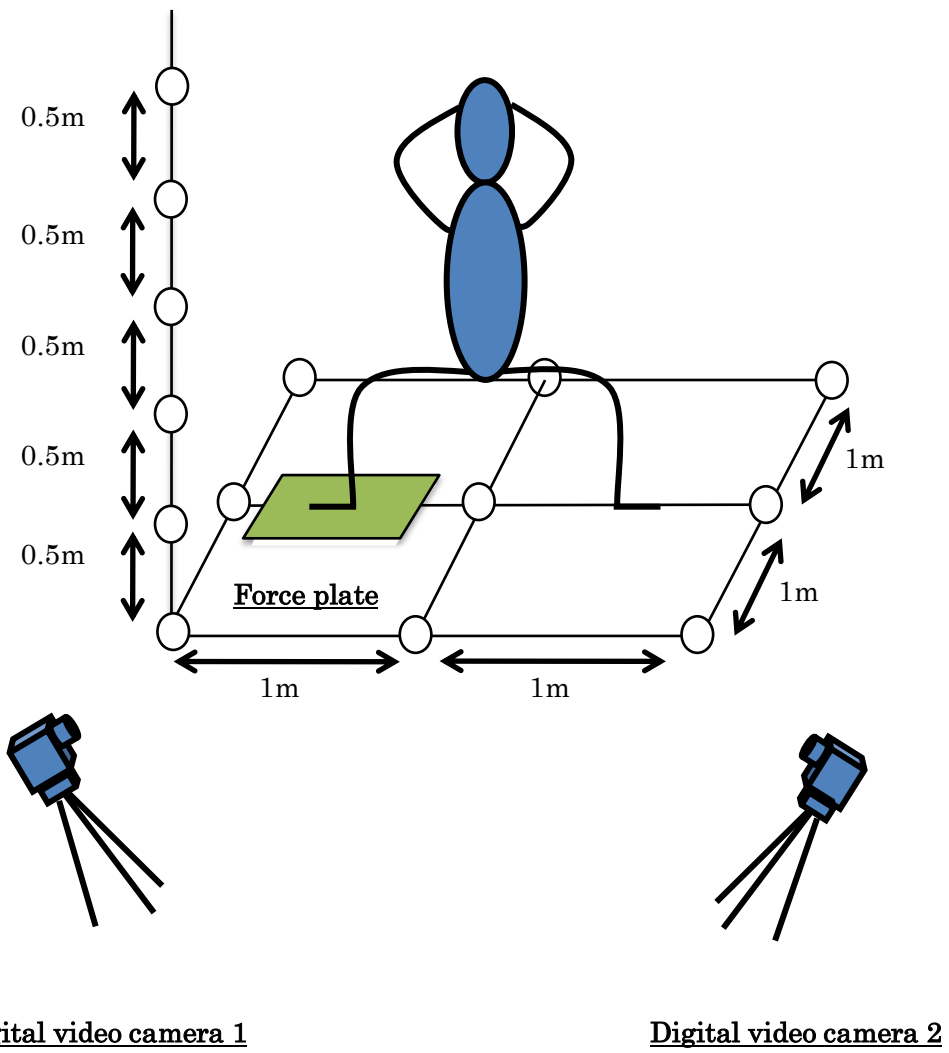
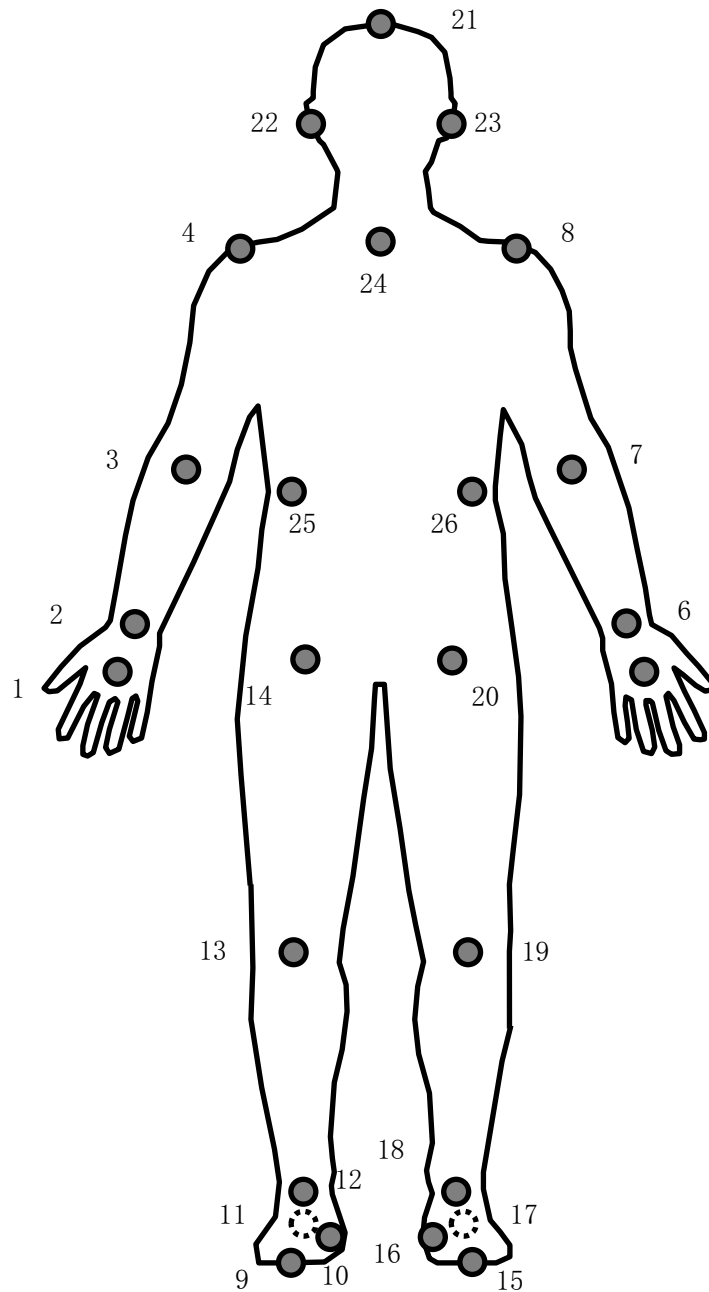


Figure 2-10 Shooting range and rest frame for calibration.



**Figure 2-11 Target point.**

- 1: Right hand; 2: Right wrist; 3: Right elbow; 4: Right shoulder; 5: Left hand;  
 6: Left wrist; 7: Left elbow; 8: Left shoulder; 9: Right toe; 10: Right thenar;  
 11: Right heel; 12: Right ankle; 13: Right knee; 14: Right hip; 15: Left toe;  
 16: Left thenar; 17: Left heel; 18: Left ankle; 19: Left knee; 20: Left hip;  
 21: Top of head; 22: Right tragon; 23: Left tragon; 24: Upper margin of sternum;  
 25: Right costal margin; 26: Left costal margin

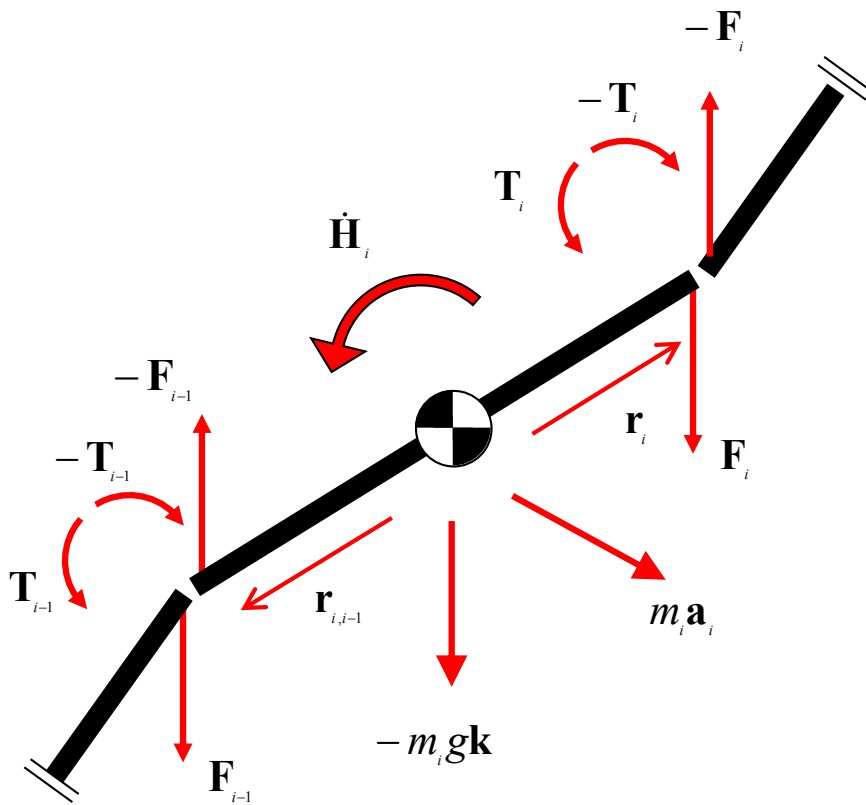


Figure 2-12 Free body diagram.



### 3) 統計処理

実験データは平均値±標準偏差で示し、統計処理は、統計解析ツール SPSS for mac 19 (SPSS, SPSS Inc. Chicago IL, USA) を用いて行った。各 phase における試技間の%MVC, 角力積の比較には一元配置の分散分析を用い、有意性が認められた場合には Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行った。なお、統計処理における有意水準は 5%とした。

### 3. 結果

#### 1) 筋活動量 (各 phase における%MVC の比較)

##### A. 脊柱起立筋 (Figure 2-13)

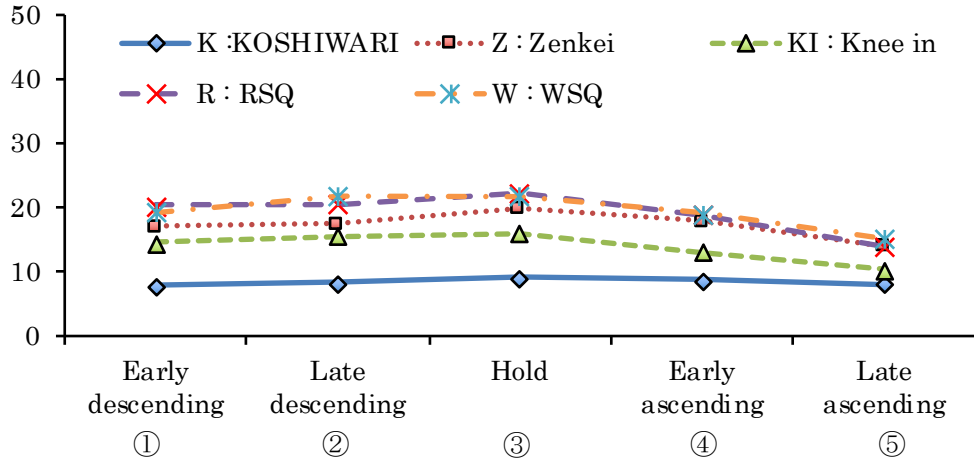
下降前期において、腰割り ( $7.9 \pm 7.3\%$ ) は RSQ ( $20.4 \pm 4.7\%$ ) に比べ有意に低値を示した。

下降後期において、腰割り ( $8.3 \pm 8.2\%$ ) は RSQ ( $20.5 \pm 3.8\%$ ) 及び WSQ ( $21.8 \pm 4.9\%$ ) に比べ有意に低値を示した。

Hold, 上昇前期及び上昇後期においては、試技間で有意差は認められなかった。

I

(%MVC)



II

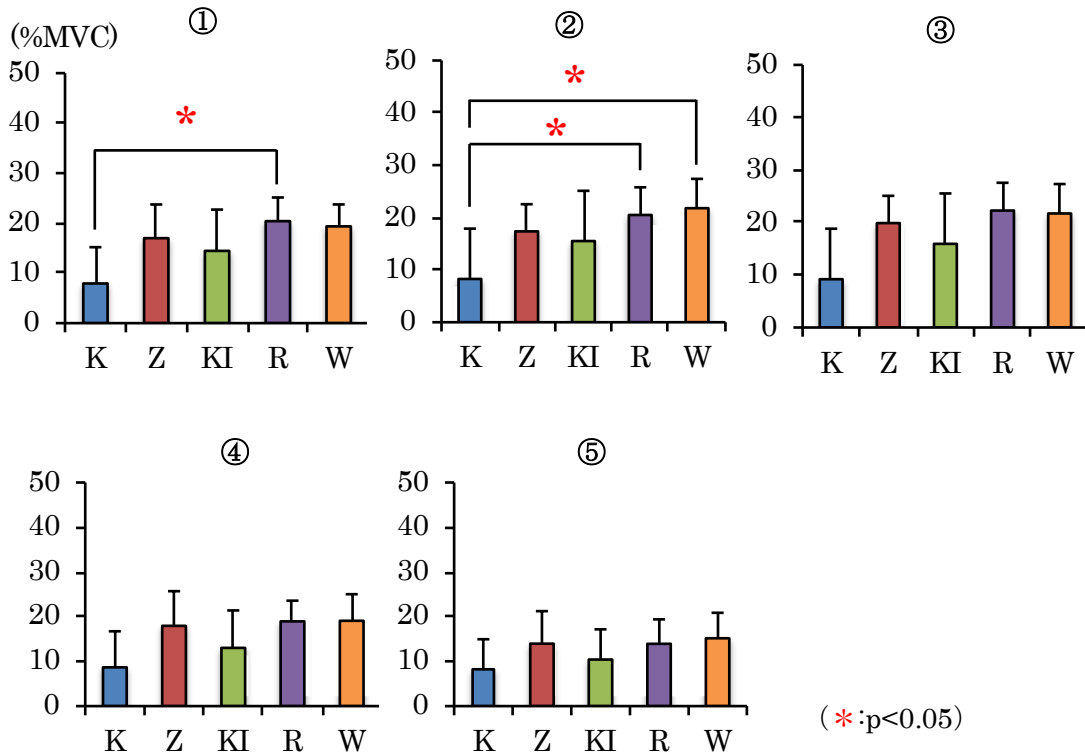


Figure 2-13 Muscle activity of the elector spinae.

I : %MVC (All phases) of erector spinae in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

## B. 大殿筋 (Figure 2-14)

下降後期および Hold において、腰割り ( $13.5 \pm 8.8\%$ ,  $14.1 \pm 8.5\%$ ) は KI 腰割り ( $4.4 \pm 2.9\%$ ,  $3.4 \pm 2.5\%$ ), RSQ ( $3.1 \pm 2.2\%$ ,  $3.3 \pm 2.5\%$ ), WSQ ( $3.2 \pm 2.5\%$ ,  $3.3 \pm 2.5\%$ ) に比べ有意に高値を示した。

下降前期, 上昇前期, 上昇後期においては, 試技間で有意差は認められなかった。

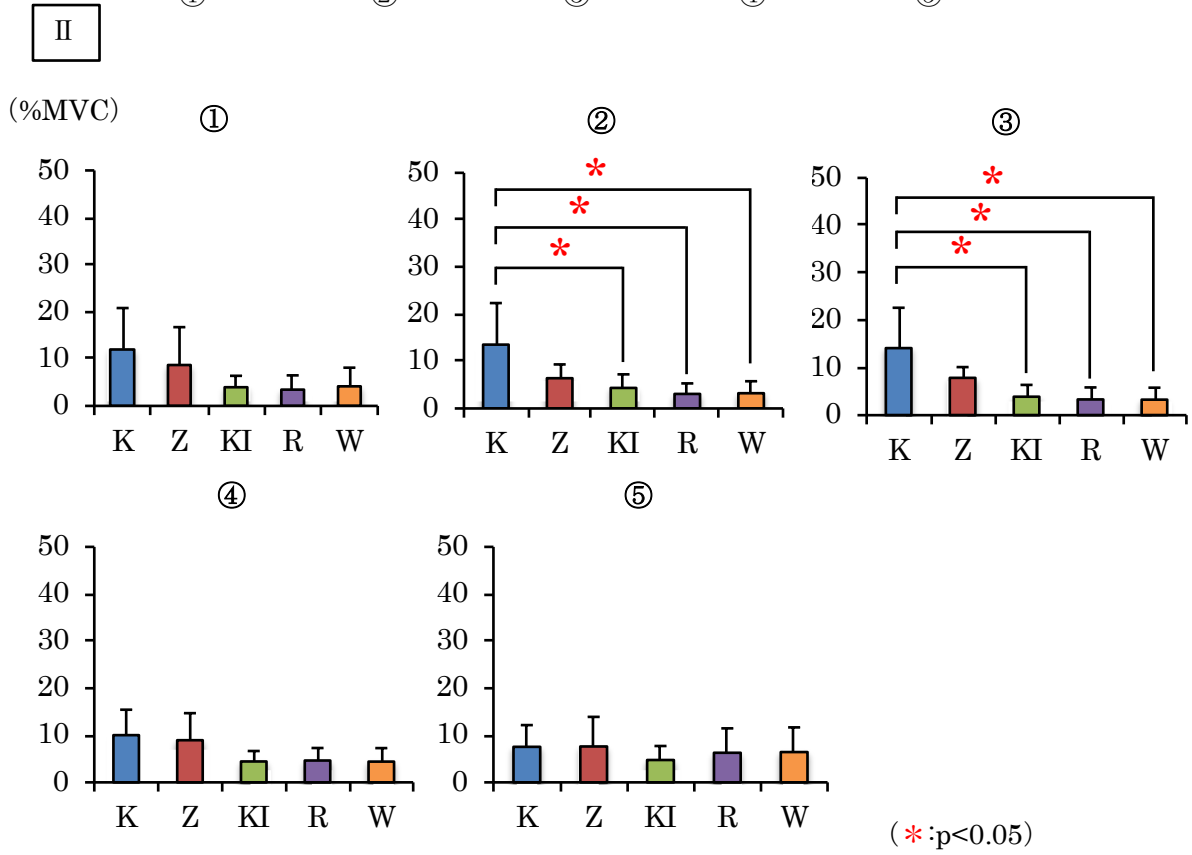
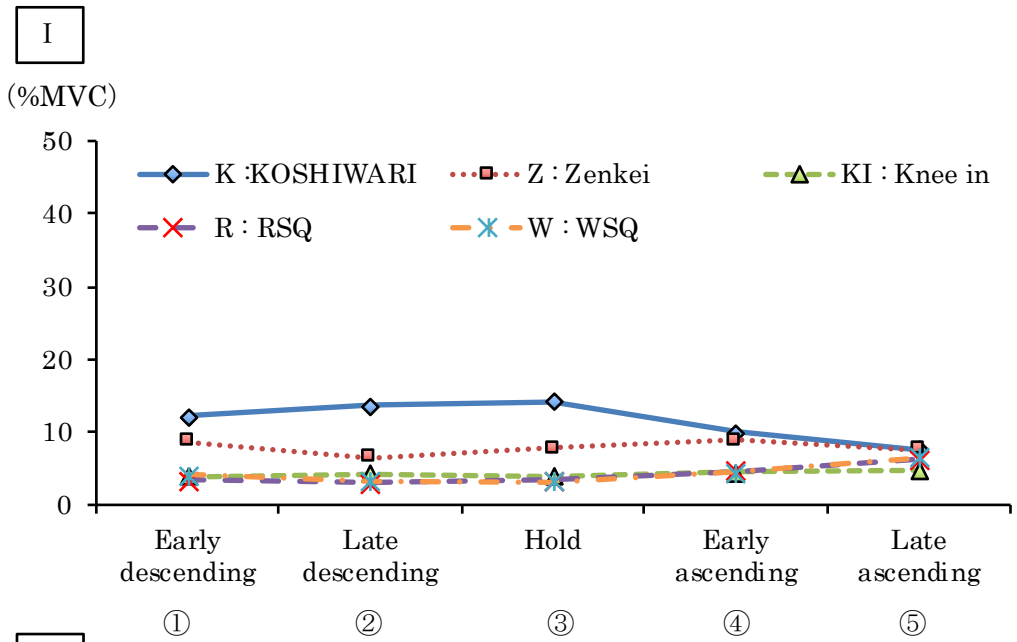


Figure 2-14 Muscle activity of the gluteus maximus.

I : %MVC (All phases) of gluteus maximus in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

### C. 大腿直筋 (Figure 2-15)

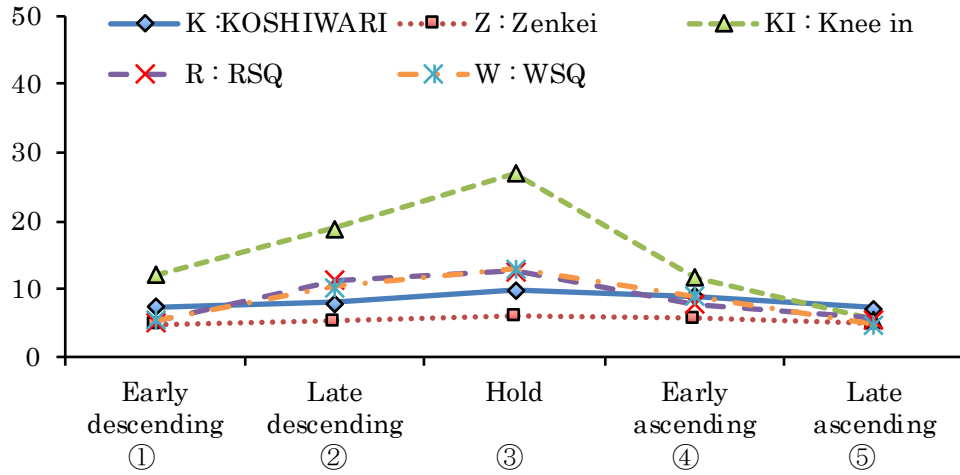
下降前期において、KI 腰割り ( $12.1 \pm 6.1\%$ ) は前傾腰割り ( $4.7 \pm 2.4\%$ ) に比べ有意に高値を示した。

下降後期および Hold において、KI 腰割り ( $18.9 \pm 7.0\%$ ,  $26.9 \pm 16.0\%$ ) は腰割り ( $8.1 \pm 4.6\%$ ,  $9.8 \pm 5.4\%$ ) 及び前傾腰割り ( $5.2 \pm 2.3\%$ ,  $6.0 \pm 2.8\%$ ) に比べ有意に高値を示した。

上昇前期及び上昇後期においては、試技間で有意差は認められなかった。

I

(%MVC)



II

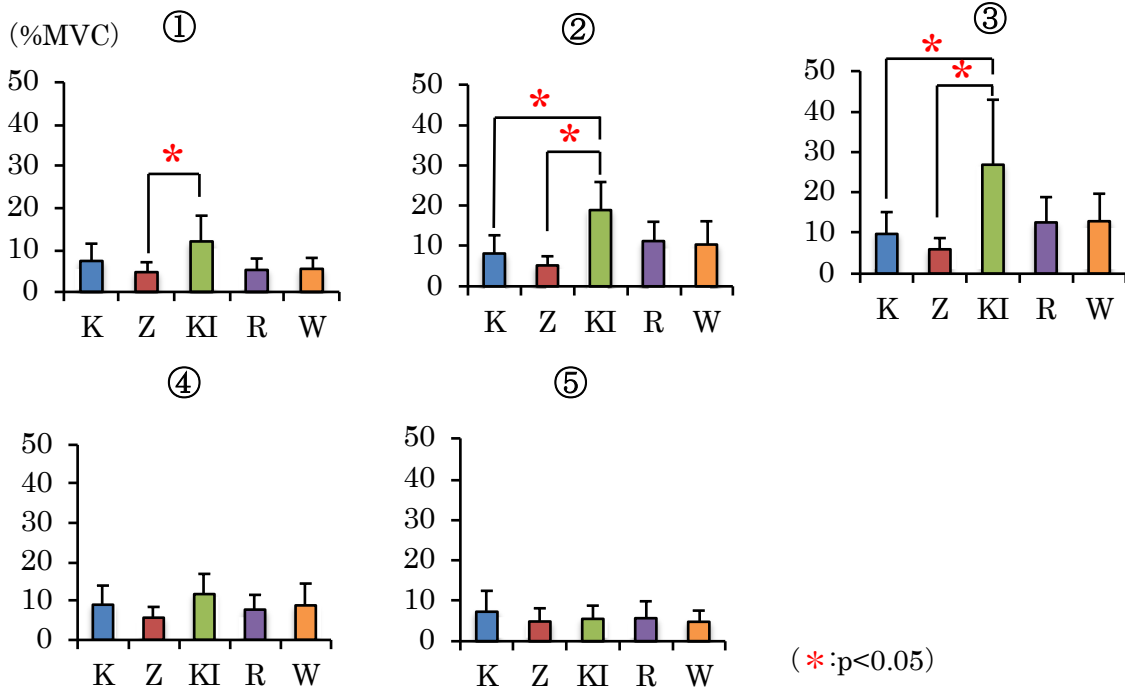


Figure 2-15 Muscle activity of the rectus femoris.

I : %MVC (All phases) of rectus femoris in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

D. 大腿二頭筋 (Figure 2-16)

全ての phase において、試技間で有意差は認められなかった。

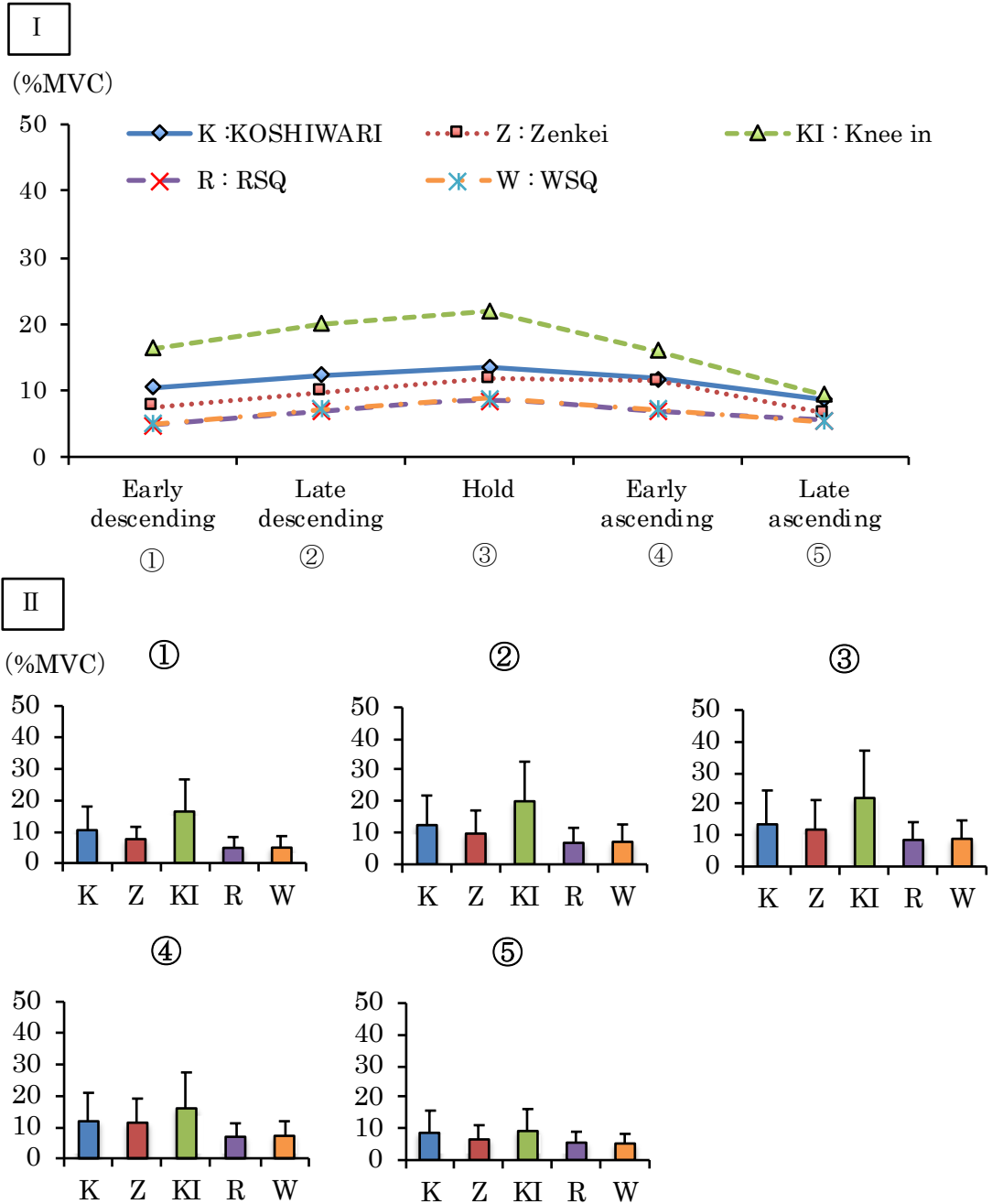


Figure 2-16 Muscle activity of the biceps femoris.

I : %MVC (All phases) of biceps femoris in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.



### E. 腹直筋 (Figure 2-17)

全ての phase において、試技間で有意差は認められなかった。

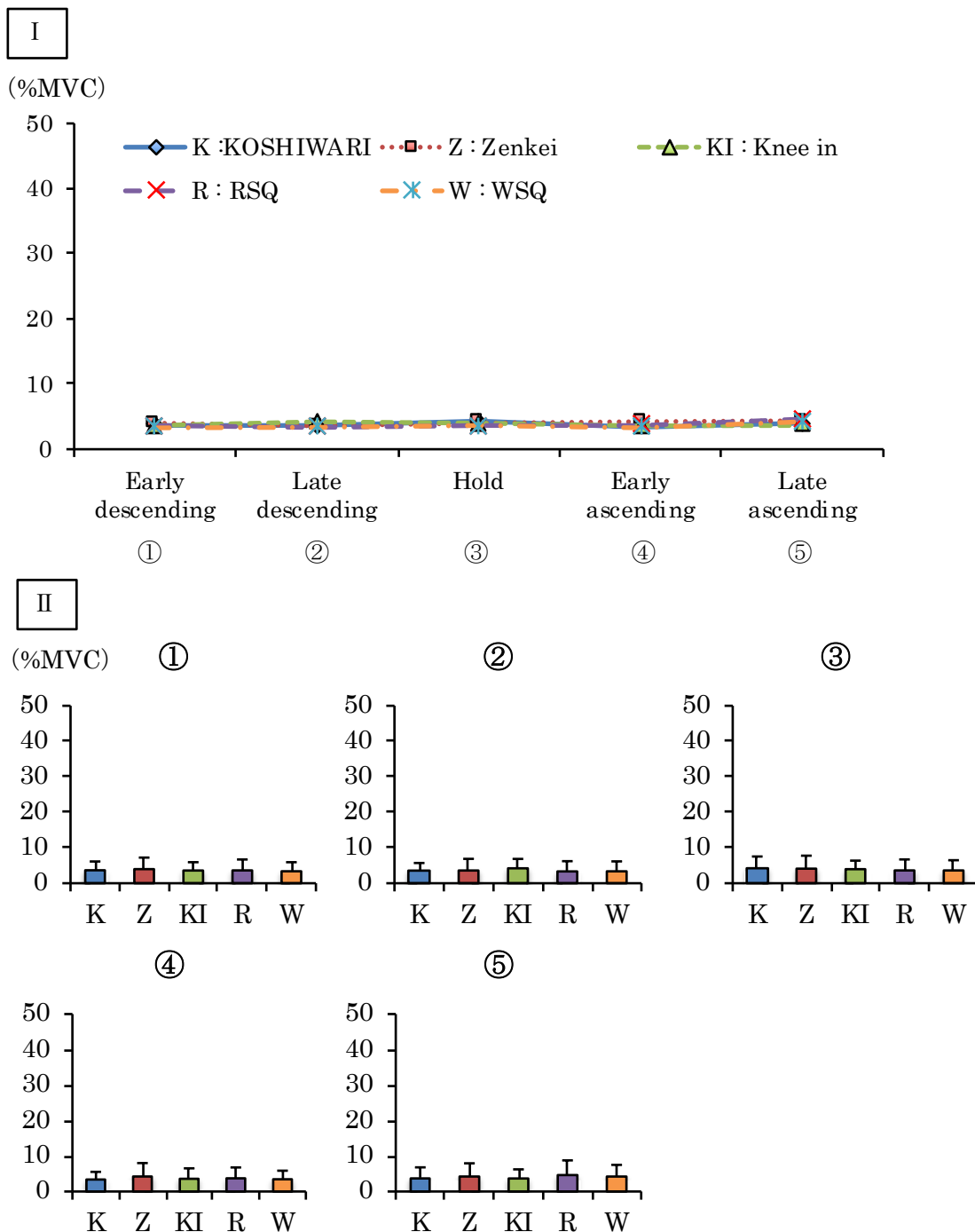


Figure 2-17 Muscle activity of the rectus abdominis.

I : %MVC (All phases) of rectus abdominis in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

## 2) 膝関節の Kinetics パラメーター (各 Phase における角力積の比較)

### A. 膝関節伸展角力積 (Figure 2-18)

下降後期及び Hold において, KI 腰割り ( $12.8 \pm 2.0\text{Nms}$ ,  $14.3 \pm 1.6\text{Nms}$ ) は前傾腰割り ( $7.6 \pm 3.1\text{Nms}$ ,  $7.7 \pm 2.8\text{Nms}$ ) に比べ有意に高値を示した.

Hold において, KI 腰割り ( $14.3 \pm 1.6\text{Nms}$ ) は RSQ ( $9.7 \pm 1.0\text{Nms}$ ) 及び WSQ ( $10.2 \pm 1.1\text{Nms}$ ) に比べ有意に高値を示した.

下降前期, 上昇前期及び上昇後期において, 試技間で有意差は認められなかった.

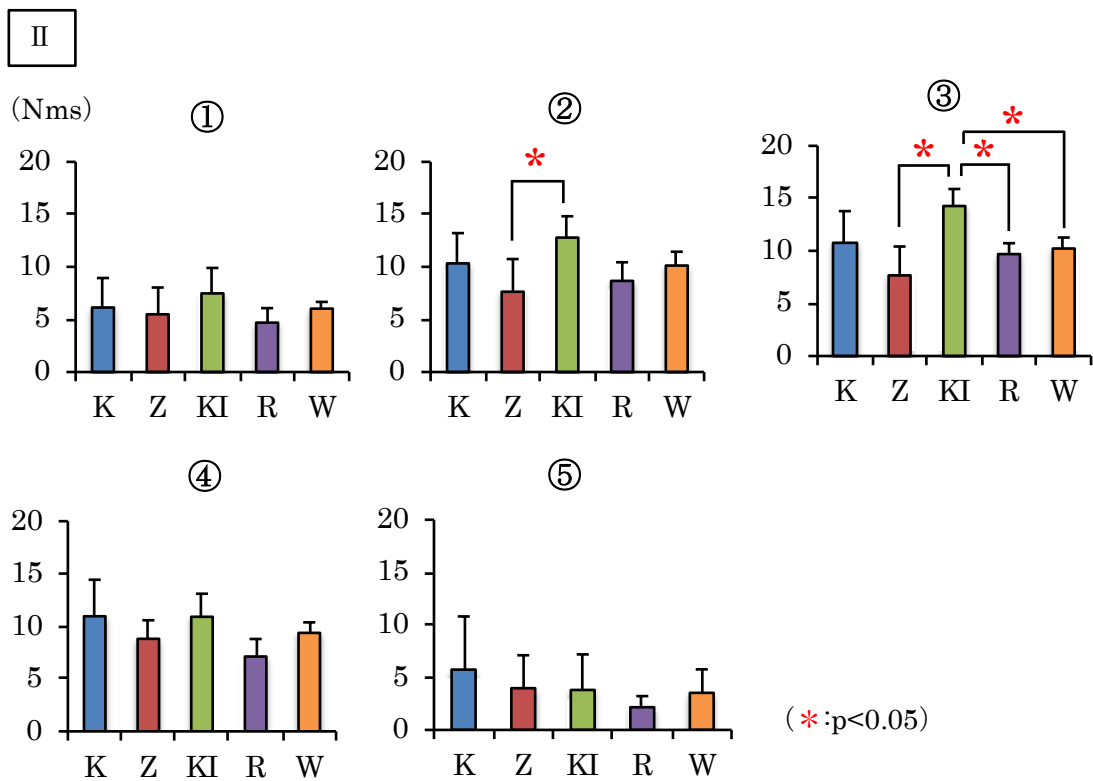
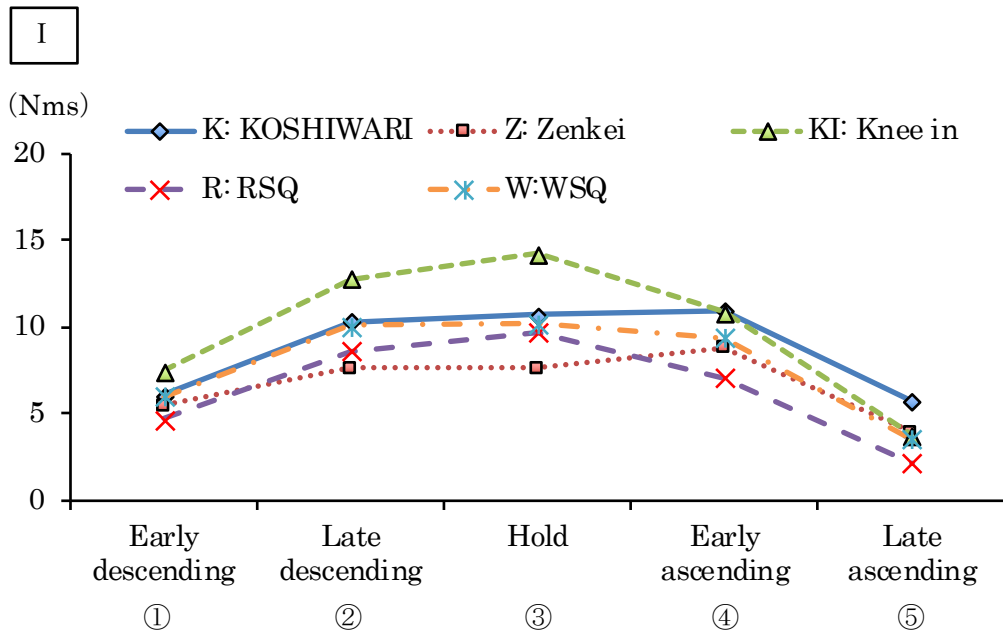


Figure 2-18 Angular impulse of knee extension.

