

2008 年度 修士論文

女子サッカー選手における膝外傷予防トレーニング
とパフォーマンスに関する研究

The study of knee injury prevention training and
performance in female soccer players

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 スポーツ医科学研究領域

5007A008-6

岩田 恵梨子

Iwata, Eriko

研究指導教員： 福林 徹 教授

女子サッカー選手における膝外傷予防トレーニングとパフォーマンスに関する研究

The study of knee injury prevention training and performance in female soccer players

スポーツ医科学研究領域

5007A008-6 岩田 恵梨子

研究指導教員：福林 徹 教授

【緒言】 世界では女子サッカーをより発展させようという動きが起きており、女子サッカーの成長は急速に高まっている。サッカーはジャンプ、また急激なストップや方向転換など様々な動きが求められるため、女子選手の外傷にリスクも高まっていると考えられる。特に非接触性前十字靱帯(ACL)損傷は男性に比べて女性に圧倒的に多く、カッティングやジャンプ着地動作を含むサッカーに多くみられ、脛骨の内旋、外旋をともなった完全伸展位に近い状態での膝外反位で起こることが報告されている。このことから女子選手の ACL 損傷を予防することが非常に重要である。本研究では、現場に即したトレーニング頻度・回数・時間を考慮し、損傷予防効果を上げるトレーニング内容を検討するため「日本女子サッカーリーグ下肢外傷予防プログラム」を用いて外傷予防効果とフィジカルパフォーマンスについて検証を行った。

【方法】『下肢外傷予防トレーニングについて』 このプログラムは女子サッカー選手に多い足関節や膝関節の下肢外傷の予防するために考案された。本実験では 5 項目ある中から「バランス」、「ジャンプ&プライオメトリック」の 2 項目を選択して予防トレーニングを行った。対象者は大学女子サッカー選手で「バランス群」、「ジャンプ群」（トレーニング群）、「コントロール群」の 3 群に無作為に分け、トレーニング群は通常のトレーニングの前に 15～20 分の外傷予防トレーニングを週に 3 回、6 週間行った。毎回のトレーニングに験者が指導を行った。

『実験 1:外傷調査』 トレーニング群とコントロール群との外傷発生数の比較のため、2008 年 4 月から 9 月までの前期シーズンの外傷調査を行った。チームトレーナーに報告された中で明らかな症状、徴候がある外傷についての受傷日、復帰日、外傷名、受傷部位、受傷状況を記録した。練習と練習試合、試合に要した時間を記録した。外傷記録から、全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率、部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰機関別外傷発生数

を各群で比較した。統計処理は χ^2 検定を使用し、有意水準は $p<0.05$ とした。

『実験 2:ジャンプ着地動作解析』 予防トレーニング前後の関節角度の変化を調査するために、カウンタームーブメントジャンプを試技とし動作解析を行った。被験者の皮膚マーカーが映るように設定した 3 台目の家庭用ビデオカメラで撮影を行い、LED シンクロナイザによって同期した。皮膚マーカーを左脚の足関節外果、内果、膝蓋骨、内外膝関節裂隙、大転子、上前腸骨棘、右脚大転子、上前腸骨棘に貼付した。各カメラの映像を Frame-Dias2 version3 (DKH 社製)を用いて 3 次元座標に変換し、ノイズを平滑化するために、Butterworth Filter (6Hz)を用いた。三次元座標から足関節中心、膝関節中心、股関節中心を求め、膝関節屈曲-伸展角度、膝関節内-外反角度、股関節内-外転角度を算出し、静止立位での関節角度を引いた値を採用した。



図 1) 関節角度定義(左:膝屈-伸, 中:膝内-外反, 右:股内-外転)

トレーニング前後の各最大関節角度比較では、対応のある t 検定を用いた。また、経時的な角度変化の比較では繰り返しのある二元配置分散分析を用い、事後検定は対応のある t 検定を行った。群間比較では、クラスカル・ウォリス検定を用いた。有意水準は $P<0.05$ とした。

『実験 3:フィジカルパフォーマンス測定』 予防トレーニング前後のフィジカルパフォーマンス変化を調査するために、「0-10-20m スプリント」、「プロアジリティ」、「カウンタームーブメントジャンプ」、「バウンディング」、「Yo-yo Intermittent Recovery Test Level.2」、「マルチステージシャトルラン」を測定した。測定には指導者が指示、記録を行なった。予防トレーニング前後のフィジカ

ルパフォーマンス測定比較では対応のある t 検定を用いた。群間比較では、クラスカル・ウォリス検定を用いた。有意水準は $P < 0.05$ とした。

【結果】『実験 1: 外傷調査』 全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率ともにコントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかった。全体外傷発生数については、「コントロール群」と「ジャンプ群」、「コントロール群」と「バランス群」にて統計学的に有意な差がみられた。部位別外傷発生数では膝関節外傷発生数と足関節外傷発生数、種類別外傷発生数では捻挫発生数、復帰機関節外傷発生数では復帰期間 1 ヶ月以上の外傷発生数が、コントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかった。しかし、統計学的に有意な差はなかった。

