２０１９年度　修士論文

バランスや筋力トレーニングが片足ドロップジャンプ中の下肢キネティクス及びキネマティクスに与える影響

The effect of balance or strength training on lower kinetics and kinematics during single leg drop jump

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻　コーチング科学研究領域

５０１８Ａ０４２－０

鈴木　聡一郎

研究指導教員：　岡田　純一　教授

目次

1 章　緒言 1

1 節　ACL(Anterior-Cruciate-Ligament : 前十時靭帯)損傷 1

2 節　ACL の損傷要因 1

3 節　ACL 損傷における性差 3

4 節　ACL 損傷予防 4

5 節　本研究の目的 4

2 章　方法 6

1 節 対象者 6

2 節 測定動作 6

3 節 実験デザイン 8

4 節 トレーニング介入 9

① バランストレーニング(BL 群:Balance) 9

② 筋力トレーニング(ST 群:Strength) 10

③ バランス，筋力トレーニング(BL+ST 群) 10

5 節 解析 13

6 節 統計処理 14

3 章　結果 15

1 節 スクワット 1RM の変化 15

2 節 股関節屈曲角度 16

3 節 股関節内転角度 18

4 節 膝関節屈曲角度 20

5 節 膝関節外転角度 22

6 節 膝関節外転モーメント 24

4章　考察 26
1節 股関節屈曲，内転角度の変化 26
2節 膝関節屈曲角度の変化 27
3節 膝関節外転角度の変化 28
4節 膝関節外転モーメントの変化 29
5節 現場への応用 30
5章　結論 32
参考文献 33
謝辞 39

1章　緒言

1節 ACL(Anterior-Cruciate-Ligament：前十字靭帯)損傷

アスリートにとって，怪我によってスポーツ競技から離脱することは望ましいことではない．特にACL(Anterior-Cruciate-Ligament：前十時靭帯)の損傷は，Jennifer[9)]らによると損傷してから復帰するまでに半年以上の期間を要とすると報告している．選手が半年以上チームから離脱することは，受傷した本人にとってだけでなく，チームとしても望ましいことではない．さらに，Jennifer[9)]らによるとアメリカではACLを損傷した場合の治療費として，10年間で6億5000万ドルもの医療費がかかっており，ACLを損傷した場合，個人としてだけでなく，社会としても大きな費用を必要する．また，ACLを損傷して，一度競技を離脱してしまうと復帰した際のパフォーマンスの低下が著しくなると報告がある．実際にACLを一度損傷してしまうと，77%の者が損傷前と同等のパフォーマンスが発揮できないと報告している[13)]．そのため，ACL損傷を予防することは，高いパフォーマンス発揮を維持するためにも非常に重要であることは明らかである．

2節 ACLの損傷要因

ACLの損傷リスクとして，ACLそのものの材質や，下肢の静的アライメントなどが先行研究より挙げられる[13)20)]が，動作中の下肢キネティクス，キネマティクスは，後天的なものであるため，ACLの損傷を予防する上では非常に重要であると報告している．その根拠として，Timothyら(2004)は[22)23)]，ACLを損傷した際の下肢キネティクス，キネマティクスがACL損傷者と損傷していない者では，大きく違うことが多くの研究で実証されている．実際にACL損傷者のジャンプ着地時の特徴として，接地した瞬間の最大屈曲角度が小さく，膝関節外転角度が大きいこ

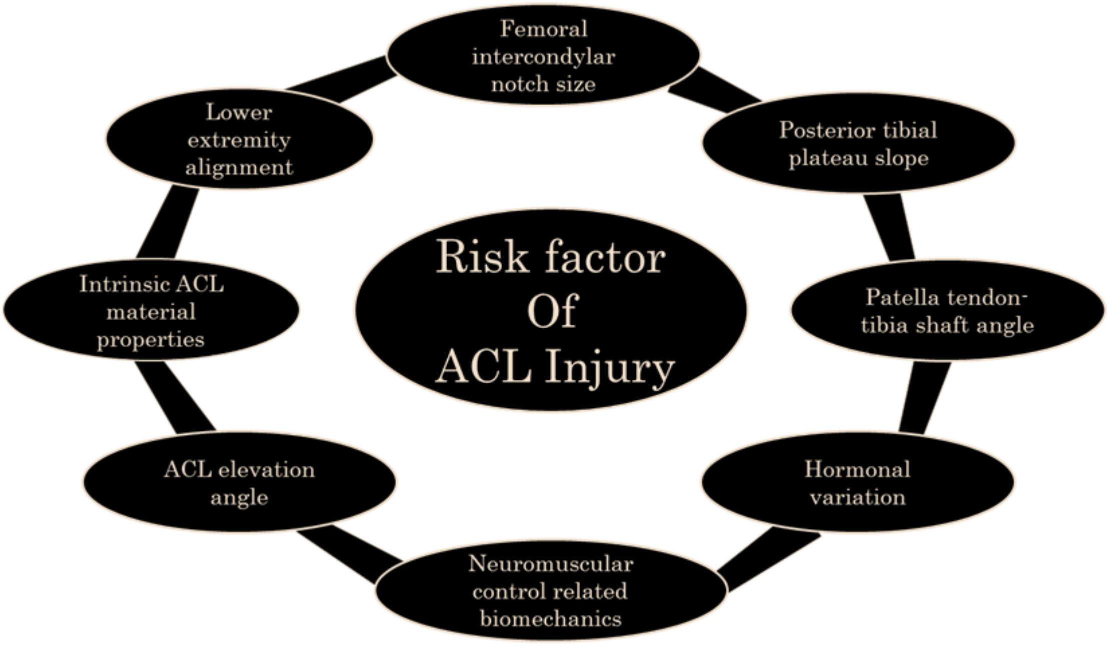

図 1　ACL の損傷リスク

とが報告されている．同様に動作中の膝関節の外転モーメントが大きいことも明らかとなっている．実際に ACL を Guoan ら(2005)が実施した In vivo 研究 [7]では，膝関節が 30 度屈曲しているときに ACL に対して最も伸張性ストレスが加わることも報告している． Timothy らが実施した損傷した際の，下肢の動的アライメントを映像から計測した研究では，実際に ACL 損傷時の膝関節外転角度が大きいことが報告している [23]．このことから，動作中の下肢動的アライメント，特に膝関節の屈曲角度を増大させること及び，膝関節の外転角度と外転モーメントを減少させることは，ACL 損傷を予防するためにも非常に重要となることが示唆されている．

床反力に着目した先行研究では，Timothy ら(2004)が [22]膝関節に対する直接的な衝撃力を減らすためにも，接地した瞬間の床反力を減少させることは重要であると報告している．また床反力を減少させることで，各関節に対するモーメントを減少させることに繋がり，関節に加わるス

トレスが減少することになる．床反力を減少させるためには膝関節の屈曲角度だけでなく股関節の屈曲角度を増大させることで，より soft な接地をすることができ，床反力を減少させることができると，先行研究では考えられている．実際に，ACL を損傷した対象者では，ドロップジャンプで着地したときの接地時間が損傷していない対象者と比較して，16%短かったと報告している[23]．このことからも，膝関節，股関節の屈曲角度を増大させ，より soft な着地をすることは重要であると考えられる．

ACL の損傷は，競技によっても発生率が違うと報告がある．先行研究では，バスケットボールやサッカー，ハンドボールなど相手と激しく接触するプレーや，切り返しやジャンプなどの着地がある競技で，頻繁に ACL 損傷が発生すると報告している．実際に，片足でジャンプを着地する時や，切り返しをするタイミングで ACL の損傷を引き起こすことが多いと報告している．以上のことより，動作中の下肢キネティクス，キネマティクスは ACL 損傷リスクを反映していると考えられるので，ACL 損傷を予防する上で，動作中の下肢キネティクス，キネマティクスを改善することは重要であると考えられる．

3節 ACL 損傷における性差

女性アスリートと男性アスリートでは，ACL の損傷率に大きな違いがある．実際に Renstrom ら(2008)は[15]，女性アスリートにおいて男性アスリートと比較して，2~10 倍損傷率が高いと報告がしている．これは，生まれつきの骨格が男性と比較して違うことや，筋量が少ないことや生理的現象が影響していると報告がされているが，特に動作中の下肢キネティクス，キネマティクスに大きな違いがあると先行研究から明らかとなっている．Susan ら(2006)は[19]，男性と女性の動作中下肢キネティク

ス，キネマティクスを比較した研究を実施したところ，女性において接地時の膝関節最大屈曲角度が小さいこと，膝関節外転角度が大きいことが報告されている．このことから，男性と女性における動作の違いは明らかである．前述のように，膝関節の最大屈曲角度の低下と外転角度の増大は，ACL を損傷する大きな要因であると考えられるので，女性アスリートは男性アスリートと比較して，ACL 損傷のリスクが高いと考えられる．

4節 ACL 損傷予防

動作中の下肢キネティクス,キネマティクスを改善することで,ACL の損傷を予防できる可能性が高まる．実際に ACL 損傷を予防するために，多くのトレーニング実験が実施されている．バランストレーニングは，傷害予防のトレーニング介入で頻繁に用いられる．実際に 1 年間のバランストレーニングを，成人サッカー選手に介入したところ，介入していない群と比較して傷害報告件数が減少したという報告がある．また，Omi ら [14]の研究では 8 年間股関節の筋力トレーニングを実施したところ，ACL の損傷が減少したと報告している．しかしながら，キネティクス，キネマティクスの改善を目的とした介入実験では，バランストレーニングや筋力トレーニングを各々で介入する研究が多く，各々で実施するトレーニング介入では，動作の改善に対して限界があると報告している [4][6][10][15][16][17][19][24]ことから，バランストレーニングや筋力トレーニングを複合的に実施することが求められている．