I : Angular impulse (All phases) of knee extension in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

## B. 膝関節屈曲角力積 (Figure 2-19)

全ての phase において、試技間で有意差は認められなかった。

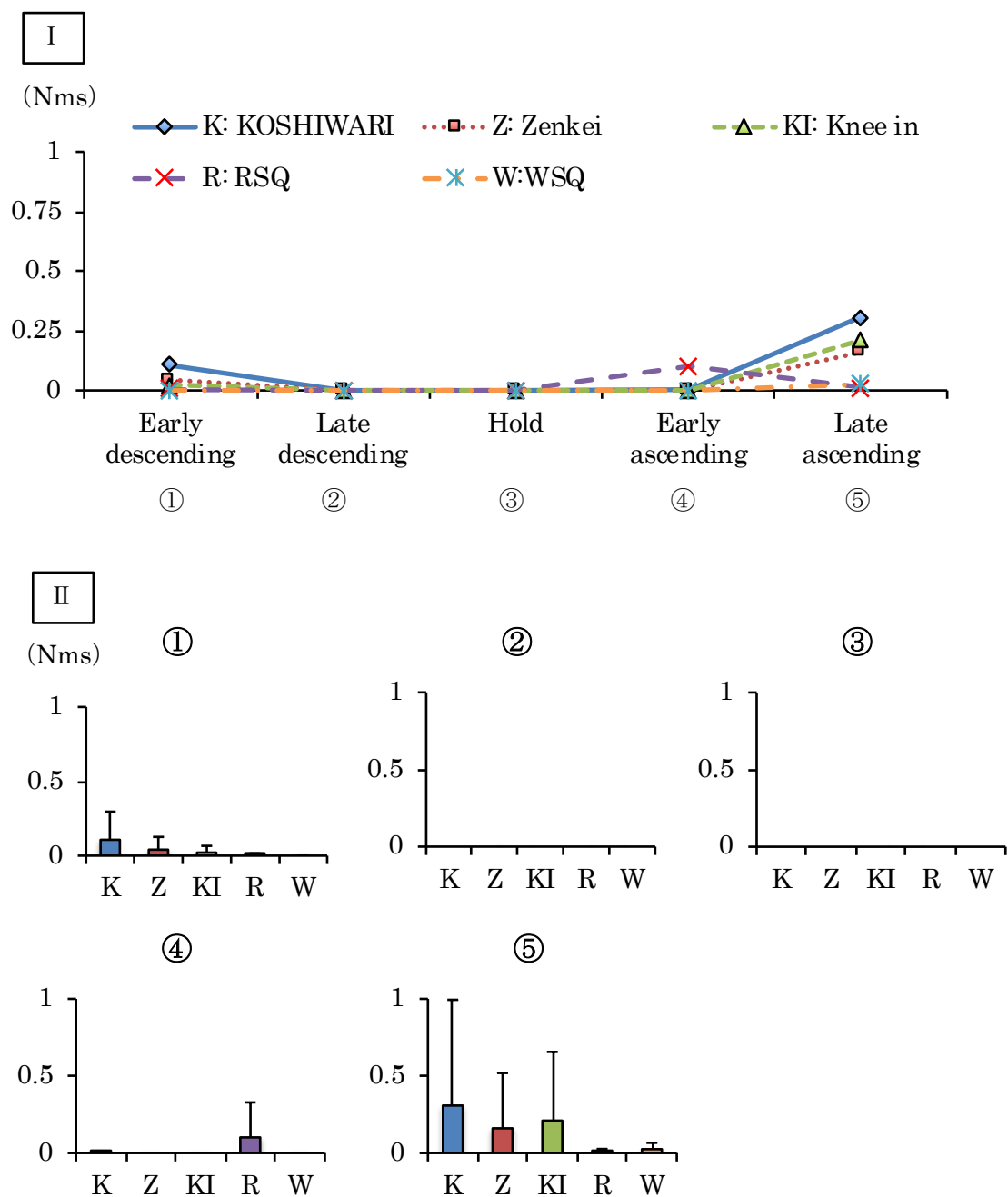


Figure 2-19 Angular impulse of knee flexion.

I : Angular impulse (All phases) of knee flexion in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

C. 膝関節外反角力積 (Figure 2-20)

全ての phase において、試技間で有意差は認められなかった。

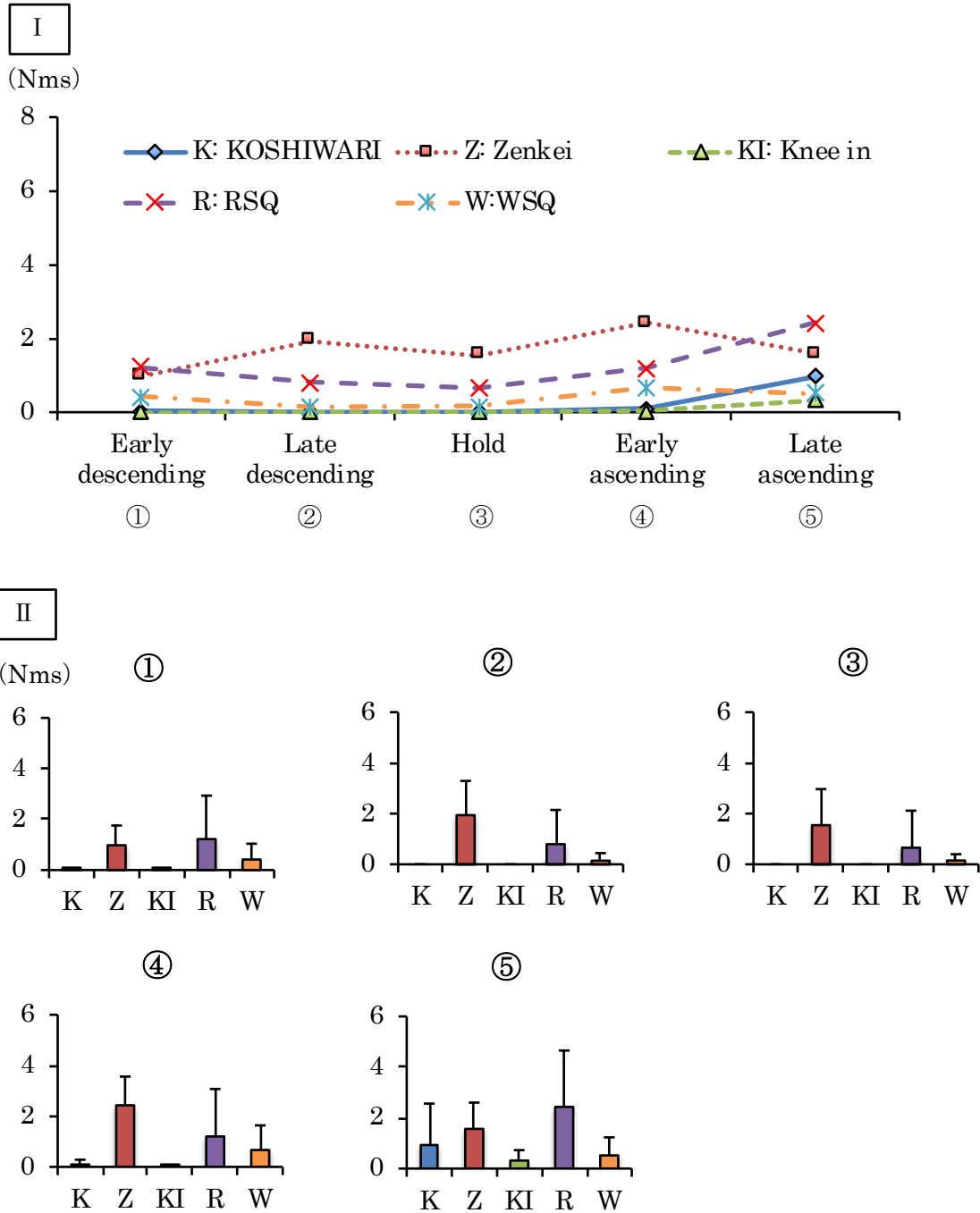


Figure 2-20 Angular impulse of knee eversion.

I : Angular impulse (All phases) of knee eversion in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

#### D. 膝関節内反角力積 (Figure 2-21)

下降前期から Hold までの 3 つの phase において, KI 腰割り ( $2.2 \pm 0.9\text{Nms}$ ,  $3.7 \pm 1.1\text{Nms}$ ,  $3.8 \pm 1.3\text{Nms}$ ) は腰割り ( $0.1 \pm 0.1\text{Nms}$ ,  $0.1 \pm 0.1\text{Nms}$ ,  $0.1 \pm 0.2\text{Nms}$ ) 及び RSQ ( $0.3 \pm 0.5\text{Nms}$ ,  $0.4 \pm 0.6\text{Nms}$ ,  $0.7 \pm 0.8\text{Nms}$ ) に比べ有意に高値を示した.

上昇前期及び上昇後期において, 試技間で有意差は認められなかった.

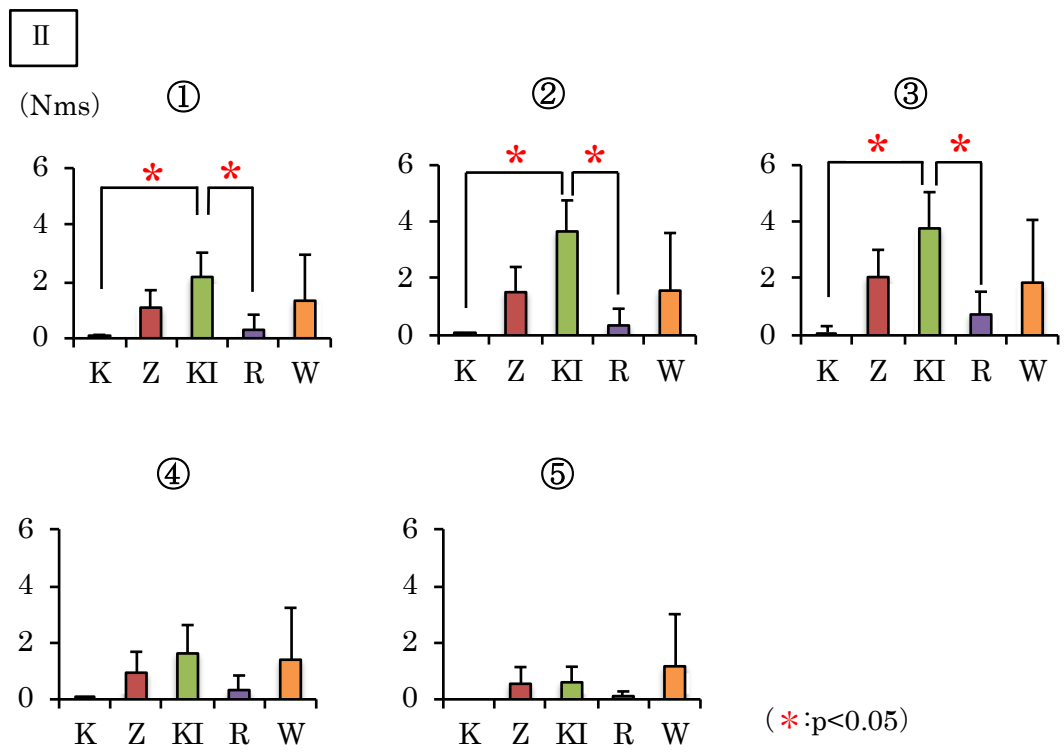
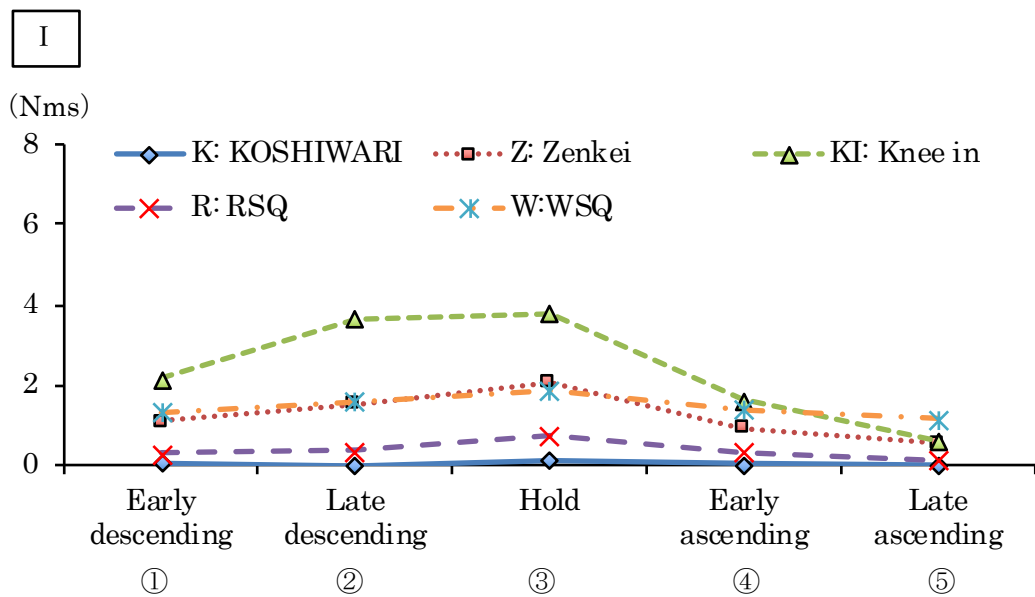


Figure 2-21 Angular impulse of knee inversion.

I : Angular impulse (All phases) of knee inversion in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

#### E. 膝関節外旋角力積 (Figure 2-22)

下降前期, 下降後期及び上昇前期の phase において, 腰割り ( $0.2 \pm 0.3\text{Nms}$ ,  $0.1 \pm 0.2\text{Nms}$ ,  $0.1 \pm 0.2\text{Nms}$ ) 及び KI 腰割り ( $0.1 \pm 0.1\text{Nms}$ ,  $0.2 \pm 0.3\text{Nms}$ ,  $0.1 \pm 0.2\text{Nms}$ ) は WSQ ( $1.1 \pm 0.6\text{Nms}$ ,  $1.3 \pm 0.6$ ,  $1.1 \pm 0.6\text{Nms}$ ) に比べ有意に低値を示した.

下降前期及び下降後期において, 前傾腰割り ( $0.2 \pm 0.2\text{Nms}$ ,  $0.3 \pm 0.4\text{Nms}$ ) は WSQ ( $1.1 \pm 0.6\text{Nms}$ ,  $1.3 \pm 0.6\text{Nms}$ ) に比べ有意に低値を示した.

Hold 及び上昇後期において, 試技間で有意差は認められなかった.



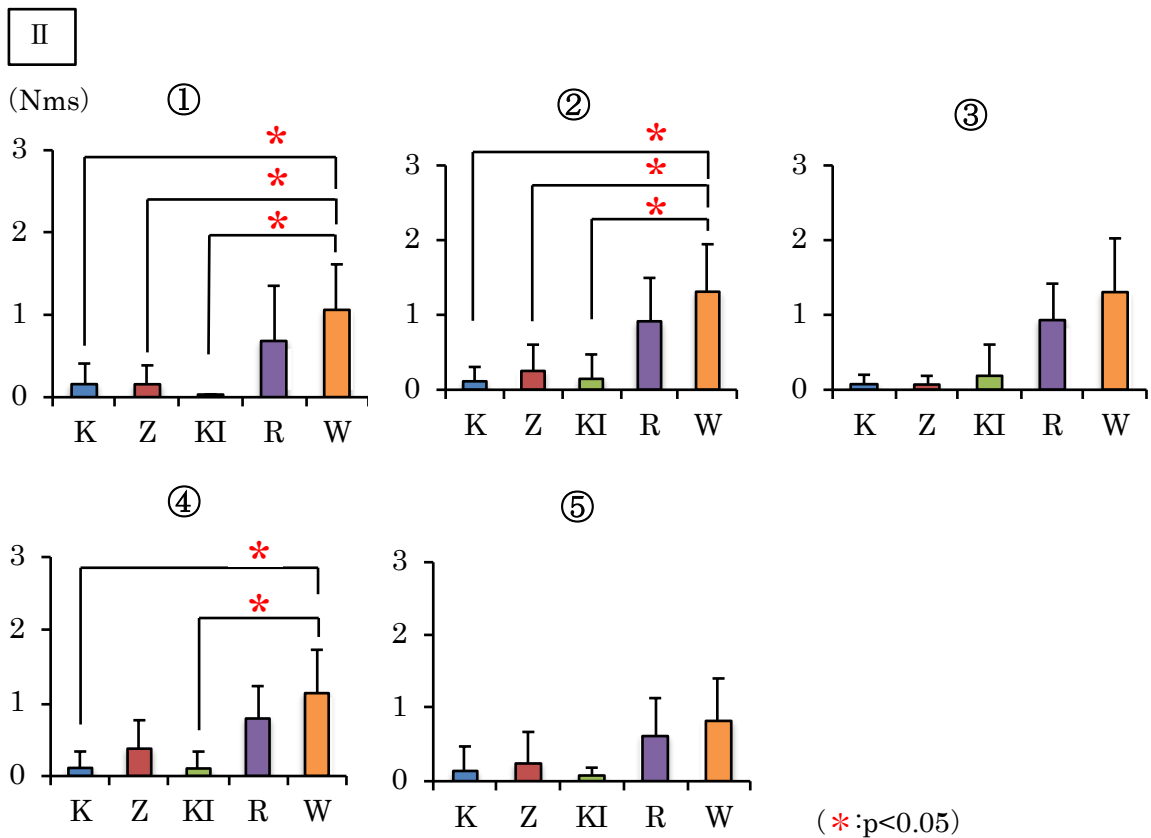
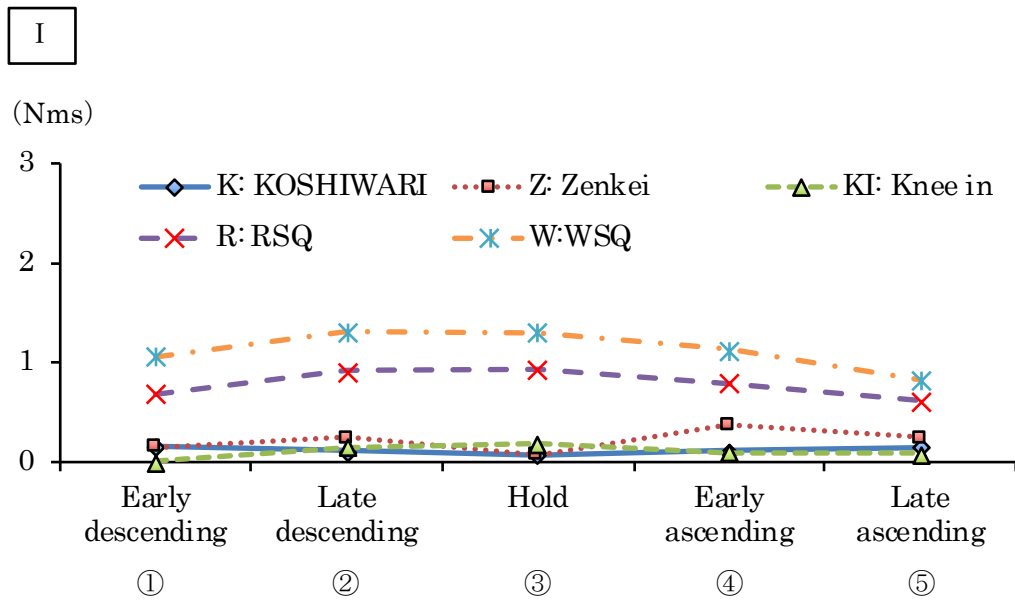


Figure 2-22 Angular impulse of knee external rotation.

I : Angular impulse (All phases) of knee external rotation in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

F. 膝関節内旋角力積 (Figure 2-23)

全ての phase において、試技間で有意差は認められなかった。

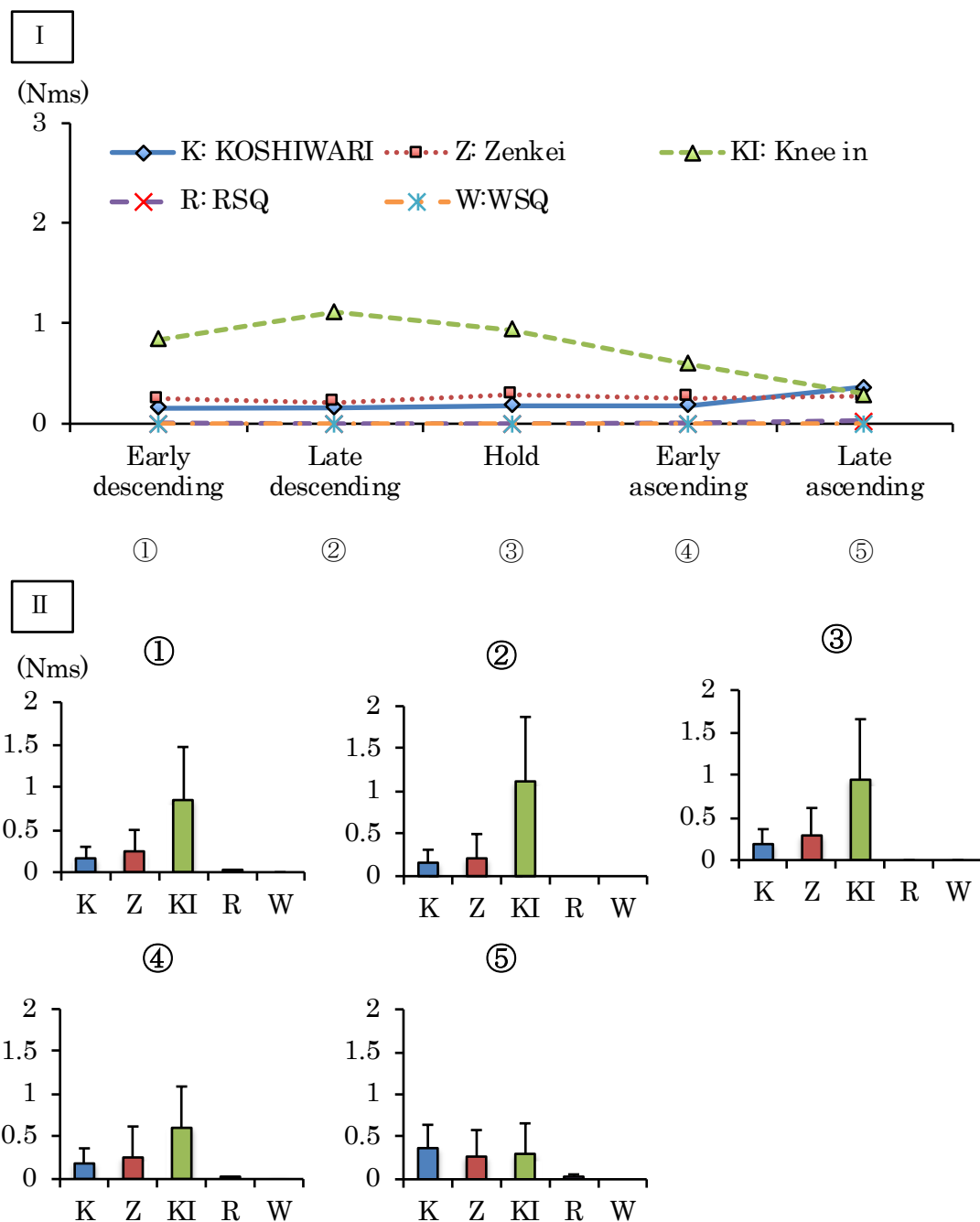


Figure 2-23 Angular impulse of knee internal rotation.

I : Angular impulse (All phases) of knee internal rotation in each exercise.

II : Comparison among exercise for each phase.

## 4. 考察

### A. 筋活動量

脊柱起立筋の筋活動量を局面ごとに比較すると、下降前期および下降後期の局面において腰割りは **RSQ** と比較し有意に低値を示した。また、下降後期の局面において腰割りは **WSQ** に比べ有意に低値を示した。眞鍋ら (2004) は、**SQ** を股関節主導型、膝関節主導型およびノーマル型に分け、筋活動量および関節トルクからそれぞれの **SQ** における運動学的特徴の違いについて検討しており、股関節主導型の **SQ** は体幹部の前傾角度が他の試技に比べ大きいことから、体幹の前傾姿勢保持を目的として脊柱起立筋の筋活動量が増加したと報告している。本研究においても、**RSQ** および **WSQ** は最下降位にて体幹を地面に対し 45 度前傾した姿勢を取っているのに対し、腰割りは体幹部を可能な範囲で地面に対し垂直位を保つように指示している。以上のことから、腰割りにおいて脊柱起立筋の筋活動量が **SQ** よりも低値を示したのは、**SQ** 動作中における体幹部の前傾姿勢保持が影響していると考えられる。

大殿筋の筋活動量を局面ごとに比較すると、下降後期および **Hold** の局面において腰割りは **KI** 腰割り、**RSQ** および **WSQ** に比べ有意に高値を示した。大殿筋は、股関節後面表層に存在する殿筋群の中で最も大きい筋であり、主な作用は股関節伸展運動および股関節外旋運動である。Paoli et al. (2009) は、**SQ** のスタンス幅を肩幅、肩幅の 150% および肩幅の 200% の 3 群に分け、それぞれの動作時における筋活動量から、**SQ** 時におけるスタンス幅を変化させた際の筋活動量の特徴の違いについて検討しており、肩幅の 200% の **SQ** にて大殿筋の筋活動量が増加したと述べている。また、McCAW et al. (1999) も Paoli et al. と同様に、**SQ** においてスタンス幅を広げることにより大殿筋の筋活動量が増加することを報告しており、大殿筋の筋作用が股関節伸展方向に付け加え股関節外旋方向へ働いたことが影響していると述べている。ゆえに本研究において、股関節を外旋位に保持しない **KI** 腰割りに比べ、股関節を外旋位に保持する通常の腰割りの大殿筋活動量が高値を示したことは、

McCAW et al.の考察を支持していると考えられる。これらのことは、SQのような立位で行うCKC-Exにおいて、スタンス幅を広げることが大殿筋の筋活動量を増加させる上で重要な要素であることを示唆している。以上のことから、腰割りにおいて大殿筋の筋活動がRSQ、WSQおよびKI腰割りよりも高値を示したのは、広いスタンスで股関節最大外旋位を保持した動作であることが影響していると考えられる。

## B. 膝関節の Kinetics パラメーター

膝関節内反角力積を比較すると、下降前期、下降後期およびHoldの局面においてKI腰割りは腰割りおよびRSQに比べ有意に高値を示した。膝関節内反角力積は、膝関節内反トルクの積分値であり前額面において下腿セグメントが内反方向に回転しようとする力を示している。KI腰割りは、股関節および膝関節屈曲伸展運動時にKnee in姿勢をとる動作であり、前額面から見て膝関節外反位の姿勢を呈している。膝関節外反位での膝関節屈曲伸展動作において、膝関節内反トルクを発揮することで生理的範囲を逸脱した膝関節外反運動を制御していると考えられるが、膝関節内反方向に作用する筋肉は存在しないため、膝関節外反方向への制動組織（内側側副靭帯や膝蓋支帯内側線維など）による制御が膝関節内反トルクを発揮していると考えられる。以上のことから、KI腰割りを繰り返すことにより、膝関節外反制動組織に対しストレスを与える可能性があると考えられる。

膝関節外旋角力積を比較すると、下降前期、下降後期および上昇前期の局面において腰割りおよびKI腰割りはWSQに比べ有意に低値を示した。膝関節外旋角力積は、膝関節外旋トルクの積分値であり水平面において下腿セグメントが外旋方向に回転しようとする力を示している。膝関節外旋に作用する筋は大腿二頭筋であるが、本研究ではWSQにおいて膝関節外旋トルクが高値を示したにもかかわらず、WSQにおける大腿二頭筋の筋活動量は腰割りおよびKI腰割りよりも低値を示した。このことから、WSQにおける膝関節外旋トルクは筋の作用によるものとは考えにくい。なお、膝関節は矢状面の運動である屈曲伸展運動

を主とし、膝屈曲位では水平面の運動である内旋および外旋の運動が可能である (Donald, 2005; Kapandji, 1992). 膝関節を構成する大腿骨および脛骨は骨格的に特徴があり (Michael et al., 2008), 近位の大腿骨頸軸と遠位の顆軸 (外側顆および内側顆を結ぶ線) で 12 度の捻転角を作ることにより、股関節中間位では膝蓋骨はやや内側を向く. また、脛骨上部と脛骨下部の横断軸を重ねると約 23 度の角度を作ることにより、脛骨上部が前方を向く際には足趾は外側を向く. 以上のことから、一般的に大腿骨および脛骨は骨幹部で構造的回旋が見られ、大腿骨は内方に捻転しており、脛骨は外方に捻転していることが明らかになっている. この様な構造的特徴を考慮すると、SQ の様に足部を地面に固定した状態で膝関節の屈曲伸展動作を行った場合、足尖の向く方向に対して膝部は内方を向くと考えられる (Sahrmann, 2007). しかし、本研究における WSQ は動作中に足尖と膝部の方向を揃えることを指示しているため、脛骨の構造的捻転が膝関節の屈曲伸展運動に影響し、膝関節外旋方向へ回転する力が発生したと考えられる. 一方で、腰割りについては股関節および膝関節の運動が行える範囲で最大限に足尖を外側へ向け (股関節を外旋させ) 足尖と膝部の方向を揃える様に指示していたものの、足尖および膝部が視野外であるため、WSQ に比べそれぞれの方向を揃えることが困難であると考えられる. そのため、足尖の向く方向に対して膝部の方向が若干内側を向いていた可能性があることから、腰割りは膝関節外旋角力積が WSQ に比べ低値を示したものと考えられる.

### C. トレーニングおよびリハビリテーションへの応用について

本研究により腰割りは大殿筋の筋活動量が SQ に比べ大きく、脊柱起立筋の活動量が SQ に比べ小さいことが明らかとなった. 体幹を前傾させて行う SQ は、体幹を垂直位に保って行う腰割りよりも体幹の前傾姿勢保持を目的として体幹伸展筋の活動量が増える. 腰痛に関する先行研究によると、腰痛既往者は非腰痛者に比べ体幹ローカル筋である多裂筋などの筋萎縮が認められると報告されている (Lee et al., 2006). 体幹ローカル筋の萎縮により

分節的な筋の筋活動量が低い状態で、脊柱のグローバル筋である脊柱起立筋などの筋活動量が高くなると、動作中に腰椎の安定性は低下し、椎間関節に発生する Shear force や Compression force の増大につながり、椎間関節性の腰痛や筋・筋膜性腰痛の原因になる可能性があると考えられる (Imai et al, 2010). 腰割りは体幹を垂直位に近い状態で行うため、SQ よりも体幹の前傾姿勢保持を目的とした体幹伸展筋の活動量は小さくなる。また、大殿筋の活動量も大きいことから、腰背筋膜の張力が向上すると考えられ (Michael et al., 2008), 動作中の腰部および骨盤帯の安定性は向上すると考えられる。これらのことから、腰部に外傷や障害の既往を持つ者を対象に大殿筋の筋力向上をエクササイズの目的とした場合、腰割りは SQ に比べ有効であると考えられることができる。

## 5. 結論

本研究は、腰割りの筋活動動態および膝関節における運動学的特徴を明らかにすることを目的として、腰割り、不適切なフォームで行う腰割りおよびSQにおける筋活動量、膝関節のKineticsパラメーターを比較・検討した。結果は以下の通りである。

1. 脊柱起立筋の筋活動量においては、下降前期で、腰割りはRSQに比べ有意に低値を示した。また、下降後期では、腰割りはRSQおよびWSQに比べ有意に低値を示した。
2. 大殿筋の筋活動量においては、下降後期およびHoldで、腰割りはKI腰割り、RSQ、WSQに比べ有意に高値を示した。
3. 膝関節外旋角力積においては、下降前期、下降後期及び上昇前期で、腰割りおよびKI腰割りはWSQに比べ有意に低値を示した。
4. 膝関節内反角力積においては、下降前期、下降後期およびHoldで、腰割りはKI腰割りに比べ有意に低値を示した。

## 研究課題 1-2. 腰割りにおける股関節の Kinematics および Kinetics 分析

### 1. 背景・目的

腰割りは、股関節周囲筋を対象とした筋力、柔軟性向上エクササイズである。研究課題 1-1 にて腰割りは脊柱起立筋の筋活動量が SQ に比べ小さく、大殿筋の筋活動量は大きいことが明らかとなった。表面筋電計によって測定される筋活動量は、筋肉の張力を表すものではなく収縮要素の活動状態を示すものである。そのため、筋放電量-力関係は単純な直線関係にはならず、同じ張力を発揮していても様々な要因により筋活動量は異なることがある(木塚ら, 2008)。これらのことから、エクササイズにおける運動学的特徴を明らかにするためには、筋活動量だけでなく各関節がどの方向にどの程度のトルクを発揮しているかを明らかにすることが必要である。研究課題 1-1 では、エクササイズにおける膝関節への負荷に関して検討することを目的としたため、膝関節の Kinetics パラメーターのみを分析対象とした。腰割りは股関節周囲筋に対するエクササイズでもあるため、股関節周囲筋の筋活動量の分析とともに、股関節に対してバイオメカニクスのパラメーターを用いた詳細な検討をする必要がある。

下肢の筋力向上エクササイズとして代表的な SQ は、股関節および膝関節の屈曲伸展を主とした矢状面上の動きが特徴である。一方腰割りは、SQ よりも股関節の外転、外旋位を強調した動作であるため、股関節の Kinematics および Kinetics パラメーターも SQ とは異なった特徴が存在すると考えられる。研究課題 1-1 でも述べたように、SQ を中心とした CKC-Ex における Kinematics および Kinetics パラメーターを用いた分析は、矢状面上での 2 次元分析が多く、前額面上の外転内転方向および水平面の外旋内旋方向を含めた 3 次元分析の報告は少ない。そこで研究課題 1-2 では、腰割りにおける股関節の運動学的特徴を明らかにすることを目的とし、腰割りと SQ を股関節の Kinematics および Kinetics パラメーターを用いて 3 次元で比較・検討することとした。



## 2. 研究方法

### 1) 対象

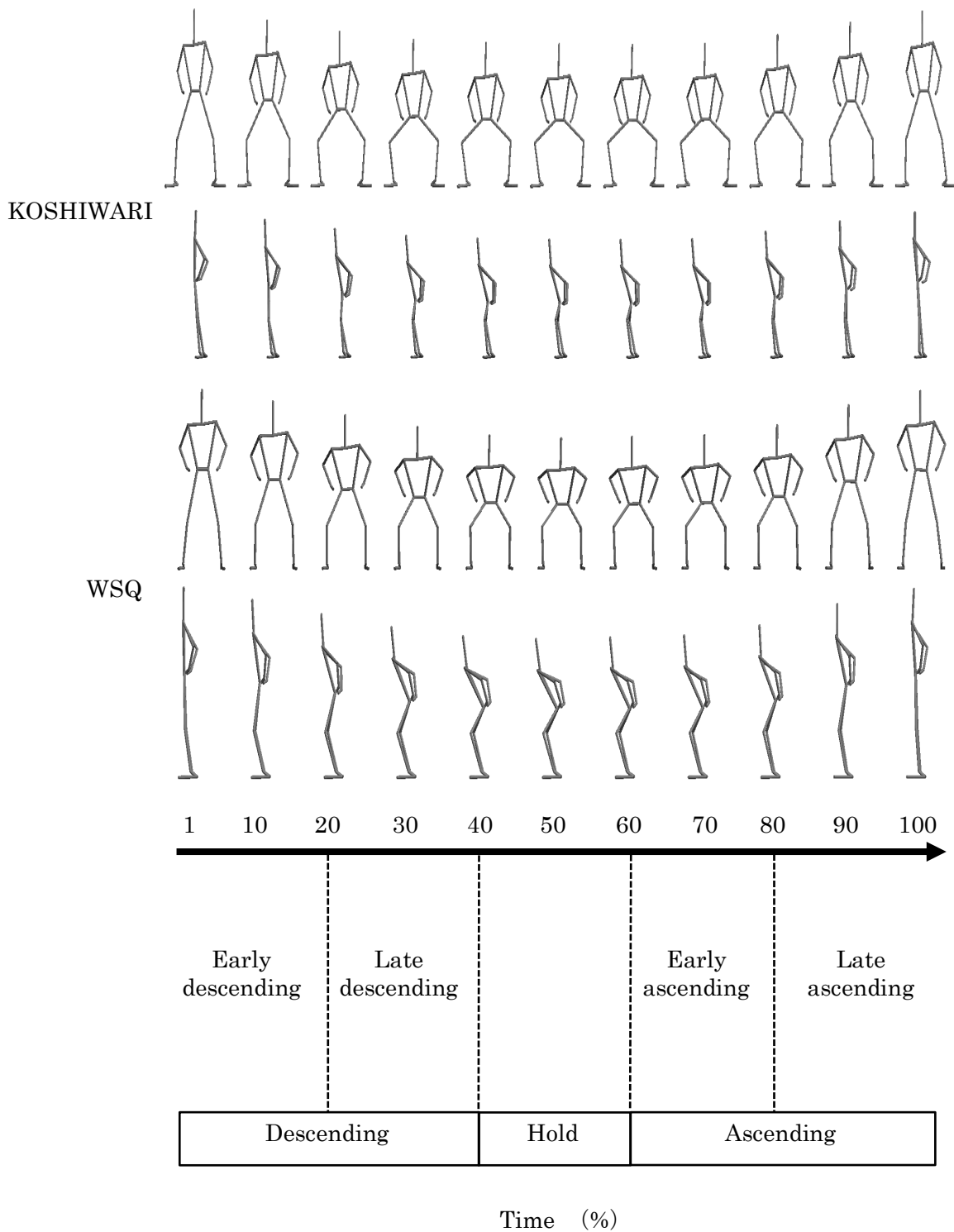
一般健常男性 11 名を対象として行った。対象者の年齢，身長，体重の平均値および標準偏差は，それぞれ  $20.2 \pm 0.6$  歳， $172.1 \pm 2.5$  cm， $64.3 \pm 4.0$ kg であった。また，利き足はボールを蹴る足と定義し，全ての対象者の利き足は右脚であった。なお，対象者は過去 1 年以内に下肢に外傷・障害を発生しておらず，現在疼痛や違和感などの訴えがないものとした。対象者には事前に本研究の目的および方法，実験により起こりうる危険性に関して十分な説明を行い，本人の同意を得て実施した。なお，本研究は筑波大学研究倫理委員会の承認を得ている。承認番号（体 26-70）