『実験 2: ジャンプ着地動作解析』 下肢外傷予防トレーニング後、バランス群では統計学的に有意に膝関節最大屈曲角度が増加し、股関節最大内転角度が減少した。経時的な膝関節屈曲-伸展角度には、3 群とも屈曲角度が増大した。統計検定の結果、交互作用はなかったが、トレーニング前後の主効果にてバランス群で接地から接地 400msec. 後までの間、膝関節屈曲角度が有意に増加した。膝関節内-外反角度は、統計検定の結果、下肢外傷予防トレーニング介入前後で変化はみられなかった。股関節内-外転角度は、下肢外傷予防トレーニング介入後に股関節外転角度増加傾向にあったが、統計学的に有意な差はなかった。下肢外傷予防トレーニング介入後、各関節角度において 3 群に統計学的有意な差はみられなかった。

表 1) 最大関節角度-各群における介入前後の比較

	膝関節最大屈曲角度			膝関節最大外反角度			股関節最大内転角度		
	プレ測定	ポスト測定	p値	プレ測定	ポスト測定	p値	プレ測定	ポスト測定	p値
ジャンプ群	51.37	57.51	N.S.	7.10	7.97	N.S.	6.86	-2.04	N.S.
(SD)	7.91	9.82		2.46	3.86		11.35	4.60	
バランス群	55.88	64.97	* $P=0.027$	7.39	8.39	N.S.	13.07	-3.31	* $P=0.020$
(SD)	14.63	18.10		5.94	4.44		10.45	5.92	
コントロール群	56.32	68.14	N.S.	7.40	4.66	N.S.	4.83	-0.27	N.S.
(SD)	6.22	12.54		5.08	3.08		10.74	10.14	

*: $P < 0.05$

『実験 3: フィジカルパフォーマンス測定』 下肢外傷予防トレーニング介入後は、すべてのフィジカルパフォーマンス測定項目において、統計学的に有意な改善はみられなかった。3 群間の比較でも、すべてのフィジカルパフォーマンス測定項目において、統計学的に有意な改善はみられなかった。ほとんどの測定項目においてトレーニング介入前に比べ介入後の測定結果は低下していた。

【考察】 本研究では、『日本女子サッカーリーグ外傷予防プログラム』を用い、外傷予防プログラムの効果とパフォーマンスへの影響を検証するために、外傷調査、スポー

ツ活動時の関節肢位に及ぼす影響、フィジカルパフォーマンスへの影響について調査を行った。『実験 1: 外傷調査』では、全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率ともにコントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかった。また、トレーニング介入群の方が膝関節、足関節外傷の発生数も少ない傾向にあった。これらのことから、下肢外傷予防トレーニングプログラムによる外傷予防効果が示唆された。『実験 2: ジャンプ着地動作解析』では、外傷予防トレーニング後「バランス群」は、膝関節最大屈曲角度が統計学的に有意に増加し、経時的な角度変化においても、膝関節屈曲角度が統計学的に有意に増加していた。また、「バランス群」で股関節最大内転角度が統計学的に有意に減少した。経時的な角度変化においても、トレーニング群は股関節外転傾向にあった。これらのことから、下肢外傷予防トレーニングがスポーツ動作中の関節肢位において改善の傾向があることが示唆された。本実験でバランス群のみが有意にトレーニング後に改善されたのは、トレーニング導入前の被験者の関節静的安定性や運動に対する身体適応能力が十分でなかったと考えられた。導入前の被験者の状態では、ジャンプトレーニングの負荷は高く、トレーニング効果が十分に発揮されなかったのではないかと推察された。『実験 3: フィジカルパフォーマンス測定』については、下肢外傷予防トレーニングがフィジカルパフォーマンスにより影響を与えるとは言えなかった。本研究のトレーニング介入した時期は、プレシーズン期であったものの、毎週末に大学トップチームと公式戦を行なっている状況であったため、疲労度が高い状況であった。この状況を踏まえると、プレシーズン期においても週 2 回のトレーニング頻度が適当であると推察された。長期間トレーニングを継続させていく上で、このような現実的問題点を考慮する必要性が考えられた。下肢外傷予防プログラムの導入にあたっては、プレシーズン期では週 2 回、インシーズンでは週 1 回のトレーニング頻度で行うことが妥当であると考えられた。また、複数のトレーニングを網羅的に行うことがウォーミングアップには適切であると推察された。