5節 本研究の目的

以上のことより，ACL の損傷リスクを軽減させる方策として，ドロップジャンプ中の下肢キネティクス，キネマティクスの改善は，有効性が示唆される．しかしながら，キネティクス，キネマティクスの改善を目

的とした介入実験では，バランストレーニングや筋力トレーニングを単体で介入する研究が多く，各々で実施するトレーニング介入では，動作の改善に対して限界があると報告されているので，複合的なトレーニング介入が求められる．そこで本研究では，下肢キネティクス，キネマティクスを改善するために，複合的なトレーニングの有効性を明らかにすることを目的とした．

2章 方法

1節 対象者

本研究における対象者は，膝関節の傷害歴と過去1年半以上トレーニング暦がなく，過去に球技スポーツ経験のある女性32名(年齢 20.3±0.7, 身長 159.3±4.5cm，体重 51.9±5.3kg)を対象とし，無作為に Con 群(Control)8名，BL 群(Balance)8名，ST 群(Strength)6名，BL+ST 群(Balance+Strength)10名の4群に分類した．被験者には本研究の趣旨を十分に説明し，実施内容を理解してもらい，同意を得た上で本研究に参加して頂いた．

2節 測定動作

本実験で測定する動作は，片足でのドロップジャンプを用いた．先行研究では，ACL 損傷は，切り返し中や片足でジャンプの着地で多発するということが報告されている．そこで本研究では，片足でのジャンプの着地動作を調査試技とした．試技は2回利き足で実施し，口頭で，地面に足部接地後，すぐに真上に高くジャンプするように指示をした．試技実施に当たり，事前に十分に練習をしてから動作の測定を実施した．また，Daniel らは与えるフィードバックによって，動作が変化してしまう可能性があると示唆している[5)]ため，練習に際して動作を確認しながら，以下のフィードバックを対象に与えた(表 1)．動作は，8台の赤外線カメラ(Oqus 社製)を用いて，マーカーを下記図(図 2)の位置に貼付して計測を実施した(図 3).

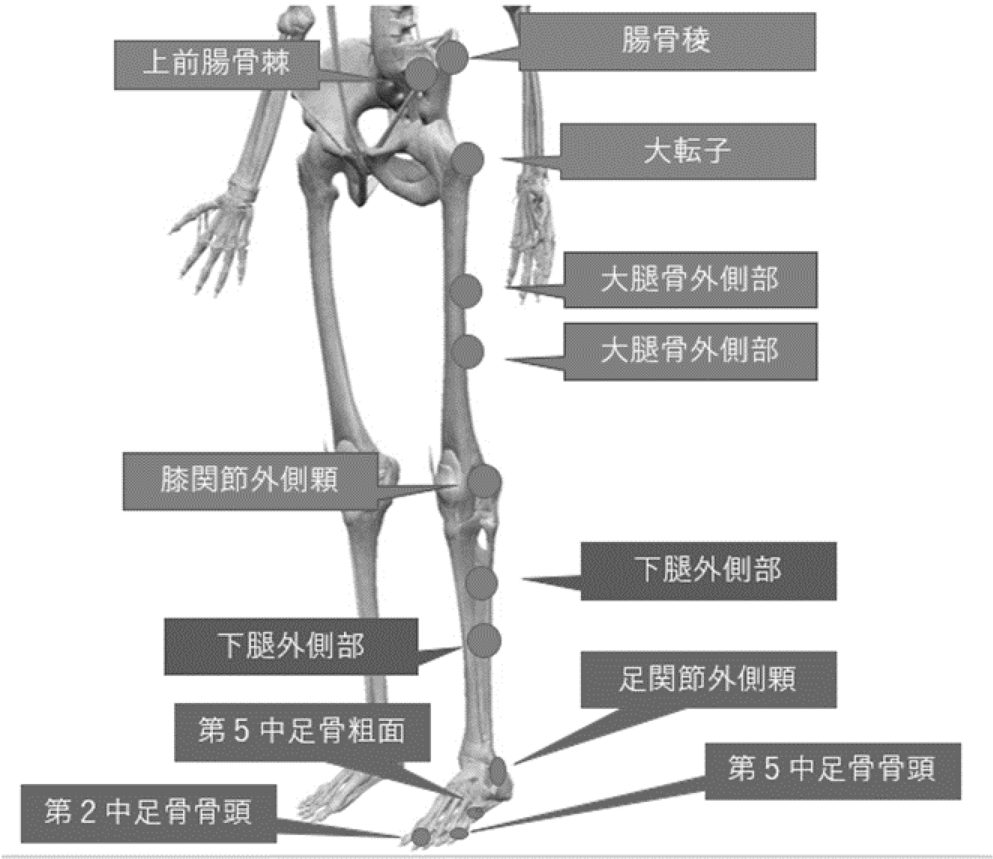

図 2　マーカー貼付位置

表 1　片足ジャンプ中のフィードバック

動作中下肢フィードバック確認項目
1. 股関節が内や外に向かないようにジャンプしていますか
2. 接地した瞬間に膝関節と股関節をしっかりと屈曲していますか
3. 足裏の中心で地面に接地していますか
4. 足は肩幅の位置で接地していますか

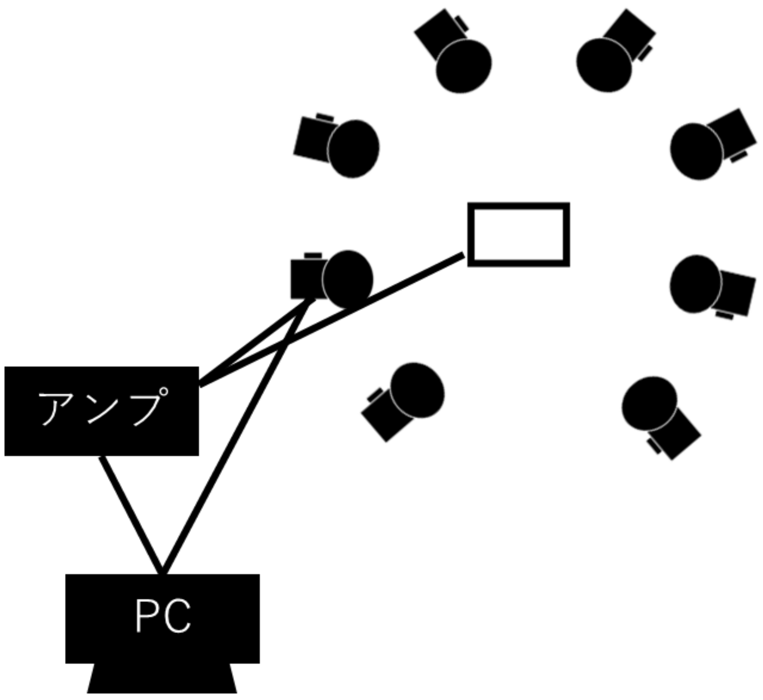

図 3　カメラ，フォースプレート配置図

3節　実験デザイン

本実験では，6 週間，週 3 回のトレーニング介入を実施し，トレーニングが動作中の下肢キネティクス，キネマティクスに与える影響を調査した．本実験では，対象者を無作為に 4 群に分類し，本測定の 2 日前にハーフスクワットと片足でのドロップジャンプの練習を行った（図 4)．練習では本実験同様，動作を確認して，フィードバックを与えた(表 1)．

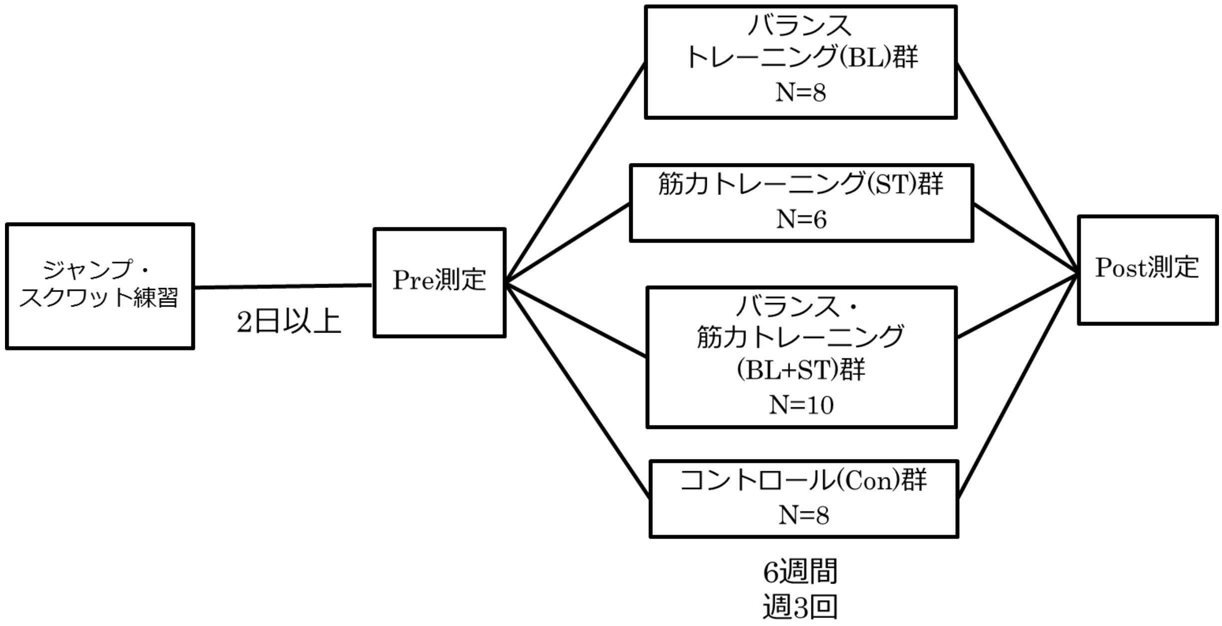

図 4 実験デザイン

4節 トレーニング介入

トレーニング介入としては①バランストレーニング②筋力トレーニング③筋力トレーニングとバランストレーニングを組み合わせた複合的なトレーニングという 3 種類を実施した．1 週間に 1 度，検者がトレーニングを監督し，正しくトレーニングが実施されているか確認をした．また，その他の 2 回/週においてはトレーニングを実施した後に，担当者へ連絡をするように指示をした．