### 2) 測定項目および測定方法

#### A. 実験試技

実験試技は，研究課題 1-1 にて実施した腰割りと WSQ の計 2 種類を採用した。腰割りは，栖原ら（2014）の方法に準じ，スタンス幅は膝関節 90 度屈曲位まで下降した際に大腿部の下面が床と平行となる任意のスタンスで行い，足趾の方向（股関節外旋角度）は，上記の動作が正確に行える各被験者の最大角度とした。また，股関節最大外旋位を保持した状態で，体幹・下腿を出来るだけ垂直に維持し，膝部と足尖の向きを揃え股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示した。WSQ は，McCAW et al.（1999）の方法に準じ，スタンスは肩幅の 140%とし，足趾の方向は 15 度外方（股関節 15 度外旋位）とした。また，足趾の方向と膝部の方向を揃え体幹の前傾角度は地面に対し 45 度前傾し，矢状面上から見て膝部が足趾より前方へ出ないように，股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示した。なお，各試技とも左右の手の位置は骨盤とし，胸を張った状態で後頭部と仙骨を結ぶラインが可能な限り直線になるように指示をした（Figure 2-24）。

各試技とも負荷は自重とし，両脚をそれぞれフォースプレートの上に乗せた状態で行った．各被験者の後方に動作を規定する装置を設置し，最下降位にて膝関節屈曲角度が 90 度となるようにバーの高さを調節し，殿部がバーに触れるまで股関節および膝関節を屈曲する様に指示することで動作角度を規定した．各動作は，60 bpm に設定した電子メトロノームに合わせて，1 動作が下降局面 2 秒，最下点で 1 秒保持，上昇局面 2 秒の計 5 秒となるように設定した．測定は，各試技とも 1 秒の休止をはさんだ連続 3 回を実施した．なお，各被験者には各動作を一定の速度で正確に行えるよう，事前に 2 週間の練習を行った上で測定を実施した．



**Figure 2-24 Temporal sequence in a KOSHIWARI (Sumo Squat) exercise and Squat exercise with wide stance (WSQ) .**

## B. 動作の局面分け

各試技における 3 回分の試技動作から、運動速度、動作角度がより一定であるものを選択し、各被験者のデータとした。分析の対象は、1 回の試技動作の 5 秒間とした。下降局面 2 秒間を 1 秒毎に下降前期 (Early descending), 下降後期 (Late descending), 膝関節屈曲 90°で維持する 1 秒間 (以下, Hold とする), 上昇局面 2 秒間を 1 秒毎に上昇前期 (Early ascending), 上昇後期 (Late ascending) と計 5 つの phase に分けた。なお、動作の局面分けは全ての試技で同様に行った。

## C. データ収集及びデータ処理

試技の計測には、光学式 3 次元自動動作分析装置 (Vicon Motion Systems 社製, VICON-MX, カメラ 12 台, 250 Hz, 以下 VICON) を用いて、被験者の身体 39 点に反射マーカの 3 次元座標を計測した (Figure 2-25)。また、地面反力の計測には、フォースプラットフォームを左右の脚それぞれに用いた (Kistler 社製, 9827B, 1000 Hz)。VICON により取得した身体の各代表点の 3 次元座標については、Wells and Winter (1980) の方法を用いて決定された最適遮断周波数 (2.5-12.5 Hz) を有する位相ずれのない Butterworth digital filter を用いて平滑化処理を行った。地面反力データについては、本研究の試技は、動作速度が比較的ゆっくりであることから、3 次のスプライン関数を用いて 250 Hz のデータにダウンサンプリングすることにより、身体の 3 次元座標値のサンプリング周波数と同じサンプリング間隔のデータとした。

## D. 算出項目および算出方法

関節座標系の設定に際して、股関節中心については、臨床歩行分析研究会の提唱する推定方法から算出した (倉林ら, 2003)。膝および足関節中心については、各関節の内側と外側の反射マーカの midpoint を関節中心とした。ここでは、例として右下肢 3 関節における移動

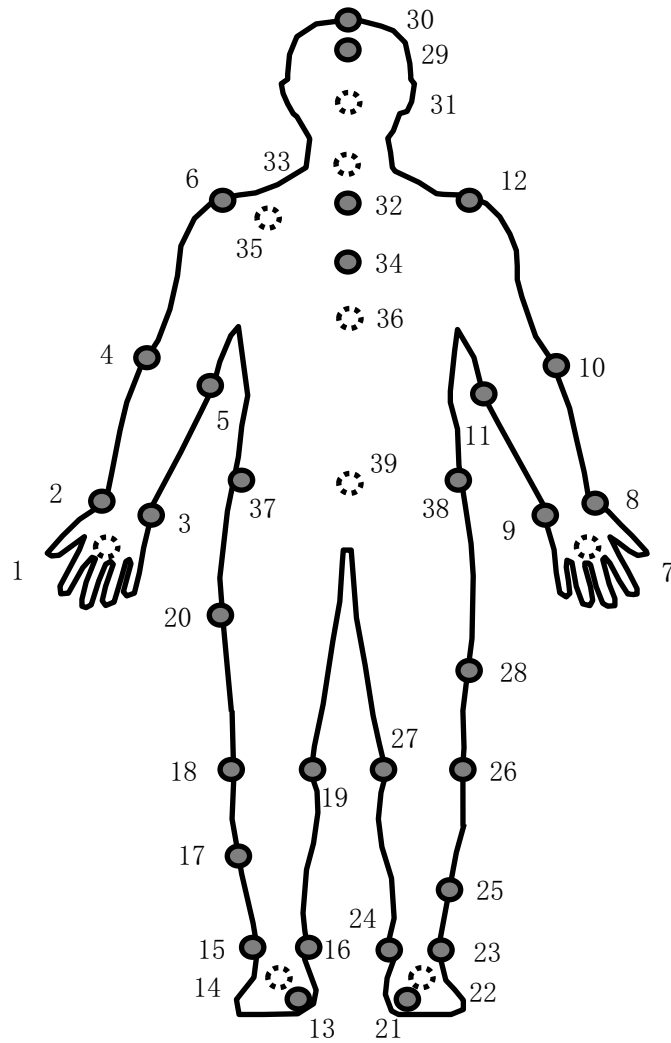
座標系（右手系）の設定法について述べることにする。なお、左下肢については、右下肢と同様の手順により座標系（左手系）を設定した。

股関節座標系について、左股関節中心（hipL）から右股関節中心（hipR）へと向かう補助ベクトルを  $s_{hip}$  軸、右膝関節中心（knR）から右股関節中心へと向かう単位ベクトルを  $z_{hip}$  軸として、 $z_{hip}$  軸と  $s_{hip}$  軸との外積により単位ベクトル  $y_{hip}$  軸を、 $y_{hip}$  軸と  $z_{hip}$  軸との外積により単位ベクトル  $x_{hip}$  軸を求めた（Figure 2-26 (a)）。なお、 $x_{hip}$  軸を屈曲伸展軸（伸展（+）、屈曲（-））、 $y_{hip}$  軸を内外転軸（外転（+）、内転（-））、および  $z_{hip}$  軸を内外旋軸（外旋（+）、内旋（-））と定義した。

下肢 3 関節における関節角度について、Roy et al. (1991) の方法を参考にして、オイラー一角に対応した関節角度を用いた。各関節ともにその回転順序は  $x-y-z$  として、股関節では、屈曲伸展、内外転、および内外旋の 3 自由度とした。

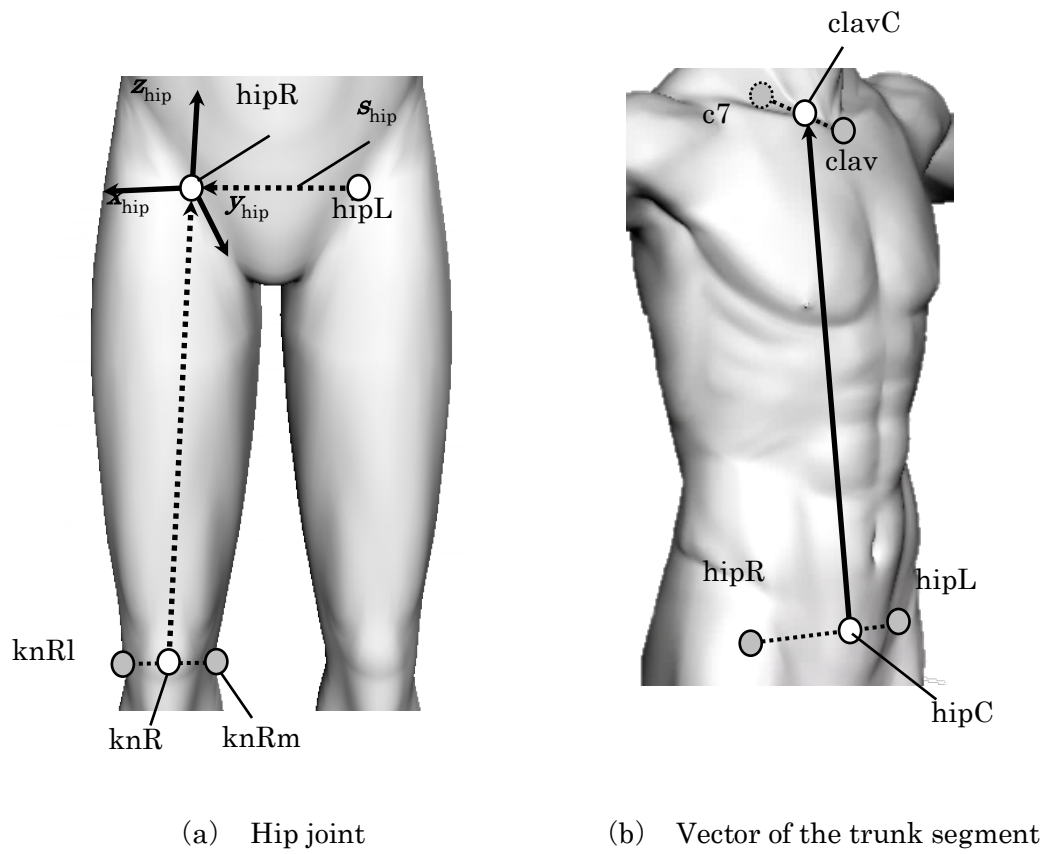
体幹の角度については、静止座標系の  $z$  軸と、左右の股関節中心の midpoint から胸骨上縁 (clav) と第 7 頸椎 (c7) の midpoint (clavC) へと向かう位置ベクトルのなす角とした（前屈（+））（Figure 2-26 (b)）。

データの規格化については、全分析範囲の時間を 100% として規格化し、10% 時点を下降前期、30% 時点を下降後期、50% 時点を Hold、70% 時点を上昇前期、90% 時点を上昇後期とした。また、動作中における関節角度の推移を比較することを目的として、算出された関節角度から 1% 時点での関節角度を引くことにより、初期姿勢における関節角度による差を補正した補正関節角度を、補正前の関節角度とともに分析の対象とした。なお、それぞれ各被験者の平均値を分析の対象とした。



**Figure 2-25 Location of reflective markers on the body.**

- 1: Right hand; 2: Right wrist of radial; 3: Right wrist of ulnar;  
 4: Right elbow of radial; 5: Right elbow of ulnar; 6: Right shoulder; 7: Left hand;  
 8: Left wrist of radial; 9: Left wrist of ulnar; 10: Left elbow of radial;  
 11: Left elbow of ulnar; 12: Left shoulder; 13: Right toe; 14: Right heel;  
 15: Right ankle; 16: Right ankle medial; 17: Right shank; 18: Right knee;  
 19: Right knee medial; 20: Right thigh; 21: Left toe; 22: Left heel; 23: Left ankle;  
 24: Left ankle medial; 25: Left shank; 26: Left knee; 27: Left knee medial;  
 28: Left thigh; 29: Front head; 30: Top of head; 31: Rear head;  
 32: Upper margin of sternum; 33: Vertebra prominens; 34: Xiphoid process;  
 35: Right scapula; 36: Tenth thoracic vertebra; 37: Right anterior superior iliac spine;  
 38: Left anterior superior iliac spine; 39: Sacrum



**Figure 2-26 Definition of hip joint coordinate system and vector of the longitudinal axis for the trunk segment.**

## E. 下肢の関節力およびトルク

左右の下肢 3 セグメント（足，下腿，大腿）に移動座標系を設定して，各座標系における各軸まわりの単位ベクトルを時間微分することによりセグメント角速度を算出した．また，各セグメントの部分質量，重心位置および慣性モーメントを阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて算出した．身体各部の 3 次元座標値と，左右脚の地面反力データを用いて逆動力学演算を行い，左右下肢 3 関節の作用力および作用モーメントを算出した．そして，前述した下肢 3 関節の関節座標系に関節作用モーメントを投影することにより，各関節のトルクへと変換した．また，算出されたトルクを各被験者の体重で除すことにより体格による差を排除した．さらに，各局面（下降前期，下降後期，Hold，上昇前期，上昇後期）のトルクを積分することにより角力積を算出した．なお，それぞれ各被験者の平均値を分析の対象とした．

### 3) 統計処理

実験データは平均値±標準偏差で示し，統計処理は，統計解析ツール SPSS for mac 20.0（SPSS, SPSS Inc. Chicago IL, USA）を用いて行った．各 phase における試技間の関節角度，補正関節角度，角力積の比較には対応のある t 検定を用いた．なお，統計処理における有意水準は 5%とした．



### 3. 結果

#### 1) Kinematics パラメーター

以下に，股関節の各運動方向における関節角度（Table 2-2）および補正関節角度（Table 2-3）を列記する．

##### a. 股関節屈曲伸展角度（伸展（+），屈曲（-））

関節角度における股関節伸展屈曲角度について比較すると，下降後期から上昇後期までの局面で腰割りの股関節屈曲角度は WSQ に比べ有意に低値を示した（Figure 2-27）．

補正関節角度における股関節伸展屈曲角度について比較すると，下降後期から上昇後期までの局面で腰割りの股関節屈曲角度は WSQ に比べ有意に低値を示した（Figure 2-28）．

また，Figure 2-27 および Figure 2-28 における股関節屈曲角度の値は本来マイナスであるが，便宜上プラスにて示した．

##### b. 股関節外転内転角度（外転（+），内転（-））

関節角度における股関節外転内転角度について比較すると，全ての局面で腰割りの股関節外転角度は WSQ に比べ有意に高値を示した（Figure 2-29）．

補正関節角度における股関節外転内転角度について比較すると，下降前期から上昇前期までの局面で腰割りの股関節外転角度は WSQ に比べ有意に高値を示した（Figure 2-30）．

##### c. 股関節外旋内旋角度（外旋（+），内旋（-））

関節角度における股関節外旋内旋角度について比較すると，全ての局面で腰割りの股関節外旋角度は WSQ に比べ有意に高値を示した（Figure 2-31）．

補正関節角度における股関節外旋内旋角度について腰割りと WSQ を比較したが，有意差は認められなかった（Figure 2-32）．

また、Figure 2-32 における股関節内旋角度の値は本来マイナスであるが、便宜上プラスにて示した。

#### d. 体幹前後傾角度（前傾（+），後傾（-））

関節角度における体幹前後傾角度について比較すると、Hold から上昇後期までの局面で腰割りの体幹前傾角度は WSQ に比べ有意に低値を示した（Figure 2-33）。

補正関節角度における体幹前後傾角度について比較すると、下降後期から上昇後期までの局面で腰割りの前傾角度は WSQ に比べ有意に低値を示した（Figure 2-34）。

Table 2-2 Comparison of the hip joint and torso angle between KOSHIWARI and WSQ.

(deg)

Direction	Exercise	Early descending	Late descending	Hold	Early ascending	Late ascending
Ext + , Flex -	KOSHIWARI	-18.6 ± 9.4	-41.4 ± 8.5	-50.0 ± 10.4	-46.9 ± 11.6	-25.4 ± 11.4
	WSQ	-18.1 ± 11.2	-61.7 ± 14.1**	-84.0 ± 12.9**	-83.8 ± 12.6**	-56.4 ± 13.7**
Abd + , Add -	KOSHIWARI	31.8 ± 6.6*	46.7 ± 8.3*	49.3 ± 8.0*	48.2 ± 8.3*	34.3 ± 7.8*
	WSQ	16.6 ± 3.4	25.6 ± 5.1	28.9 ± 6.1	28.9 ± 6.4	22.7 ± 5.6
Ext ro + , Int ro -	KOSHIWARI	38.8 ± 11.1*	33.5 ± 12.6*	29.9 ± 13.9*	31.5 ± 13.8*	38.1 ± 11.1*
	WSQ	24.8 ± 7.6	20.1 ± 8.0	17.3 ± 6.9	18.8 ± 6.5	25.6 ± 9.4
Forw tilt + , Back tilt -	KOSHIWARI	14.3 ± 2.0	16.7 ± 2.3	17.5 ± 2.4	17.2 ± 2.5	14.8 ± 2.5
	WSQ	12.5 ± 1.6	18.8 ± 3.8	22.3 ± 4.3**	21.9 ± 4.2**	17.9 ± 3.6**

\* indicates that KOSHIWARI is greater than WSQ (p<0.05)

\*\* indicates that WSQ is greater than KOSHIWARI (p<0.05)

Ext + , Flex - : Extension + , Flexion -

Abd + , Add - : Abduction + , Adduction -

Ext ro + , Int ro - : External rotation + , Internal rotation -

Forw tilt + , Back tilt - : Torso forward tilt + , Torso backward tilt -

Table 2-3 Comparison of the corrected joint angle of hip joint and torso between KOSHIWARI and WSQ.

(deg)

Direction	Exercise	Early descending	Late descending	Hold	Early ascending	Late ascending
Ext +, Flex -	KOSHIWARI	-13.1 ± 3.4	-35.9 ± 4.4	-44.6 ± 7.5	-41.4 ± 10.2	-19.9 ± 12.5
	WSQ	-17.9 ± 7.4	-61.5 ± 10.7**	-83.9 ± 10.5**	-83.7 ± 10.0**	-56.3 ± 16.6**
Abd +, Add -	KOSHIWARI	8.5 ± 3.3*	23.3 ± 7.2*	25.9 ± 7.1*	24.9 ± 8.3*	11.0 ± 9.5
	WSQ	5.1 ± 1.8	14.0 ± 3.8	16.3 ± 4.6	16.4 ± 4.7	10.6 ± 4.3
Ext ro +, Int ro -	KOSHIWARI	-0.5 ± 4.4	-5.8 ± 7.2	-9.4 ± 8.7	-7.8 ± 9.4	-1.2 ± 4.8
	WSQ	-0.2 ± 2.4	-6.4 ± 4.1	-10.6 ± 4.0	-10.8 ± 3.8	-4.9 ± 5.6
Forw tilt +, Back tilt -	KOSHIWARI	1.0 ± 0.6	3.4 ± 1.4	4.2 ± 1.4	3.9 ± 1.5	1.4 ± 1.1
	WSQ	1.4 ± 1.1	7.7 ± 3.8**	11.2 ± 4.2**	10.8 ± 4.3**	6.7 ± 3.8**

\*indicates that KOSHIWARI is greater than WSQ (p<0.05)

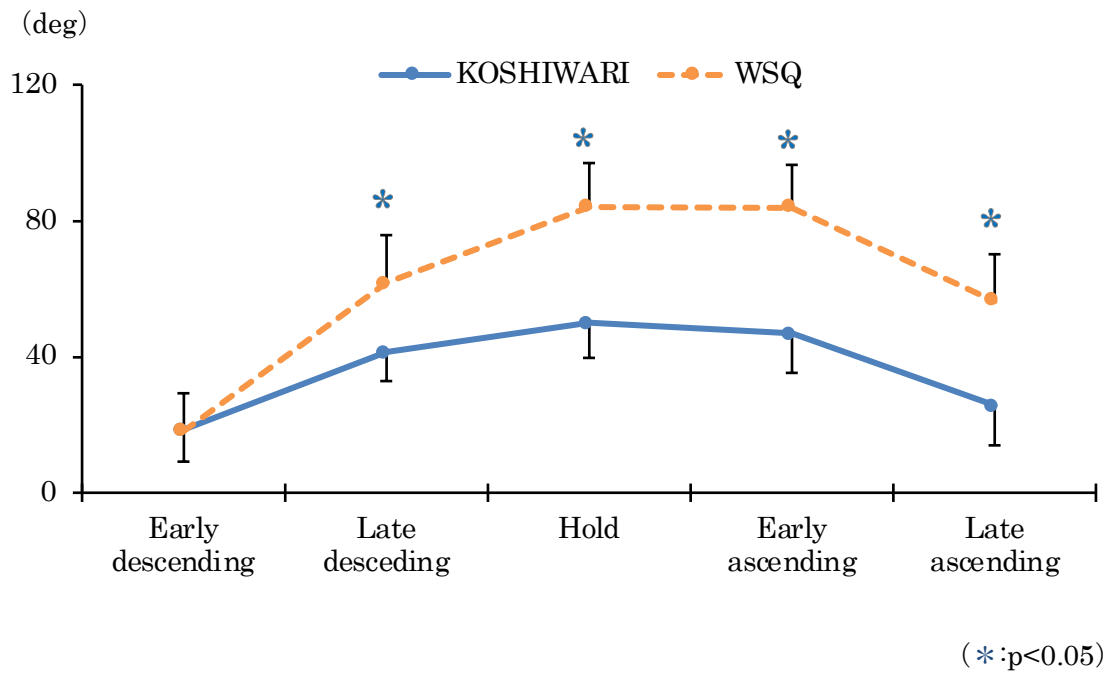
\*\*indicates that WSQ is greater than KOSHIWARI (p<0.05)

Ext +, Flex - : Extension +, Flexion -

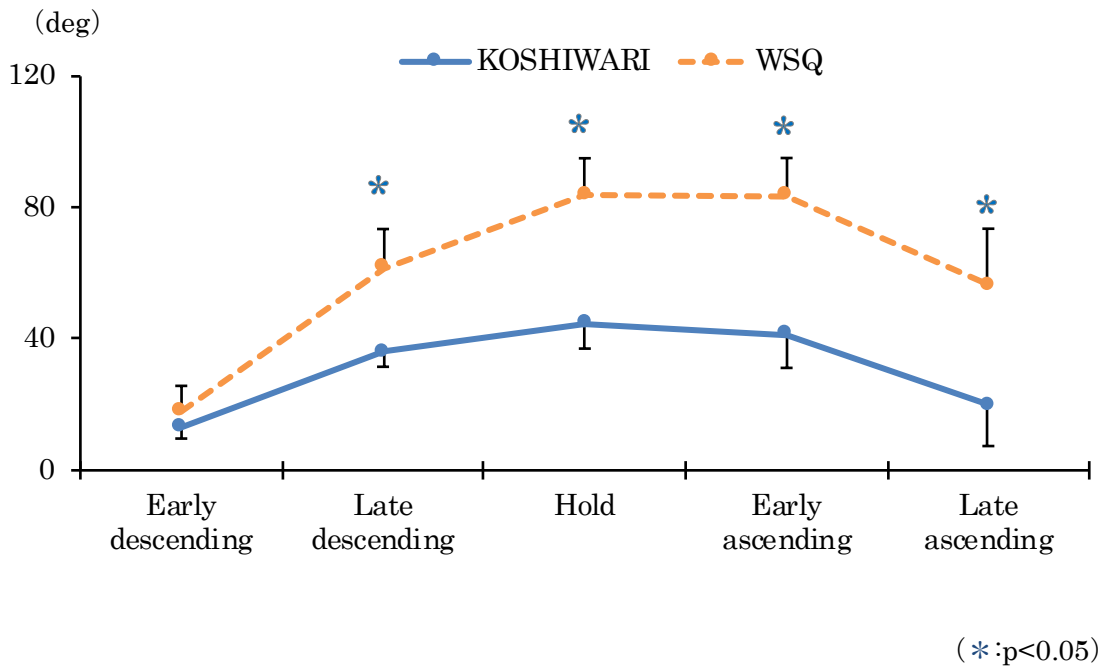
Abd +, Add - : Abduction +, Adduction -

Ext ro +, Int ro - : External rotation +, Internal rotation -

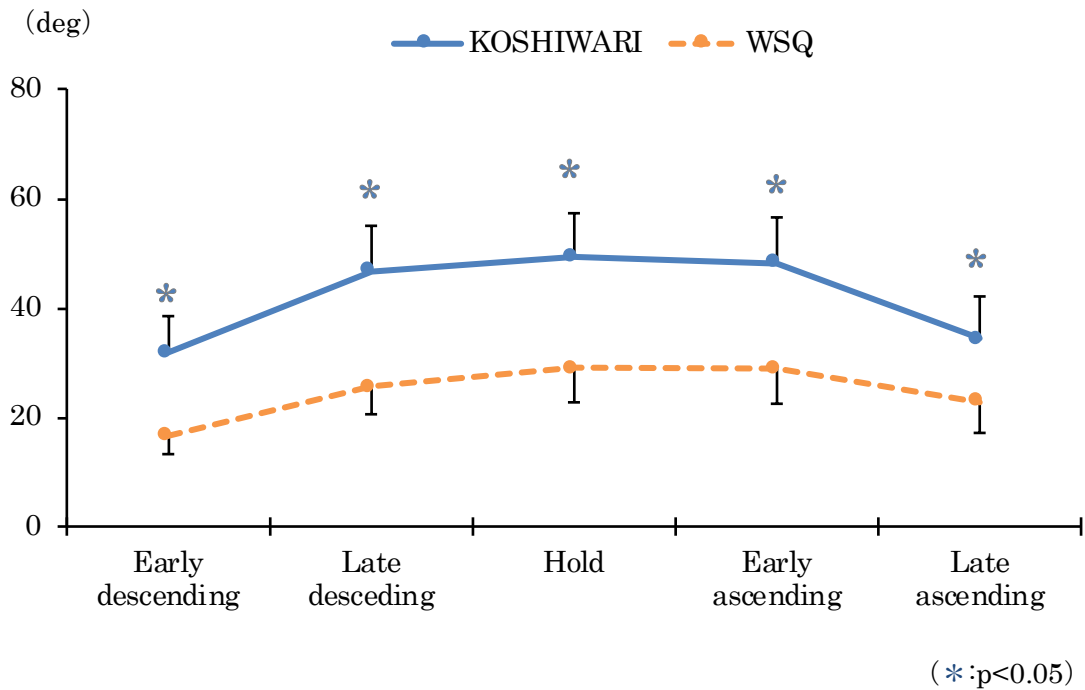
Forw tilt +, Back tilt - : Torso forward tilt +, Torso backward tilt -



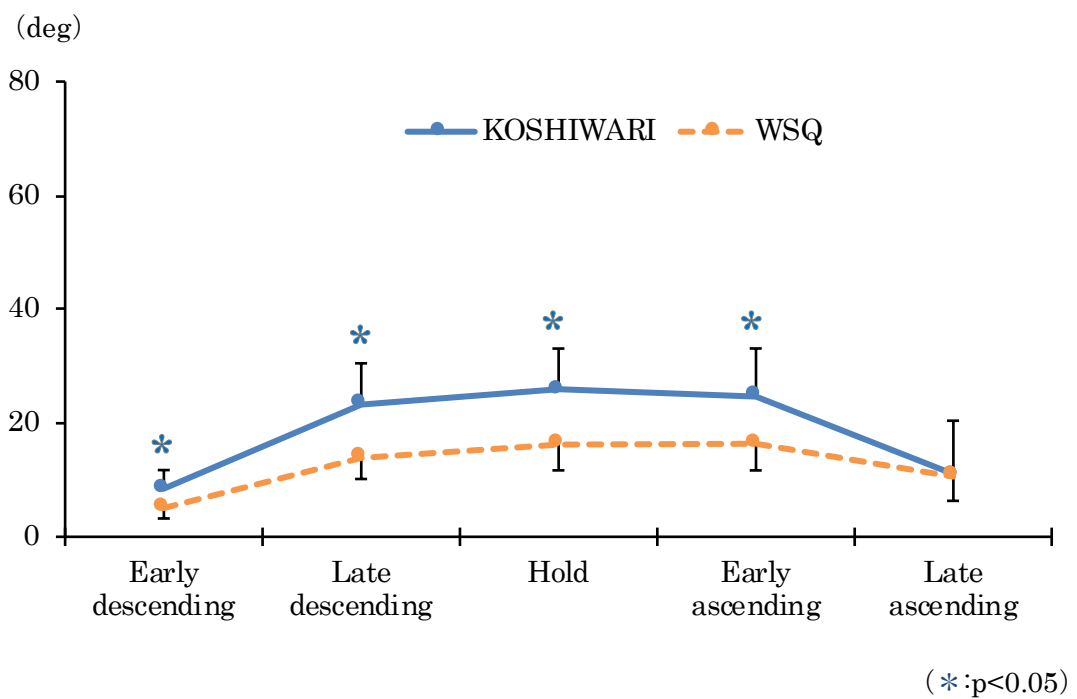
**Figure 2-27 Comparison of the joint angle of hip flexion between KOSHIWARI and WSQ.**



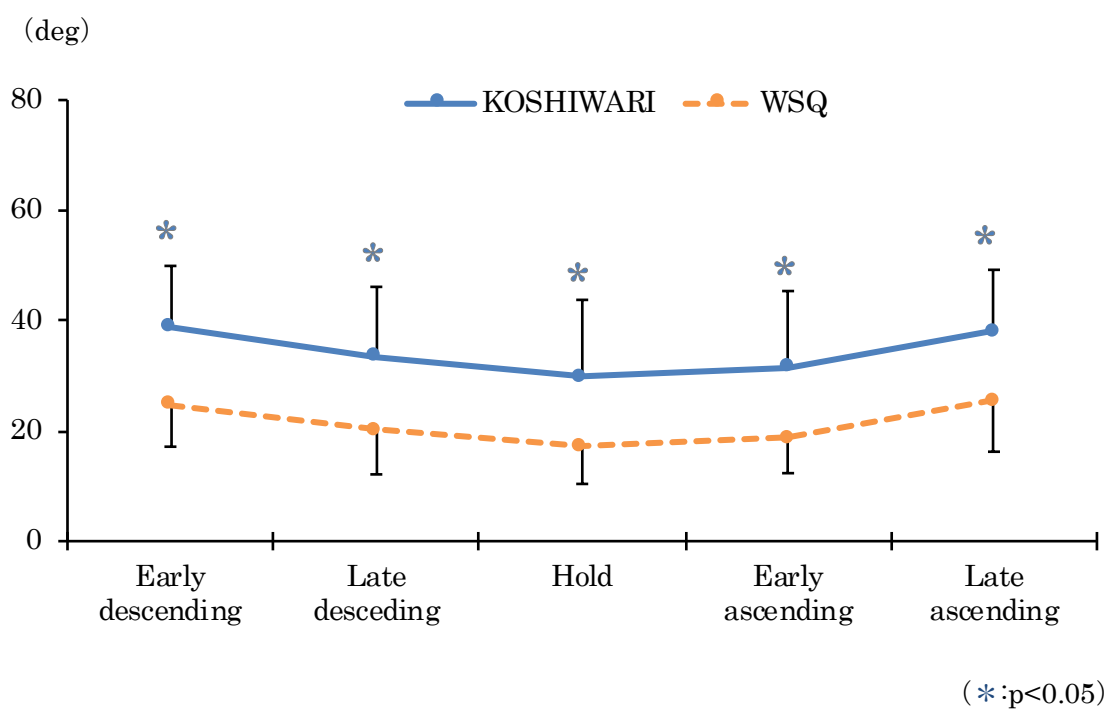
**Figure 2-28 Comparison of the corrected joint angle of hip flexion between KOSHIWARI and WSQ.**



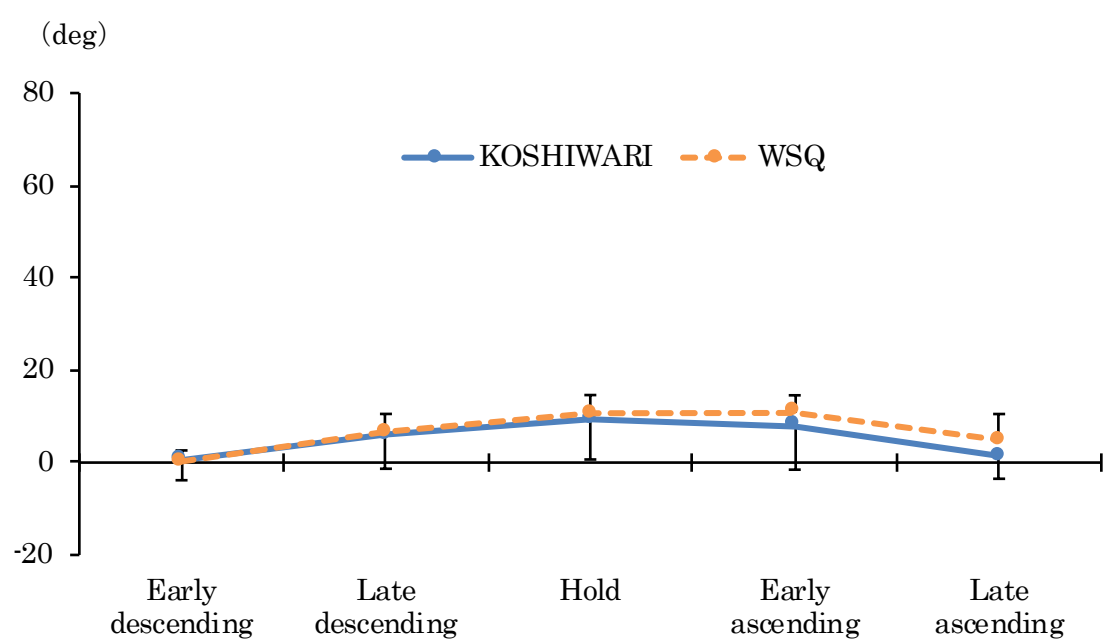
**Figure 2-29 Comparison of the joint angle of hip abduction between KOSHIWARI and WSQ.**



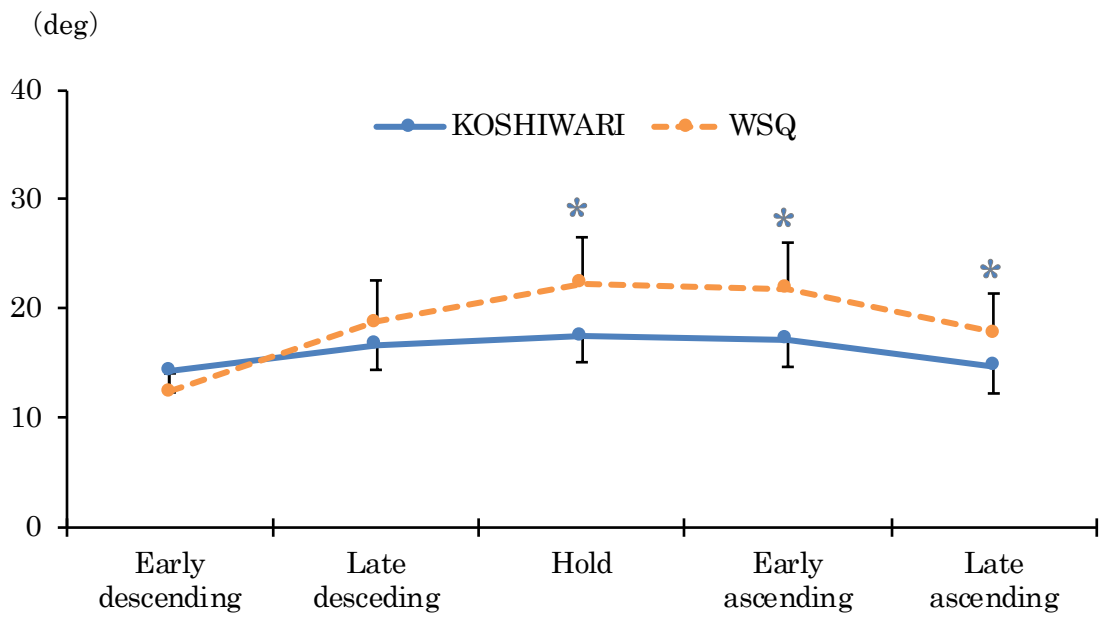
**Figure 2-30 Comparison of the corrected joint angle of hip abduction between KOSHIWARI and WSQ.**



**Figure 2-31 Comparison of the joint angle of hip external rotation between KOSHIWARI and WSQ.**

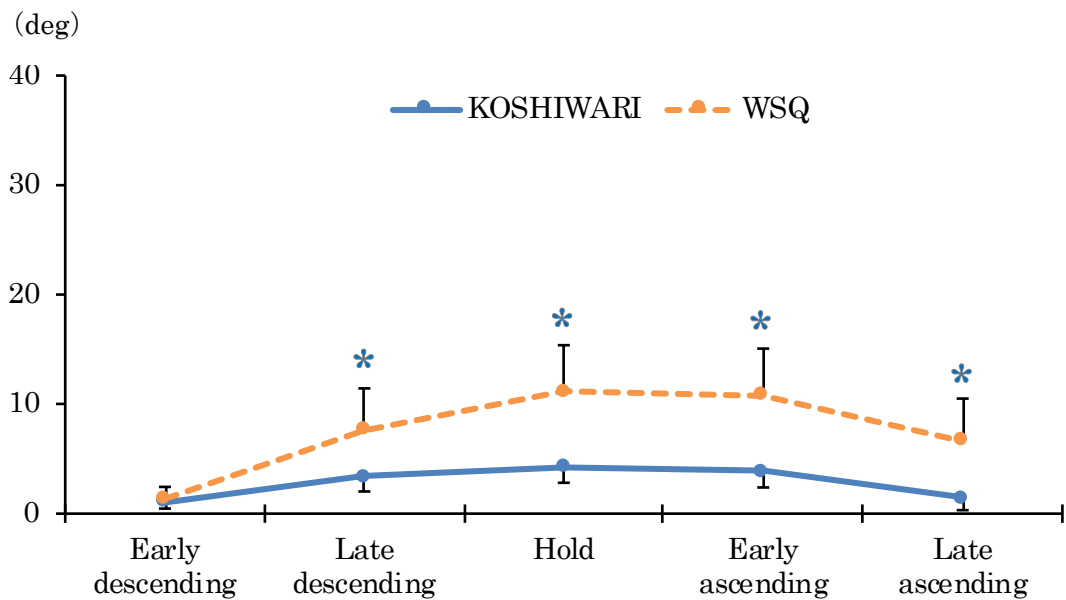


**Figure 2-32 Comparison of the corrected joint angle of hip internal rotation between KOSHIWARI and WSQ.**



(\*:p<0.05)

**Figure 2-33 Comparison of the joint angle of torso forward tilt between KOSHIWARI and WSQ.**



(\*:p<0.05)

**Figure 2-34 Comparison of the corrected joint angle of torso forward tilt between KOSHIWARI and WSQ.**



## 2) Kinetics パラメーター

以下に、股関節の各運動方向における角力積を列記する。(Table 2-4).