【結語】 下肢外傷予防プログラムは外傷予防効果があり、導入の際はバランストレーニング中心の内容とし、ジャンプトレーニングを組み合わせることで徐々に内容を移行していくことが外傷予防トレーニングでは必要であると推察された。フィジカルパフォーマンスにおいては効果があるとはいえなかった。

目次

第1章 緒言	1
1. 女子サッカーの広がり	1
2. サッカーの競技特性と外傷発生リスク	1
3. 前十字靭帯損傷について	2
4. 前十字靭帯損傷のメカニズム	3
5. 前十字靭帯損傷要因について	4
6. 前十字靭帯損傷予防	6
第2章 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム検証 ～外傷調査編～	10
1. 目的	10
2. 方法	12
3. 結果	19
4. 考察	22
5. 結論	24
第3章 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム検証 ～動作解析編～	25
1. 目的	26
2. 方法	27
3. 結果	34
4. 考察	43
5. 結論	47
第4章 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム検証 ～フィジカル測定編～	48
1. 目的	48
2. 方法	49
3. 結果	55
4. 考察	58
5. 結論	61
第5章 総合考察	63
第6章 結語	66
参考・引用文献一覧	67
謝辞	79

第 1 章 緒言

1. 女子サッカーの広がり

“Future of football feminine”をスローガンに掲げ、世界では女子サッカーをより発展させようという動きが起きている。現在、2 億 6,500 万のサッカー選手のうち 2,600 万人が女子選手であり、10 人に 1 人が女性であるといわれている⁸³⁾。また、2003 年から 2007 年の間に新しく増えた 2,300 万人の選手のうち 5 人に 1 人が女子選手であると報告されている⁸⁴⁾。日本においては、U-15 世代を対象とした「スーパー少女プロジェクト」をはじめとして、「ナショナルトレーニングセンター制度」、サッカーエリート育成のための中高一貫教育学校「JFA アカデミー福島」、「なでしこチャレンジプロジェクト」、「特別指定」「強化選手制度」など本格的な整備が開始されている⁸⁴⁾。これらのことから女子サッカーの競技レベル、人口は急速に高まってきている。

2. サッカーの競技特性と外傷発生リスク

サッカープレーヤーは 1 試合につき 8~13km 走ると言われている⁶⁹⁾。その中で盛んに動きを変えており、1 試合に 1,000 の異なる動きが行われている。実際には 1 試合中の移動距離の 2%のみしかボールに関与できないため、主な動きは”Off The Ball Movement”である⁶⁹⁾。具体的には、ポゼッションのために走りサポートの動きをしたり、相手を交わすためにフェイントをかけたり、空中で競り合うためジャンプしているといわれている⁶⁹⁾。サッカーは一方向への直線的な動きだけでなく、様々な方向への動きが混在しているといえる。緩急あるスピードの中で、曲線走やバック走、また急激なストップや方向転換、カッティングなど様々

な動きが求められる。また、サッカーでのジャンプ動作の特徴としては、ただジャンプするだけでなく、空中でボールを的確に処理し、相手と競り合う。このため、跳躍力に加えて空中で身体をコントロールする力が求められる。ジャンプして着地する短時間に空中で身体コントロールし、着地準備を行っている。このようにサッカーでは様々な動きや身体的能力が必要とされる。

これらの運動の特性を背景にして、女子サッカー選手の外傷に対するリスクは高まっていると考えられる。外傷の特徴としては、1000時間あたりの発生率は練習よりも試合で高く、主に下肢外傷が全体の75%以上を占めている^{6,12,13,36,43,75)}。発生部位別にみると、足関節、膝関節、大腿部の怪我が多く、足関節内反捻挫、膝前十字靱帯損傷などが主な外傷として挙げられている^{6,12,13,36,43,75)}。特に非接触性前十字靱帯損傷はカッティング、ジャンプ着地動作を含むサッカーに多くみられる^{4,16)}。また、サッカーでは男女ともに、足関節の怪我が多く、その中でも足関節内反捻挫が主であることが報告されている^{6,12,13,36,43,75)}。先行文献によれば、日本女子サッカー選手の傷害や傷害予防・再発防止に対する意識は低く^{53,77)}、足関節捻挫に関しても、テーピング等の外固定を併用することで競技復帰が可能と考えられているため不十分な治療とリハビリテーションで競技を続けている選手も多いと述べられている^{53,77)}。

3. 前十字靱帯損傷について

前十字損傷（以下 ACL）は重篤な外傷であり、ほとんどの選手は手術的療法を選択する。また、競技復帰までに、長期にわたるリハビリ期間を要するため、選手にとって身体的、精神的ストレスとなる。場合によっては競技復帰を断念せざるをえないこともあり、術後も膝関節不安定