① バランストレーニング(BL 群:Balance)

バランストレーニングは，下表(図 5) (表 2)に示した内容で実施した．トレーニングの内容は，より簡単な難易度から目を閉じて実施するなど，難易度を徐々に上げて実施するように取り組んだ．また，トレーニングの最終週では，対象者が片足でフルスクワットができることを確認した．

② 筋力トレーニング(ST 群:Strength)

筋力トレーニングは，下表(表 3)のプロトコルで実施した．負荷は漸進的に増加させていき，トレーニングの種類もそれに応じて増やしていった．

③ バランス，筋力トレーニング(BL+ST 群)

バランス，筋力トレーニングを組み合わせたトレーニングを実施した．トレーニングの内容はバランストレーニングと筋力トレーニング同様のものを実施するように指示をした(表 2，表 3)．

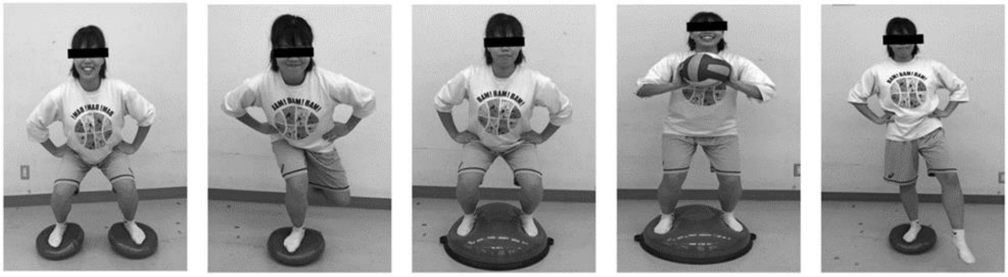

図 5 バランストレーニングの紹介

表 2.　バランストレーニングプロトコル

Balance Training Program

Exercise	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
Measure	**Pre**					**Post**
Single Leg Balance (sets/reps/load)	floor 2sets*30secs	BOSU 2sets*30secs	BOSU 2sets*30secs	balance disk 2sets*30secs	balance disk 2sets*30secs	balance disk with Closed eyes 2sets*30secs
Single Leg Squat (sets/reps/load)		floor 3sets*7reps	BOSU 3sets*7reps	Balance Disk 3sets*7reps	Balance Disk 3sets*7reps	balance disk with Closed eyes 3sets*7reps
Squat (sets/reps/load)	BOSU 3sets*7reps	Balance disk 3sets*7reps	balance disk 3sets*7reps	BOSU with Closed eyes 3sets*7reps	balance disk with Closed eyes 3sets*7reps	balance disk with Closed eyes 3sets*7reps
ChestPass (sets/reps/load)			BOSU 3sets*10reps	BOSU with SL 3sets*10reps	Balance Disk 3sets*10reps	Balance Disk with SL 3sets*10reps
Leg swing Anterior Lateral (sets/reps/load)	floor 2sets*15reps	BOSU 2sets*15reps	BOSU 2sets*15reps	balance disk 2sets*15reps	balance disk 2sets*15reps	balance disk with Closed eyes 2sets*15reps

表 3.　筋力トレーニングプロトコル

Strength Training Program

Exercise	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
Measure	**Pre**					**Post**
Hip Thrust (sets/reps/load)		2/8/10RM	3/8/10RM	3/8/10RM	4/6/8RM	4/4/6RM
Leg Extention (sets/reps/load)	2/12/15RM	3/12/15RM	4/10/12RM	4/10/12RM	4/8/10RM	4/8/10RM
Leg Curl (sets/reps/load)	2/12/15RM	3/12/15RM	2/10/12RM	2/10/12RM	4/8/10RM	4/8/10RM
Curf Raise (sets/reps/load)		2/12/15RM	3/12/15RM	2/10/12RM	2/10/12RM	4/8/10RM
Hip Abduction (sets/reps/load)	2/12/15RM	3/12/15RM (With tube)	3/10/12RM (With tube)	3/10/12RM (With tube)	3/8/10RM (With tube)	3/8/10RM (With tube)

5節　解析

片足着地動作時のキネティクスを三次元動作解析システム(Oqus,Qalisys 社製)を用いて計測，解析を実施した．今回の実験では，股関節の屈曲角度，内転角度と膝関節の屈曲角度，外転角度，外転モーメントを計測した(図 6).

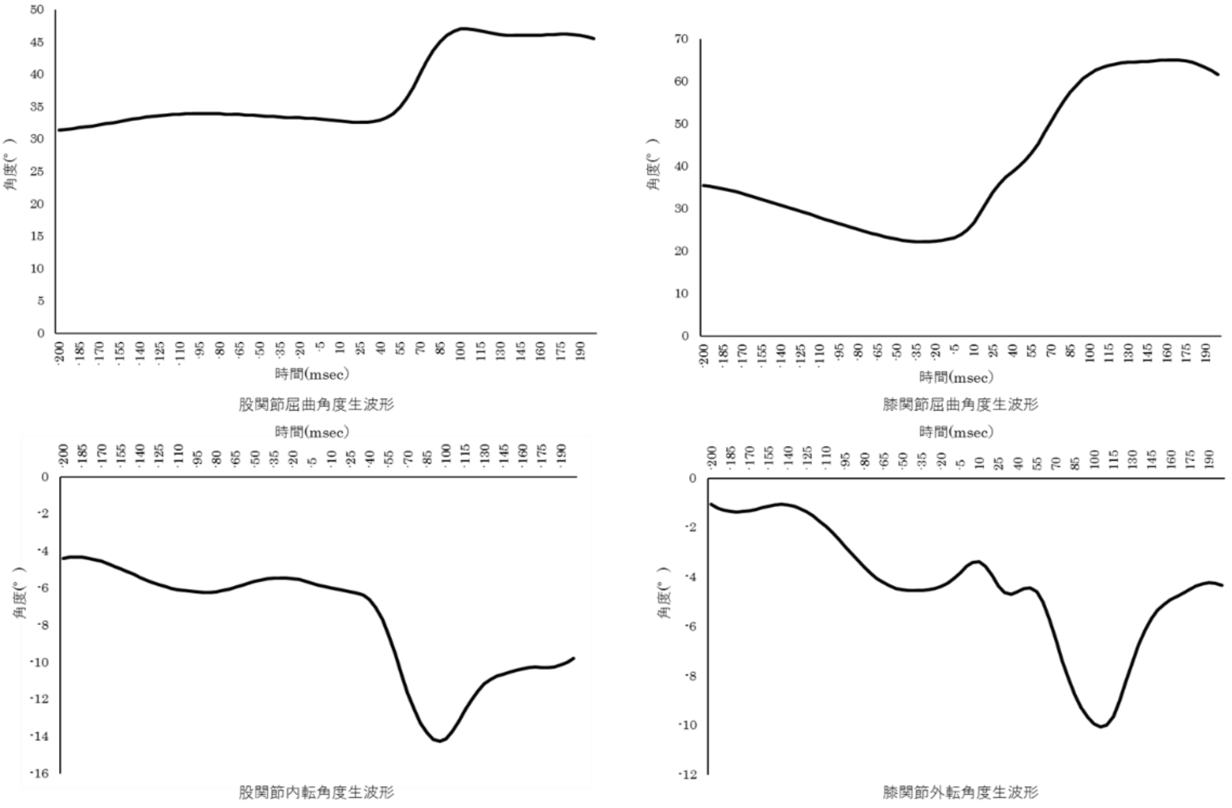

図 6 各キネティクスの典型例

それぞれキネティクス，キネマティクスの正負は股関節屈曲(+)/伸展(-)，外転(+)/内転(-)，膝関節屈曲(+)/伸展(-)，外転(+)/内転(-)と定義した(図 7)．Koga ら(2010)によると，接地後 40msec で ACL の損傷が起こると報告している[11]ことから，接地時と接地後 40msec 時点の値を解析対象とし，片足ドロップジャンプ試技 2 回の平均値を計算した．データは

それぞれ 4 次のローパスバターワースフィルタを用いてカットオフ周波数 25Hz にて処理を行った．動作は 200Hz，床反力は 200Hz(Kistler社製)で記録した．モーメントは，体重で正規化を実施した値を採用した．

図 7 角度定義の例

6節 統計処理

今回の実験では，介入前後と群で二元配置の分散分析(SPSS)を実施した．有意水準を 5%未満とし，有意差が認められた場合，Bonferroni の多重比較検定を実施した．

3章　結果

1節　スクワット 1RM の変化

スクワット 1RM の変化を以下の図に示した(図 8). Con 群では, Pre 測定において 67.5kg で Post 測定において, 65.0kg であった. BL 群では, Pre 測定において 67.5kg で Post 測定において, 6.5kg であった. ST 群では, Pre 測定において 60.0kg で Post 測定において, 65.0kg で有意差が見られた(P<0.05). BL+ST 群では, Pre 測定において 67.5kg で Post 測定において, 80.0kg で有意差が見られた(P<0.05).ただし, 群間差は見られなかった.