### a. 股関節屈曲伸展角力積 (伸展 (+), 屈曲 (-))

伸展屈曲軸の角力積を比較すると、全ての局面で腰割りの股関節屈曲角力積は WSQ に比べ有意に高値を示した (Figure 2-35).

また、Figure 2-35 における股関節屈曲角力積の値は本来マイナスであるが、便宜上プラスにて示した。

### b. 股関節外転内転角力積 (外転 (+), 内転 (-))

外転内転軸の角力積を比較すると、下降後期から Hold の局面で腰割りの股関節内転角力積は WSQ に比べ有意に高値を示した (Figure 2-36).

また、Figure 2-36 における股関節内転角力積の値は本来マイナスであるが、便宜上プラスにて示した。

### c. 股関節外旋内旋角力積 (外旋 (+), 内旋 (-))

外旋内旋軸の角力積を比較すると、下降前期から上昇前期までの局面で腰割りの外旋角力積は WSQ に比べ有意に高値を示した (Figure 2-37).

Table 2-4 Comparison of the angular impulse of hip joint between KOSHIWARI and WSQ.

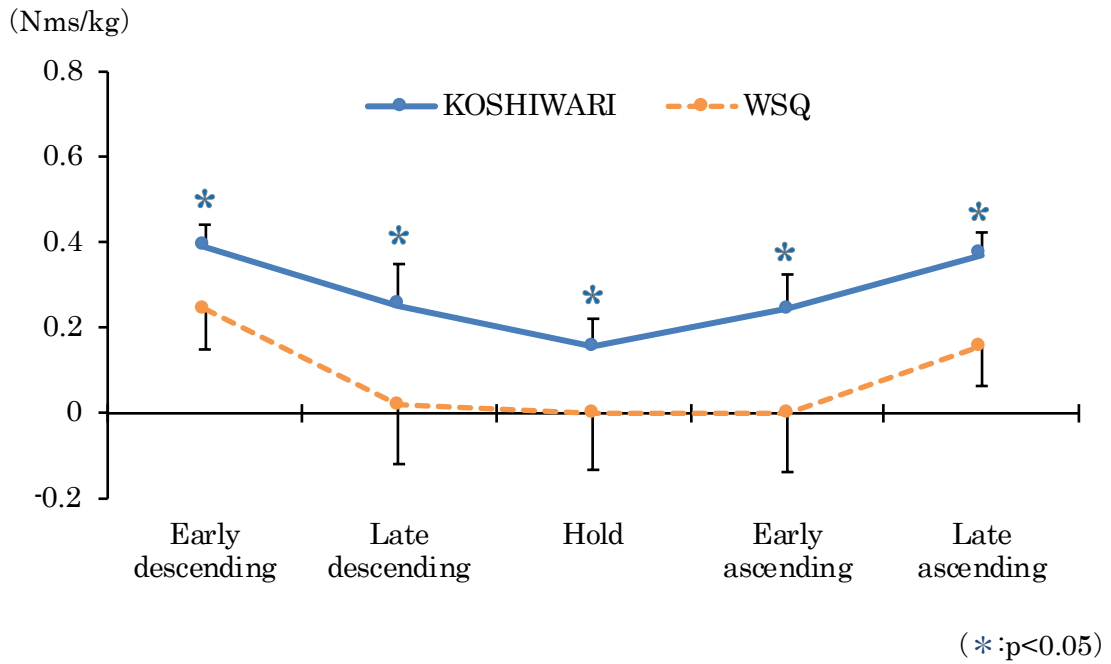
		(Nms/kg)				
Direction	Exercise	Early descending	Late descending	Hold	Early ascending	Late ascending
Ext + , Flex -	KOSHIWARI	-0.4 ± 0.1*	-0.3 ± 0.1*	-0.2 ± 0.1*	-0.2 ± 0.1*	-0.4 ± 0.1*
	WSQ	-0.2 ± 0.1	-0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	-0.2 ± 0.1
Abd + , Add -	KOSHIWARI	-0.1 ± 0.2	-0.4 ± 0.2*	-0.5 ± 0.2*	-0.4 ± 0.2	-0.1 ± 0.2
	WSQ	-0.1 ± 0.1	-0.2 ± 0.2	-0.3 ± 0.1	-0.3 ± 0.2	-0.1 ± 0.1
Ext ro + , Int ro -	KOSHIWARI	0.3 ± 0.2*	0.7 ± 0.1*	0.8 ± 0.2*	0.8 ± 0.1*	0.3 ± 0.2
	WSQ	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.3 ± 0.2

\*indicates that KOSHIWARI is greater than WSQ (p<0.05)

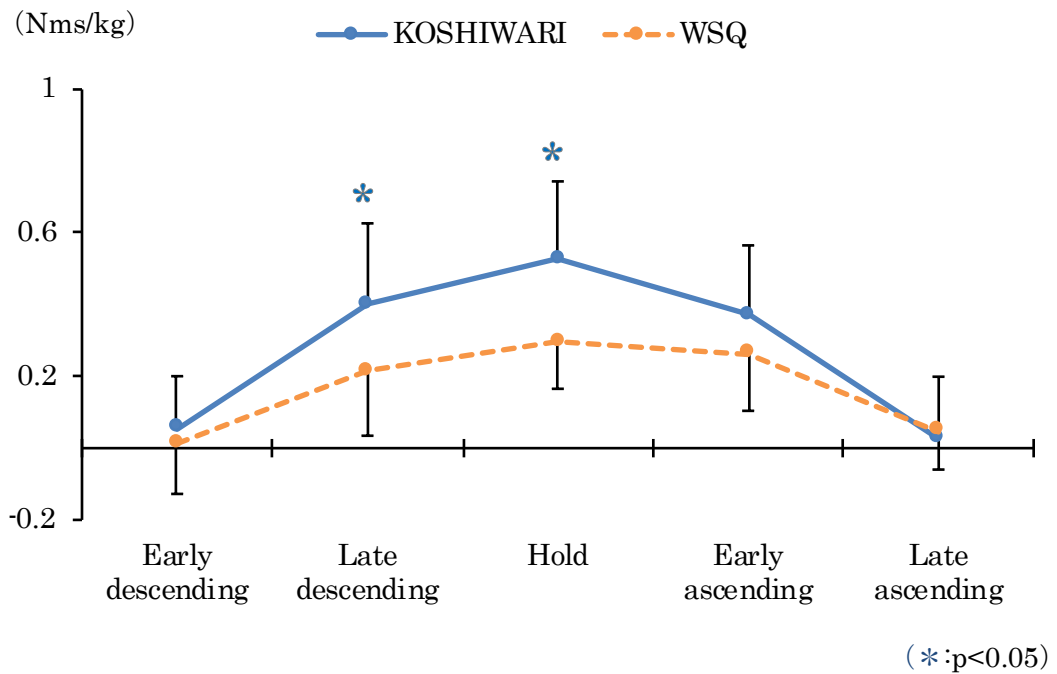
Ext + , Flex - : Extension + , Flexion -

Abd + , Add - : Abduction + , Adduction -

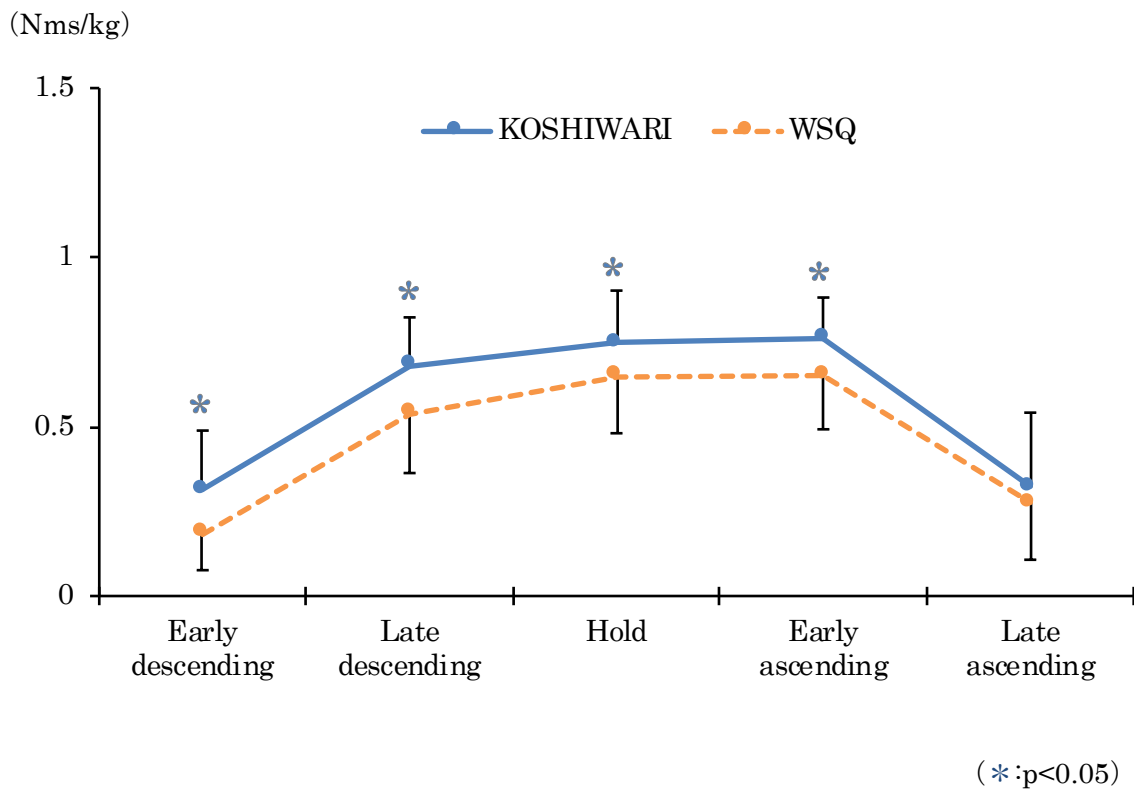
Ext ro + , Int ro - : External rotation + , Internal rotation -



**Figure 2-35 Comparison of the angular impulse of hip joint flexion between KOSHIWARI and WSQ.**



**Figure 2-36 Comparison of the angular impulse of hip joint adduction between KOSHIWARI and WSQ.**



**Figure 2-37 Comparison of the angular impulse of hip joint external rotation between KOSHIWARI and WSQ.**

## 4. 考察

### A. Kinematics および Kinetics パラメーター

股関節屈曲および体幹前傾の関節角度，補正関節角度において，腰割りは WSQ に比べ有意に低値を示した．このことから，腰割りは股関節屈曲および体幹前傾運動が WSQ よりも小さいと考えられる．また，股関節伸展屈曲軸の角力積において，腰割りは下降前期から上昇後期までの全ての局面で WSQ に比べ股関節屈曲方向へ有意に高値を示し，動作を通して常に股関節屈曲角力積を発揮していた．Neumann et al. (2005) は静止立位姿勢における股関節の力学的特徴について述べており，立位姿勢では身体重心が股関節中心点に対してわずかに後方に位置するものの，股関節屈曲トルクの発揮により立位姿勢を保持していると述べている．これを踏まえると，本研究において腰割りは下降前期にて股関節屈曲角力積の最大値を示し，Hold にて最小値を示したことから，立位姿勢を保持するために股関節屈曲角力積を発揮していると考えられる．一方で，WSQ は下降局面では股関節屈曲角力積が発揮され，Hold から上昇前期にかけては股関節伸展角力積が発揮された．真鍋ら (2004) は SQ において動作形態を変化させた場合の Kinetics の違いについて報告をしており，体幹の前傾角度が大きいほど股関節伸展トルクが大きくなることを報告している．本研究においても，WSQ は Hold から上昇後期の局面で体幹の前傾角度が腰割りに比べ大きく，股関節伸展角力積が発揮された局面とおおよそ一致している．このことから，WSQ において股関節伸展角力積が発揮されたのは，体幹の前傾角度の増大が影響を及ぼしたと考えられる．

股関節外転方向の関節角度，補正関節角度において，腰割りは WSQ に比べ有意に高値を示した．このことから，腰割りは股関節外転運動が WSQ よりも大きいと考えられる．また，股関節外転内転軸の角力積において，腰割りは下降後期から Hold の局面で WSQ に比べ股関節内転方向へ有意に高値を示した．よって，腰割りは一連の動作において股関節を内転させるトルクが WSQ に比べ大きく，特に下降後期から Hold の局面での差が大きいと考える

ことができる。また、股関節内転トルクの積分値である股関節内転角力積を發揮しているにもかかわらず、関節角度および補正関節角度の時系列データでは、両試技とも下降局面から Hold 局面にかけて股関節外転角度が増加していることから、長内転筋などの股関節内転筋群が遠心性筋収縮をしていると考えることができる。しかし、Delmore et al. (2014) は、Sumo squat を含む一般的な股関節エクササイズにおける長内転筋の筋活動量を比較した結果、Sumo squat の筋活動量は 13%MVC であり、一般的な股関節内転筋群エクササイズの中で最も長内転筋の活動量が低いことを報告している。また、鈴木ら (2005) は腰割りと SQ の筋活動量を比較しており、長内転筋の筋活動量は両群比較して有意差がない事を報告している。これらのことから、本研究において腰割りの股関節内転角力積が WSQ よりも高値を示したのは、股関節内転筋群の筋活動以外の要因もあると考えられる。Robertson et al. (2008) は関節トルクの發揮は関節を構成するすべての組織の作用の総和であると述べており、分析する動作が関節可動域の限界近くである場合、制限となる筋肉の伸張（ストレッチ）が関節トルクの發揮に貢献すると述べている。なお、腰割りの股関節内転角力積が最大値を示す Hold の局面では、股関節外転角度が約 50° を示しているため、股関節外転可動域における最終可動域付近であったと考えられる。さらに、Neumann et al. (2005) は股関節外転運動の最終可動域において、股関節内転筋群は股関節外転運動の制限となる組織であると報告していることから、腰割りににおける股関節内転角力積の發揮は内転筋群の筋活動に加え、内転筋群の伸張（ストレッチ）が関与している可能性がある。

股関節外旋方向の関節角度において、腰割りは WSQ に比べ有意に高値を示した。このことから、腰割りは股関節外旋運動が WSQ よりも大きいと考えられる。また、股関節外旋内旋軸の角力積において、腰割りは下降前期から上昇前期までの局面にかけて WSQ に比べ股関節外旋方向へ有意に高値を示した。このことから、腰割りは股関節を外旋させるトルクが WSQ に比べ大きく、特に下降局面から上昇前期までの局面での差が大きいと考えることができる。また、股関節外旋トルクの積分値である股関節外旋角力積を發揮しているにも

かわらず、関節角度および補正関節角度の時系列データでは、両試技とも下降局面から Hold 局面にかけて股関節外旋角度が低下しているため、大殿筋などの股関節外旋筋群が遠心性筋収縮をしていると考えることができる。さらに、研究課題 1-1 にて大殿筋の筋活動量が SQ に比べ高値を示していたことも、この結果を支持していると考えられる。また、Neumann et al. (2005) は、股関節外旋可動域は股関節屈曲角度の増大とともに減少すると述べており、本研究において腰割りは Hold の局面で股関節屈曲角度が最大値を示し、股関節外旋角度は最小値を示した。したがって、股関節最大外旋位を保持したまま行う腰割りは、股関節の屈曲伸展運動を行う際に、股関節屈曲に伴う外旋角度の減少を抑制するために股関節外旋角力積を發揮していると考えられる。

## B. トレーニングおよびリハビリテーションへの応用について

股関節外旋角力積において、腰割りは WSQ に比べ高値を示したことから、腰割りでは股関節外旋方向への力発揮が大きいことが明らかとなった。Sahrmann et al. (2013) によると、膝部に見られる代表的なマルアライメントとして Tibiofemoral rotation with valgus (TFRVal) が挙げられる。TFRVal は、立位のパーシャル SQ にて股関節の内転・内旋位および膝関節の外反位を呈する。これらは股関節外旋筋群および股関節外転筋群の筋活動量の低下が原因であり、加えて ACL 損傷 (Hewett, 2005) などの急性外傷や、Patellofemoral pain syndrome (Dierks, 2008) および腸脛靭帯炎 (Noehren, 2007) などのオーバーユース症候群の原因になると述べられている。したがって、TFRVal の改善を目的とした場合、腰割りをを用いて大殿筋を主とした股関節外旋筋群の筋力強化を実施することが、TFRVal の改善に寄与すると考えることができ、TFRVal の改善により、ACL 損傷のリスク低下や、Patellofemoral pain syndrome, 腸脛靭帯炎などオーバーユース症候群の改善に貢献する可能性があると考えられる。

## 5. 結論

本研究は、腰割りにおける股関節の運動学的特徴を明らかにすることを目的として、腰割りと WSQ における股関節の Kinematics および Kinetics パラメーターを比較・検討した。結果は以下の通りである。

1. 股関節外転角度においては、関節角度（全局面）および補正関節角度（下降前期から上昇前期までの局面）に差が認められ、腰割りは WSQ に比べ有意に高値を示した。
2. 股関節外旋角度においては、関節角度（全局面）に差が認められ、腰割りは WSQ に比べて有意に高値を示した。
3. 股関節屈曲角力積においては、下降局面から上昇局面までの全局面で腰割りは WSQ に比べ有意に高値を示した。
4. 股関節内転角力積においては、下降後期から Hold までの局面で腰割りは WSQ に比べ有意に高値を示した。
5. 股関節外旋角力積においては、下降前期から上昇前期までの局面で腰割りは WSQ に比べ有意に高値を示した。



### 第3章【研究課題2】腰割りの即時的効果に関する研究

#### 1. 背景・目的

研究課題1において、腰割りとSQを筋活動量およびKinematics, Kineticsパラメーターを用い比較・検討した結果、腰割りはSQに比べ大殿筋の筋活動量、股関節外転、外旋角度、股関節屈曲、内転、外旋角力積が大きく、脊柱起立筋の筋活動量および膝関節外旋角力積が小さいことが明らかとなった。腰割りを用いて介入研究を行った報告はみられないため、トレーニング効果について検討していくことが必要である。

SQのトレーニング効果に関する報告は1RMの重量、ジャンプ能力、スプリント能力などから検討したものが多く（Matthew et al., 2016; Hartmann et al., 2012）、関節可動域、股関節や膝関節周囲筋の筋力などの詳細な体力要素に及ぼす影響について検討された報告は少ない。また、SQの効果に関する報告は、バーベルなどの重量負荷を加えた状態での検討が多く、自体重負荷にて検討されたものは少ない。パフォーマンス向上を目的としたトレーニングプログラムの導入、およびアスレティックリハビリテーションでは、自体重負荷でのSQなどを中心としたCKC-Exも実施されているため、重量負荷を加えた状態での検討とともに、自体重負荷でのCKC-Exに関する検討も必要であると考えられる。腰割りやSQはウォーミングアップとしても実施されているが、その即時的効果を調べた研究は極めて少なく、腰割りとSQを比較したものは存在しないため、どのような体力要素に影響を及ぼすのかについて不明な点が多い。そこで、研究課題2では、腰割りとSQの即時的効果について検討することを目的とした。

## 2. 研究方法

### 1) 対象

一般健常男性 10 名を対象として本研究を行った。対象者の年齢，身長，体重の平均値および標準偏差は，それぞれ  $29.4 \pm 4.4$  歳， $172.2 \pm 3.9$ cm， $73.8 \pm 6.0$ kg であった。また，利き足はボールを蹴る足と定義し，全ての対象者の利き足は右脚であった。なお，対象者は過去 1 年以内に下肢に外傷・障害を発生しておらず，現在疼痛や違和感などの訴えないものとした。対象者には事前に本研究の目的および方法，実験により起こりうる危険性に関して十分な説明を行い，本人の同意を得て実施した。なお，本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に準拠して倫理的配慮のもと行われた。

## 2) 研究プロトコル

クロスオーバーデザインを用いて、腰割り、SQ、エクササイズなし (Control) の3種類の介入効果を調べた。対象者は腰割り、SQ、Controlのいずれかを行い、その後に各種測定 (関節可動域測定、筋力測定、運動能力測定、動的バランス測定) を実施した。腰割りおよびSQはそれぞれのエクササイズを約5分間行い、Controlは5分間の座位による安静とし、全ての介入は同一の検者による監督のもと実施された。これら3条件は、介入トレーニングおよび各種測定による影響を避けるために2日間のインターバルを設け、慣れによるバイアスを避けるために3条件の順序は検者によって無作為に分類した (Figure 3-1)。なお、先行研究にて2日間のウォッシュアウト期間はSQなどの中程度の運動に対して機能的、代謝的な観点から十分な期間であることが示されている (Boullosa et al, 2013; Sharma et al, 2018)。

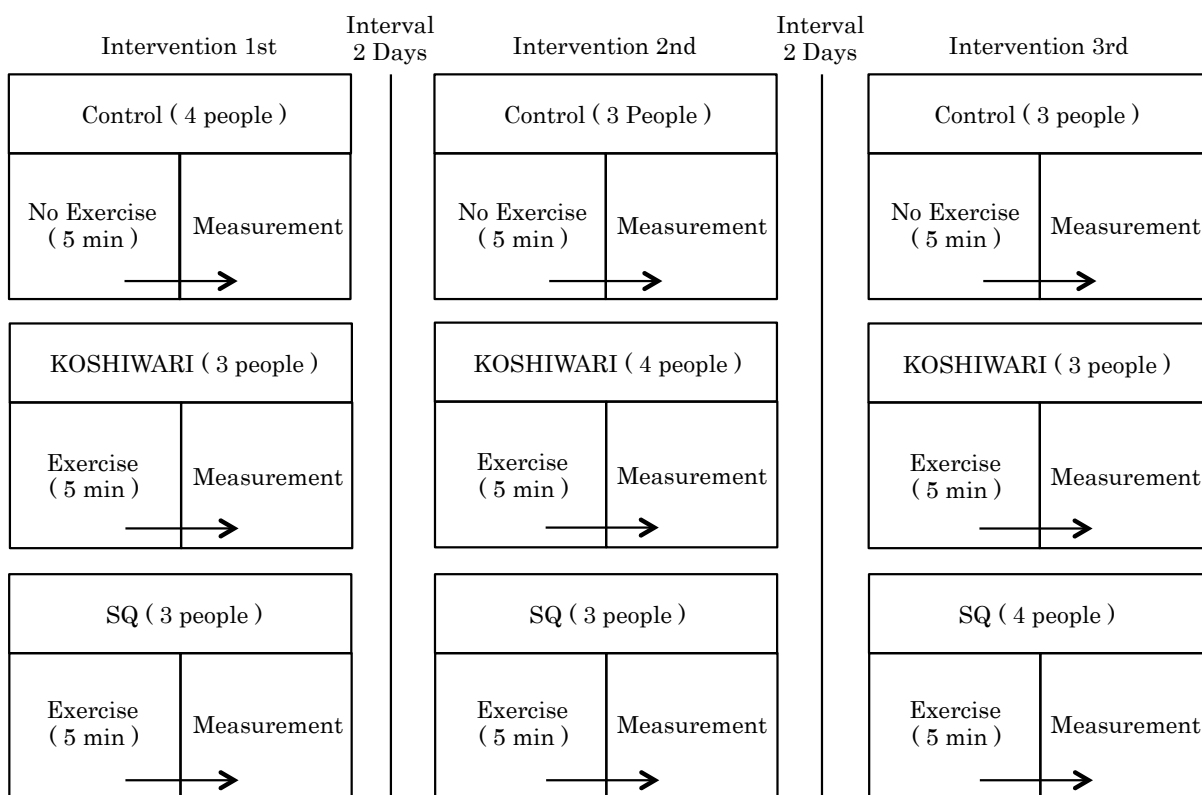


Figure 3-1 Experimental protocol for short-term effect.

### 3) 介入手法 (試技内容)

腰割りとSQは、それぞれ10回(60bpmに設定したメトロノームを使用し、下降2秒、最下降位保持1秒、上昇2秒の1動作5秒間)を1セットとし、計3セット行った。また、セット間のインターバルを1分間設けた。試技に先立ち、正確なフォームで試技を実施できるように指導を実施した。各試技の詳細は以下に示す通りである。

#### A. 腰割り

腰割りは、栖原ら(2014)の方法に准じ、スタンスは膝90deg屈曲位まで下降した際に大腿が床と平行になる任意のスタンスで、股関節最大外旋位を保持し、体幹は垂直に維持した状態で膝が内側に入らないように股関節・膝関節の屈曲・伸展運動を行った。足趾の方向(股関節外旋角度)は、膝関節と足趾が同一直線上になるようにし、上記の動作が正確にできる各被験者の最大角度とした。左右の手の位置は骨盤とし、胸を張った状態で後頭部と仙骨を結ぶラインが可能な限り直線になるように指示をした。また、殿筋群を収縮させる感覚と、大腿内側部が伸張される感覚を感じる様に指示をした。

#### B. SQ

SQは、WSQを用いた。McCAW et al. (1999)の方法に准じ、スタンスは肩幅の140%とし、足趾の方向は15度外方(股関節15度外旋位)とした。また、足趾の方向と膝蓋骨の方向を揃え体幹の前傾角度は地面に対し45度前傾し、骨盤の前傾を意識した状態で、矢状面上から見て膝部が足趾より前方へ出ないように、股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示した。左右の手の位置は骨盤とし、胸を張った状態で後頭部と仙骨を結ぶラインが可能な限り直線になるように指示をした。また、下降していくに従って股関節の屈曲を意識し、適切に骨盤が前傾する様に動作を実施する様に指示をした。

#### 4) 測定項目

##### A. 関節可動域測定

東大式関節角度計を用い、安静時の利き足の股関節屈曲、伸展、外転、内転、外旋、内旋、腹臥位外旋、腹臥位内旋、膝関節伸展位での股関節屈曲角度（Straight Leg Raise: SLR）の他動可動域を測定した。測定には日本整形外科学会、リハビリテーション学会制定の関節可動域表示ならびに測定法（今田, 1974）を踏襲した。

##### B. 筋力測定

BIODEX SYSTEM 3（BIODEX 社製）を用い、利き足の股関節屈曲、伸展、外転、内転、膝関節屈曲、伸展筋力の等速性運動による筋力測定を実施した。それぞれの角速度を 60, 180deg/sec に設定し、測定間に 60 秒の休息をはさみ全力にて施行した。各角速度とも 3 回の施行の中で発揮された測定値をピークトルク値（Nm）、体重比筋力（Nm/kg）として採用した。

##### a. 股関節屈曲・伸展筋力

股関節屈曲・伸展筋力測定の際は、被験者をシートの上で仰臥位とし、体幹をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸を大転子が合うようにアームの長さを調整し、膝の前上部にパッドを固定した。股関節の運動範囲は、各被験者の随意による股関節最大屈曲位から最大伸展位に固定した。

##### b. 股関節外転・内転筋力

股関節外転・内転筋力測定の際は、被験者をシートの上で側臥位とし、体幹をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸と大転子が合うようにアームの長さを調整し、大腿部下部にパッドを固定した。股関節の運動範囲は、各被験者の随意による最大外転位から

最大内転位に設定した。

### **c. 膝関節屈曲・伸展筋力**

膝関節伸展・屈曲筋力の際は，被験者の膝の後面がシートに軽く当たるように座らせ，体幹及び測定側大腿部をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸と膝の回転軸が一致するように調整し，アームの長さを合わせ，右足関節の前上部にパッドを固定した。膝関節の運動範囲は各被験者の最大伸展位から 90 度屈曲位に設定した。

## **C. 運動能力測定**

文部科学省新体力テスト実施要項（20 歳～29 歳対象）のうち，立ち幅跳び，反復横とびについて測定を行った。また，文部科学省旧体力テストより垂直跳びの測定を行った。すべての項目について，内容，方法等を実施前に被験者に十分に説明した。また，必要最低限のウォーミングアップを行い，必要に応じて事前練習を行ってから測定した。

### **a. 立ち幅跳び**

立ち幅跳びにはマットを用い，踏切線から両脚同時に全力で前方へ跳躍し，マットに触れた位置のうち最も踏切線に近い位置と，踏切線を結ぶ距離を測定した。計測は 2 回実施し，良い方の記録を測定値とした。

### **b. 垂直跳び**

垂直跳びにはジャンプメーター（TOEI LIGHT 社製，T-2290）を用い，直立姿勢から腕振りと脚の反動動作を用いた跳躍を行った際の跳躍高を測定した。計測は 2 回実施し，良い方の記録を測定値とした。

### c. 反復横とび

反復横とびはすべりにくいサーフェース上で実施した。1m 間隔で平行な 3 本の直線を引き、その線をサイドステップでまたぎ越すか触れることで 1 回と測定した。「始め」の合図でどちらかの線にステップを開始し、中央・外側と順番に線をまたぎ、20 秒間のうち線をまたぎ越した、または触れた回数を計測した。計測は 2 回実施し、良い方の記録を測定値とした。

## D. 動的バランス能力測定

### Star Excursion Balance Test

測定実施前に、Plisky (2006) の提唱する改正版 SEBT の方法について口頭による説明およびデモンストレーションを行った。対象者は SEBT の経験がなかったため、最初の測定日までに 2 回の事前練習を実施した。

対象者は、つま先の最も出た部分がグリッド線の中央に来るように片足で立ち、反対の脚を前方 (Anterior)、斜め後外側 (Posterolateral)、斜め後内側 (Posteromedial) の 3 方向に伸ばし、その到達距離を測定した。各対象はそれぞれ 6 回の練習を行い、その後に本テストを 3 回実施した。本テストは、すべての測定において同一の検者が評価し、視覚的に到達距離を測定して記録した。なお、片脚立位を維持できなかった時、軸脚が浮いたり動いたりした時、伸ばした脚が床に着いた時、伸ばした脚を元に戻せなかった時は失敗試技とし、十分な休憩を挟んで再度測定を行った。以上の過程を 3 方向、利き足で繰り返した。その際の脚の左右や方向の順序は対象者が無作為に選択して行った。SEBT の測定値として、3 つの各方向へのリーチ距離および 3 方向へのリーチ距離の合計で計算される SEBT 複合スコアを用いた (Figure 3-2)。また、測定は利き足のみ実施した。

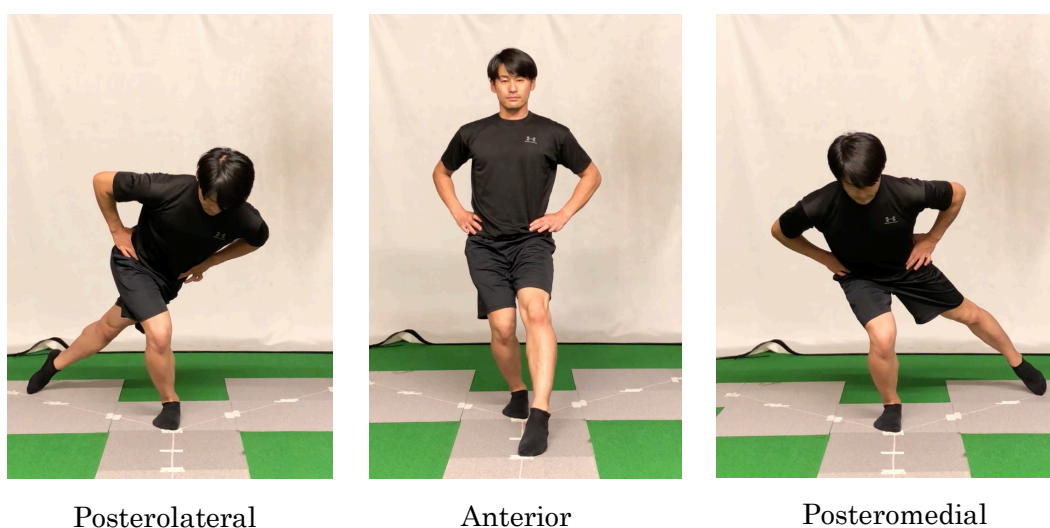


Figure 3-2 Star Excursion Balance Test.



## 5) 統計処理

実験データは平均値±標準偏差で示し，統計処理は，統計解析ツール SPSS for mac 20 (SPSS, SPSS Inc. Chicago IL, USA) を用いて行った．検定には一元配置分散分析を用いて 3 条件間の比較をし，有意差が認められた場合には Bonferroni 法による多重比較検定を行った．なお，統計処理における有意水準は 5%とした．

### 3. 結果

#### 1) 関節可動域

##### A. 股関節屈曲可動域 (Figure 3-3)

腰割りは  $138.0 \pm 6.7^\circ$  , Control は  $136.0 \pm 5.7^\circ$  , SQ は  $132.5 \pm 5.9^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

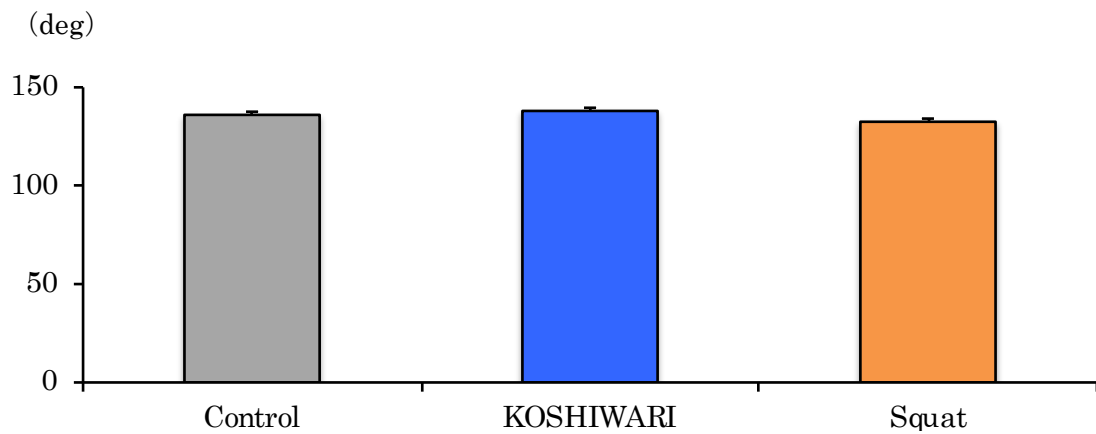


Figure 3-3 ROM of hip flexion.

##### B. 股関節伸展可動域 (Figure 3-4)

腰割りは  $24.5 \pm 2.8^\circ$  , Control は  $20.0 \pm 4.1^\circ$  , SQ は  $21.0 \pm 2.1^\circ$  であった.

腰割りは, SQ に比べ有意に高値を示した.

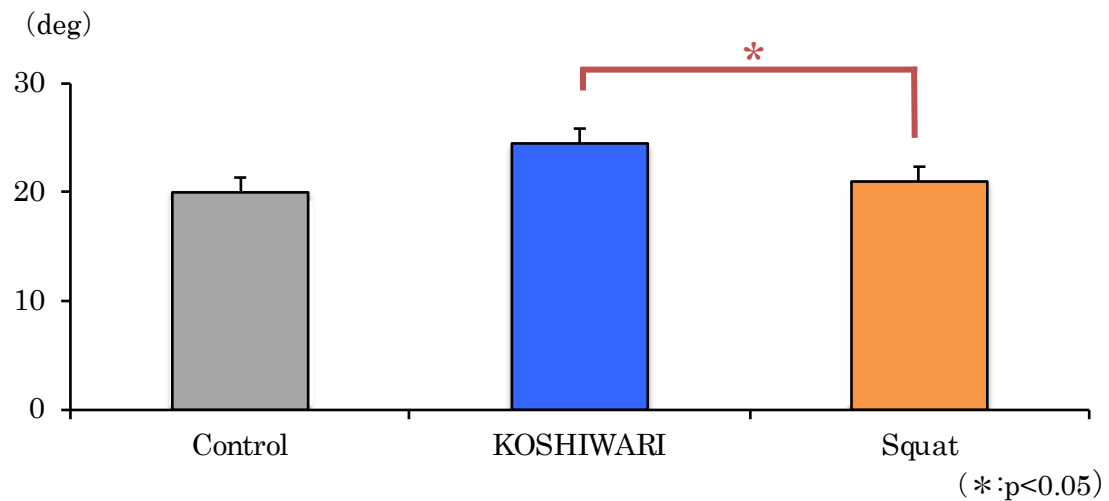


Figure 3-4 ROM of hip extension

(\*:p<0.05)

### C. 股関節外転可動域 (Figure 3-5)

腰割りは  $60.0 \pm 5.8^\circ$  , Control は  $53.5 \pm 6.7^\circ$  , SQ は  $54.0 \pm 4.6^\circ$  であった.

腰割りは, Control に比べ有意に高値を示した.