性の残存、再受傷、慢性的疾患を起こすケースも多いと言われている。
このようなことを背景に ACL 損傷の疫学やメカニズムについて多くの研究が行われ、近年では、下肢外傷発生率、特に ACL 損傷率を低下させるため様々な予防トレーニングが研究されている。

非接触性前十字靱帯損傷率は男性に比べて女性が圧倒的に多い。15 年に及ぶ NCAA 障害調査システムを利用した研究によると、バスケットボール選手、サッカー選手を対象とした ACL 損傷発生率の調査では、非接触性 ACL 損傷発生率は、バスケットボールで女性が 0.28、男性が 0.08、サッカーでは女性が 0.32、男性が 0.12 であり両種目とも ACL 発生率は、統計学的に有意に性差がみられた⁵²⁾。Ardent と Dick の調査によれば、男子サッカー選手の ACL 損傷率が 0.13 であるのに対して女子サッカー選手では、0.31 と約 3 倍の値を示している¹⁾。他の調査においても、ACL 損傷発生率は男性の 2-8 倍と報告されている¹⁸⁾。これらのことから、女子選手の ACL 損傷を予防することが非常に重要であると考えられる。また、この ACL 損傷率の性差をもとに多くの研究が行われ、様々な ACL 損傷メカニズム、要因が考えられている。

4. 前十字靱帯損傷のメカニズム

ACL 損傷の約 70%が急激な方向転換、減速、ジャンプ着地などの非接触性の動作により受傷していると報告されている^{4,50)}。また、ACL 損傷メカニズムは脛骨の内旋、外旋をともなった完全伸展位に近い状態での膝外反位で起こるということが報告されている⁴⁾。女子ハンドボール選手の ACL 損傷時のビデオを使用して受傷機転を調査した結果では、方向転換中の足底接地時での受傷が多く、次に片足での着地が多かった¹⁰⁾。Borden らは非接触 ACL 損傷時では、足底の接地、または減速時の膝外

反、下腿の外旋、完全伸展に近い膝伸展位が起きていたと報告している⁴⁾。また、女性はジャンプ着地動作、方向転換動作において男性に比べて大きな膝外反角度、モーメントが大きいことや、男性に比べて女性は脛骨内旋変位量が多い^{7,10,11)}というスポーツ動作時の関節肢位においても性差が生じていることが報告されている。

5. 前十字靭帯損傷要因について

5-1. 前十字靭帯損傷要因

現在、ACL 損傷要因は、解剖学的要因、環境的要因、内分泌的要因、バイオメカニクスと神経筋機的要因の 4 つに分類されている⁷¹⁾。これらの要因に着目し、ACL 損傷発生率の性差について、様々な研究が行われてきた。解剖学的要因としては、下肢アライメント、靭帯の大きさ、ノッチ幅の大きさや形、関節弛緩性の性差が取り上げられている。しかし、ACL 損傷要因としての影響は少なく、もっと直接的でダイナミックな動きが関係していると考えられている^{70,71)}。内分泌的要因では、女性の性周期による女性ホルモンが靭帯のコラーゲン量に影響を及ぼしていることから ACL 損傷率に性差があると考えられているが、ACL 損傷率と性周期との関連性ははっきりと証明されていない⁷¹⁾。このように、ACL 損傷における性差を生じさせる原因は明らかにはなっていない。現在では、バイオメカニクスと神経筋機能的要因の性差が注目されている。

5-2. バイオメカニクスと神経筋機能的要因

膝関節の神経筋のコントロール機能とは、関節の動的安定性を保つために膝関節を制御する遠心性・求心性神経系と筋肉の複雑な相互作用のことである^{38,71)}。中枢神経系は膝関節に存在する固有感覚からの情報を

蓄積し、かつ即時、経時的応答として反応制御、予測制御を介して膝関節周囲筋を制御することで、膝関節の安定性と運動性をもたらしている。筋反応速度を向上させ、的確に作用させるために予測制御の中でもプライアクティビティが用いられている。着地動作の衝撃力に対抗するため、その直前に筋活動を高め、筋の弾性を増加させる生体反応である。方向の調整だけでなく、膝関節の安定性と関節軟骨、靱帯保護のため、予測制御は、主動筋、拮抗筋が同時に活動する共同収縮を引き起こしている^{27,38,71)}。

この神経筋コントロール機能における性差が関節肢位での性差を生じさせる要因として作用し、女子選手の ACL 損傷率が高値を示すのではないかと考えられている⁷¹⁾。

Malinzak らはカッティング動作、ランディング動作における膝関節の動きの 3 次元動作解析と筋電図を測定し、レクリエーションレベルの男子選手と女子選手の性差を比較した。その結果、女子選手の方が軽度膝関節屈曲かつ大きな外反を示した⁴⁵⁾。また、女子選手では筋電図上の大腿四頭筋の活動が大きく、同時にハムストリングスの活動は減少していた⁴⁵⁾。また、女子選手は男子選手を比較して、ハムストリングスの筋活動電位、強度が少なかった上、ハムストリングが遅れて収縮していると報告している⁴⁵⁾。