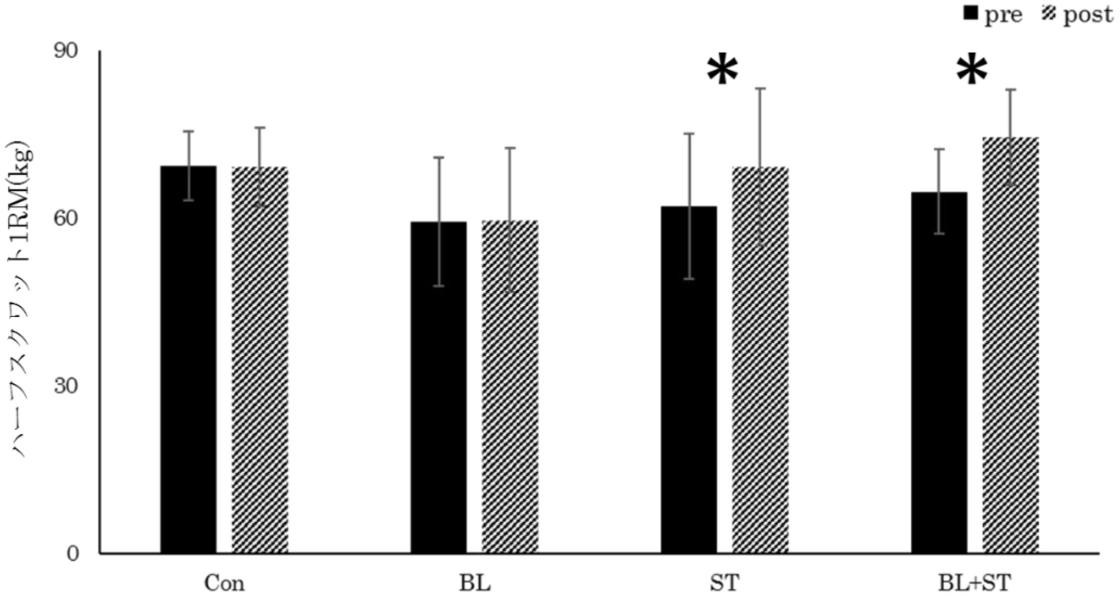

図 8　1RM の変化

2節　股関節屈曲角度

接地時の股関節屈曲角度を以下の図に示した(図 9). Con 群では, Pre 測定において 33.9 度で Post 測定において, 32.4 度であった. BL 群では, Pre 測定において 27.4 度で Post 測定において, 32.6 度であった. ST 群では, Pre 測定において 28.1 度で Post 測定において, 34.1 度であった. BL+ST 群では, Pre 測定において 31.6 度で Post 測定において, 36.6 度で有意差が見られた(P<0.05).ただし, 群間差は見られなかった.

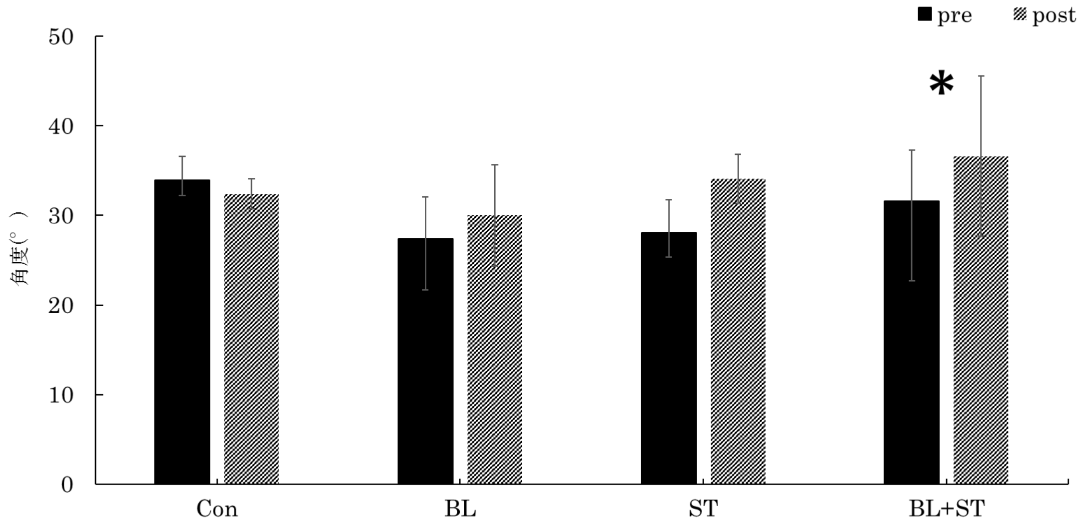

図 9　接地時の股関節屈曲角度の変化

接地後 40msec 時の股関節屈曲角度を以下の図に示した(図 10). Con 群では, Pre 測定において 34.8 度で Post 測定において, 34.0 度であった. BL 群では, Pre 測定において 28.8 度で Post 測定において, 35.1 で有意差が見られた(P<0.05). ST 群では, Pre 測定において 29.3 度で Post 測定において, 34.2 度であった. BL+ST 群では, Pre 測定において 32.3 度で Post 測定において, 37.5 度で有意差が見られた(P<0.05).ただし, 群間差は見られなかった.

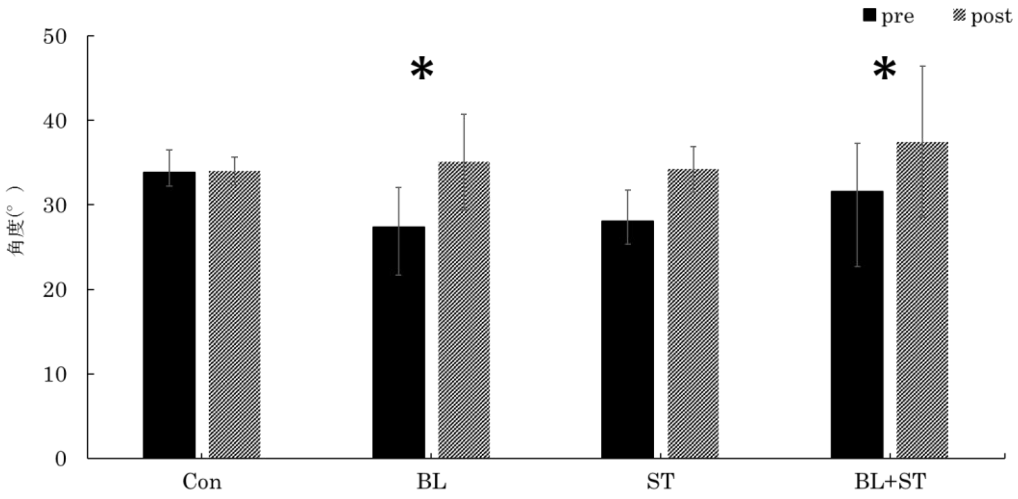

図 10　40msec 時の股関節屈曲角度の変化

3節　股関節内転角度

接地時の股関節内転角度を以下の図に示した(図 11). Con 群では, Pre 測定において-2.5 度で Post 測定において, -0.3 度であった. BL 群では, Pre 測定において 2.1 度で Post 測定において, 3.9 度であった. ST 群では, Pre 測定において 3.7 度で Post 測定において, 4.4 度であった. BL+ST 群では, Pre 測定において 2.2 度で Post 測定において, 0.5 度で有意差は見られなかった.群間差も同様に見られなかった.

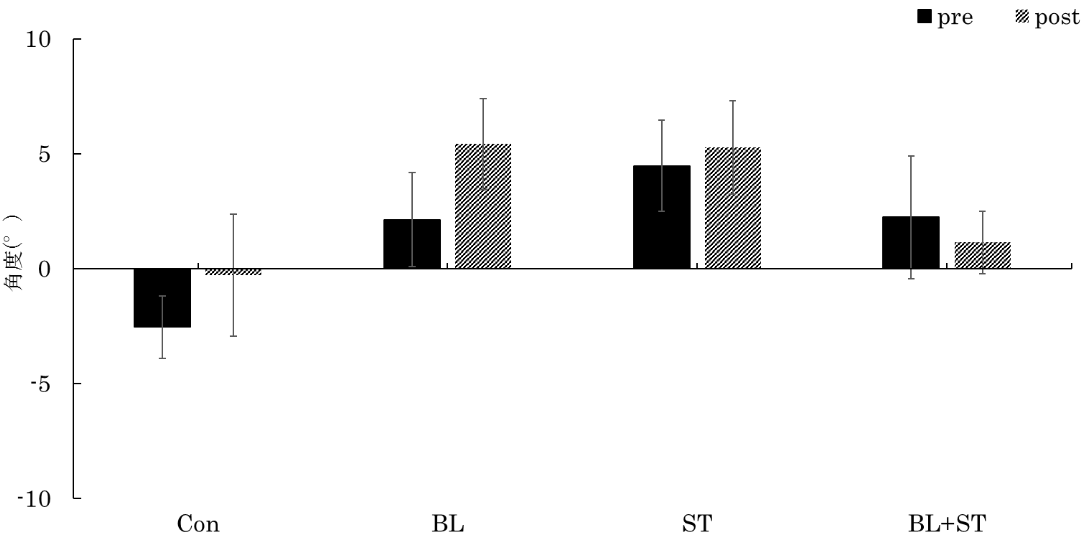

図 11　接地時の股関節内転角度の変化

接地後 40msec 時の股関節内転角度を以下の図に示した(図 12). Con 群では，Pre 測定において-3.0 度で Post 測定において，-1.0 度であった．BL 群では，Pre 測定において 0.7 度で Post 測定において，2.8 度で有意差が見られた(P<0.05)．ST 群では，Pre 測定において 2.8 度で Post 測定において，2.7 度であった．BL+ST 群では，Pre 測定において 1.1 度で Post 測定において，3.8 度で有意差は見られなかった.群間差も同様に見られなかった．