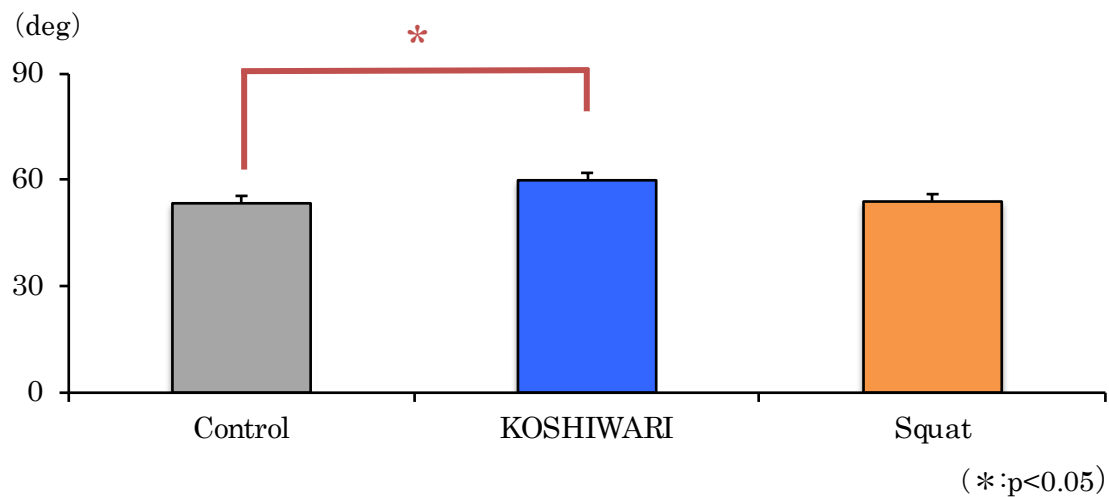


Figure 3-5 ROM of hip abduction.

### D. 股関節内転角度 (Figure 3-6)

腰割りは  $12.0 \pm 2.6^\circ$  , Control は  $14.0 \pm 5.2^\circ$  , SQ は  $11.5 \pm 2.4^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

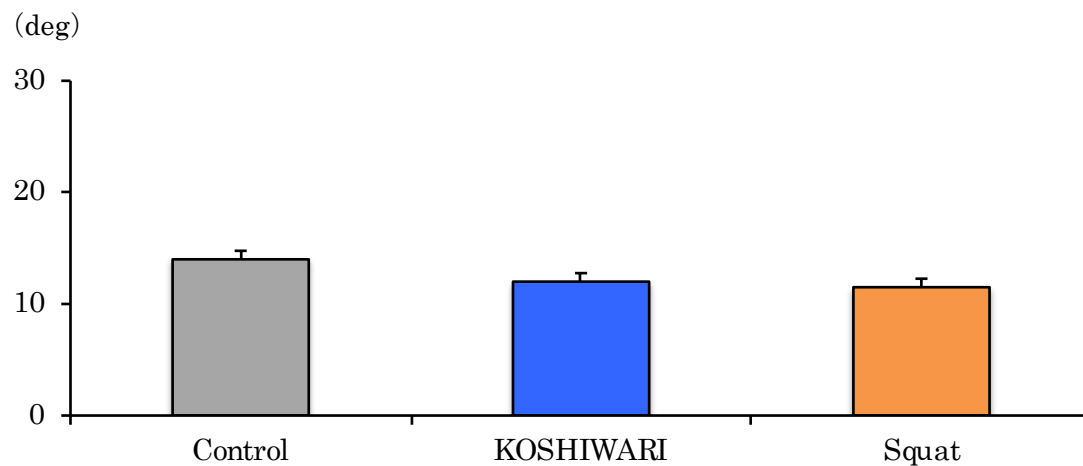


Figure 3-6 ROM of hip adduction.

### E. 股関節外旋可動域 (Figure 3-7)

腰割りは  $69.0 \pm 12.0^\circ$  , Control は  $61.5 \pm 14.2^\circ$  , SQ は  $65.0 \pm 8.8^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

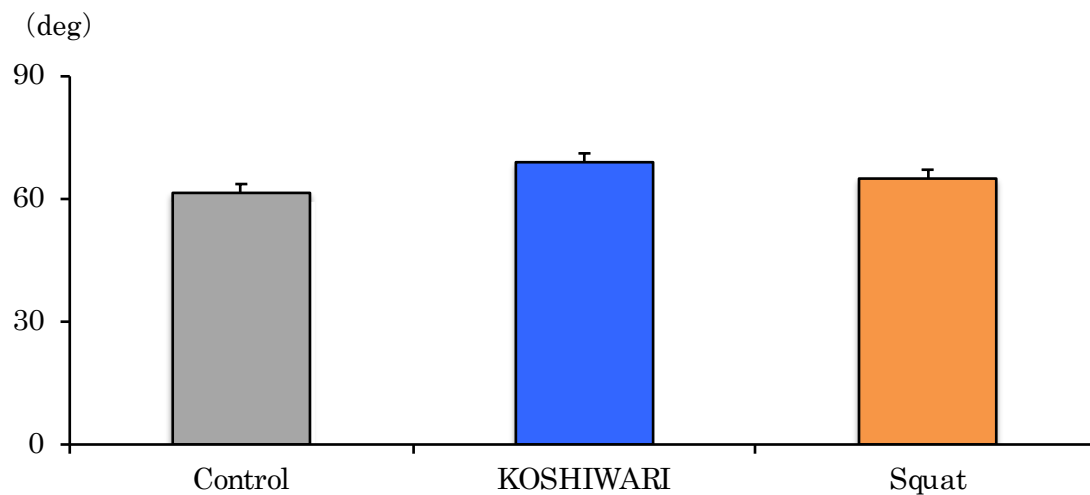


Figure 3-7 ROM of hip external rotation.

### F. 股関節内旋可動域 (Figure 3-8)

腰割りは  $38.5 \pm 13.3^\circ$  , Control は  $34.0 \pm 13.5^\circ$  , SQ は  $36.5 \pm 11.6^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

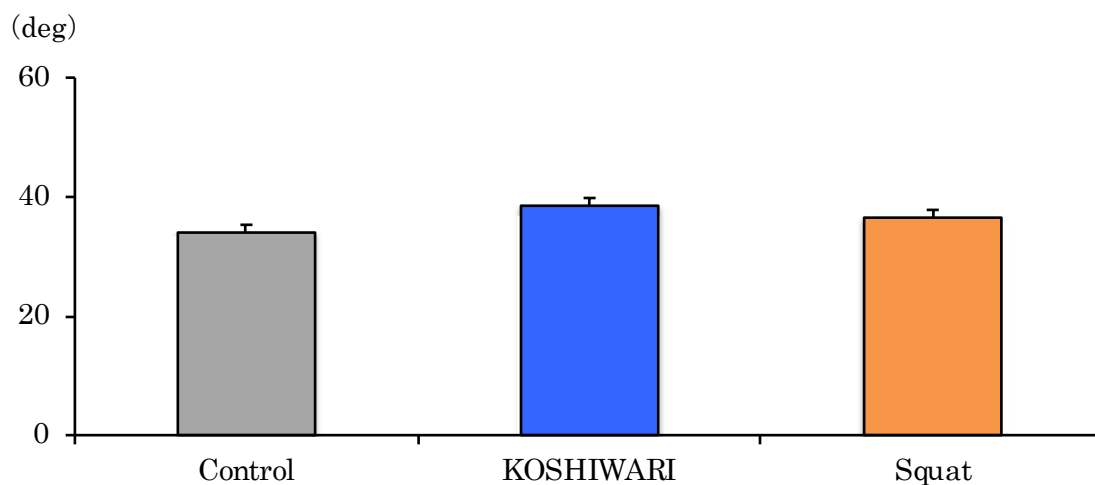


Figure 3-8 ROM of hip internal rotation.

### G. 腹臥位股関節外旋可動域 (Figure 3-9)

腰割りは  $50.0 \pm 8.5^\circ$  , Control は  $49.5 \pm 6.9^\circ$  , SQ は  $54.5 \pm 5.0^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

(deg)

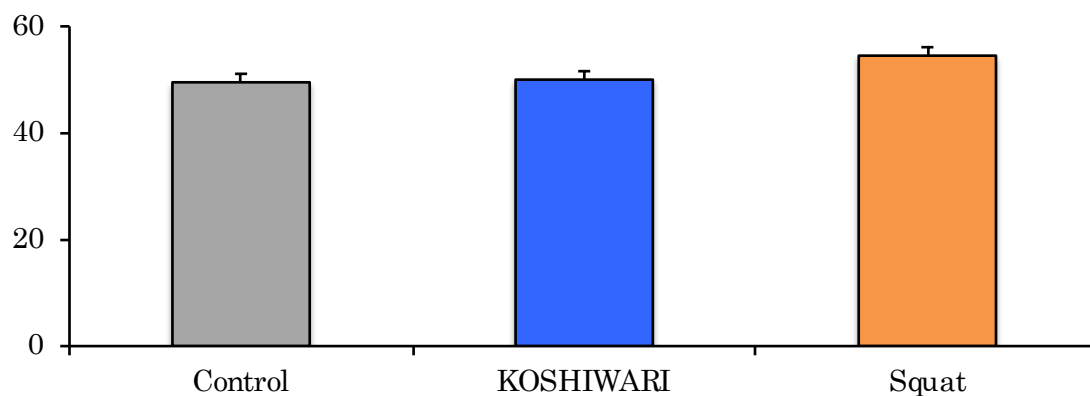


Figure 3-9 ROM of hip external rotation (Abdominal position).

### H. 腹臥位股関節内旋可動域 (Figure 3-10)

腰割りは  $32.5 \pm 12.5^\circ$  , Control は  $38.0 \pm 11.8^\circ$  , SQ は  $36.5 \pm 12.3^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

(deg)

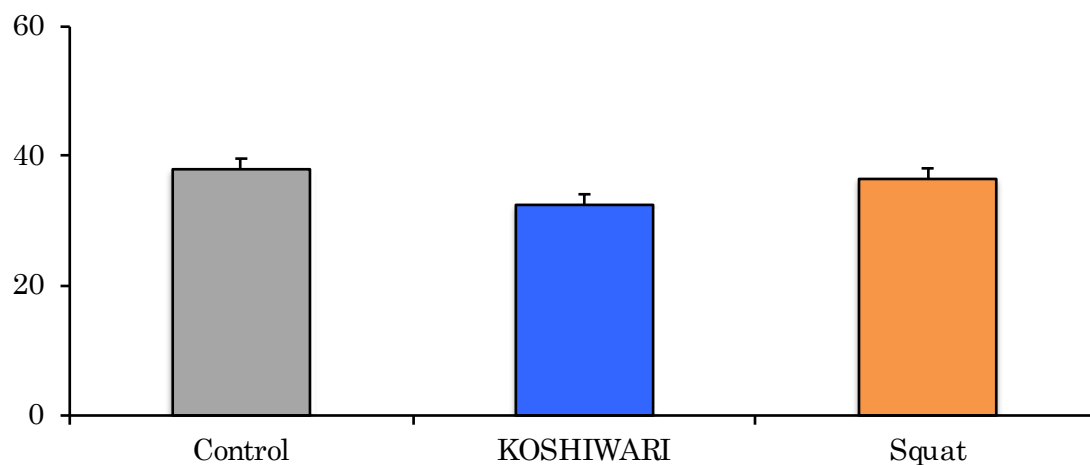


Figure 3-10 ROM of hip internal rotation (Abdominal position).

## I. SLR (Figure 3-11)

腰割りは  $81.5 \pm 7.1^\circ$  , Control は  $72.0 \pm 16.4^\circ$  , SQ は  $79.5 \pm 9.3^\circ$  であった.

試技間に有意差は認められなかった.

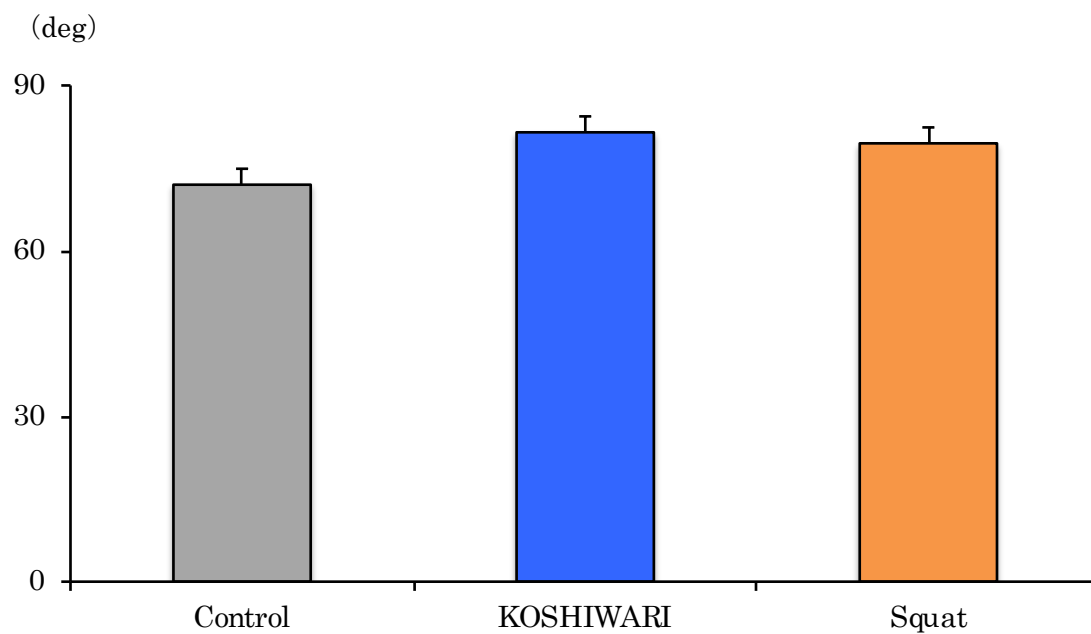


Figure 3-11 ROM of SLR.

## 2) 筋力

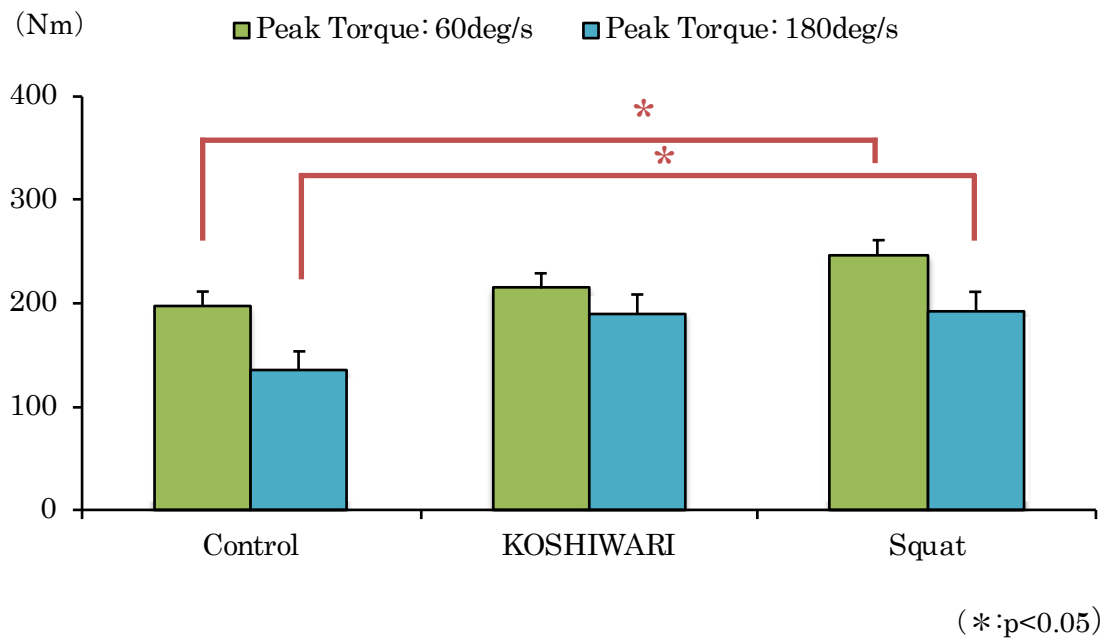
### A. 股関節屈曲筋力 (Figure 3-12, Figure 3-13)

角速度 60deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $214.4 \pm 52.1\text{Nm}$ 、Control は  $196.7 \pm 45.1\text{Nm}$ 、SQ は  $246.5 \pm 46.6\text{Nm}$  であり、SQ は Control に比べ有意に高値を示した。

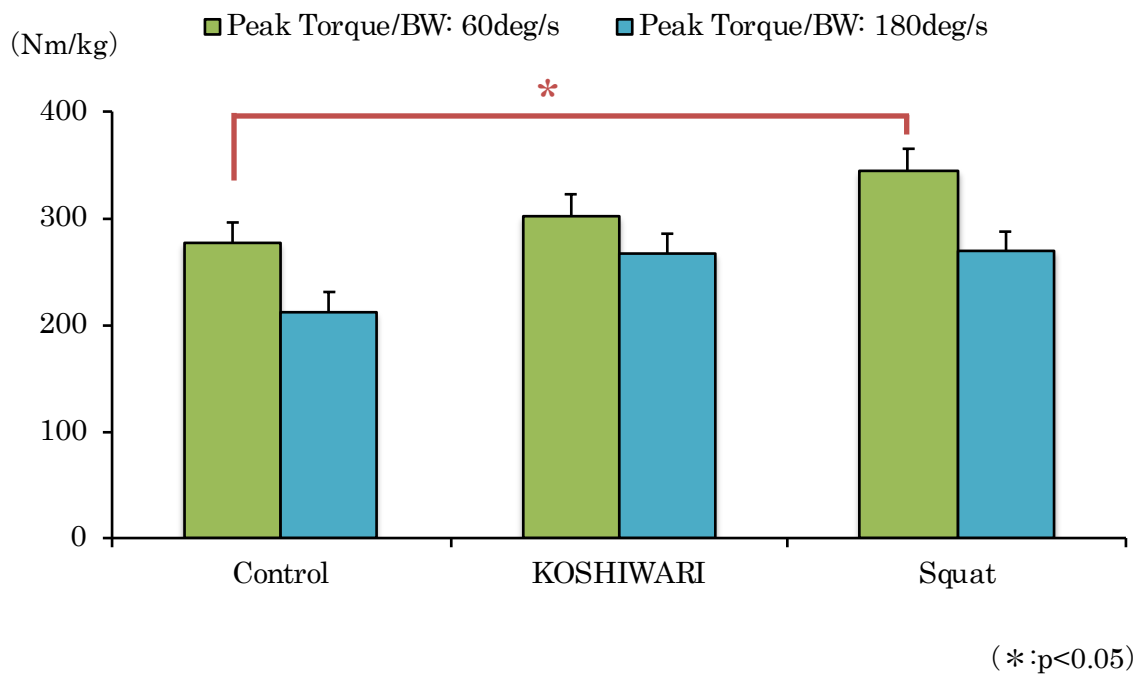
角速度 180deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $189.7 \pm 49.4\text{Nm}$ 、Control は  $134.6 \pm 41.8\text{Nm}$ 、SQ は  $192.2 \pm 37.6\text{Nm}$  であり、SQ は Control に比べ有意に高値を示した。

角速度 60deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $302.3 \pm 84.1\text{Nm/kg}$ 、Control は  $275.9 \pm 69.2\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $345.0 \pm 69.8\text{Nm/kg}$  であり、SQ は Control に比べ有意に高値を示した。

角速度 180deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $266.9 \pm 73.6\text{Nm/kg}$ 、Control は  $212.2 \pm 75.7\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $268.8 \pm 53.8\text{Nm/kg}$  であり、試技間に有意差は認められなかった。



**Figure 3-12 Joint torque of hip flexion (Peak torque).**



**Figure 3-13 Joint torque of hip flexion (Peak torque / BW).**



## B. 股関節伸展筋力 (Figure 3-14, Figure 3-15)

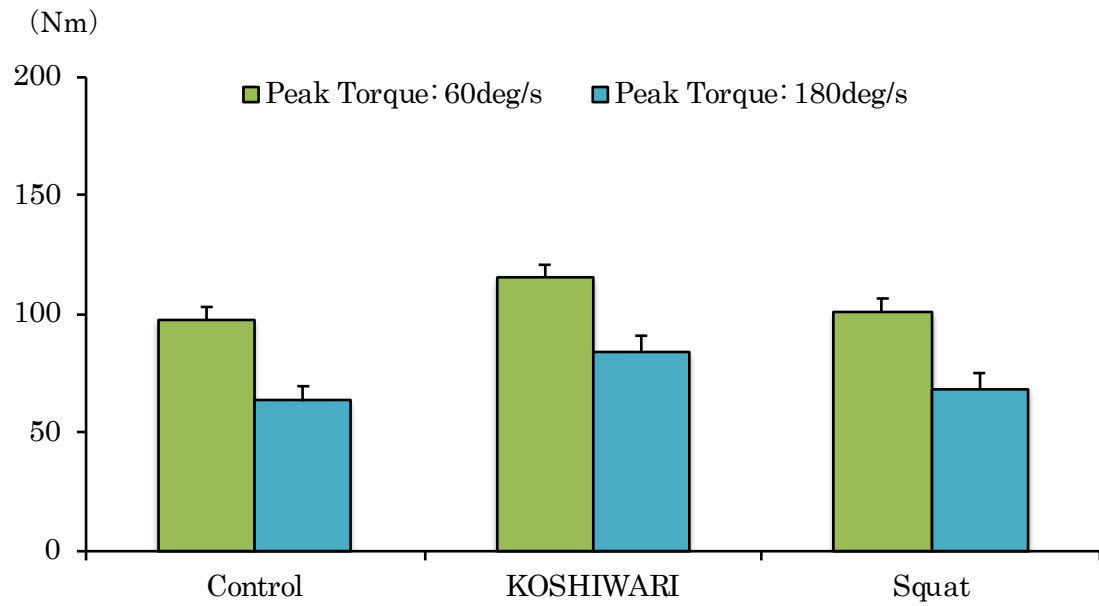
角速度 60deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $115.4 \pm 55.6\text{Nm}$ 、Control は  $97.7 \pm 22.2\text{Nm}$ 、SQ は  $101.2 \pm 16.6\text{Nm}$  であった。

角速度 180deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $84.6 \pm 46.6\text{Nm}$ 、Control は  $63.3 \pm 23.3\text{Nm}$ 、SQ は  $68.8 \pm 19.8\text{Nm}$  であった。

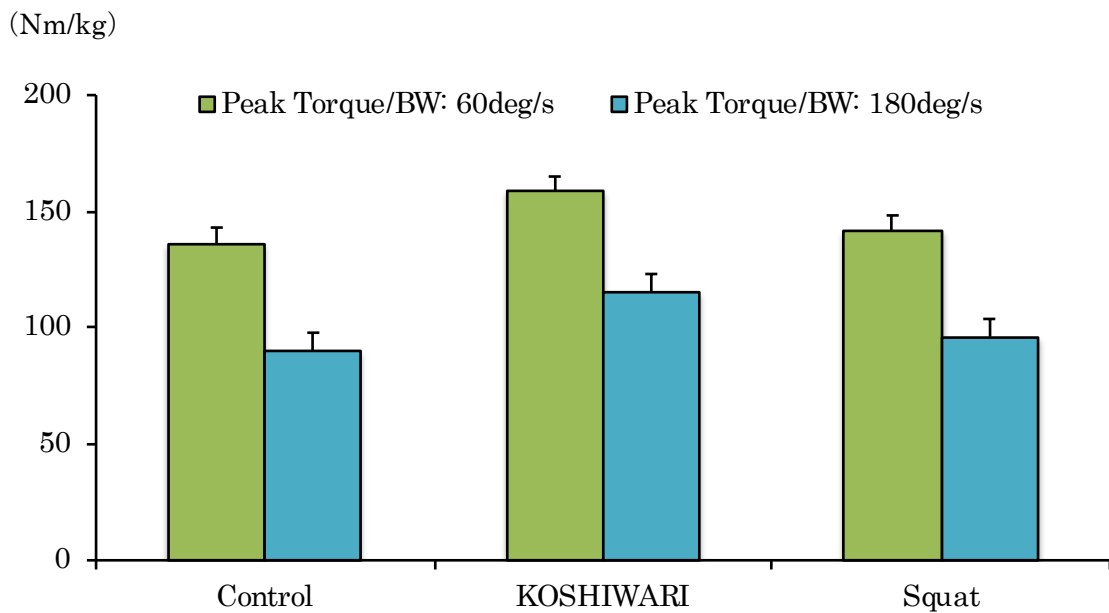
角速度 60deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $158.4 \pm 64.0\text{Nm/kg}$ 、Control は  $136.4 \pm 30.0\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $141.7 \pm 24.4\text{Nm/kg}$  であった。

角速度 180deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $115.5 \pm 53.9\text{Nm/kg}$ 、Control は  $90.2 \pm 35.0\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $96.1 \pm 25.9\text{Nm/kg}$  であった。

いずれも試技間に有意差は認められなかった。



**Figure 3-14 Joint torque of hip extension (Peak torque).**



**Figure 3-15 Joint torque of hip extension (Peak torque / BW).**

### C. 股関節外転筋力 (Figure 3-16, Figure 3-17)

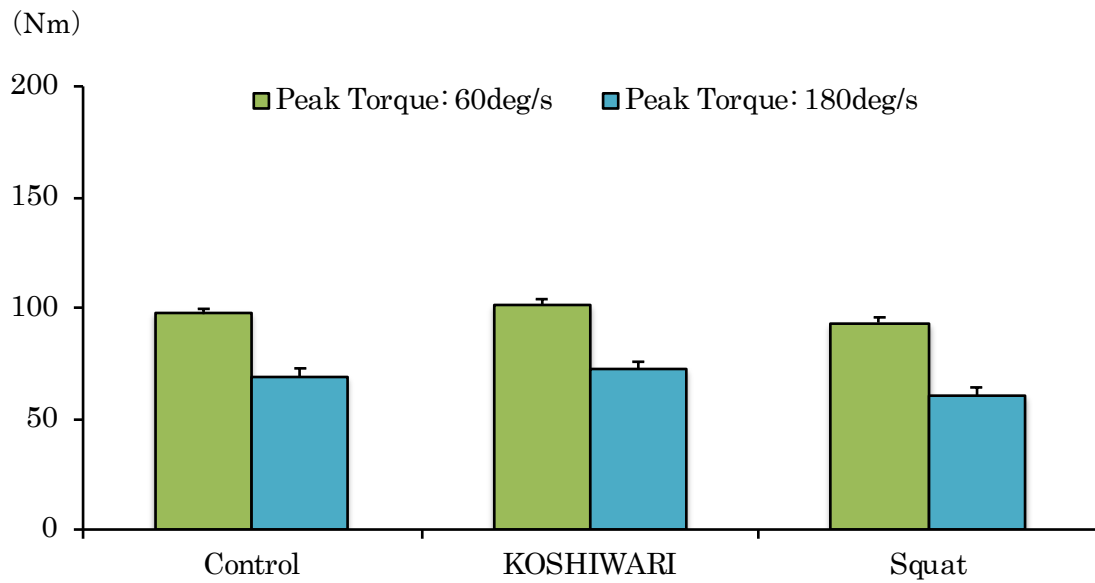
角速度 60deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $101.6 \pm 17.0\text{Nm}$ 、Control は  $97.2 \pm 28.4\text{Nm}$ 、SQ は  $93.4 \pm 15.5\text{Nm}$  であった。

角速度 180deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $72.2 \pm 16.0\text{Nm}$ 、Control は  $69.3 \pm 54.1\text{Nm}$ 、SQ は  $60.7 \pm 18.8\text{Nm}$  であった。

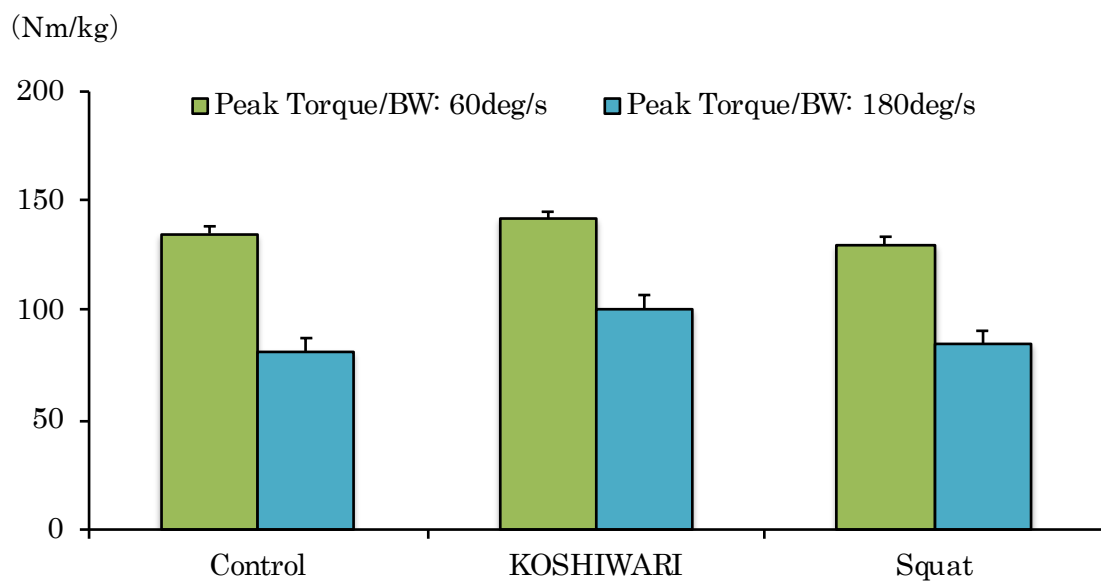
角速度 60deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $141.8 \pm 21.9\text{Nm/kg}$ 、Control は  $135.2 \pm 36.6\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $130.4 \pm 20.9\text{Nm/kg}$  であった。

角速度 180deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $101.0 \pm 23.5\text{Nm/kg}$ 、Control は  $81.4 \pm 39.1\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $84.7 \pm 24.2\text{Nm/kg}$  であった。

いずれも試技間に有意差は認められなかった。



**Figure 3-16 Joint torque of hip abduction (Peak torque).**



**Figure 3-17 Joint torque of hip abduction (Peak torque / BW).**

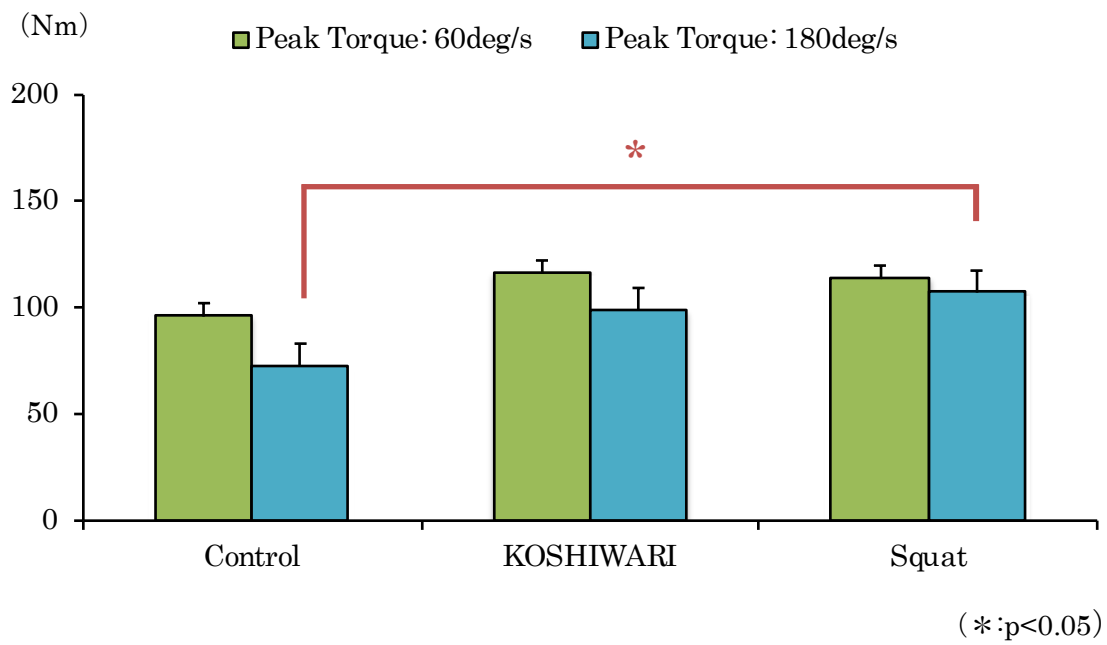
#### D. 股関節内転筋力 (Figure 3-18, Figure 3-19)

角速度 60deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $115.9 \pm 31.3\text{Nm}$ 、Control は  $95.9 \pm 19.6\text{Nm}$ 、SQ は  $113.5 \pm 20.8\text{Nm}$  であり、試技間に有意差は認められなかった。

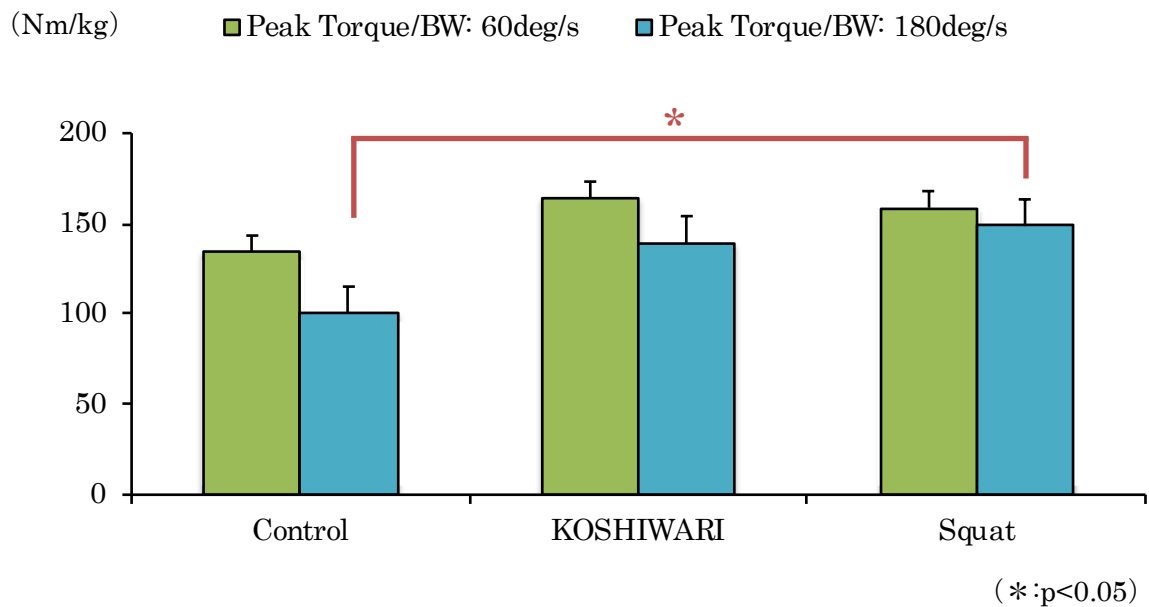
角速度 180deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $99.0 \pm 31.6\text{Nm}$ 、Control は  $72.8 \pm 33.7\text{Nm}$ 、SQ は  $107.1 \pm 30.5\text{Nm}$  であり、SQ は Control に比べ有意に高値を示した。

角速度 60deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $164.0 \pm 53.4\text{Nm/kg}$ 、Control は  $134.2 \pm 29.1\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $158.8 \pm 31.5\text{Nm/kg}$  であり、試技間に有意差は認められなかった。

角速度 180deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $139.3 \pm 48.7\text{Nm/kg}$ 、Control は  $100.3 \pm 48.5\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $148.6 \pm 37.7\text{Nm/kg}$  であり、SQ は Control に比べ有意に高値を示した。



**Figure 3-18 Joint torque of hip adduction (Peak torque).**



**Figure 3-19 Joint torque of hip adduction (Peak torque / BW).**

#### E. 膝関節伸展筋力 (Figure 3-20, Figure 3-21)

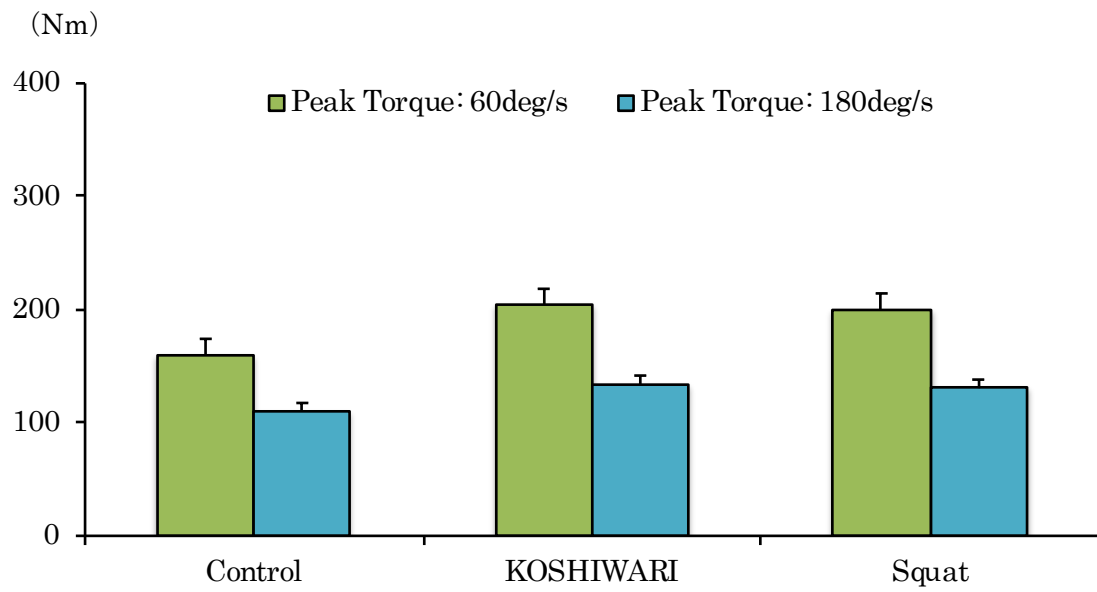
角速度 60deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $204.3 \pm 29.9\text{Nm}$ 、Control は  $160.0 \pm 52.6\text{Nm}$ 、SQ は  $200.2 \pm 19.5\text{Nm}$  であった。