このような神経筋コントロールと下肢のバイオメカニクスの性差の関連性の報告より^{45,60)}、神経筋コントロール機能を改善することで、膝関節のスポーツ動作時の関節肢位を改善し、ACL 損傷を代表とする下肢外傷発生を減少させる試みが行われた。このように、ACL 損傷のメカニズムが徐々に明らかにされるにつれて、様々な ACL 損傷予防トレーニングが考案されてきている。

6. 前十字靱帯損傷予防

6-1. 前十字靱帯損傷予防プログラム

近年、ACL 損傷メカニズムが明らかになるにつれて、様々な ACL 損傷予防トレーニングが考案されてきた^{5,21,46,59,65,67,72}。下肢の筋神経筋コントロールが関与しているという考えから、ACL 損傷予防トレーニングプログラムを作成・実行し、ACL を損傷する選手が減少したという報告がある^{21,46,59,65}。予防効果がみられた下肢外傷予防トレーニングには、プライオメトリックトレーニングが含まれており、ジャンプ着地やカッティング動作での神経筋活動の変化が関節肢位の改善につながり、ACL 損傷をはじめとする下肢外傷発生率の低下に影響を及ぼしたと考えられている。

女子ハンドボールチームに介入した先行研究では、神経筋トレーニングを中心とした予防トレーニングを行わせたところ、足関節、膝関節の外傷が減少したと報告されている。また、Hewett らは女子アスリートに対して、プライオメトリックやバランストレーニングを主とした 60～90 分の神経筋トレーニングを週 3 回 6 週間行わせ 1 年間のモニターリングを行った。何もトレーニングをしないコントロール群の ACL 損傷率が 0.43 であったのに対して、トレーニング群は 0.12 と ACL 損傷率は低下した。トレーニング群に比べてコントロール群は 3.6～4.8 倍も高い ACL 損傷率を示したと報告している²¹。その後、彼らは下肢のバイオメカニクス的な実験を行い、神経筋トレーニングの効果がスポーツ動作中の関節肢位へ及ぼす影響を調査した。その結果、トレーニングを行った女子選手は膝関節内外反モーメントと着地時の床反力が減少した。このことから神経筋トレーニングは、膝の動的安定性を強化したと報告している²²。

先行文献をまとめると、プライオメトリックトレーニングのみ、またはバランスとプライオメトリックの2つを混合させたトレーニングが下肢外傷予防において効果的であると考えられる^{21,46,59,65)}。しかし、予防トレーニングによってACL損傷率が減少しなかったという例^{67,72)}や損傷率は減少したが、予防トレーニングに長時間を要するという問題点もある。現場に即したトレーニング頻度・回数・時間を考慮するとともに、外傷予防効果を上げるトレーニング内容を検討する必要があると考えられる。

また、予防プログラムの内容のほとんどがいろいろな種類のトレーニングを取り入れた網羅的なトレーニング内容であり、ACL損傷率が減少した原因と過程が明白ではない。女子サッカー選手における膝外傷予防トレーニングの効果の影響を再検討する必要がある。

6-2. 前十字靭帯損傷予防プログラムとサッカーパフォーマンス

ACL損傷予防トレーニングでは、適切で効果的なトレーニングをするためには、トレーナーやコーチによる正しい姿勢、動作の意識付けが重要であるといわれている²²⁾。この正しい姿勢の1つにジャンプ着地時で膝深屈曲位をとるということがあり、実際の動作においても意識付けできるように指導されている。しかし、トレーニングによって着地時の深屈曲位を意識づけることによって、ジャンプの着地や切り返しの際に重心が上下することになり、次の動作に遅れを招く姿勢をとっていると考えられる。実際のパフォーマンスにおいて、ボールや相手の動作に対応し、素早く動くことは重心を高く一定に保つことで可能となる。このように、ACL予防トレーニングと優れたパフォーマンス発揮の間には矛盾が垣間見える部分もある。また、予防トレーニングによって、ACL外傷

予防とフィジカルパフォーマンスの向上の改善が可能であれば、現場のコーチや選手からも理解を得られ、1つのサッカーのフィジカルトレーニングとして導入ができる。予防トレーニングが実際のパフォーマンスに及ぼす影響を調査し、サッカーの競技パフォーマンス向上に生かせるか検討する必要がある。