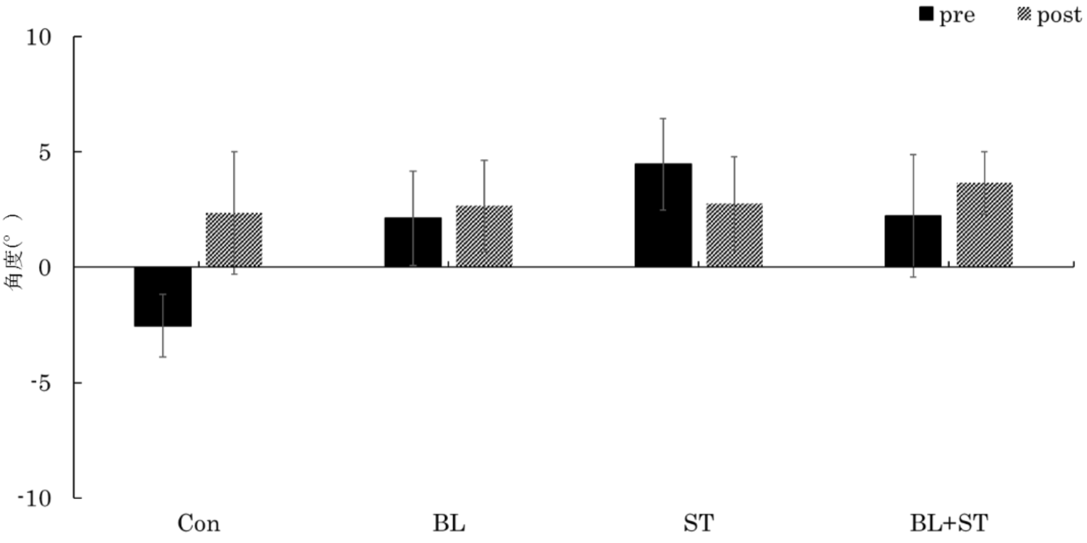

図 12　接地後 40msec 時の股関節内転角度の変化

4節　膝関節屈曲角度

接地時の膝関節屈曲角度を以下の図に示した(図 13). Con 群では, Pre 測定において 29.7 度で Post 測定において，31.2 度であった．BL 群では，Pre 測定において 22.4 度で Post 測定において，29.8 度であった. ST 群では，Pre 測定において 25.3 度で Post 測定において，30.8 度であった. BL+ST 群では, Pre 測定において 26.6 度で Post 測定において, 32.3 度で有意差は見られなかった.群間差も同様に見られなかった.

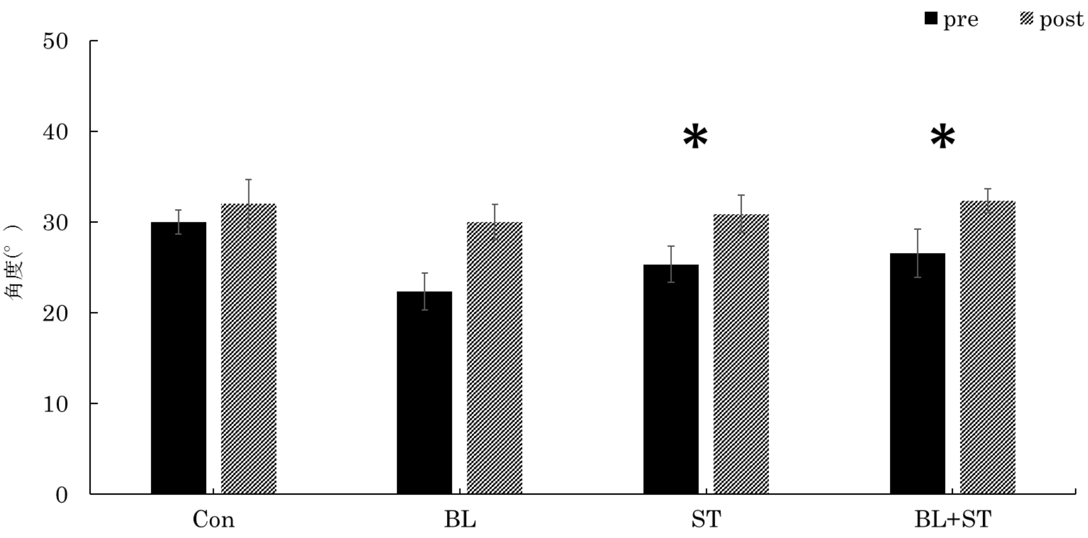

図 13　接地時の膝関節屈曲角度の変化

接地後 40msec 時の膝関節屈曲角度を以下の図に示した(図 14). Con 群では，Pre 測定において 52.6 度で Post 測定において，48.7 度であった．BL 群では，Pre 測定におい 33.9 度で Post 測定において，50.2 度で有意差が見られた(P<0.05). ST 群では，Pre 測定において 38.9 度で Post 測定において，43.2 度で有意差が見られた(P<0.05). BL+ST 群では，Pre 測定において 40.2 度で Post 測定において，46.1 度で有意差が見られた(P<0.05).群間差は見られなかった.

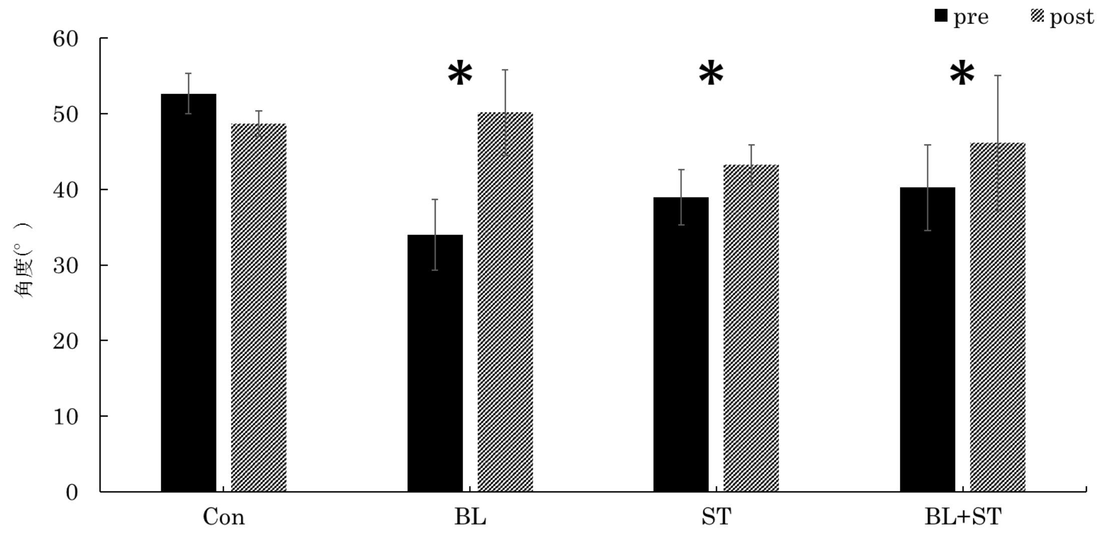

図 14　接地後 40msec 時の膝関節屈曲角度の変化

5節　膝関節外転角度

接地時の膝関節外転角度を以下の図に示した(図 15).Con 群では，Pre 測定において-4.5 度で Post 測定において，-4.2 度であった．BL 群では，Pre 測定において-4.9 度で Post 測定において，-3.4 度であった．ST 群では，Pre 測定において-5.1 度で Post 測定において，-3.3 度であった．BL+ST 群では，Pre 測定において-2.3 度で Post 測定において，-1.9 度で有意差は見られなかった.群間差も同様に見られなかった.