角速度 180deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $134.1 \pm 19.0\text{Nm}$ 、Control は  $109.9 \pm 24.8\text{Nm}$ 、SQ は  $130.6 \pm 20.6\text{Nm}$  であった。

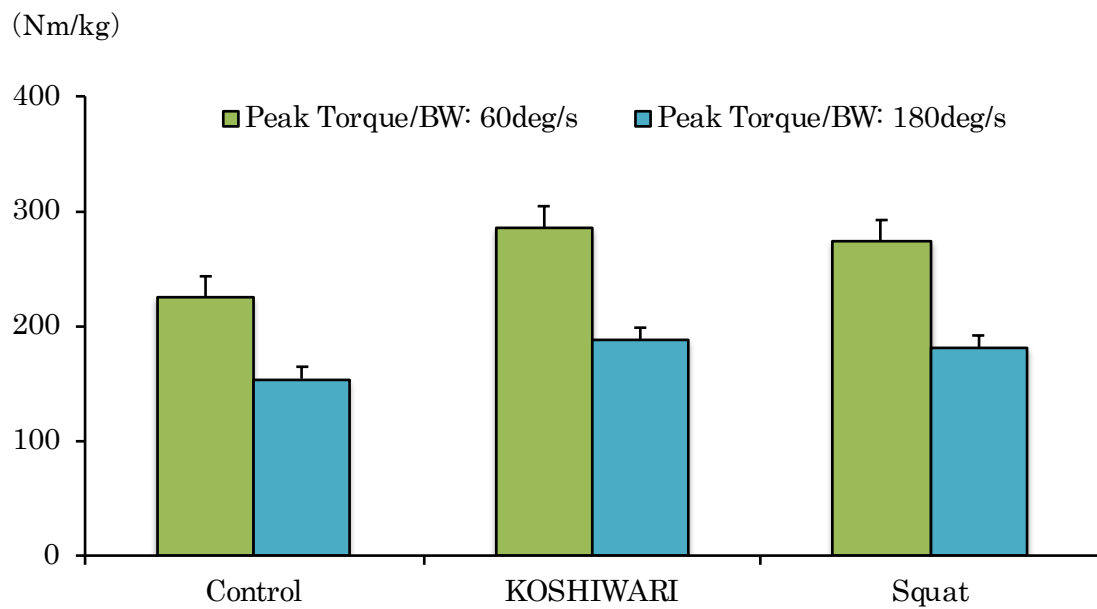
角速度 60deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $285.6 \pm 43.5\text{Nm/kg}$ 、Control は  $224.6 \pm 77.8\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $273.6 \pm 42.7\text{Nm/kg}$  であった。

角速度 180deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $188.1 \pm 30.3\text{Nm/kg}$ 、Control は  $154.1 \pm 38.6\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $181.3 \pm 31.1\text{Nm/kg}$  であった。

いずれも試技間に有意差は認められなかった。



**Figure 3-20 Joint torque of knee extension (Peak torque).**



**Figure 3-21 Joint torque of knee extension (Peak torque / BW).**



#### F. 膝関節屈曲筋力 (Figure 3-22, Figure 3-23)

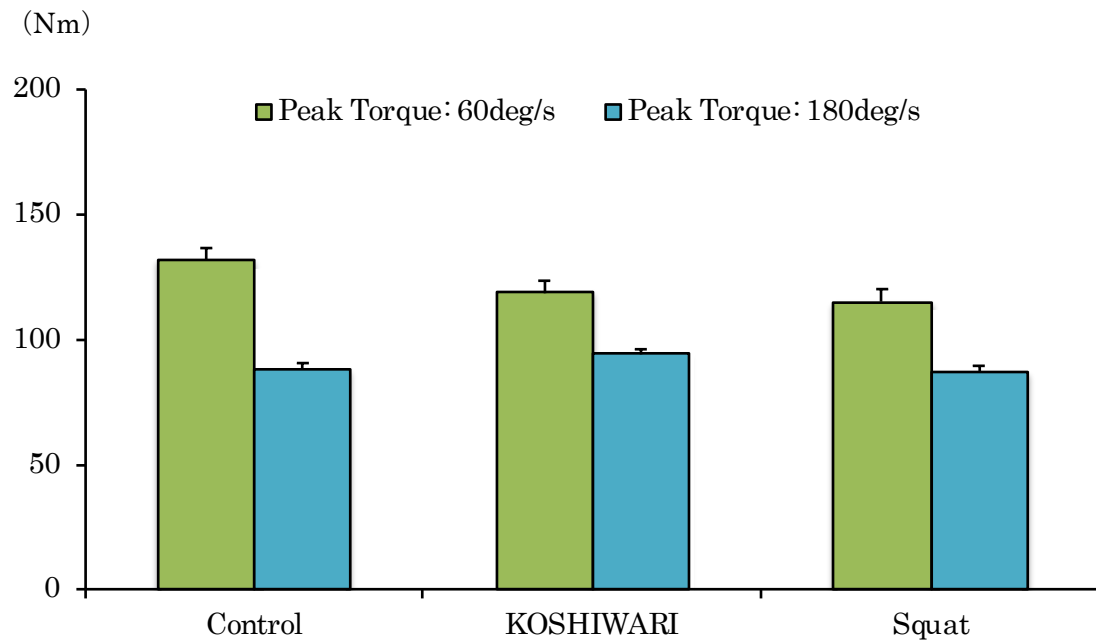
角速度 60deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $118.5 \pm 20.6\text{Nm}$ 、Control は  $131.5 \pm 48.2\text{Nm}$ 、SQ は  $115.1 \pm 19.4\text{Nm}$  であった。

角速度 180deg/sec におけるピークトルク値は、腰割りは  $94.0 \pm 17.5\text{Nm}$ 、Control は  $88.5 \pm 45.8\text{Nm}$ 、SQ は  $87.4 \pm 14.6\text{Nm}$  であった。

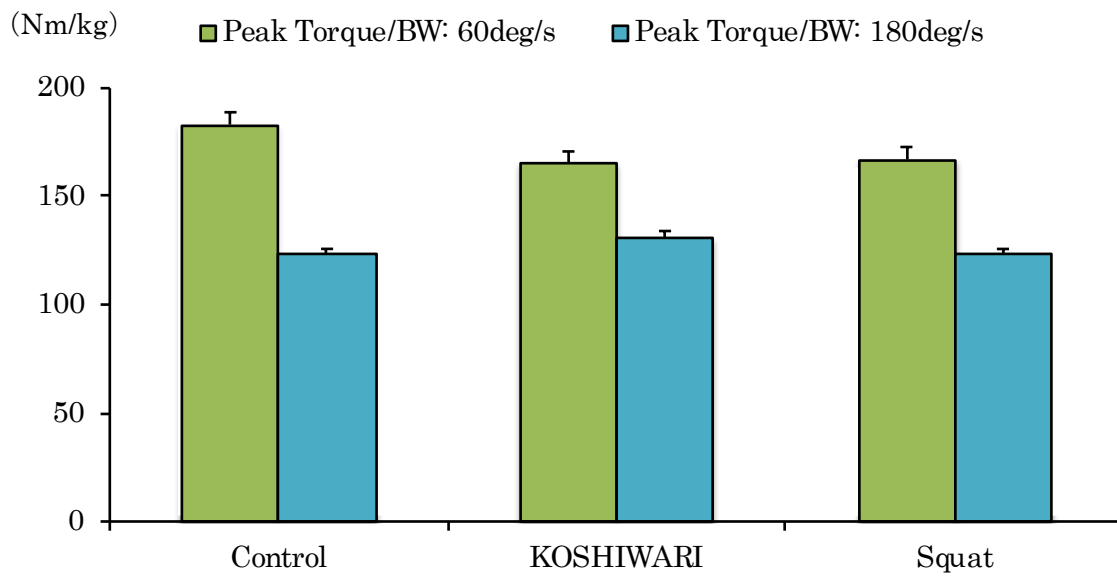
角速度 60deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $165.1 \pm 28.7\text{Nm/kg}$ 、Control は  $183.2 \pm 64.8\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $167.1 \pm 37.8\text{Nm/kg}$  であった。

角速度 180deg/sec における体重比筋力は、腰割りは  $131.3 \pm 23.4\text{Nm/kg}$ 、Control は  $123.1 \pm 61.7\text{Nm/kg}$ 、SQ は  $181.3 \pm 31.1\text{Nm/kg}$  であった。

いずれも試技間に有意差は認められなかった。



**Figure 3-22 Joint torque of knee flexion (Peak torque).**



**Figure 3-23 Joint torque of knee flexion (Peak torque / BW).**

### 3) 運動能力

#### A. 立ち幅跳び (Figure 3-24)

腰割りは  $227.2 \pm 19.4\text{cm}$ , Control は  $222.8 \pm 15.9\text{cm}$ , SQ は  $221.4 \pm 19.0\text{cm}$  であった。試技間に有意差は認められなかった。

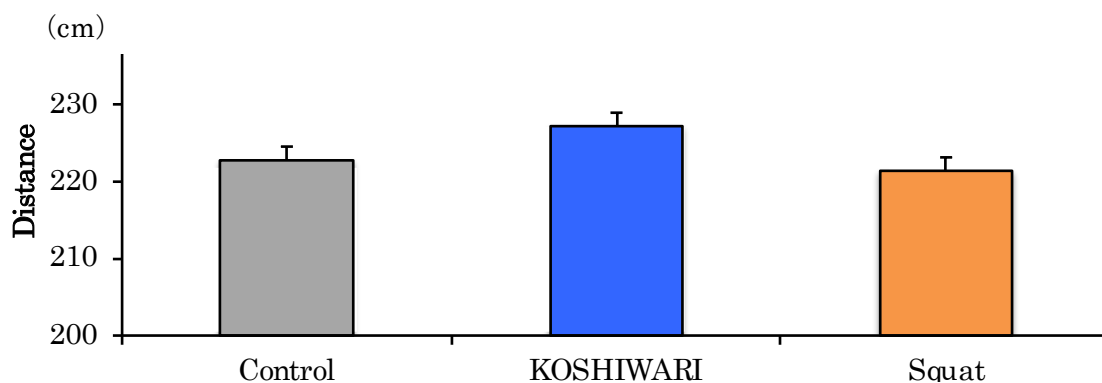
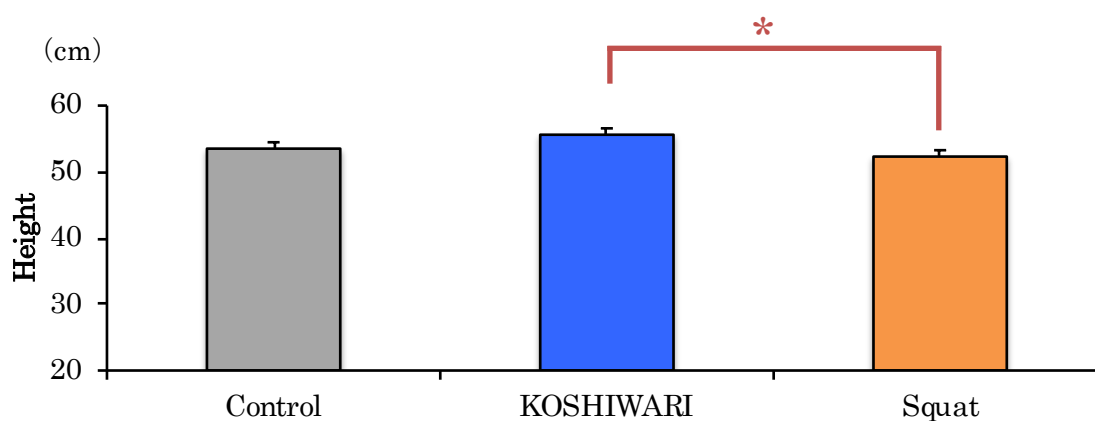


Figure 3-24 Broad jump.

#### B. 垂直跳び (Figure 3-25)

腰割りは  $55.6 \pm 5.5\text{cm}$ , Control は  $53.5 \pm 5.7\text{cm}$ , SQ は  $52.3 \pm 6.7\text{cm}$  であった。

腰割りは SQ に比べ有意に高値を示した。

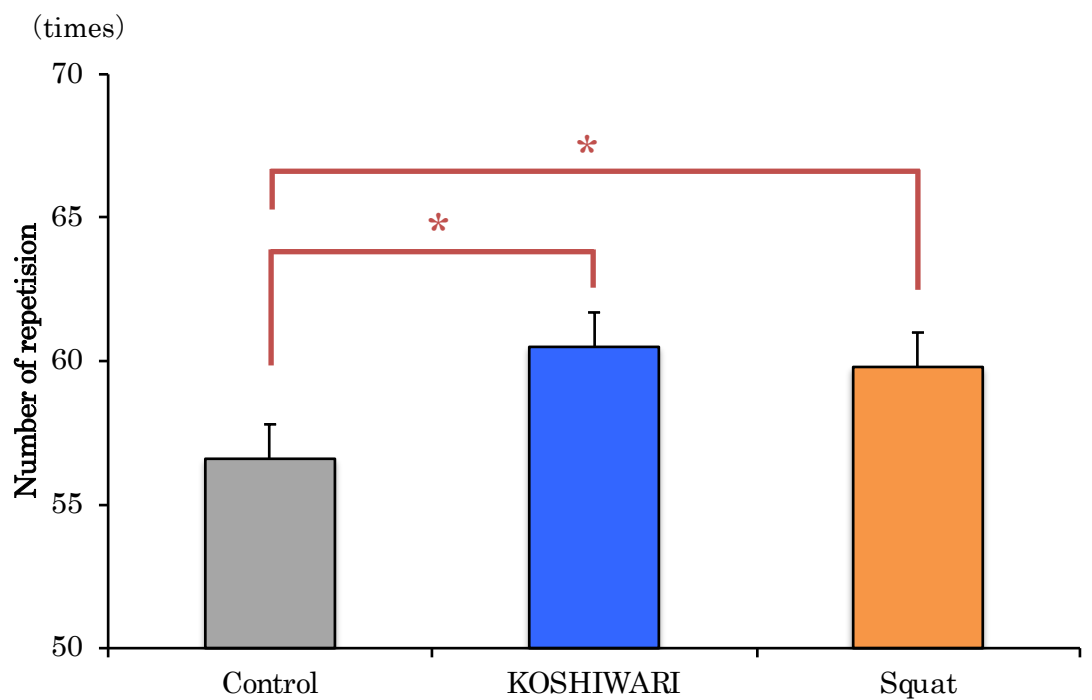


(\*:  $p < 0.05$ )

Figure 3-25 Vertical jump.

### C. 反復横とび (Figure 3-26)

腰割りは  $60.5 \pm 4.3$ times, Control は  $56.6 \pm 4.2$ times, SQ は  $59.8 \pm 5.1$ times であった。腰割りおよび SQ は Control に比べ有意に高値を示した。



(\*:p<0.05)

Figure 3-26 Side step.

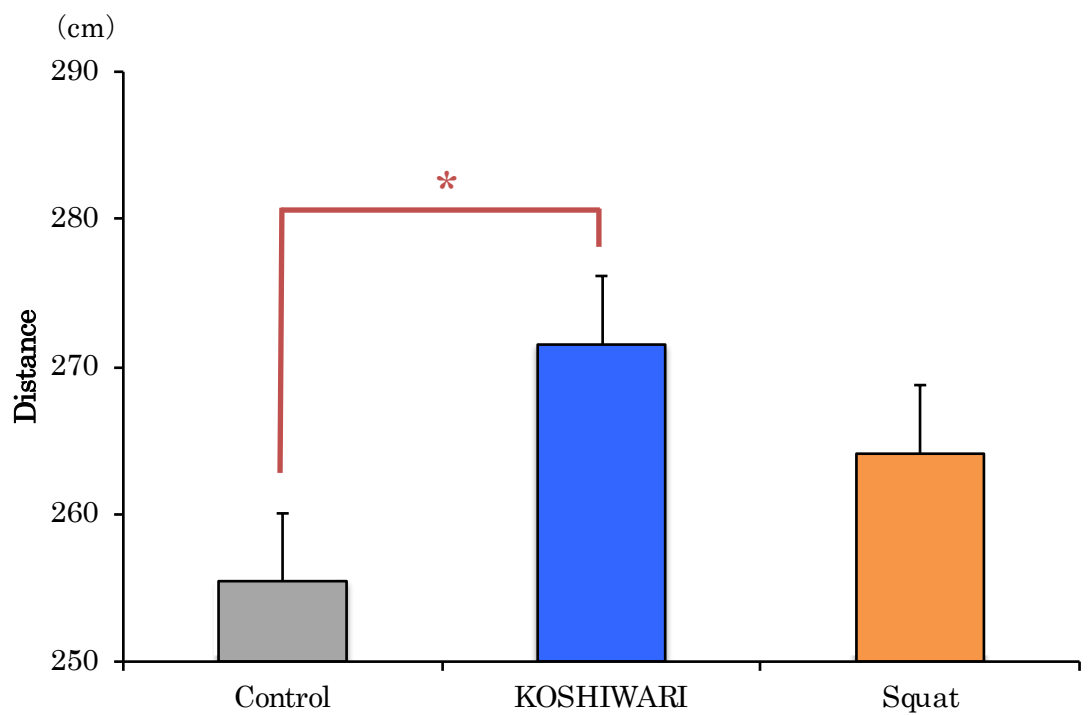
#### 4) 動的バランス能力測定

##### SEBT

##### A. 複合スコア (Figure 3-27)

腰割りは  $271.5 \pm 15.3\text{cm}$ , Control は  $255.4 \pm 13.1\text{cm}$ , SQ は  $264.1 \pm 13.2\text{cm}$  であっ

た. 腰割りは Control に比べ有意に高値を示した.



(\*:p<0.05)

Figure 3-27 Total score of SEBT.

## B. 方向別スコア (Figure 3-28, Figure 3-29, Figure 3-30)

Anterior において、腰割りは  $62.6 \pm 5.1\text{cm}$ 、Control は  $60.7 \pm 5.9\text{cm}$ 、SQ は  $62.5 \pm 4.6\text{cm}$  であり、試技間に有意差は認められなかった。

Posterolateral において、腰割りは  $102.7 \pm 7.6\text{cm}$ 、Control は  $96.4 \pm 4.8\text{cm}$ 、SQ は  $99.9 \pm 7.1\text{cm}$  であり、腰割りは Control に比べ有意に高値を示した。

Posteromedial において、腰割りは  $106.2 \pm 6.0\text{cm}$ 、Control は  $98.3 \pm 5.9\text{cm}$ 、SQ は  $101.7 \pm 5.8\text{cm}$  であり、腰割りは SQ および Control に比べ有意に高値を示した。

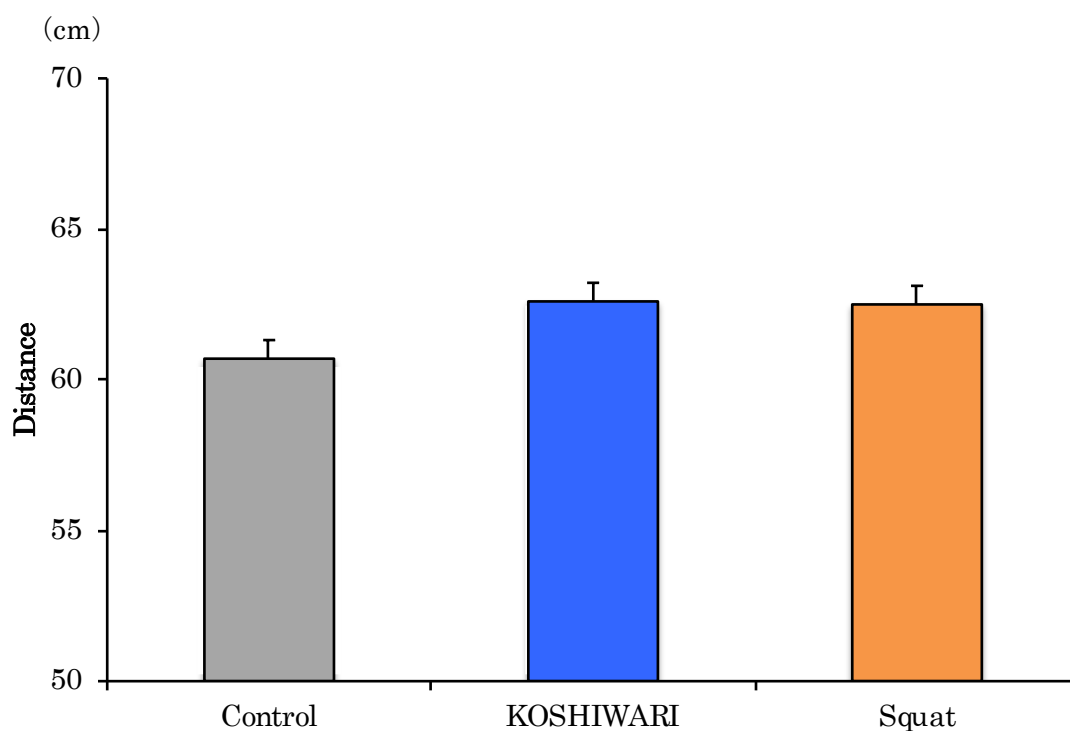


Figure 3-28 Anterior of SEBT.

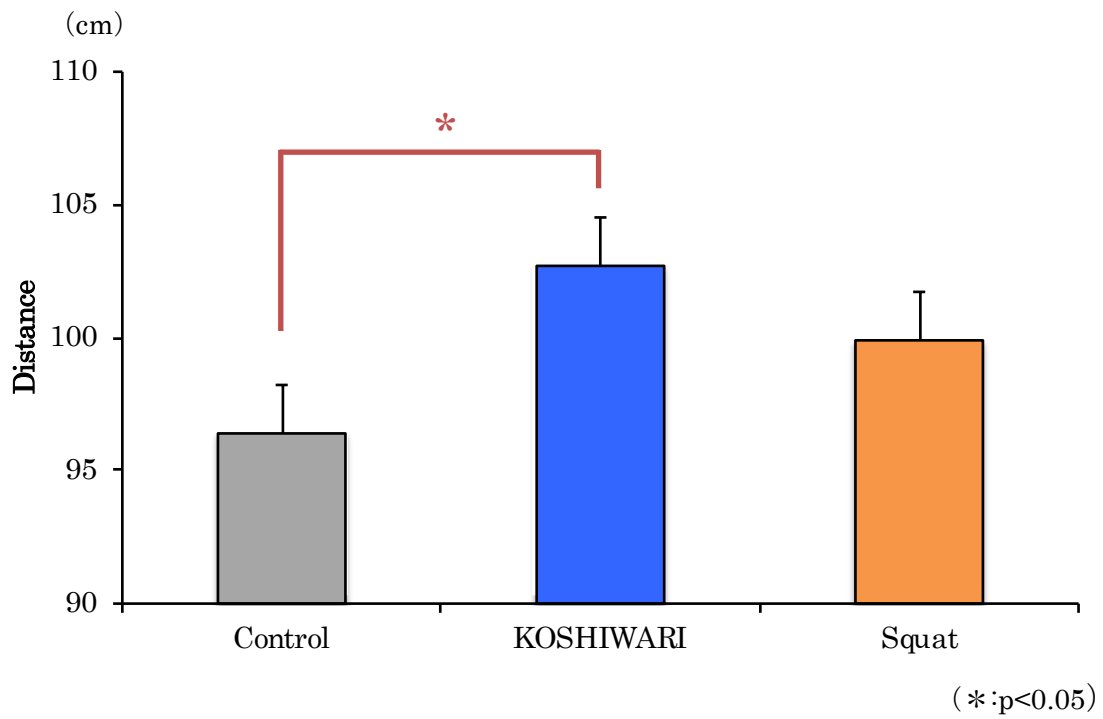


Figure 3-29 Posterolateral of SEBT.

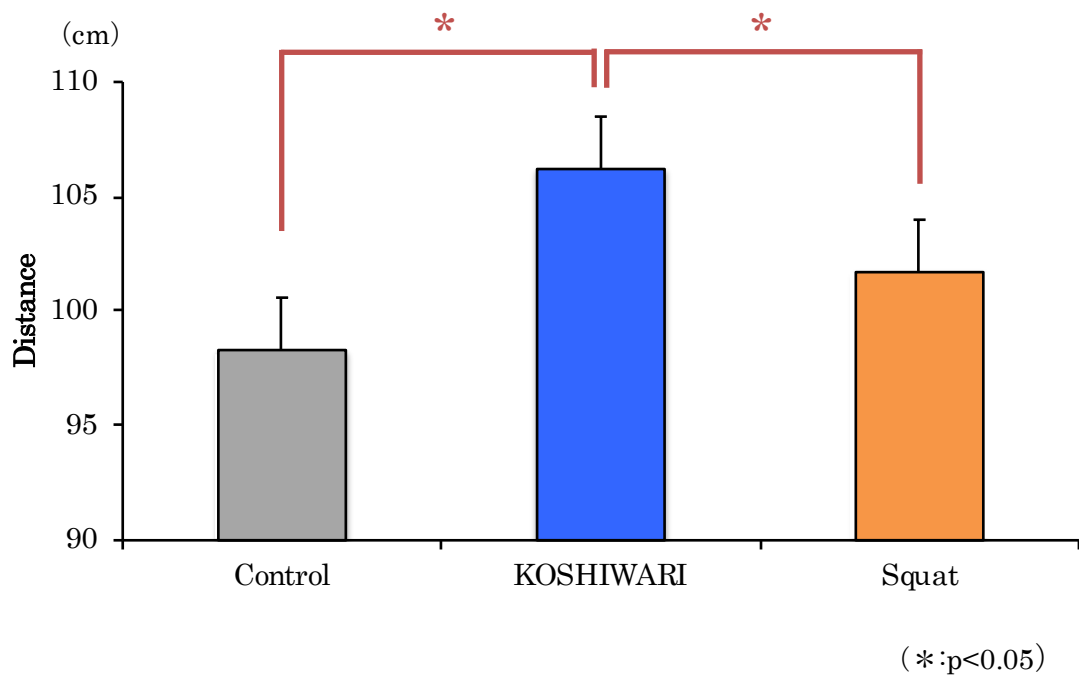


Figure 3-30 Posteromedial of SEBT.

## 4. 考察

### A. 関節可動域

股関節外転可動域において、腰割りは **Control** に比べ有意に高値を示した。Donald (2005) は、股関節の最終外転可動域において制限となる靭帯および筋組織は、恥骨大腿靭帯、股関節内転筋群およびハムストリングスであると報告している。また、Gayle et al. (2011) は、ハムストリングスに対するダイナミックストレッチの即時的効果について検討しており、静的柔軟性および動的柔軟性をダイナミックストレッチの前後に測定した結果、静的柔軟性、動的柔軟性ともに向上がみられたと報告している。さらに、Gayl et al. らが用いたエクササイズは股関節屈曲を強調したものであるため、筋肉に対して適度な伸張ストレスを加えるとともに、拮抗筋であるハムストリングスに相反抑制を起こさせたことが柔軟性向上に寄与したと考えられる。また、研究課題 1-2 において腰割りの股関節内転角力積は **SQ** に比べ高値を示していたことから、内転筋群の活動とともに筋肉の伸張（ストレッチ）がトルク発生に関与している可能性がある。したがって、股関節の外転、外旋運動を強調した腰割りは、内転筋群に対し適度な伸張ストレスを加えることが可能であると考えられる。さらに、大殿筋は内転筋群の拮抗筋でもあることから、腰割りによる大殿筋の筋活動によって、内転筋群に対し相反抑制が働くなどのダイナミックストレッチ要素を含んでいると考えることができる。以上のことから、腰割りによる内転筋群へのダイナミックストレッチ効果が、股関節内転筋群の柔軟性向上に寄与した結果、**Control** よりも股関節外転可動域が向上したと考えることができる。

### B. 筋力

股関節屈曲筋力の 60deg/sec および 180deg/sec におけるピークトルク値において **SQ** は **Control** に比べ有意に高値を示し、体重比筋力でも 60deg/sec において有意に高値を示した。一般的に **SQ** は股関節伸展および膝関節伸展の筋力強化をエクササイズの主目的とし



ている (Manabe, 2007; McCaw, 1999) にもかかわらず, 本研究では股関節伸展および膝関節伸展トルクには変化がみられず, 股関節屈曲トルクが向上した. この結果には, 先行研究との試技の違いが影響していると考えられる. 先行研究では, バーベルなどの重量負荷物を用いて股関節および膝関節の伸展を意識した速い運動速度で SQ を実施し, その即時的効果を検証しているものが多いのに対し, 本研究では, 自体重負荷にて 1 動作に 5 秒間かける低速度にて, 股関節屈曲および骨盤の前傾を意識するよう SQ を実施した. 以上のことから, 本研究にて実施した SQ は, 股関節屈曲を強調したエクササイズであると考えことができ, エクササイズに伴う股関節屈曲運動の繰り返しが股関節屈曲筋群の筋賦活を促し, Control よりも股関節屈曲トルクが向上したと考えられる.

股関節内転筋力の 180deg/sec におけるピークトルクおよび体重比筋力において, SQ は Control に比べ有意に高値を示した. Donald et al. (2005) は, 股関節屈曲伸展運動における股関節内転筋群の貢献度について報告しており, 股関節内転筋群の中でも長内転筋は矢状面上において, 股関節屈曲 60°以上では股関節伸展筋, 股関節屈曲 60°以下では股関節屈曲筋として 2 つの作用を持つことから, SQ の様な矢状面上の股関節運動を主とするエクササイズでは長内転筋が動作遂行において大きな役割を担うと述べている. また, McCaw et al. (1999) によると, SQ 時の足幅を肩幅の 140%で行うワイドスタンス SQ は, 他の足幅に比べて長内転筋の筋活動量が大きかったと報告している. 本研究では, McCaw et al.の報告におけるワイドスタンス SQ の足幅を採用しており, 内転筋群がより活動しやすい試技であったと考えられる. 以上のことから, SQ にて長内転筋を中心とした内転筋群が活動したことにより筋機能が賦活され, Control よりも股関節内転トルクが向上したと考えられる.

### C. 運動能力

垂直跳びにおいて, 腰割りは SQ に比べ有意に高値を示した. 阿江ら (1994) は, 垂直

跳びの踏切動作時における努力度を変化させた際の下肢関節モーメントによるパワー、力学的仕事および下肢関節の貢献度の変化について報告している。阿江らは、跳躍高 60% / MAX までは足関節や膝関節の貢献度が高く、跳躍高 60% / MAX 以上で股関節の力学的仕事や貢献度が有意に増大したと報告している。また、鳥海ら (1988) は、垂直跳び踏切時における各関節でのパワー発揮の特徴について報告しており、垂直跳び踏切時における股関節伸展運動の貢献度は 52.3% であり、全ての関節の中で最も大きかったと述べている。以上のことから、腰割りによる大殿筋の活動が筋賦活を促し、股関節伸展筋力が一時的に向上した結果、SQ よりも垂直跳びの高さが向上したと考えられる。

先行研究において、SQ により垂直跳びの即時的向上がみられるという報告があるにもかかわらず、本研究においては測定値に向上は認められなかった。この要因として、先行研究との試技の違いが影響していると考えられる。先行研究では、バーベルなどの重量負荷を加えた状態で、ジャンプ動作の運動特異性を考慮し、股関節および膝関節の伸展動作を強調した早い運動速度で試技を実施している報告が多いのに対して、本研究における試技は自体重負荷にて、骨盤の前傾および股関節の屈曲を強調した 1 動作を 5 秒間で行う低速度の試技で実施している。ジャンプ動作は、股関節の伸展動作を強化することが記録を向上させることにつながると考えられるが、本研究にて実施した SQ は股関節の屈曲動作を強調した動作であったため、股関節の伸展動作は強化されず、垂直跳びの記録が向上しなかったと考えられる。

反復横とびにおいて、腰割りおよび SQ は、Control に比べ有意に高値を示した。青木ら (2011) は、反復横とび時の下肢および体幹部の筋活動量について分析しており、反復横とび中における内転筋群の筋活動量の増加が、反復回数を向上させる要因になると報告している。青木らによると、内転筋群の筋活動量の増加は、反復横とび動作時の側方への骨盤挙動を安定させることにつながるとしている。本研究において、SQ は股関節内転筋の筋力が Control に比べ高値を示し、腰割りも有意差は認められないものの Control に比

べ高値を示した。以上のことから、腰割りおよび SQ による内転筋群の活動が筋賦活を促し、股関節内転筋力が一時的に向上した結果、Control よりも反復横とびの回数が向上したと考えられる。

#### D. 動的バランス能力

SEBT の Total において、腰割りは Control に比べ有意に高値を示した。また、方向別スコアについて検討すると、Posterolateral において腰割りは Control よりも有意に高値を示し、Posteromedial において腰割りは SQ および Control よりも有意に高値を示した。SEBT は動的バランスの評価として行われており、コアの安定性向上、下肢の筋力向上やバランストレーニングの介入などにより、結果が向上することが明らかとなっている (Alyson et al., 2010; Gribble et al., 2012)。Farzaneh et al. (2012) は、SEBT におけるリーチ距離と股関節筋力の関係性について報告しており、Posterolateral および Posteromedial などの後方へのリーチ距離と支持脚の股関節伸展筋力との間に相関が認められたと報告している。本研究における股関節伸展筋力を比較すると、有意差は認められないものの、腰割りは 60deg/s, 180deg/s ともに SQ および Control に比べ高値を示している。また研究課題 1-1 にて、腰割りは股関節伸展筋である大殿筋の筋活動量が SQ よりも高値を示していることから、腰割りによる大殿筋の活動が筋賦活を促し、股関節伸展筋力が一時的に向上した結果、SQ および Control よりも SEBT スコアが向上したと考えられる。また、Anterior へのリーチ距離に関しては変化が認められなかった。この理由として、前方へのリーチ動作は膝関節伸展筋力および足関節背屈可動性が影響するため (Gribble et al., 2012)、腰割りや SQ などのエクササイズではそれぞれの要因に影響を及ぼさなかったことが考えられる。

## 5. 結論

本研究は、腰割りの即時的効果を明らかにすることを目的として、腰割りおよび WSQ の即時的効果を股関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力について比較・検討した。結果は以下の通りである。

1. 関節可動域測定における股関節外転可動域は、腰割りが Control に比べ有意に高値を示した。
2. 運動能力測定における反復横とびは、腰割りが Control に比べ有意に高値を示した。
3. 動的バランス能力測定における SEBT スコアは、腰割りが Control に比べ有意に高値を示した。
4. 筋力測定における股関節屈曲筋力の 60deg/sec のピークトルク値、体重比筋力および 180deg/sec のピークトルク値は、SQ が Control に比べ有意に高値を示した。また、股関節内転筋力の 180deg/sec のピークトルク値および体重比筋力は、SQ が Control に比べ有意に高値を示した。

## 第4章【研究課題3】腰割りの長期的トレーニング効果に関する研究

### 1. 背景・目的

研究課題2では、腰割りの即時的効果について検討し、股関節可動域、運動能力、動的バランス能力の改善が認められた。腰割りのトレーニング効果を明らかにする上で、即時的効果について検討するとともに長期的効果についても検討する必要がある。SQのトレーニング効果に関する報告は1RMの重量、ジャンプ能力、スプリント能力などから検討したものが多いが(Matthew et al., 2016; Hartmann et al., 2012)、関節可動域、股関節や膝関節周囲筋の筋力などの詳細な体力要素に及ぼす影響について検討された報告は少ない。また、SQの効果に関する報告は、バーベルなどの重量負荷を加えた状態での検討が多く、自体重負荷にて検討されたものは少ない。パフォーマンス向上を目的としたトレーニングプログラムの導入、およびアスレティックリハビリテーションでは、自体重負荷でのSQなどを中心としたCKC-Exも実施されているため、重量負荷を加えた状態での検討とともに、自体重負荷でのCKC-Exのトレーニング効果に関する検討も必要であると考えられるが、腰割りに関してトレーニング効果を検証した研究は皆無に等しい。そこで研究課題3では、腰割りにおける長期的トレーニング効果の特徴を明らかにすることを目的とし、腰割りおよびSQを8週間実施し、股関節の関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力に及ぼす影響を比較・検討することとした。

## 2. 研究方法

### 1) 対象

一般健常男性 11 名を対象とし，ランダムに腰割り群 6 名と SQ 群 5 名に分け検討した．また，利き足はボールを蹴る足と定義し，全ての対象者の利き足は右脚であった．なお，対象者は過去 1 年以内に下肢に外傷・障害を発生しておらず，現在疼痛や違和感などの訴えないものとした．対象者には事前に本研究の目的および方法，実験により起こりうる危険性に関して十分な説明を行い，本人の同意を得て実施した．なお，本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に準拠して倫理的配慮のもと行われた．

## 2) 研究プロトコル

全ての対象者は、Pre 測定として股関節の関節可動域、下肢筋力、運動能力および動的バランス能力を測定した。その後、週 3 回の頻度で 8 週間（合計 24 セッション）のエクササイズを実施した。4 週間後および 8 週間後にそれぞれ Mid 測定、Post 測定として再度全ての測定を行った。なお期間中、本研究で実施したエクササイズ以外の体力トレーニングは行っていない（Figure 4-1）。

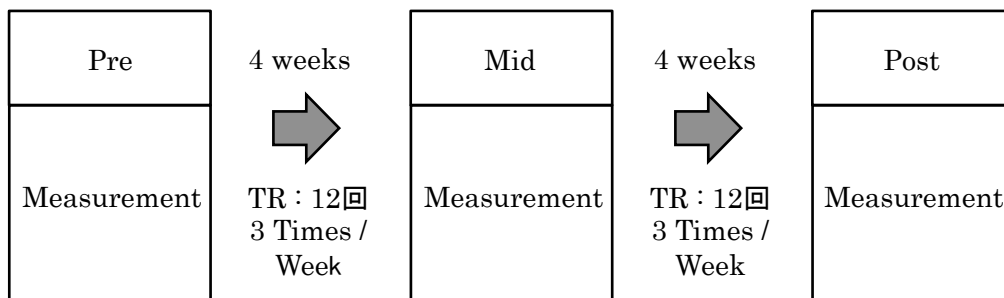


Figure 4-1 Experimental protocol for long-term effect.