このような流れから、日本でも、JISS（国立スポーツ科学センター）、臨床スポーツ医学会、日本女子サッカーリーグの共同プロジェクトにより『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』が作成された。このプログラムは、女子サッカー選手に頻発する足関節や膝関節等の下肢外傷予防のために作成された。また、女子サッカー選手のパフォーマンス向上のための基礎体力強化も、目的の一つとして考えられている⁶¹⁾。さらに、1回のトレーニングが短時間かつ簡便であり、サッカーの専門トレーニングに支障がなく、継続することが可能であり、現場でも導入しやすいように作成されている。

これらのことから、女子サッカー選手における下肢外傷予防トレーニングの効果とパフォーマンスに対する影響を検討することとした。

6-3. 予防プログラム検証 本研究の目的

本研究では、日本女子サッカーリーグ、国立スポーツ科学センター、臨床スポーツ医学会によって作成された『日本女子サッカーリーグ外傷予防プログラム』を用い、外傷予防プログラムの効果とパフォーマンスへの影響を検証した。このDVDには、現在、ACL損傷予防に有効であると考えられているバランス、ステップ、リアクション、ジャンプ&プライオメトリック、筋力トレーニングの5つから構成されている。

本研究の目的は、予防トレーニングの効果の検証とそれぞれのトレーニ

ングの効果を明白にし、予防トレーニングによるフィジカルパフォーマンスに対する影響を検証することである。

そこで本研究では、『日本女子サッカーリーグ外傷予防プログラム』の効果を検証するため 1)外傷調査を行うこと、2)動作解析によるスポーツ活動時の関節肢位を調査すること、3)フィジカルパフォーマンスを調査することとした。

第 2 章 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム検証

～外傷調査編～

1. 目的

ACL 損傷メカニズムが次第に解明されていく中で、様々な膝関節外傷予防プログラムが考案されてきた^{5,21,46,59,65,67,72)}。これらの先行研究によれば、膝関節外傷予防トレーニングプログラムを行い、ACL 損傷率が減少したという報告がある^{21,46,59,65)}。しかし、ACL 損傷率が変化しなかったという結果もある^{67,72)}。また、ACL 損傷率は減少しても、予防トレーニングに長時間を要するという欠点が挙げられる。このことから現場に即したトレーニング頻度、回数、時間を考慮するとともに、膝関節外傷予防効果を上げるトレーニング内容を検討する必要があると考えられる。

膝関節外傷予防の効果がみられたトレーニングでは、神経筋トレーニングを中心とし、ストレッチ、ストレングス、プライオメトリック、アジリティ、バランストレーニングが行われている^{21,46,59,65)}。プレシーズン期は 10～20 分を週 3 回、インシーズンでは週 1 回が効果を得るのに最適なトレーニング頻度、時間であると報告されている¹⁶⁾。

日本女子サッカー界でも、ACL 損傷を代表とする重篤な下肢外傷が多発していることから、日本女子サッカーリーグ、臨床スポーツ医学会、国立スポーツ科学センターにて膝関節及び下肢外傷予防のために『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』が製作された。このプログラムは日本女子サッカーリーグに所属する選手、各カテゴリーの高いレベルで試合を行う女子サッカー選手を対象として、以下の 3 つの点を目的としている。①受傷につながる危険肢位の回避、②危険肢位からの立て直

し能力の向上、③動作パフォーマンスの向上である。また、「バランス」、「ステップ」、「リアクション」、「ジャンプ」、「筋力」の 5 つの項目から構成されている。この『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』を用いて外傷予防効果を検証した研究は過去になく、本邦にて、女子サッカー選手を対象とし体系化されたプログラム内容でのトレーニング検証はまだない。

近年の膝関節外傷予防トレーニング内容の多くはプライオメトリックトレーニングやバランストレーニングを含んだ神経筋機能向上のトレーニングであり、ストレッチ、ストレングス、プライオメトリック、アジリティ、バランストレーニングの 5 つを含んだ網羅的なトレーニングが行われている^{21,46,59,65)}。しかし、ストレングストレーニングよりも、プライオメトリックトレーニングが有効であったという報告やプライオメトリックトレーニングまたはバランストレーニングのみでも外傷予防効果が見られた報告がある^{5,39)}。これを受けて、Myer らは、プライオメトリックとバランストレーニングの予防効果をスポーツ動作時の関節肢位の観点から動作解析を行い比較したところ、両トレーニングとも膝外傷予防の上で重要なトレーニングであると述べている⁵⁷⁾。しかし、この研究では外傷発生数、外傷発生率などの外傷データについては検証していない。そこで今回は「女子サッカー選手外傷予防プログラム」の「バランス」と「ジャンプ&プライオメトリック」の 2 つのトレーニングに着目して外傷予防トレーニング介入群とトレーニング介入しないコントロール群の 3 群間で 2008 年度前期シーズンの外傷発生数を比較し「女子サッカー選手外傷予防プログラム」の外傷予防効果を検証することを目的とした。また、1000 時間あたりの外傷発生数、部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰期間別外傷発生数を示した。