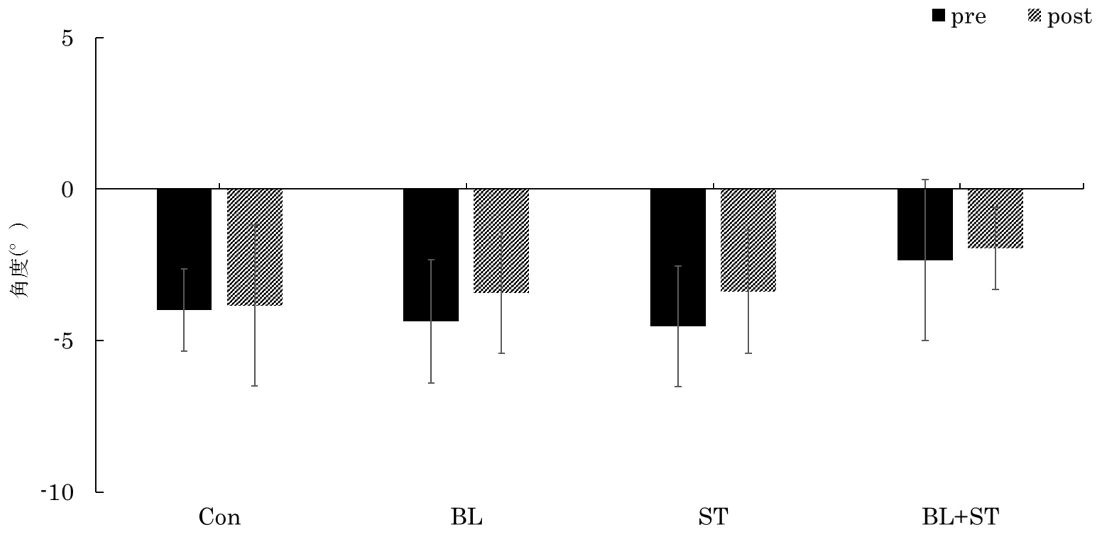

図 15　接地時の膝関節外転角度の変化

接地後 40msec 時の膝関節外転角度を以下の図に示した(図 16). Con 群では，Pre 測定において-5.0 度で Post 測定において，-5.9 度であった．BL 群では，Pre 測定において-4.8 度で Post 測定において，-4.7 度であった．ST 群では，Pre 測定において-4.1 度で Post 測定において，-3.8 度であった.BL+ST 群では，Pre 測定において-3.9 度で Post 測定において，-2.0 度で有意差は見られなかった．群間差も同様に見られなかった．

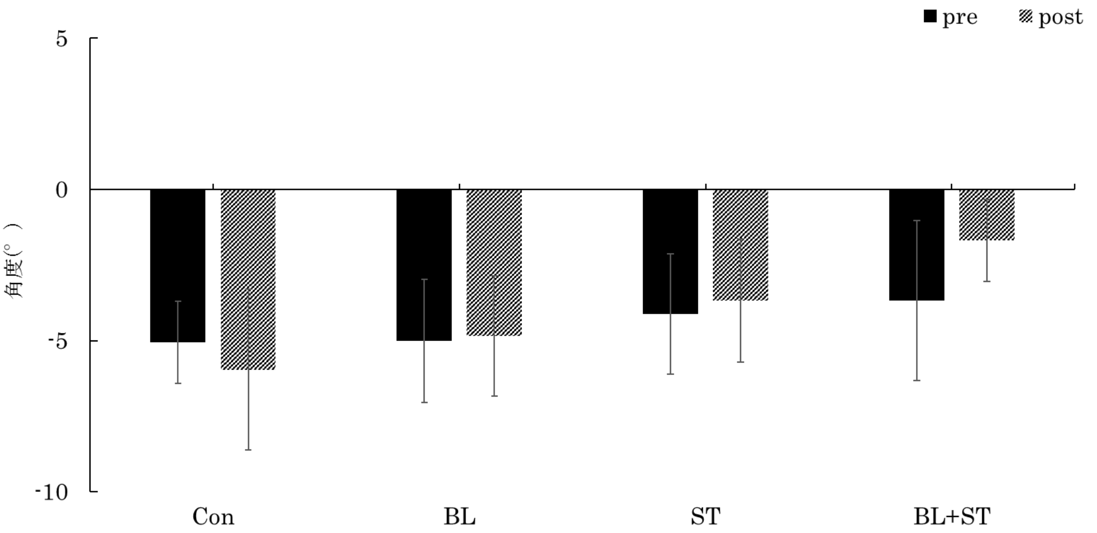

図 16　接地後 40msec 時の膝関節外転角度の変化

6節　膝関節外転モーメント

接地時の膝関節外転モーメントを以下の図に示した(図 17).Con 群では，Pre 測定において-0.07Nm で Post 測定において，-0.06Nm であった.BL 群では，Pre 測定において-0.06Nm で Post 測定において，-0.51Nm であった．ST 群では，Pre 測定において-0.06Nm で Post 測定において，-0.08Nm であった．BL+ST 群では，Pre 測定において-0.06Nm で Post 測定において，-0.03Nm で有意差は見られなかった.群間差も同様に見られなかった.

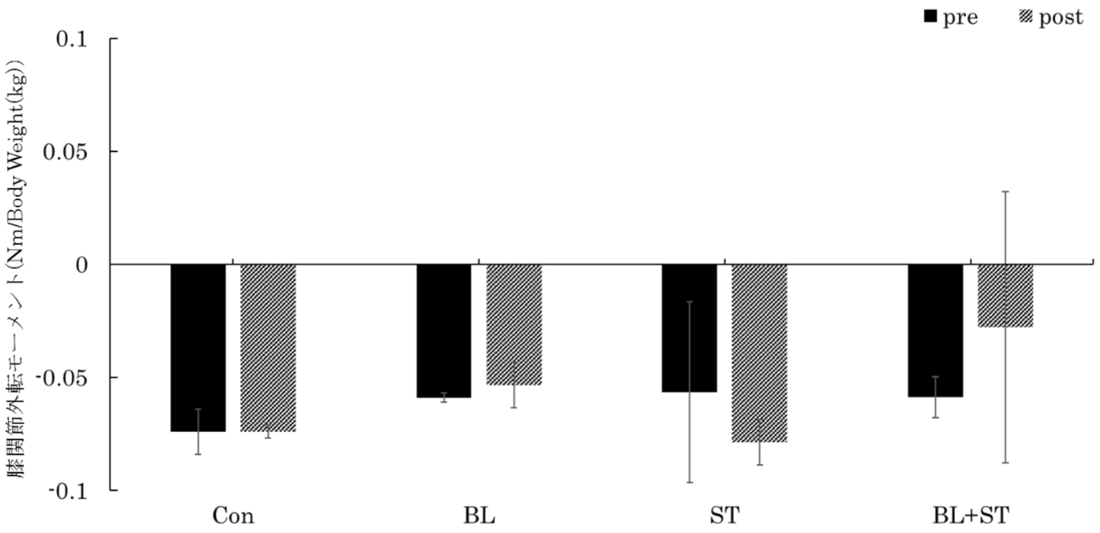

図 17　接地時の膝関節外転モーメントの変化

接地後 40msec 時の膝関節外転モーメントを以下の図に示した(図18)．Con 群では，Pre 測定において 0.73Nm で Post 測定において，-0.70Nm であった．BL 群では，Pre 測定において 0.56Nm で Post 測定において，-3.4 度であった．ST 群では，Pre 測定において 0.79Nm で Post 測定において，0.95Nm であった．BL+ST 群では，Pre 測定において 0.55Nm で Post 測定において，0.75Nm で有意差は見られなかった．群間差も同様に見られなかった．

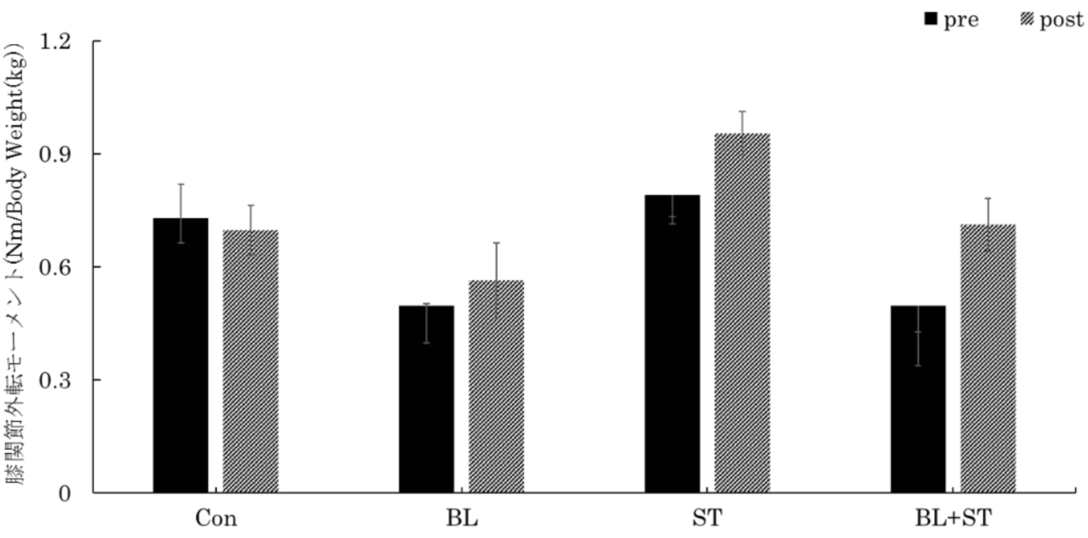

図 18　接地後 40msec の膝関節外転モーメントの変化

4章　考察

1節　股関節屈曲，内転角度の変化

股関節の屈曲角度を増大させることで，地面によりsoftな接地をすることができるので，股関節の屈曲角度を増大させることはACLの損傷を予防する上で重要である．本実験では，接地時における股関節の屈曲角度がBL+ST群において有意に増加した．また，接地後40msec時の股関節屈曲角度が，BL群，BL+ST群において有意に増加したことから，バランストレーニングが動作中の股関節の屈曲角度を増加させることが考えられる．バランストレーニングを実施することで，膝関節が安定した状態で接地できることができ，股関節の屈曲が増大したと考えられる．実際に，バランストレーニングでは，今回の実験試技に特異的な片足でのトレーニングをバランスディスクや，BOSUなどを用いて，不安定な状態で実施している．不安定な状態でトレーニングを実施したことで，片足で着地したときの膝関節が安定した可能性が考えられる．また，筋力トレーニングを合わせて介入したBL+ST群では，接地時にも有意な変化が見られた．このことから，筋力トレーニングもバランストレーニングと並行して実施することで，接地後より早い段階で股関節が屈曲することが考えられる．股関節屈曲角度が増大した要因として最大筋力が増加したことにより，大腿四頭筋の遠心性筋力が増加し，片脚ドロップジャンプで接地時に生じる，膝関節伸展筋の受動的伸張に対する耐性が増し，膝関節が安定したことで，股関節の屈曲角度が増大した可能性が考えられる．Koga(2010)[11]らによると，接地後40msec以内でACLの損傷が起こると報告していることから，接地後40msec以内により大きい屈曲角度を出すことで，ACLの損傷リスクが軽減するので，BL+ST群ではACL損傷のリスクが軽減したと考えられる．