### 3) 介入方法 (試技内容)

腰割り群と SQ 群はそれぞれ週 3 回のエクササイズを計 8 週間実施した。腰割り群, SQ 群ともに 1 回のセッションを, 30 回 (60bpm に設定したメトロノームを使用し, 下降 2 秒, 最下降位保持 1 秒, 上昇 2 秒の 1 動作 5 秒間) を 1 セットとし, 計 3 セットと設定した。また, セット間のインターバルを 1 分間設けた。試技に先立ち, 正確なフォームで試技を実施できるように指導を実施した。各試技の詳細は以下の通りである。

#### A. 腰割り

腰割りは, 栖原ら (2014) の方法に准じ, スタンスは膝 90 deg 屈曲位まで下降した際に大腿が床と平行になる任意のスタンスで, 股関節最大外旋位を保持し, 体幹は垂直に維持した状態で膝が内側に入らないように股関節・膝関節の屈曲・伸展運動を行った。足趾の方向 (股関節外旋角度) は, 膝関節と足趾が同一直線上になるようにし, 上記の動作が正確にできる各被験者の最大角度とした。左右の手の位置は骨盤とし, 胸を張った状態で後頭部と仙骨を結ぶラインが可能な限り直線になるように指示をした。また, 殿筋群を収縮させる感覚と, 大腿内側部が伸張される感覚を感じる様に指示をした。

#### B. SQ

SQ は, WSQ を用いた。McCAW et al. (1999) の方法に准じ, スタンスは肩幅の 140% とし, 足趾の方向は 15 度外方 (股関節 15 度外旋位) とした。また, 足趾の方向と膝蓋骨の方向を揃え体幹の前傾角度は地面に対し 45 度前傾し, 矢状面上から見て膝部が足趾より前方へ出ないように, 股関節・膝関節の屈曲伸展運動を行う様に指示した。左右の手の位置は骨盤とし, 胸を張った状態で後頭部と仙骨を結ぶラインが可能な限り直線になるように指示をした。また, 下降していくに従って股関節の屈曲を意識し, 適切に骨盤が前傾する様に動作を実施する様に指示をした。



#### 4) 測定項目

##### A. 関節可動域測定

東大式関節角度計を用い、安静時の利き足の股関節屈曲、伸展、外転、内転、外旋、内旋、腹臥位外旋、腹臥位内旋、膝関節伸展位での股関節屈曲角度（Straight Leg Raise: SLR）の他動可動域を測定した。測定には日本整形外科学会、リハビリテーション学会制定の関節可動域表示ならびに測定法（今田, 1974）を踏襲した。

##### B. 筋力測定

BIODEX SYSTEM 3（BIODEX 社製）を用い、利き足の股関節屈曲、伸展、外転、内転、膝関節屈曲、伸展筋力の等速性運動による筋力測定を実施した。それぞれの角速度を 60, 180deg/sec に設定し、測定間に 60 秒の休息をはさみ全力にて施行した。各角速度とも 3 回の施行の中で発揮された測定値をピークトルク値（Nm）、体重比筋力（Nm/kg）として採用した。

##### a. 股関節屈曲・伸展筋力

股関節屈曲・伸展筋力測定の際は、被験者をシートの上で仰臥位とし、体幹をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸を大転子が合うようにアームの長さを調整し、膝の前上部にパッドを固定した。股関節の運動範囲は、各被験者の随意による股関節最大屈曲位から最大伸展位に固定した。

##### b. 股関節外転・内転筋力

股関節外転・内転筋力測定の際は、被験者をシートの上で側臥位とし、体幹をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸と大転子が合うようにアームの長さを調整し、大腿部下部にパッドを固定した。股関節の運動範囲は、各被験者の随意による最大外転位から

最大内転位に設定した。

### **c. 膝関節屈曲・伸展筋力**

膝関節伸展・屈曲筋力の際は，被験者の膝の後面がシートに軽く当たるように座らせ，体幹及び測定側大腿部をベルトで固定した。ダイナモメーターの中心軸と膝の回転軸が一致するように調整し，アームの長さを合わせ，右足関節の前上部にパッドを固定した。膝関節の運動範囲は各被験者の最大伸展位から 90 deg 屈曲位に設定した。

## **C. 運動能力測定**

文部科学省新体力テスト実施要項（20 歳～29 歳対象）のうち，立ち幅跳び，反復横とびについて測定を行った。また，文部科学省旧体力テストより垂直跳びの測定を行った。すべての項目について，内容，方法等を実施前に被験者に十分に説明した。また，十分なウォーミングアップを行い，必要に応じて事前練習を行ってから測定した。

### **a. 立ち幅跳び**

立ち幅跳びにはマットを用い，踏切線から両脚同時に全力で前方へ跳躍し，マットに触れた位置のうち最も踏切線に近い位置と，踏切線を結ぶ距離を測定した。計測は 2 回実施し，良い方の記録を測定値とした。

### **b. 垂直跳び**

垂直跳びにはジャンプメーター（TOEI LIGHT 社製，T-2290）を使用し，直立姿勢から腕振りと脚の反動動作を用いた跳躍を行った際の跳躍高を計測した。計測は 2 回実施し，良い方の記録を測定値とした。

### c. 反復横とび

反復横とびはすべりにくいサーフェース上で実施した。1m 間隔で平行な 3 本の直線を引き、その線をサイドステップでまたぎ越すか触れることで 1 回と測定した。「始め」の合図でどちらかの線にステップを開始し、中央・外側と順番に線をまたぎ、20 秒間のうち線をまたぎ越した、または触れた回数を計測した。計測は 2 回実施し、良い方の記録を測定値とした。

## D. 動的バランス能力測定

### Star Excursion Balance Test

測定実施前に、Plisky (2006) の提唱する改訂版 SEBT の方法について口頭による説明およびデモンストレーションを行った。対象者は SEBT の経験がなかったため、最初の測定日までに 2 回の事前練習を実施した。

対象者は、つま先の最も出た部分がグリッド線の中央に来るように片足で立ち、反対の脚を前方 (Anterior)、斜め後外側 (Posterolateral)、斜め後内側 (Posteromedial) の 3 方向に伸ばし、その到達距離を測定した。各対象はそれぞれ 6 回の練習を行い、その後に本テストを 3 回実施した。本テストは、すべての測定において同一の検者が評価し、視覚的に到達距離を測定して記録した。なお、片脚立位を維持できなかった時、軸脚が浮いたり動いたりした時、伸ばした脚が床に着いた時、伸ばした脚を元に戻せなかった時は失敗試技とし、十分な休憩を挟んで再度測定を行った。以上の過程を 3 方向、利き足で繰り返した。その際の脚の左右や方向の順序は対象者が無作為に選択して行った。SEBT の測定値として、3 つの各方向へのリーチ距離および 3 方向へのリーチ距離の合計で計算される SEBT 複合スコアを用いた。また、測定は利き足のみ実施した。

## 5) 統計処理

実験データは平均値±標準偏差で示し、統計処理は統計解析ツール SPSS for mac 20 (SPSS, SPSS Inc. Chicago IL, USA) を用いて行った。各群の Pre 値の比較には、対応のない t 検定を用いた。腰割り群および SQ 群による試技条件と、Pre, Mid および Post の時間条件の 2 条件を比較するため、繰り返しのある二元配置分散分析を行った。その結果、二要因の交互作用がある場合は、群内の時間条件に対し Bonferroni 法による単純主効果の検定を行った。交互作用が認められないときは群内の時間条件に対し Bonferroni 法による多重比較検定を行った。なお、統計処理における有意水準は 5%とした。

### 3. 結果

#### 1) 対象者の Pre 測定値

対象者の年齢，身長，体重の平均値および標準偏差は，それぞれ腰割り群  $28.7 \pm 4.6$  歳， $170.2 \pm 5.9\text{cm}$ ， $71.3 \pm 10.9\text{kg}$  であり，SQ 群  $27.8 \pm 5.4$  歳， $172.2 \pm 4.3\text{cm}$ ， $73.6 \pm 7.1\text{kg}$  であった．腰割り群と SQ 群の年齢，身長，体重および Pre 値の比較では，股関節外旋可動域 (Table 4-1) および角速度  $180\text{deg/sec}$  での股関節体重比屈曲筋力 (Table 4-3) において有意な差が認められた．それ以外の測定項目では両群に有意な差は認められなかった．

## 2) 関節可動域

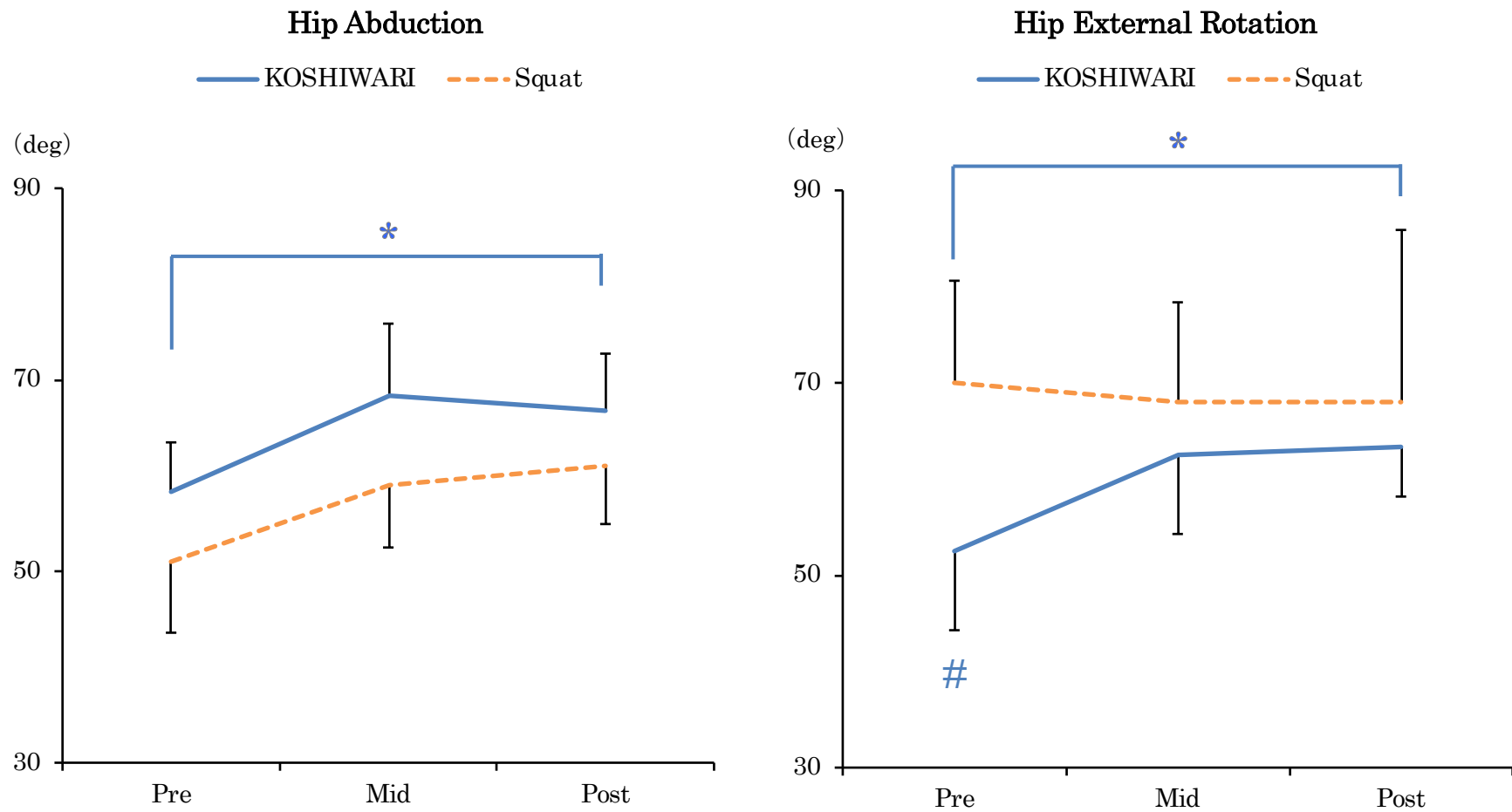
関節可動域測定結果を Table 4-1 に示した。試技と時間の要因間に有意な交互作用は認められなかった。腰割り群は、股関節外転可動域 (Post:  $66.7 \pm 6.1^\circ$ , Pre:  $58.3 \pm 5.2^\circ$ ) および股関節外旋可動域 (Post:  $63.3 \pm 5.2^\circ$ , Pre:  $52.5 \pm 8.2^\circ$ ) に主効果が認められ、多重比較の結果において Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した (Figure 4-2)。その他の項目に有意な変化は認められなかった。

Table 4-1 ROM of hip joint.

Test	Exercise	(deg)								
		Pre			Mid (4week)			Post (8week)		
Hip Flexion	KOSHIWARI	135.8	±	4.9	139.2	±	2.0	135.8	±	3.8
	Squat	136.0	±	6.5	136.0	±	2.2	134.0	±	4.2
Hip Extension	KOSHIWARI	23.3	±	5.2	23.3	±	2.6	25.0	±	3.2
	Squat	18.0	±	2.7	21.0	±	2.2	24.0	±	4.2
Hip Abduction	KOSHIWARI	58.3	±	5.2	68.3	±	7.5	66.7	±	6.1*
	Squat	51.0	±	7.4	59.0	±	6.5	61.0	±	7.4
Hip Adduction	KOSHIWARI	15.8	±	8.0	15.0	±	5.5	15.8	±	3.8
	Squat	13.0	±	5.7	15.0	±	0.0	15.0	±	3.5
Hip External Rotation	KOSHIWARI	52.5	±	8.2	62.5	±	8.2	63.3	±	5.2*
	Squat	70.0	±	10.6 #	68.0	±	10.4	68.0	±	17.9
Hip Internal Rotation	KOSHIWARI	40.8	±	8.0	40.8	±	6.7	42.5	±	5.2
	Squat	28.0	±	14.8	29.0	±	2.2	33.0	±	10.4
Hip External Rotation (Abdominal Position)	KOSHIWARI	51.7	±	9.8	55.8	±	6.6	54.2	±	5.8
	Squat	48.0	±	9.1	58.0	±	2.7	46.0	±	14.8
Hip Internal Rotation (Abdominal Position)	KOSHIWARI	40.0	±	8.4	36.7	±	5.2	46.7	±	8.2
	Squat	41.0	±	11.9	58.0	±	2.7	46.0	±	14.8
Strait Leg Raising	KOSHIWARI	69.2	±	23.5	80.8	±	8.6	78.3	±	12.1
	Squat	65.0	±	10.0	70.0	±	12.8	70.0	±	10.0

\* Comparing of ROM test between Pre and 8 week (p<0.05)

# Comparing of pre test between KOSHIWARI and Squat (p<0.05)



\* Comparing of ROM test between Pre and 8 week (p<0.05)  
 # Comparing of pre test between KOSHIWARI and Squat (p<0.05)

Figure 4-2 The difference between the ROM of hip joint.



### 3) 筋力

筋力測定の結果を Table 4-2 および Table 4-3 に示した。角速度 60deg/sec での股関節内転ピークトルクおよび股関節内転体重比筋力において、試技と時間の要因間に有意な交互作用を認めた。その他の項目に有意な交互作用は認められなかった。

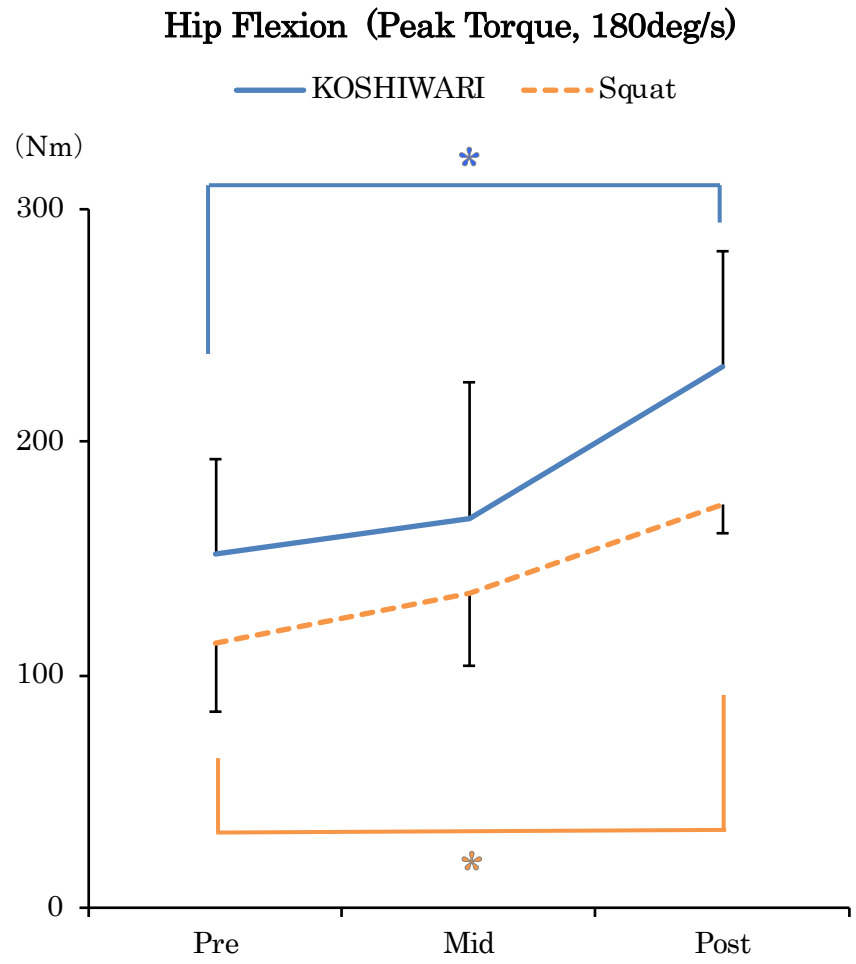
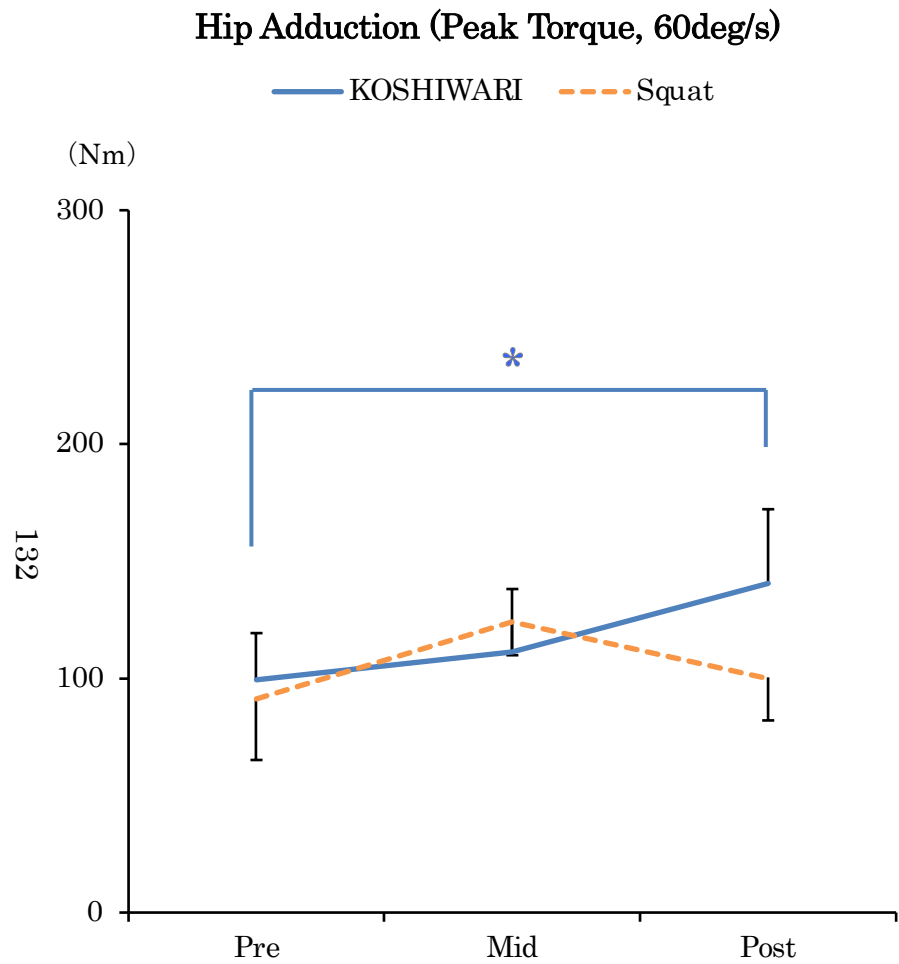
腰割り群は、角速度 60deg/sec での股関節内転ピークトルク (Post:  $140.6 \pm 31.7$ Nm, Pre:  $99.4 \pm 20.0$ Nm) および股関節内転体重比筋力 (Post:  $204.8 \pm 40.6$ Nm/kg, Pre:  $144.2 \pm 21.0$  Nm/kg) に主効果が認められ、多重比較検定の結果において Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。また、角速度 180deg/sec での股関節屈曲ピークトルク (Post:  $232.4 \pm 49.6$  Nm, Pre:  $151.9 \pm 40.7$ Nm) および股関節屈曲体重比筋力 (Post:  $354.3 \pm 56.5$ Nm/kg, Pre:  $262.3 \pm 56.6$ Nm/kg) に主効果が認められ、多重比較検定の結果において Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。SQ 群は、角速度 180deg/sec での股関節屈曲ピークトルク (Post:  $173.2 \pm 12.4$ Nm, Pre:  $113.6 \pm 29.4$ Nm) および股関節屈曲体重比筋力 (Post:  $244.4 \pm 26.0$ Nm/kg, Pre:  $161.3 \pm 49.2$ Nm/kg) に主効果が認められ、多重比較の結果において Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した (Figure 4-3, Figure 4-4)。その他の項目に有意な変化は認められなかった。

Table 4-2 Muscle strength of around hip and knee muscle (Peak torque).

(Nm)

Test	Exercise	Pre	Mid (4week)	Post (8week)
Hip Flexion (Peak Torque, 60deg/s)	KOSHIWARI	206.7 ± 44.1	212.0 ± 70.1	248.9 ± 57.2
	Squat	173.0 ± 54.0	159.6 ± 46.4	219.6 ± 64.4
Hip Extension (Peak Torque, 60deg/s)	KOSHIWARI	93.1 ± 28.0	105.5 ± 17.4	88.8 ± 15.3
	Squat	93.2 ± 21.4	114.9 ± 19.6	111.3 ± 19.8
Hip Abduction (Peak Torque, 60deg/s)	KOSHIWARI	101.9 ± 21.4	98.1 ± 15.0	100.0 ± 7.9
	Squat	87.9 ± 34.0	78.7 ± 24.4	93.8 ± 29.7
Hip Adduction (Peak Torque, 60deg/s)	KOSHIWARI	99.4 ± 20.0	111.2 ± 27.1	140.6 ± 31.7*
	Squat	91.3 ± 26.1	124.1 ± 14.2	100.5 ± 18.4
Hip Flexion (Peak Torque, 180deg/s)	KOSHIWARI	151.9 ± 40.7	167.2 ± 58.5	232.4 ± 49.6*
	Squat	113.6 ± 29.4	135.3 ± 31.4	173.2 ± 12.4*
Hip Extension (Peak Torque, 180deg/s)	KOSHIWARI	72.2 ± 24.1	83.4 ± 17.8	64.0 ± 15.1
	Squat	50.2 ± 13.5	59.6 ± 32.3	69.0 ± 22.6
Hip Abduction (Peak Torque, 180deg/s)	KOSHIWARI	85.6 ± 61.2	68.8 ± 17.4	77.9 ± 9.5
	Squat	44.5 ± 29.2	36.0 ± 21.1	60.6 ± 22.9
Hip Adduction (Peak Torque, 180deg/s)	KOSHIWARI	85.2 ± 25.2	103.5 ± 25.1	118.4 ± 38.5
	Squat	62.7 ± 36.0	77.2 ± 20.4	85.5 ± 24.2
Knee Flexion (Peak Torque, 60deg/s)	KOSHIWARI	119.3 ± 50.6	100.7 ± 18.2	97.7 ± 24.2
	Squat	115.1 ± 41.9	111.7 ± 17.6	115.3 ± 20.7
Knee Extension (Peak Torque, 60deg/s)	KOSHIWARI	167.6 ± 33.9	194.2 ± 32.7	190.9 ± 27.6
	Squat	160.4 ± 62.7	206.6 ± 31.5	208.1 ± 32.2
Knee Flexion (Peak Torque, 180deg/s)	KOSHIWARI	90.3 ± 46.6	79.6 ± 14.7	80.0 ± 15.0
	Squat	64.5 ± 32.1	83.6 ± 11.9	88.1 ± 13.9
Knee Extension (Peak Torque, 180deg/s)	KOSHIWARI	113.2 ± 14.5	127.7 ± 26.6	126.3 ± 26.3
	Squat	108.4 ± 31.3	131.7 ± 11.6	137.6 ± 3.7

\* Comparing of muscle strength test between Pre and 8 week (p<0.05)



\*Comparing of muscle strength test between Pre and 8 week (p<0.05)

Figure 4-3 The difference between muscle strength of around hip muscle (Peak torque).

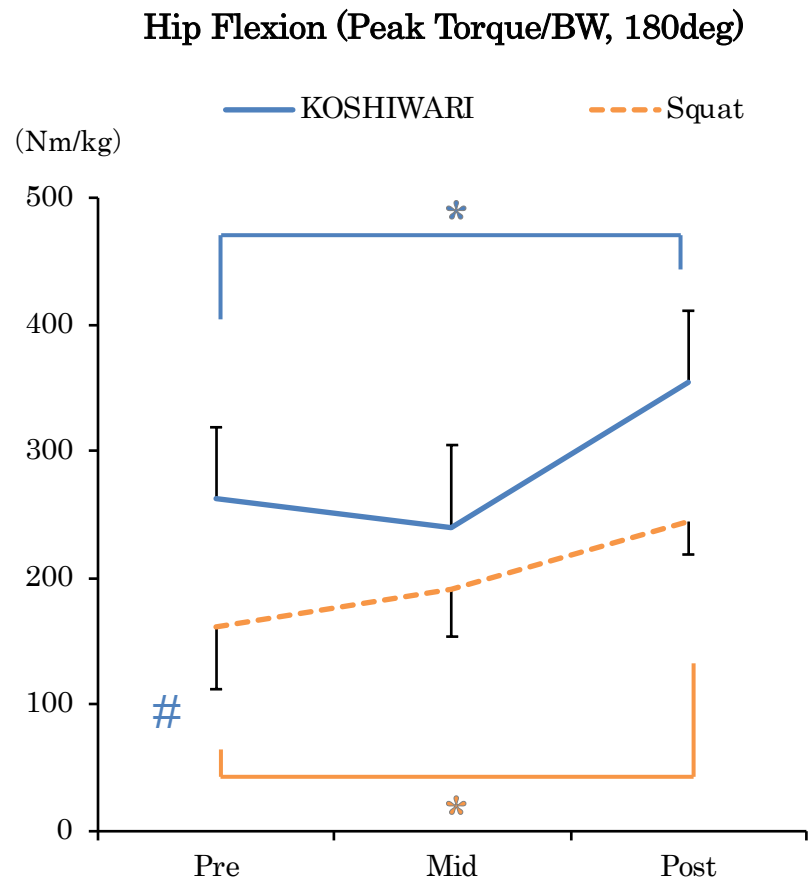
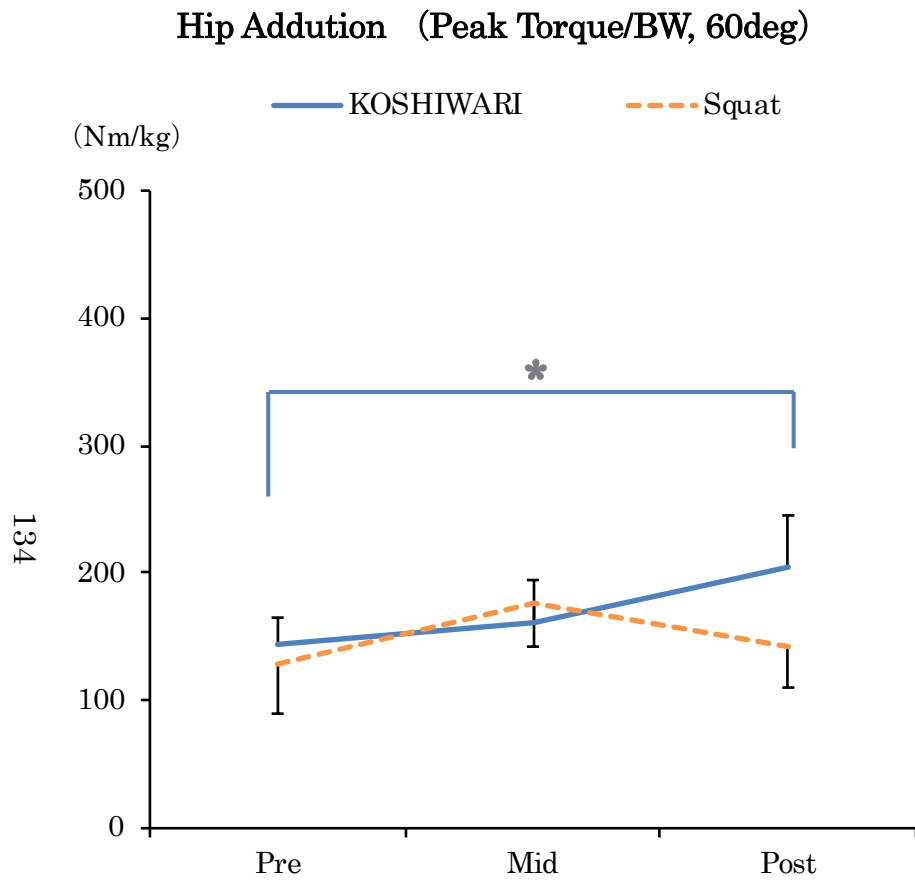
Table 4-3 Muscle strength of around hip and knee muscle (Peak torque / BW).

(Nm/kg)

Test	Exercise	Pre	Mid (4week)	Post (8week)
Hip Flexion (Peak Torque/BW, 60deg)	KOSHIWARI	299.7 ± 52.0	304.7 ± 89.6	380.8 ± 76.6
	Squat	244.1 ± 79.7	223.5 ± 57.3	312.6 ± 111.8
Hip Extension (Peak Torque/BW, 60deg)	KOSHIWARI	134.9 ± 33.0	152.3 ± 14.4	136.2 ± 19.2
	Squat	131.1 ± 29.1	162.8 ± 33.7	156.7 ± 27.6
Hip Abduction (Peak Torque/BW, 60deg)	KOSHIWARI	147.5 ± 16.2	143.0 ± 13.4	147.8 ± 24.3
	Squat	124.0 ± 49.1	110.7 ± 33.6	132.6 ± 43.8
Hip Adduction (Peak Torque/BW, 60deg)	KOSHIWARI	144.2 ± 21.0	161.5 ± 33.2	204.8 ± 40.6*
	Squat	128.7 ± 38.9	176.5 ± 34.0	142.2 ± 31.9
Hip Flexion (Peak Torque/BW, 180deg)	KOSHIWARI	262.3 ± 56.6	239.6 ± 65.2	354.3 ± 56.8*
	Squat	161.3 ± 49.2 #	191.7 ± 38.1	244.4 ± 26.0*
Hip Extension (Peak Torque/BW, 180deg)	KOSHIWARI	108.4 ± 35.8	115.1 ± 21.7	98.1 ± 21.2
	Squat	70.2 ± 16.3	110.1 ± 30.5	96.1 ± 27.1
Hip Abduction (Peak Torque/BW, 180deg)	KOSHIWARI	98.2 ± 26.7	99.9 ± 20.7	114.2 ± 14.8
	Squat	63.5 ± 45.2	50.3 ± 28.2	85.2 ± 31.9
Hip Adduction (Peak Torque/BW, 180deg)	KOSHIWARI	120.1 ± 26.5	148.8 ± 26.3	170.7 ± 47.9
	Squat	90.5 ± 60.2	108.7 ± 28.6	120.8 ± 36.8
Knee Flexion (Peak Torque/BW, 60deg)	KOSHIWARI	170.6 ± 55.7	147.1 ± 24.5	142.6 ± 33.0
	Squat	162.0 ± 59.6	157.0 ± 22.3	161.5 ± 22.8
Knee Extension (Peak Torque/BW, 60deg)	KOSHIWARI	246.5 ± 51.5	282.5 ± 35.4	278.1 ± 27.4
	Squat	226.1 ± 90.6	291.0 ± 45.0	291.8 ± 36.2
Knee Flexion (Peak Torque/BW, 180deg)	KOSHIWARI	128.8 ± 53.2	115.9 ± 18.4	116.6 ± 19.0
	Squat	91.3 ± 49.3	118.2 ± 19.8	124.1 ± 20.2
Knee Extension (Peak Torque/BW, 180deg)	KOSHIWARI	166.1 ± 22.8	184.9 ± 23.2	149.8 ± 74.9
	Squat	152.9 ± 47.6	186.3 ± 26.1	194.3 ± 17.1

\*Comparing of muscle strength test between Pre and 8 week (p<0.05)

# Comparing of pre test between KOSHIWARI and Squat (p<0.05)



\*Comparing of muscle strength test between Pre and 8 week (p<0.05)

# Comparing of pre test between KOSHIWARI and Squat (p<0.05)

**Figure 4-4 The difference between muscle strength of around hip muscle (Peak torque / BW).**

#### 4) 運動能力

運動能力測定の結果を Table 4-4 に示した. 全ての項目に交互作用は認められず, 有意な変化は認められなかった.

**Table 4-4 Athletic performance.**

Test	Exercise	Pre	Mid (4week)	Post (8week)
Broad Jump (cm)	KOSHIWARI	215.5 ± 16.0	231.5 ± 26.9	222.0 ± 23.1
	Squat	229.8 ± 9.6	233.0 ± 12.3	231.4 ± 7.3
Vertical Jump (cm)	KOSHIWARI	53.5 ± 6.0	56.5 ± 3.4	55.5 ± 4.0
	Squat	57.0 ± 4.7	61.8 ± 2.6	60.8 ± 4.0
Side Step (times)	KOSHIWARI	58.3 ± 5.2	61.7 ± 5.2	61.5 ± 5.4
	Squat	57.0 ± 4.7	61.8 ± 2.6	60.8 ± 4.0

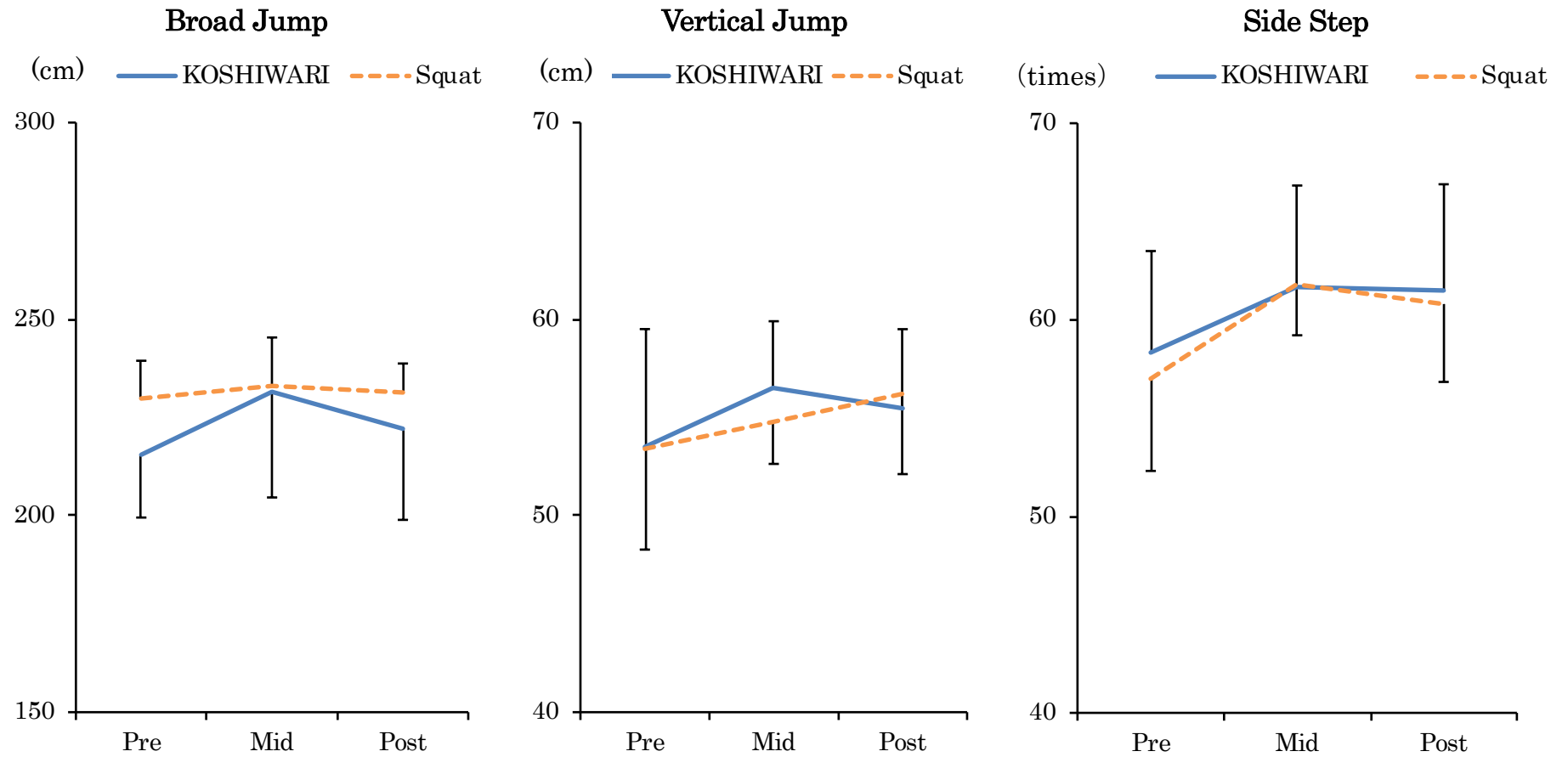


Figure 4-5 Athletic performance.