2. 方法

2-1. 対象

対象者は某大学女子サッカー部に所属する選手 28 名(年齢 19.4 ± 1.1 歳 身長 $162.2 \pm 5.9\text{cm}$ 体重 $57.5 \pm 6.6\text{kg}$)とした。なお、無作為抽出により「バランストレーニング群」($n=8$)、「ジャンプ&プライオメトリックトレーニング群」($n=8$)、「コントロール群」($n=12$)を選定した。第 3,4 章の対象者と一部重複している。また、対象者の下肢外傷既往歴はバランス群、ジャンプ群、コントロール群の 3 群間に統計学的な差はなかった。(ジャンプ群/バランス群 $p=0.929$ 、ジャンプ群/コントロール群 $p=0.761$ 、バランス群/コントロール群 $p=0.830$)

対象者には実験の目的、必要性を説明し、同意を得た。また、早稲田大学スポーツ科学部研究倫理委員会の承認を得た。

表 1) 身体プロフィール ～外傷調査対象～

	人数(N)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪(%)
ジャンプ群	8	160.4(± 4.9)	55.5(± 5.0)	22.9(± 3.2)
バランス群	8	163.6(± 7.6)	59.1(± 7.4)	21.8(± 2.3)
コントロール群	12	163.4(± 4.3)	57.8(± 7.2)	22.1(± 3.6)
全体	28	162.2(± 5.9)	57.5(± 6.6)	22.2(± 3.1)

なお、以下、「ジャンプ&プライオメトリック群」を「ジャンプ群」と呼ぶ。また、「バランス群」と「ジャンプ群」の両群を「トレーニング群」と呼ぶこととする。

2-2. 外傷調査

2-2-1. 外傷の定義

本調査では、チームに帯同するトレーナーに報告があったものの中で明らかな症状、徴候があるものを記録として採用した。

2-2-2. 外傷の記録

チームに帯同するトレーナーが受傷日、復帰日、外傷名、受傷部位、受傷状況を記録した。外傷調査期間は 2008 年 4 月から 9 月までの前期シーズンとした。

2-2-3. 練習時間の記録

チームのトレーニング記録より練習、練習試合、試合に要した時間をそれぞれ記録した。

試合時間については、バランス群、ジャンプ群、コントロール群の 3 群間に統計学的な有意な差はなかった。(p=0.762)

2-3. 外傷予防トレーニング

2-3-1. 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラムについて

日本臨床スポーツ医学会、国立スポーツ科学センター、日本女子サッカーリーグの共同プロジェクトにて作成された「女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム」を用いた。このプログラムは女子サッカー選手に多いとされる足関節や膝関節などを下肢外傷の予防するために考案されたものである。「バランス」、「ステップ」、「リアクション」、「ジャンプ&プライオメトリック」、「筋力」の 5 項目から構成されており、本研究では「バランス」、「ジャンプ&プライオメトリック」の 2 項目を選択して外傷予防トレーニングを行った。

2-3-2. トレーニング頻度

「バランス群」、「ジャンプ群」とともに 2008 年 4 月より、通常のトレーニングの前に 15～20 分の外傷予防トレーニングを週に 3 回、6 週間行った。また、対象選手は外傷予防トレーニングの前に身体ほぐし、ス

トレッチなど入念な準備を行った。毎回のトレーニングには験者、トレーナーが付き添い、指導を行った。

2-3-3. トレーニング内容

『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』に則った形で行った。

① 「バランストレーニング」

基本姿勢は、膝軽度屈曲位で前傾姿勢とし、つま先の方向と膝の方向を一直線にし、前方へ荷重させた。注意点として、動作時、常に基本姿勢を維持させた。

表 2) バランストレーニング内容

①バランストレーニング			
順番	項目	種類	セット
1	片足立ち体幹回し&チェストパス	左右	5回ずつ
2	片足立ち8の字	左右	5回ずつ
3	クロスカントリースキー	左右	5回ずつ
4	片足立ち前方ボールキャッチ	左右	5回ずつ
5	つま先歩き	前後左右	10歩×4方向(計30m)
6	かかと歩き	前後左右	10歩×4方向(計30m)



図 1) 片足立ち体幹回し&チェストパス



図 2) 片足立ち 8 の字



図 3) クロスカントリースキー



図 4) 片足立ち前方ボールキャッチ



図 5) つま先歩き



図 6) かかと歩き

②「プライオメトリックトレーニング」

基本姿勢は、膝軽度から 90 度屈曲位で前傾姿勢とし、つま先の方向と膝の方向を一直線にさせた。注意点としては、(1)十分に身体が温まり、動き慣れた状態で行なうこと、(2)着地時に膝が内側に入らない、つまり knee-in にならないようにすること、(3)下腹部の腹筋群を引き締め、骨盤に対して上半身を垂直に固定すること、(4)衝撃を身体全体で吸収するよう、腕の振りや、股関節－膝関節－足関節で屈曲の運動を意識し、静