股関節の内転角度は，どの群においても有意な変化は見られなかった．このことから，股関節の内転角度を変化させるためには，トレーニングを実施することだけでは，不十分な可能性が考えられる．内転角度を変化させるためには，動作の学習や，可動域の増大や，他のトレーニングを実施する必要が考えられる．しかし股関節の内転角度は，Lauren(2010)によると膝関節の外転角度と相関関係が見られなかったと報告している[12)]ことから，ACL の損傷を予防する上では，股関節の内転角度を減少させることよりも，屈曲角度を増大させることが重要であると考えられる．

2節　膝関節屈曲角度の変化

膝関節の屈曲角度を増大させることは，股関節の屈曲角度同様にACL の損傷を予防する上で，非常に重要である．実際に先行研究では，ACL 損傷者と非損傷者の動作を比較したところ，損傷者では膝関節の屈曲角度が低下していたと報告している．本実験では，接地時の膝関節屈曲角度が，ST 群，BL+ST 群において有意に増加した．また，接地後 40msec 時では，BL 群，ST 群，BL+ST 群と介入した群で全て有意に増加していた．しかしながら，接地時に膝関節の屈曲角度が増加していた介入群は，ST 群，BL+ST 群であった．前述したとおり，ACL 損傷リスクを軽減するためには，接地後早い段階で屈曲角度が大きい値を示す必要があることから，ACL 損傷リスクを軽減するためには，筋力トレーニングがバランストレーニングより有効となる可能性が考えられる．今回実施した筋力トレーニングでは，片足でのレッグカールやレッグエクステンションなど，膝関節の屈曲伸展運動を中心としたトレーニングを行った．片足で実施したことによる動作の特異性が，今回の結果に影響を及ぼした可能性もある．また，スクワットの 1RM が増大し

ていることから，最大筋力の増加が今回の結果に影響を及ぼしたと考えられる．最大筋力が増加したことにより，大腿四頭筋の遠心性筋力が増加し，片脚ドロップジャンプで接地時に生じる，膝関節伸展筋の受動的伸張に対する耐性が増し，着地衝撃を緩衝するための動作を改善(膝関節及び股関節屈曲角度の増加)する要因となったものと考えられた．また接地後 40msec において，BL 群でも膝関節屈曲角度が増大していることから，バランストレーニングも膝関節の屈曲角度を増大させる可能性が考えられる．今回実施したバランストレーニングは，片足でスクワットを実施する種目をバランスディスクや，BOSU などの不安定面で実施したため，動作特異的な影響が反映されて，片足でのドロップジャンプの着地中の膝関節屈曲角度が増大した可能性が考えられる．このことから，膝関節の屈曲角度を増大させるためには，筋力トレーニングだけでなく，バランストレーニングも効果的であることが考えられる．

Guaon ら(2005)は [7]，膝関節の屈曲角度が増大することで，ACL の伸張性ストレスが軽減し，ACL 損傷リスクが軽減すると報告しているので，本実験で介入した BL，ST，BL+ST のトレーニングは，ACL 損傷リスクを軽減するうえで有効であると考えられる．

3節　膝関節外転角度の変化

膝関節の外転角度を低下させることは，ACL の損傷を予防する上で非常に重要である．先行研究では，動作中の膝関節外転角度は，ACL 損傷者と非損傷者では，損傷者の方が有意に大きい値を示したと報告していることから，膝関節の外転角度は，ACL の損傷リスクを反映していると考えられる．今回の実験では，介入前後で膝関節外転角度の有意な変化が見られなかった．しかしながら，膝関節の外転角度が大きい対象者に対しては，BL+ST 群で外転角度が減少する傾向が見られた(図

19)．このことから，膝関節の外転角度が大きい対象者に対して，バランストレーニングや筋力トレーニングを複合的に実施することは，膝関節外転角度を減少させる上で有効であると考えられる．

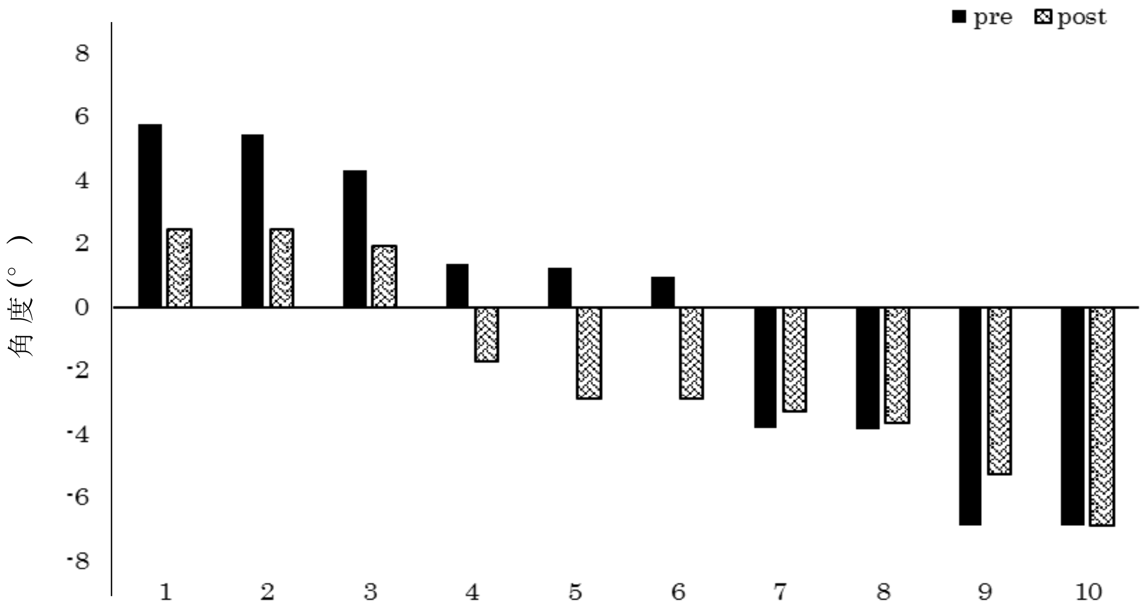

図 19　BL+ST 群における被験者ごとの接地時膝関節外転角度の変化

4節　膝関節外転モーメントの変化

本実験では，膝関節の外転モーメントの変化が見られなかった．Timothy ら[22)]は，ACL 損傷者は損傷していない対象者と比較して，ドロップジャンプ中の膝関節外転モーメントが有意に大きかったと報告していることから，外転モーメントを減少させることは，ACL 損傷を予防する上で重要であることは明らかである．今回の実験では有意な変化が見られなかったことから，動作中膝関節外転モーメントはバランストレーニングや筋力トレーニング以外のトレーニングを実施する必要があると考えられる．Alasdair[1)]らは，動作中の膝関節外転モーメントを，

動作の習熟度を高めることで，切り返し動作における膝関節外転モーメントが減少したと報告している．このことからも分かるように，動作のテクニックを習得することで，膝関節の外転モーメントを減少させることができる．

5節　現場への応用

本実験では，バランストレーニング，筋力トレーニングを介入することで，股関節，膝関節の屈曲角度が増大することが明らかとなった．本実験は，片足でのドロップジャンプを実験試技として実施された．バランストレーニングでは，片足でのトレーニングを実施していたので，試技動作に対する特異的な影響を及ぼした可能性も考えられる．このことから，ACL 損傷が頻発する特異的な動作，例えば片足での着地や切り返しにおける動作の学習をすることも，ACL の損傷を予防する上で重要である．さらに，動作中の膝関節外転角度が大きいアスリートがいる場合，バランストレーニングや筋力トレーニングを複合的に介入することで，膝関節の外転角度を減少させることができると考えられる．このことから，現場でトレーニング指導をしているコンディショニングコーチやアスレティックトレーナーは，アスリートの動作を見極め，その上でアスリートに必要なトレーニングを処方することが求められる．そのためにも，指導者は ACL に関する知識を深めて適切なトレーニングを指導する必要がある．

動作中の下肢キネマティクスを改善するためには，バランストレーニングや筋力トレーニングが重要となることが，今回の実験より明らかとなった．ACL の発生件数を調査した論文では，複合的な ACL 損傷予防プログラムを長期介入することで，ACL の発生件数が減少したと報告している論文[2)3)]が多く介在しているが，複合的に ACL の損傷予防

プログラムを実施することによる，キネティクス，キネマティクスの変化を調査した研究は実施されていない．しかし今回の実験により，複合的にトレーニング介入することにより，下肢キネティクスが変化することが明らかとなった．また，Omiら[14)]によると長期で介入することでよりACLの損傷を予防することができると報告しているため，アスレティックトレーナーやストレングス&コンディショニングコーチは，チームに対して長期的なACL損傷予防プログラムを介入することが今後求められる．

5章　結論

今回の実験により，バランストレーニングや筋力トレーニングは，各々で実施する場合でも，股関節と膝関節の屈曲角度を増加させることが明らかとなった．股関節と膝関節の屈曲角度が増加することで，ACLの伸張性ストレスが軽減することから，ACL損傷リスクが軽減する可能性が考えられる．また，複合的にバランストレーニング，筋力トレーニング介入を実施することで，膝関節の外転角度が大きい者は，接地時の外転角度が減少する可能性が示唆されたことから，本実験で実施したトレーニング介入は，下肢キネティクスを改善するために有効となりうる．