## 5) 動的バランス能力測定

動的バランス能力測定として実施した SEBT の結果を Table 4-5 に示した.

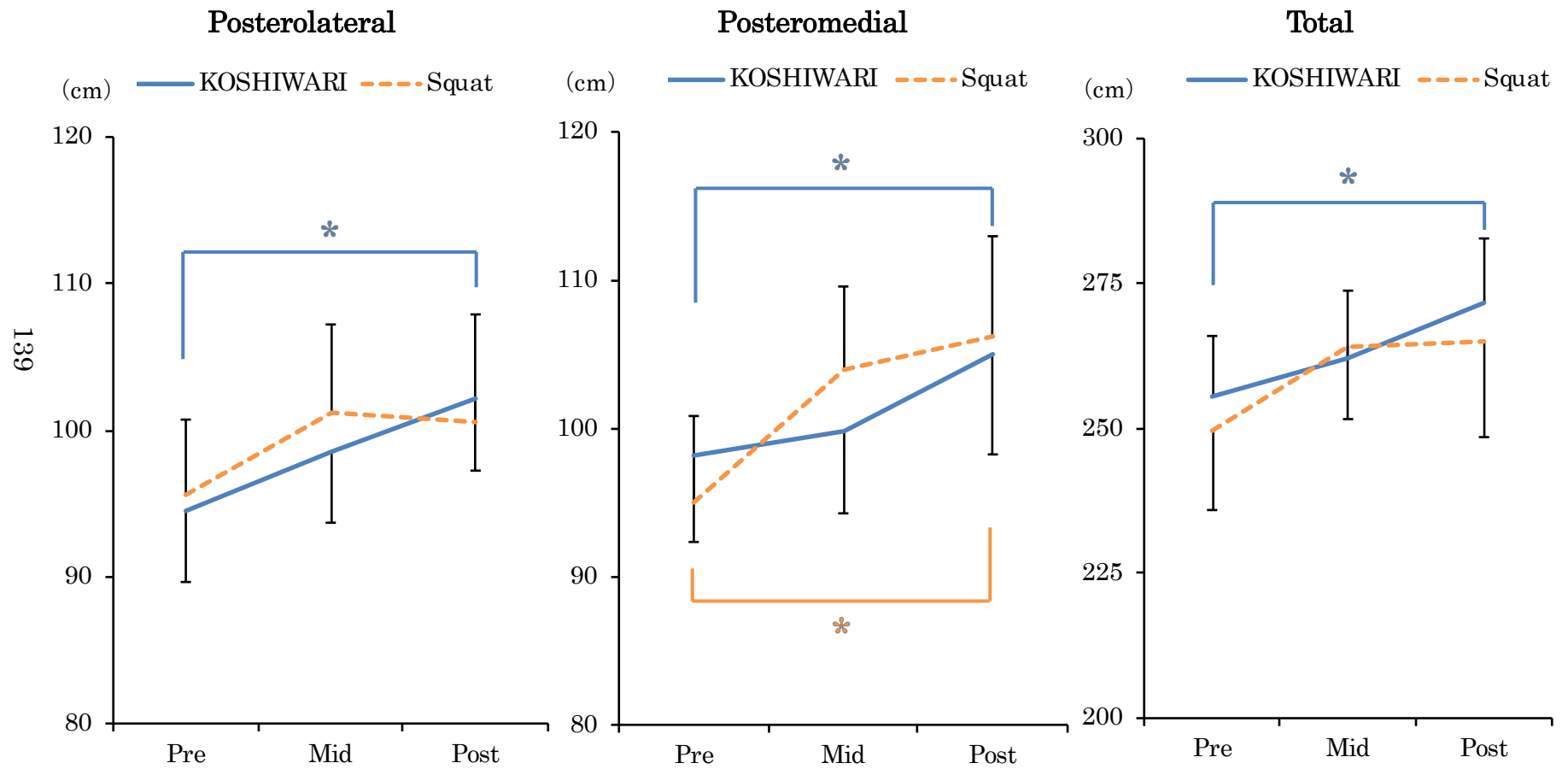
Posteromedial において, 試技と時間の要因間に有意な交互作用を認めた. その他の項目に有意な交互作用は認められなかった. 腰割り群は, Posterolateral (Post:  $102.2 \pm 4.9\text{cm}$ , Pre:  $94.5 \pm 4.9\text{cm}$ ), Posteromedial (Post:  $105.0 \pm 3.6\text{cm}$ , Pre:  $98.2 \pm 4.1\text{cm}$ ) および Total (Post:  $271.7 \pm 11.1\text{cm}$ , Pre:  $255.5 \pm 10.5\text{cm}$ ) に主効果が認められ, 多重比較の結果において Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した. また, SQ 群は, Posteromedial (Post:  $106.2 \pm 6.8\text{ cm}$ , Pre:  $95.0 \pm 5.8\text{cm}$ ) に主効果が認められ, 多重比較の結果において Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した (Figure 4-6). その他の項目に有意な変化は認められなかった.



**Table 4-5 Score of SEBT.**

		(cm)								
Test	Exercise	Pre		Mid (4week)			Post (8week)			
Anterior	KOSHIWARI	62.8	±	5.4	63.8	±	4.5	64.5	±	4.4
	Squat	59.0	±	5.8	59.0	±	3.8	58.2	±	5.1
Posterolateral	KOSHIWARI	94.5	±	4.9	98.5	±	4.8	102.2	±	4.9*
	Squat	95.6	±	5.1	101.2	±	6.0	100.6	±	7.3
Posteromedial	KOSHIWARI	98.2	±	4.1	99.8	±	4.5	105.0	±	3.6*
	Squat	95.0	±	5.8	104.0	±	5.6	106.2	±	6.8*
Total	KOSHIWARI	255.5	±	10.5	262.2	±	11.6	271.7	±	11.1*
	Squat	249.6	±	13.7	264.2	±	12.6	265.0	±	16.5

\* Comparing of SEBT between Pre and 8 week (p<0.05)



\* Comparing of SEBT between Pre and 8 week (p<0.05)

Figure 4-6 The difference between SEBT score.

## 4. 考察

### A. 関節可動域

股関節外転可動域および股関節外旋可動域において、腰割り群の Post 値が Pre 値に比べ有意に高値を示した。本研究では研究課題 2 における即時的効果の検証結果と同様に、腰割りにて股関節外転可動域の向上が認められた。また、研究課題 2 における即時的効果の検証にて可動域の変化がみられなかった股関節外旋可動域にも向上が認められた。股関節の最終外旋可動域において制限となる靭帯および筋組織は、腸骨大腿靭帯を含む前方関節包、恥骨大腿靭帯、中殿筋前部線維、小殿筋、大内転筋および長内転筋などである

(Donald, 2005)。Winters et al. (2004) は、股関節屈曲筋群に対するダイナミックストレッチの効果を検討しており、6 週間にわたってエクササイズを実施した結果、股関節屈曲筋群の柔軟性が向上したと報告している。Winters et al. は、股関節伸展筋群の収縮を主としたダイナミックストレッチを試技として選択しており、相反抑制を意識したエクササイズが柔軟性向上に有効であったと述べている。これらより、腰割りも股関節内転筋群に対して相反抑制を意識したダイナミックストレッチであると考えられることから、腰割りを 8 週間にわたり継続的に実施したことにより内転筋群の制限要素が緩和され、股関節外転および外旋可動域が向上したと考えられる。

### B. 筋力

60deg/sec での股関節内転ピークトルクおよび股関節内転体重比筋力において、腰割り群の Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。先行研究により (鈴木ら, 2005; Delmore et al., 2014)、腰割りにおける内転筋群の筋活動量は低いことが明らかになっているが、いずれの研究も表面筋電計を用いた分析であるため、収縮要素の活動状態のみの分析にとどまっており、股関節の発揮する力に関する分析はされていない。研究課題 1-2 における腰割りの運動学的分析により、腰割りは股関節内転角力積が SQ に比べ高値を示

していることから、股関節内転方向への力発揮が大きい動作の繰り返しにより股関節内転筋力が向上したと考えることができる。

180deg/secでの股関節屈曲ピークトルクおよび股関節屈曲体重比筋力において、腰割り群のPost値はPre値に比べ有意に高値を示した。研究課題1-2における腰割りの運動学的分析により、腰割りの股関節屈曲角力積はSQに比べ高値を示した。腰割りは常に骨盤を地面に対し垂直位を保つように意識しているとともに、前額面上の基底面は狭く、SQに比べ不安定な動作であることから、股関節伸展筋である大殿筋の活動とともに股関節屈曲筋群である腸腰筋などの活動が姿勢保持に貢献していると考えられる。以上のことから、腰割りにおいて骨盤を含む体幹部を正しい肢位に保持することが、腸腰筋などの股関節屈曲筋群へのトレーニング効果につながり、腰割り群において股関節屈曲筋力を向上させたと考えられる。

180deg/secでの股関節屈曲ピークトルクおよび股関節屈曲体重比筋力において、SQ群のPost値はPre値に比べ有意に高値を示した。本研究において、即時的効果の検証と同様にSQ群において股関節屈曲筋力が向上したことにより、今回採用したSQは即時的にも長期的にも股関節屈曲筋力を向上させる可能性があることが示唆された。

先行研究において、SQにより大殿筋や大腿四頭筋などの筋肥大や神経筋促通が起こり、股関節伸展トルクや膝関節伸展トルクが向上すると報告されているにもかかわらず、今回それぞれの測定値に向上は認められなかった。筋肥大や神経促通を起こすためには、過負荷の原理に則り、一定レベルを超える負荷を身体に加える必要があると考えられるが、本研究にて実施した試技は自体重負荷で試技を実施しており、筋肥大や神経促通を起こすための負荷としては不十分であったと考えられる。したがって、筋肥大や神経筋促通をエクササイズの目的としてSQを実施する場合、自体重負荷によるエクササイズではなく、バーベルなどの重量負荷物を用いる必要があると考えられる。

### C. 運動能力

立ち幅跳び、垂直跳び、反復横とびの全ての項目において有意な変化は見られなかった。金久ら（1982）は、トレーニング時の運動速度がトレーニング効果として顕著に現れることを報告しており、トレーニング時の運動速度が高速度域であれば高速度域の筋力に、低速度域であれば低速度域の筋力として現れると述べている。今回、運動能力測定として採用した立ち幅跳び、垂直跳び、反復横とびはいずれも高速度域の測定である。本研究において実施した試技は、1動作を5秒間で行う低速度域の動作であるため、速度特異性に対応できず、高速度域で行う測定において改善が見られなかったものと考えられる。また、即時的効果の検証にて改善が見られたにもかかわらず、本研究にて改善が見られなかった要因はそれぞれの効果検証にて実施したプロトコルにあると考えられる。即時的効果の検証にて実施したプロトコルは、それぞれのエクササイズを実施した後に測定を実施したことにより、筋活動量の賦活や筋柔軟性が一時的に向上した状態で測定を行ったと考えることができる。それに対して、長期的効果の検証にて実施したプロトコルは、測定実施前に軽いウォーミングアップは行っているものの、即時的効果の検証時に実施したプロトコルほどのエクササイズは実施していない。このことから、即時的な効果検証で用いたプロトコルでは一時的な筋活動量の賦活や筋柔軟性向上により反復横とびの値は向上するものの、長期的な効果検証で用いたプロトコルでは、運動能力の値は改善されず、低速度域で実施した試技が速度特異性に対応できなかったことが要因であると考えられる。

### D. 動的バランス能力測定

SEBTにおける Posterolateral, Posteromedial および Total において、腰割り群の Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。Gribble et al. (2012) は、体幹安定性と SEBT スコアとの関係性について報告しており、体幹安定性向上により SEBT スコアの向上が認められることを明らかにしている。本研究において、腰割りによって股関節屈曲筋

力が向上することが明らかとなっており、股関節屈曲筋である腸腰筋は、腰椎に付着し体幹部の安定性向上に寄与している。以上のことから、腰割りにより腸腰筋の筋力が向上し、体幹部の安定性向上に寄与した結果、SEBTスコアが向上したと考えられる。また、本研究において即時的効果の検証と同様に、腰割りによりSEBTスコアが向上したことから、今回採用した腰割りは即時的にも長期的にも動的バランス能力を向上させる可能性があることが示唆された。

SEBTは、スポーツ外傷・障害リスクを評価するファンクショナルスクリーニングテストとしても考えられており (Filipa et al., 2010), SEBTのスコアが低い選手は下肢のスポーツ外傷・障害の発生が多いと報告されている (Plisky et al., 2006)。そのため、SEBTスコアの向上は、下肢のスポーツ外傷・障害のリスクを減少させる可能性があると考えられ、フィジカルトレーニングの一種目として腰割りを実施することは、スポーツ外傷・障害の予防という観点から効果的である可能性があると考えられる。

## 5. 結論

本研究は、腰割りの長期的トレーニング効果を明らかにすることを目的として、腰割りおよびWSQを8週間実施し、股関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力について比較・検討した。結果は以下の通りである。

1. 関節可動域測定においては、腰割りの股関節外転可動域および股関節外旋可動域の Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。
2. 筋力測定においては、腰割りの股関節屈曲筋力および股関節内転筋力の Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。
3. 動的バランス能力測定においては、腰割りの SEBT スコアの Post 値は Pre 値に比べ有意に高値を示した。

## 第5章 総合討論

### 1. 本研究の目的

本研究の目的は、腰割りの運動学的特徴およびトレーニング効果を明らかにすることであり、腰割りと SQ における筋電図および Kinematics, Kinetics パラメーターを比較・検討するとともに、腰割りと SQ における股関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力の即時的効果と長期的トレーニング効果について比較・検討を行った。

### 2. 本研究のまとめ

研究課題 1-1 において、腰割り、不適切なフォームで行う腰割りおよび SQ に関して体幹、下肢の筋活動量、膝関節の Kinetics パラメーターから比較・検討した。筋活動量に関して比較すると、腰割りは脊柱起立筋の筋活動量が RSQ および WSQ に比べ低値を示し、大殿筋の筋活動量は高値を示した。膝関節の Kinetics パラメーターに関して比較すると、腰割りは膝関節外旋角力積が WSQ よりも低値を示した。また、不適切なフォームである KI 腰割りは大殿筋の筋活動量が腰割りに比べ低値を示し、膝関節内反角力積が高値を示した。以上のことから、腰割りは自体重負荷での大殿筋に対する筋機能改善エクササイズとして SQ よりも有効であるとともに、膝部や腰部に加わる負担が SQ に比べ少ないことから、膝部や腰部に障害を有する対象者へのフィジカルトレーニング、およびアスレティックリハビリテーションのメニューとして有効である可能性が示唆された。また KI 腰割りは、大殿筋へのエクササイズとして有効ではないことに加え、膝関節への負担が大きく、繰り返しの動作により膝部の障害を発生させる可能性が示唆された。

研究課題 1-2 は、研究課題 1-1 において脊柱起立筋、大殿筋の筋活動量および膝関節外旋角力積に差が見られた腰割りと WSQ を対象に、股関節の Kinematics および Kinetics パラメーターから比較・検討を行った。Kinematics パラメーターに関して比較すると、腰割



りは股関節外転角度，股関節外旋角度が **WSQ** に比べ高値を示した．このことから，腰割りは **WSQ** に比べ股関節外転，外旋方向への可動範囲が大きい運動であることが明らかとなった．Kinetics パラメーターに関して比較すると，股関節屈曲角力積，股関節内転角力積，股関節外旋角力積が **WSQ** に比べ高値を示した．以上のことから，腰割りは股関節外旋方向へ作用する筋群の筋機能改善，および股関節内転筋群の柔軟性向上に有効なエクササイズである可能性が示唆された．膝関節の外傷・障害は，股関節内転，内旋に伴う膝関節外反，下腿外旋位のマルアライメントが要因となり，股関節外旋筋群の弱体化がマルアライメントを引き起こすことが報告されており，腰割りによる股関節外旋筋群の強化は，膝関節の外傷および障害に対する予防トレーニング，アスレティックリハビリテーションのメニューとして有効であることを示唆している．

研究課題 2 は，研究課題 1-2 で採用した腰割りおよび **WSQ** を対象に，腰割りの即時的効果について関節可動域，下肢筋力，運動能力，動的バランス能力の測定値から比較・検討を行った．関節可動域では，腰割りにより股関節外転可動域が向上した．腰割りによるダイナミックストレッチの効果として，股関節内転筋群の柔軟性が即時的に向上し可動域が向上したと考えられる．運動能力では，腰割りにより反復横とびの測定値が向上した．反復横とびは股関節周囲筋の筋活動の向上が測定値の向上に寄与するとされていることから（青木ら，2011），エクササイズにより股関節周囲筋の筋群における筋賦活が起きた結果，反復横とびの測定値が向上したと考えられる．動的バランス能力では，**SEBT** スコアが向上した．**SEBT** は股関節周囲筋を中心とした下肢の筋力などとの関与が報告されていることから（Alyson et al., 2010, Farzaneh et al., 2012），エクササイズによる大殿筋を中心とした股関節周囲筋の筋群における筋賦活が，**SEBT** スコアを向上させたと考えられる．また，**SEBT** スコアの向上は下肢のスポーツ外傷・障害発生のリスクを低下させることが報告されていることから，腰割りをウォーミングアップのメニューの種目として用いることは，下肢のスポーツ外傷・障害予防の観点から効果的であると考えられる．以上のことは，腰割りをウォー

ーミングアップとして用いる際の有用性を示唆している。

研究課題 3 は、腰割りおよび WSQ を対象にそれぞれ 8 週間エクササイズを実施し、腰割りの長期的トレーニング効果について、関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力の測定値から比較・検討を行った。関節可動域では、股関節外転可動域および股関節外旋可動域が向上した。腰割りにより股関節内転筋群の柔軟性が向上したことが、股関節外転可動域および股関節外旋可動域の向上に影響していると考えられ、腰割りは内転筋群に対するダイナミックストレッチとして有効なエクササイズである可能性が示唆された。筋力では、股関節屈曲筋力および股関節内転筋力が向上した。股関節屈曲筋力の向上は、腰割りにおける姿勢保持が関与していると考えられ、股関節内転筋力の向上は、腰割りにおける股関節内転方向への力発揮の繰り返しが関与していると考えられる。動的バランス能力では、SEBT スコアが向上した。即時的効果と同様に長期的にも SEBT スコアが向上したことにより、腰割りは即時的にも長期的にも動的バランス能力を向上させる上で有効なエクササイズであると考えられる。以上のことは、腰割りの股関節周囲筋を中心とした筋機能向上、柔軟性向上および動的バランス能力向上エクササイズとしての有用性を示唆しているといえる。

腰割りの運動学的分析およびトレーニング効果に関する研究はみられないため、本研究で得られた結果は新たな知見であり、フィジカルトレーニングおよびアスレティックリハビリテーションプログラム立案のために有用な情報になり得ると考えられる。

### 3. 本研究の限界

本研究の限界として、対象者による限界、測定項目および方法による限界が存在する。

#### A. 対象者による限界

本研究では全ての研究課題を、一般成人男性を対象として実施した。そのため、腰割りを普段から行っている大相撲力士、トレーニング習慣のあるアスリート、男性よりも筋力の弱さや下肢のコントロール不足が生じる女性、バランス機能や筋力低下のみられる高齢者、発育発達期にあたる小学生から高校生の年代などに本研究の成果を適応するには、さらなる検討が必要であると考えられる。

#### B. 測定項目および方法による限界

本研究では腰割りにおける筋活動量の分析を、表面筋電計を用い測定している。そのため、股関節周囲筋の中でも深層に存在し股関節運動に大きく貢献している股関節屈筋群である腸腰筋や、股関節外旋筋群の一つである梨状筋などの活動量については分析できていない。腰割りにおける筋活動の特徴をより明らかにするためには、股関節深層筋の筋活動に関するさらなる検討が必要であると考えられる。

本研究では、関節可動域の測定を他動的関節運動の可動域のみを測定しており、自動的関節運動の可動域は測定していない。ダイナミックストレッチによる関節可動域の向上が認められる場合、自動的関節運動の可動域への影響も検討する必要があると考えられる。

本研究では、腰割りのトレーニング効果に関する運動能力への影響について、立ち幅跳び、垂直跳び、反復横とびの3種目を採用した。これらの動作形態は、比較的単純なものであり競技パフォーマンス能力と必ずしも一致しない。また、腰割りが即時的にこれらの測定値に影響を及ぼしたことに関して、筋活動の変化、姿勢および動作の変化、地面反力の変化

などの検討は行っておらず，測定値向上のメカニズムに関しては明らかにされていないため，考察において推測の域を脱しない。

#### 4. 今後の展望について

本研究では腰割りにおける筋活動量の分析を、表面筋電計を用い測定している。そのため、股関節周囲筋の中でも深層に存在し股関節運動に大きく貢献している股関節屈筋群である腸腰筋や、股関節外旋筋群の中の一つである梨状筋などの活動量については分析できていない。表層にある大きな筋肉だけでなく、深層に存在する筋肉に対しワイヤ電極を用いた分析や、SIMM システムなどのコンピューターシミュレーションを用いた分析などを行うことが必要であると考える。

本研究では全ての研究課題を、一般成人男性を対象として実施した。年齢、性別、体組成やトレーニング習慣などにより、筋活動量や Kinematics および Kinetics パラメーター、トレーニング効果は変化すると考えられるため、腰割りを普段から行っている大相撲力士、トレーニング習慣のあるアスリート、男性よりも筋力の弱さや下肢のコントロール不足が生じる女性、バランス機能や筋力低下のみられる高齢者、発育発達期にあたる小学生から高校生の年代、膝部障害や腰部障害を有する者など様々な対象者に対する検討も必要であると考えられる。

## 第6章 結語

本研究は、腰割りの運動学的特徴およびトレーニング効果を明らかにすることを目的とし、腰割りとSQにおける筋電図およびKinematics, Kineticsパラメーターを比較・検討するとともに、腰割りとSQにおける股関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力の即時的効果と長期的トレーニング効果について比較・検討を行った。本研究で得られた結果を以下に示す。

1. 腰割りとSQを筋活動量およびKinematics, Kineticsパラメーターを用い比較・検討した。筋活動量の比較では腰割りは大殿筋の筋活動量がSQに比べ高値を示し、脊柱起立筋の筋活動量はSQに比べ低値を示した。膝関節のKineticsパラメーターの比較では、腰割りは膝関節外旋角力積がSQに比べ低値を示した。股関節のKinematicsおよびKineticsパラメーターの比較では、腰割りは股関節外転角度、股関節外旋角度、股関節屈曲角力積、股関節内転角力積、股関節外旋角力積がSQに比べ高値を示した。

2. 腰割りと不適切なフォームで行う腰割りを、筋活動量およびKinematics, Kineticsパラメーターを用い比較・検討した。Knee in Toe outの肢位を呈するKI腰割りは腰割りに比べ、大殿筋の筋活動量が低値を示し、膝関節内反角力積は高値を示した。

3. 腰割りとSQの即時的効果について関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力の測定値から比較・検討した。腰割りは、股関節外転可動域、反復横とびおよびSEBTスコアがControlに比べ高値を示した。

4. 腰割りとSQの長期的トレーニング効果について関節可動域、下肢筋力、運動能力、動的バランス能力の測定値から比較・検討した。関節可動域測定においては、腰割りの股関節

外転可動域および股関節外旋可動域の Post 値は Pre 値に比べ高値を示した。筋力測定においては、腰割りの股関節屈曲筋力および股関節内転筋力の Post 値は Pre 値に比べ高値を示した。動的バランス能力測定においては、腰割りの SEBT スコアの Post 値は Pre 値に比べ高値を示した。

以上の結果は、下肢の CKC-Ex における腰割りの運動学的特徴およびトレーニング効果を示すものであり、目的により SQ や他のエクササイズと組み合わせることで、より効果的なフィジカルトレーニングおよびアスレティックリハビリテーションを実施できる可能性がある。これは、下肢の CKC-Ex に関する新たな知見であり、運動パフォーマンス向上やスポーツ外傷・障害予防の観点から見た、有益な情報であると考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、公私にわたり多大なる御指導を賜りました筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻、白木仁教授に深甚なる謝意を表します。また人間総合科学研究科スポーツ医学専攻・宮川俊平教授ならびに向井直樹准教授、体育系・足立和隆准教授におきましては、快く審査をお引き受け頂いたこと、審査会における建設的なご意見を頂いたことに大変感謝申し上げます。

また数多くの御助言、御指導を賜りました筑波大学スポーツ R&D コア・平山大作氏、茨城県立医療大学・阿江数通氏、中京大学・成相美紀助教、筑波大学・藁科侑希特任助教、スポーツ医学研究室・可西泰修氏に深謝いたします。そして、本研究を遂行するにあたり、多大なるご協力をいただきました筑波大学大学院スポーツ医学研究室、スポーツバイオメカニクス研究室ならびに学校法人杏文学園東京柔道整復専門学校の方々、本当に有難うございました。

ご協力を賜った多くの方々へ深く感謝の意を表すとともに、ここで学び得たものを磨き高め、活かすことを誓います。



## 参考文献

-A-

阿江 通良, 大木 昭一郎, 高松 潤二. (1994) 垂直跳および着地動作におけるパワー発揮の大きさと下肢関節の貢献度. バイオメカニズム. 12 (0) : 97-108.

阿江 通良. (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Jpn J of Sports Sci.15: 155-162.

Alyson F, Robyn B, Mark VP, Gregory DM, Timothy EH. (2010) Neuromuscular Training Improves Performance on the Star Excursion Balance Test in Young Female Athletes. J Orthop Sports Phys Ther. 40 (9) : 551-558.

青木 健太. (2011) サイドステップ動作時の下肢・体幹筋活動解析. 早稲田大学学位論文 (修士) .

Aspe RR, Swinton PA. (2014) Electromyographic and kinetic comparison of the back squat and overhead squat. J Strength Cond Res. 28 (10) : 2827-2836.

-B-

Basmajian JV, De Luca CJ. (1985) Muscles Alive 5th ed. Williams & Wilkins, Baltimore.

Boullosa DA, Abreu L, Beltrame LG, Behm DG. (2013) The acute effect of different half squat set configurations on jump potentiation. J Strength Cond Res. 27 (8) : 2059-2066.

Bryanton MA, Kennedy MD, Carey JP, Chiu LZ. (2012) Effect of squat depth and barbell load on relative muscular effort in squatting. J Strength Cond Res. 26 (10) : 2820-2828.

-C-

Caterisano A, Moss RF, Pellingier TK, Woodruff K, Lewis VC, Booth W, Khadra T. (2002)

The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *J Strength Cond Res.* 16 (3) : 428-432.

Cotter JA, Chaudhari AM, Jamison ST, Devor ST. (2013) Knee joint kinetics in relation

to commonly prescribed squat loads and depths. *J Strength Cond Res.* 27 (7) : 1765-1774.

-D-

Delmore R, Laudner K, Torry M. (2014) Adductor Longus Activation During Common

Hip Exercises. *J Sport Rehabil.* 23 (2) : 79-87.

Dierks T, Manal K, Hamill J, Davis I. (2008) Proximal and distal influences on hip

and knee kinematics in runners with patellofemoral pain during a prolonged run. *J Orthop Sports Phys Ther.* 38 (8) : 448-456.

Donald AN: 嶋田 智明, 平田 総一郎 訳. (2005) 筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版株式会社, 東京.

-E-

Escamilla RF. (2001a) Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and science in sports and exercise.* 33 (1) : 127-141.

Escamilla RF, Fleisig GS, Lowry TM, Barrentine SW, Andrews JR. (2001b) A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. *Medicine and science in sports and exercise.* 33 (6) : 984-998.

-F-

Farzaneh HA, Golpaigani M, Mahdavi OS, Nodehi MA, Nikolaidis PT. (2012) The

relationship between star excursion balance test and lower extremity strength, range of motion and anthropometric characteristics. *Med Sports*. 16 (4) : 99-103.

Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, Myer GD, Hewett TE. (2010) Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*. 40:551-558.

Fry AC, Smith JC, Schilling BK. (2003) Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *J Strength Cond Res*. 17 (4) : 629-633.

-G-

Garrett WE, Kirkendall DT : 宮永 豊, 阿江 通良, 河野 一郎, 高松 薫, 徳山 薫平 訳.  
(2010) スポーツ運動科学—バイオメカニクスと生理学. 西村書店, 新潟, pp.73.

Gayle S, Mark S, Gordon W. (2011) Effect of dynamic versus static stretching in the warm-up on hamstring flexibility. *The Sport Journal*. 14 (1) .

Gomes WA, Brown LE, Soares EG, Silva JJ, Silva FH, Serpa ÉP, Marchetti PH. (2015) Kinematic and sEMG analysis of the back squat at different intensities with and without knee wraps. *J Strength Cond Res*. 29 (9) : 2482-2487.

後藤 寛司, 岡田 理沙, 田中 言美. (2014) スクワット動作時における骨盤前後傾の違いが下肢関節に及ぼす力学的影響について. 日本理学療法学会大会抄録集. 41 (2) .

Gribble PA, Hertel J, Pilsky P. (2012) Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *J Athl Train*. 47 (3) : 339-357.

-H-

Hartmann H, Wirth K, Klusemann M, Dalic J, Matuschek C, Schmidtbleicher D. (2012) Influence of squatting depth on jumping performance. *J Strength Cond Res*. 26 (12) :

3243-3261.

Hewett T, Myer G, Ford K, Heidt R, Colosimo A, Mclean S, Bogert A, Paterno M, Succop P. (2005) Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 33 (4) : 492-501.

-I-

今田 拓. (1974) 関節可動域表示ならびに測定法. *日本リハビリテーション医学会誌.* 11 (2) : 127-132.

Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, Shiraki H. (2010) Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *J Orthop Sports Phys Ther.* 40 (6) : 369-375.

-K-

金久 博昭, 宮下 充正. (1982) アイソキネティック・トレーニング - トレーニング速度とトレーニング効果 -. *Jpn J Sports Sci.* 1: 147-151.

Kapandji AI : 萩島秀男 訳. (1992) カパンディ関節の生理学 II 下肢 原著第 5 版. 医歯薬出版株式会社, 東京.

河端正也. (1997) 腰痛テキスト - 正しい理解と予防のために -. 南江堂, 東京.

川上 康雄. (2003) 運動中の筋線維収縮動態. *バイオメカニズム学会誌.* 27 (2) : 67-71.

木塚 朝博, 増田 正, 木竜 徹, 佐渡山 亜兵. (2008) バイオメカニズム・ライブラリー 表面筋電図. 東京電機大学出版局, 東京.

倉林 準, 持丸 正明, 河内 まき子. (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. *バイオメカニズム学会誌.* 27 (1) : 29-36.

-L-

Lee SQ, Chan CK, Lam TS, Lam C, Lau NC, Law RW, Chan ST. (2006) Relationship between low back pain and lumbar multifidus size at different postures. *Spine*. 31 (19) : 2258-2262.

Li Y, Cao C, Chen X. (2013) Similar electromyographic activities of lower limbs between squatting on a reebok core board and ground. *J Strength Cond Res*. 27 (5) : 1349-1353.

Lorenzetti S, Gülay T, Stoop M, List R, Gerber H, Schellenberg F, Stüssi E. (2012) Comparison of the angles and corresponding moments in the knee and hip during restricted and unrestricted squats. *J Strength Cond Res*. 26 (10) : 2829-2836.

-M-

Macadam P, Cronin J, Contreras B. (2015) AN EXAMINATION OF THE GLUTEAL MUSCLE ACTIVITY ASSOCIATED WITH DYNAMIC HIP ABDUCTION AND HIP EXTERNAL ROTATION EXERCISE: A SYSTEMATIC REVIEW. *Int J Sports Phys Ther*. 10 (5) . 573-591.

Manabe Y, Shimada K, Ogata M. (2007) Effect of slow movement and stretch-shortening cycle on lower extremity muscle activity and joint moments during squat. *Journal of sports medicine and physical fitness*. 47 (1) : 1-12.

真鍋 芳明, 横澤 俊治, 尾縣 貢. (2004) 動作形態の異なるスクワットが股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響. *体力科学*. 53 (3) : 321-336.

Mascal CL, Landel R, Powers C. (2003) Management of patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk muscle function: 2 case reports. *J Orthop Sports Phys Ther*. 33 (11) : 647-660.

Matthew RR, Joseph GK, Mark DP, Drew M, Roberto S, Pedro JM, Mike F, Diogo C,

- Darren K. (2016) Joint-Angle Specific Strength Adaptations Influence Improvements in Power in Highly Trained Athletes. *Human Movement*. 17 (1) : 43-49.
- McCaw ST, Melrose DR. (1999) Stance width and bar load effects on leg muscle activity during the parallel squat. *Med Sci Sports Exerc*. 31 (3) : 428-436
- McLaughlin TM, Lardner TJ, Dillman CJ. (1978) Kinetics of the parallel squat. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 49 (2) : 175-189.
- Michael S, Erik S, Udo S : 坂井 建雄, 松村 讓兒 訳. (2008) プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論/運動器系. 医学書院, 東京.
- 南 和文, 白井 康正, 大場 俊二. (1995) 発育期の腰椎分離症と対策. *臨床スポーツ医学*. 12 (9) : 1009-1015.
- N-
- Noehren B, Davis I, Hamill J. (2007) ASB clinical biomechanics award winner 2006 prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome. *Clin Biomech*. 22 (9) : 951-956.
- O-
- Ogasawara I, Miyakawa S, Wakitani S. (2014) The external force model for determining the frontal plane knee loading pattern –Implication for the mechanism of non-contact anterior cruciate ligament injury-. *MJHES*. 4 (1) : 13-22.
- 大場 俊二. (2002) スポーツにおける腰部疲労骨折に対するメディカルチェック-早期診断を可能とする選手の意識向上を目指して-. *臨床スポーツ医学*. 19 (12) : 1417-1424.
- Orloff H, Veil G, Askins R. (1997) Forces on the lumbar spine during the parallel squat.

In ISBS-Conference Proceedings Archive. 1 (1) .

-P-

Paoli A, Marcolin G, Petrone N. (2009) The effect of stance width on the electromyographical activity of eight superficial thigh muscles during back squat with different bar loads. *J Strength Cond Res.* 23 (1) : 246-250.

Pereira GR, Leporace G, Chagas Dd, Furtado LF, Praxedes J, Batista LA. (2010) Influence of hip external rotation on hip adductor and rectus femoris myoelectric activity during a dynamic parallel squat. *J Strength Cond Res.* 24 (10) : 2749-2754.

Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. (2006) Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther.* 36:911-19.

Pollard CD, Sigward SM, Powers CM. (2010) Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clin Biomech.* 25 (2) : 142-146.

-R-

Robertson G, Caldwell G, Hamill J, Kamen G, Whittlesey S: 阿江 通良 訳. (2008) 身体運動のバイオメカニクス研究法. 大修館書店, 東京.

-S-

Sahrmann SA: 竹井 仁, 鈴木 勝 訳. (2007) 運動機能障害症候群のマネジメント – 理学療法評価・MSI アプローチ・ADL 指導 –. 医歯薬出版株式会社, 東京.

Sahrmann SA: 竹井 仁, 鈴木 勝 訳. (2013) 運動機能障害症候群のマネジメント – 頸椎・胸椎・肘・手・膝・足 –. 医歯薬出版株式会社, 東京.

- Sharma SK, Raza S, Moiz JA, Verma S, Nagvi IH, Anwer S, Alghadir AH. (2018) Postactivation Potentiation Following Acute Bouts of Plyometric versus Heavy-Resistance Exercise in Collegiate Soccer Players. *Biomed Res Int.* 2 (7) : 1-8.
- Steindler A. (1955) *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions.* Springfield, IL: Charles C Thomas.
- 栖原 弘和, 白木 仁, 宮川 俊平. (2014) 腰割り動作のバイオメカニクスの分析. *日本臨床スポーツ医学会.* 22 (1) : 128-137
- 鈴木 智裕. (2005) 相撲の腰割り動作における下肢の筋活動動態. *筑波大学体育研究科 研究論文集.* 27: 485-488

-T-

- 高橋 将. (2017) 大学男子サッカー選手における Groin pain 既往者の身体的および動作特性 ~再発予防のための基礎的研究~. 早稲田大学学位論文 (博士) .
- Thomas RB, Roger WE: 金久 博昭 訳. (2010) *NSCA 決定版 ストレングストレーニング&コンディショニング 第3版.* 有限会社ブックハウス・エイチディ, 東京.
- 鳥海 清司, 天野 義裕, 寺澤 健次. (1988) 立ち幅跳び踏切時における各関節でのパワー発揮の特徴 -垂直跳びとの比較から-. *中京大学体育学論叢.* 30: 23-33.
- Tyler TF, Nicholas SJ, Campbell RJ, Donellan S, McHugh MP. (2002) The effectiveness of a preseason exercise program to prevent adductor muscle strains in professional ice hockey players. *Am J Sports Med.* 30 (5) : 680-685.
- Tyler TF, Silvers HJ, Gerhardt MB, Nicholas SJ. (2010) Groin injuries in sports medicine. *Sports Health.* 2 (3) : 231-236.

-W-

- 若野 紘一, 長田 夏哉. (2002) 柔道選手における体幹部の損傷と対策. *臨床スポーツ医学.*



19 (3) : 247-253.

渡部 健一, 鈴木 岳, 北川 雄一. (2010) ファンクショナルトレーニング 機能向上と障害予防のためのパフォーマンストレーニング. 文光堂, 東京.

Wells RP, Winter DA. (1980) Assessment of signal and noise in kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Proceedings of the special conference of the Canadian society for biomechanics-Human Locomotion. 92-93.

Winters MV, Blake CG, Trost JS, Marcello-Brinker TB, Lowe LM, Garber MB, Wainner RS. (2004) Passive versus active stretching of hip flexor muscles in subjects with limited hip extension: a randomized clinical trial. Phys Ther. 84 (9) : 800-807.

Worrell TW, Smith TL, Winegardner J. (1994) Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. J Orthop Sports Phys Ther. 20 (3) : 154-159.