参考文献

1) Alasdair R. Dempsey, David G. Lloyd , Bruce C. Elliott, Julie R. Steele, and Bridget J. Munro(2009) Changing Sidestep Cutting Technique Reduces Knee Valgus Loading, The American Journal of Sports Medicine, 10.1177 Vol. 37, No. 11

2) Bert R. Mandelbaum, Holly J. Silvers, Diane S. Watanabe,John F. Knarr, Stephen D. Thomas, Letha Y. Griffin, Donald T. Kirkendall, and William Garrett(2005) Effectiveness of a Neuromuscular and Proprioceptive Training Program in Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes 2-Year Follow-up, The American Journal of Sports Medicine, 10.1177 Vol. 33, No. 7

3) Caraffa G. Cerulli M. Projetti G. Aisa A. Rizza(1996) Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer A prospective controlled study of proprioceptive training, Knee Surg, Sports Traumatol, Arthroscopy 4:19-21

4) Christine D. Pollard, Susan M. Sigward, Susumu Ota, Karen Langford, and Christopher M. Powers(2006)The Influence of In-Season Injury Prevention Training on Lower-Extremity Kinematics during Landing in Female Soccer Players, Clinical Journal Of Sports Medicine, 16:223–227

5) Daniel C. Herman,James A. Oñate, Paul S. Weinhold,Kevin M. Guskiewicz,William E. Garrett,Bing Yu,and Darin A. Padua(2008) The Effects of Feedback With and Without Strength

Training on Lower Extremity Biomechanics, The American Journal of Sports Medicine, 10.1177 Vol.37-7

6) Daniel C. Herman, Paul S. Weinhold, Kevin M. Guskiewicz, William E. Garrett, Bing Yu, and Darin A. Padua(2008) The Effects of Strength Training on the Lower Extremity Biomechanics of Female Recreational Athletes During a Stop-Jump Task, The American Journal of Sports Medicine,10.1177 36-4

7) Guoan Li Louis E. DeFrate Harry E. Rubash, Thomas J. Gill(2005), In vivo kinematics of the ACL during weight-bearing knee flexion, Journal of Orthopaedic Research 23 340-344

8) Jennifer M. Hootman, Randall Dick, MA, Julie Agel(2007) Epidemiology of Collegiate Injuries for 15 Sports: Summary and Recommendations for Injury Prevention Initiatives, Journal of Athletic Training 42(2):311–319

9) JODIE L. COCHRANE, DAVID G. LLOYD, THOR F. BESIER, BRUCE C. ELLIOTT , TIM L. A. DOYLE, and TIMOTHY R. ACKLAND(2010) Training Affects Knee Kinematics and Kinetics in Cutting Maneuvers in Sport. MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE 10.1249

10) KEVIN MCCURDY, JOHN WALKER, JOSEPH SAXE, AND JONATHAN WOODS(2012) THE EFFECT OF SHORT-TERM RESISTANCE TRAINING ON HIP AND KNEE KINEMATICS DURING VERTICAL DROP JUMPS, Journal of Strength and Conditioning Research, 26(5)/1257–1264

11) Koga Hideyuki, Atsuo Nakamae, Yosuke Shima, Junji Iwasa, Grethe Myklebust, Lars Engebretsen, Roald Bahr, and Tron Krosshaug,(2010) Mechanisms for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries Knee Joint Kinematics in 10 Injury Situations From Female Team Handball and Basketball, The American Journal of Sports Medicine, 10.1177 38-11

12) Lauren E. Imwalle,Gregory D. Myer,Kevin R. Ford,and Timothy E. Hewett(2009) Relationship Between Hip and Knee Kinematics In Athletic Women During Cutting Maneuvers: A Possible Link to Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury and Prevention, Journal of Strength Conditioning,23(8): 2223–2230

13) Nathan L. Grimm, John C. Jacobs,Jaewhan Kim, Brandon S. Denney,z, and Kevin G. Shea(2014) Anterior Cruciate Ligament and Knee Injury Prevention Programs for Soccer Players A Systematic Review and Meta-analysis, The American Journal of Sports Medicine, 10.1177 Vol. 43, No. 8

14) Omi,Dai Sugimoto,Setsurou Kuriyama,Tomohisa Kurihara, Kenji Miyamoto, Songjo Yun,yy, Tatsuhiro Kawashima, and Norikazu Hirose(2018) Effect of Hip-Focused Injury Prevention Training for Anterior Cruciate Ligament Injury Reduction in Female Basketball Players A 12-Year Prospective Intervention Study, The American Journal of Sports Medicine10.1177 1-10

15) Renstrom,A Ljungqvist, E Arendt, B Beynnon,T Fukubayashi, W Garrett,T Georgoulis, T E Hewett, R Johnson, T Krosshaug, B Mandelbaum,L Micheli,G Myklebust,E Roos,H Roos,P

Schamasch, S Shultz, S Werner, E Wojtys, L Engebretsen(2008) Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement British Journal of Sports Medicine 42:394–412

16) RODRIGO DE MARCHE BALDON, DANIEL FERREIRA MOREIRA LOBATO , LI´VIA PINHEIRO CARVALHO, PALOMA YAN LAM WUN, PAULO ROBERTO PEREIRA SANTIAGO, and FA´ BIO VIADANNA SERRA˜ O(2012) Effect of Functional Stabilization Training on Lower Limb Biomechanics in Women, MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE, 10.1249 135-145

17) RYAN L. MIZNER,JEFFREY K.KAWAGUCHI,TERESEL L.CHMIELEWSKI(2008) Muscle Strength in the Lower Extremity Does Not Predict Postinstruction Improvements in the Landing Patterns of Female Athletes,38-6

18) Scott G. McLean, Xuemei Huang, Antonie J. van den Bogert(2005) Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: Implications for ACL injury, Clinical Biomechanics,20 863–870

19) Susan M. Sigward *, Christopher M. Powers(2006) The influence of gender on knee kinematics, kinetics and muscle activation patterns during side-step cutting, Clinical Biomechanics 21 41–48

20) Teddy M Worrell, Gregory Karst, David Adamczyk, Randy Moore, Chris Stanley,Blaine Steimel, Shane Steimel,(2001) Influence of Joint Position on Electromyographic and Torque Generation

During ~aximal Voluntary Isometric Contractions of the Hamstrings and Gluteus Maximus Muscles, Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy 31(12) :730-740

21) THOR F. BESIER, DAVID G. LLOYD, JODIE L. COCHRANE, and TIMOTHY R. ACKLAND(2001) External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers, MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE, 33-7 1168–1175.

22) Timothy E. Hewett,Gregory D. Myer,Kevin R. Ford,Mark V. Paterno,Carmen E. Quatman(2016) Mechanisms, Prediction, and Prevention of ACL Injuries: Cut Risk With Three Sharpened and Validated Tools, JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH, 10.1002/ 23414

23) Timothy E. Hewett, Gregory D. Myer, Kevin R. Ford,MS, Robert S. Heidt, Angelo J. Colosimo,MD, Scott G. McLean, PhD, Antonie J. van den Bogert, PhD, Mark V. Paterno,,MS, PT, and Paul Succop(2004) Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes, The American Journal of Sports Medicine, 10.1177

24) Timothy E. Hewett,J S Torg,B P Boden(2009) Video analysis of trunk and knee motion during noncontact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. British Journal of Sports Medicine,10.1136, 417–422

25) Timothy E. Hewett, Thomas N. Lindenfeld, Jennifer V. Riccobene, and Frank R. Noyes(1999) The Effect of Neuromuscular Training on the Incidence of Knee Injury in Female Athletes A Prospective Study, THE AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE,27-6

謝辞

本研究は，早稲田大学スポーツ科学学術院　岡田純一教授指導の下実施されました．予備実験を含め，実験に関するアイデアや，論文の添削，さらには発表時の言葉選びまでご指導頂けた事に心から感謝します．また，コーチング科学研究領域，医科学研究領域の先生方にも多くのご指導をして頂いたことに心から感謝しています．特に，平山邦明先生には研究以外のことも多く勉強させていただきました．大学院に進学しようと思ったのは，平山先生に憧れたからです．岡田先生や平山先生には学部に入学したときから，大学院卒業するまで多大な迷惑をおかけいたしました．このご恩は 20 年以内に，世界に名をとどろかすストレングス&コンディショニングコーチとなってお返しします．お二人の下，早稲田大学という素晴らしい学びやのもとで，勉学に励むことができたことは今後私の一生の糧となります．

また，木伏先生をはじめ優秀な同期と先輩方に囲まれた 208 研究室の仲間にも心から感謝いたします．特に武井さん，山口さんからまじめなことだけでなく，岡田研究室で生き抜いていく術を多く学ぶことができました．峯田さんには，研究に関する多くのアドバイスを頂きました．大阪に今度遊びに行きます．優秀な同期とは，楽しいことだけでなく，お互い高めあう関係として 2 年間過ごすことができました．この 2 年間は，同期がいてくれたからこそより大きく成長することができました．今後はトレーナーやストレングス&コンディショニングコーチとして，時にはライバル，時には助け合うことができる大切な仲間として，また飲みにいきましょう．鬼谷，竹内，西岡，おさむ，本当にありがとう！

最後に，私の意思を尊重し温かく見守ってくれる両親に感謝しつつ，本研究の謝辞とさせていただきます．