かに着地することに重点を置いた。

表 3) プライオメトリックトレーニング内容

②プライオメトリックトレーニング			
順番	項目	種類	セット
1	ラインジャンプ	前後 左右	各往復5回
2	ボール越えジャンプ	前後 左右	各往復5回
3	スティック	前方 側方 右・左 後方	各20m
4	バウンディング	前方 側方 右・左 後方	各20m
5	スプリットジャンプ		10回×2
6	シザースジャンプ		10回×2



図 7) ラインジャンプ



図 8) ボール越えジャンプ



図 9) スティック



図 10) バウンディング



図 11) スプリットジャンプ



図 12) シザースジャンプ

2-4. 統計処理

下肢外傷既往歴の群間差についてはクラスカル・ウォリス検定、試合時間の群間差については χ^2 検定を用いた。

外傷の記録より得られたデータから、全体外傷発生数、1000時間あたりの外傷発生率、部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰機関別外傷発生数を群ごとに示した。各群の外傷発生数の比較では χ^2 検定を使用した。有意水準は $p<0.05$ とした。

3. 結果

3-1. 外傷発生数、外傷発生率

表 4) 外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率

	コントロール群	トレーニング群	
		ジャンプ群	バランス群
チーム人数	12	8	8
exposure(時間)			
合計		390.5	
試合		28.5	
練習		262	
外傷発生数(件)			
合計	42	24	19
試合	9	5	4
練習	33	19	15
1000時間あたりの外傷発生率			
total	8.96	7.68	6.08
試合	26.32	21.93	17.54
練習	10.50	9.06	7.16

全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率ともにコントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかった(表 4)。全体外傷発生数については、「コントロール群」と「ジャンプ群」、「コントロール群」と「バランス群」にて統計学的に有意な差がみられた。

(コントロール/ジャンプ : $p=0.027^*$)

(コントロール/バランス : $p=0.003^*$)

(ジャンプ/バランス : $p=0.446$)

3-2. 部位別外傷発生数

表 5) 部位別外傷発生数

		コントロール群		トレーニング群			
				ジャンプ群		バランス群	
部位別外傷発生数(件)		(%)		(%)		(%)	
頭部・顔	2	5	2	8	2	11	
頸部、頸椎	0	0	1	4	0	0	
骨盤・仙骨	1	2	0	0	1	5	
肩関節	0	0	0	0	3	16	
上腕	0	0	0	0	0	0	
肘関節	1	2	0	0	0	0	
臀部	1	2	1	4	0	0	
股関節	0	0	0	0	0	0	
大腿部	8	19	7	29	4	21	
膝関節	5	12	0	0	0	0	
下腿	3	7	4	17	2	11	
足関節	17	40	7	29	7	37	
足部	4	10	2	8	0	0	
足趾	0	0	0	0	0	0	
合計	42	100	24	100	19	100	

膝関節外傷発生数は、コントロール群が5件、トレーニング群が0件であった(表5)。また、足関節外傷発生数はコントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかった。膝関節、足関節外傷発生数ともに各群間において統計学的に有意な差はなかった。

(コントロール/ジャンプ : $p=0.150$)

(コントロール/バランス : $p=0.313$)

膝関節外傷の内訳は膝蓋骨脱臼 1 例、外側半月板損傷 2 例、内側側副靱帯損傷 1 例、前十字靱帯損傷 1 例である。また、足関節外傷の内訳としては、全体の 31 例中 29 例が足関節捻挫であった。足関節捻挫の中でも代表的な内反捻挫は 31 例中 25 例であった。

3-3. 種類別外傷発生数

表 6) 種類別外傷発生数

	コントロール群		トレーニング群			
			ジャンプ群		バランス群	
種類別外傷発生数(件)	(%)		(%)		(%)	
脱臼	1	2	0	0	1	5
筋断裂	1	2	0	0	1	5
腱断裂	0	0	0	0	0	0
靱帯損傷・不安定性あり	1	2	0	0	0	0
靱帯損傷・不安定性なし	1	2	0	0	0	0
半月板損傷	2	5	0	0	0	0
捻挫	16	38	8	33	6	32
肉離れ	2	5	0	0	1	5
打撲	17	40	15	63	10	53
その他	1	2	1	4	0	0
合計	42	100	24	100	19	100

コントロール群、トレーニング群ともに捻挫、打撲が多くを占めた(表 6)。捻挫の発生数はコントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかったが、各群間において統計学的に有意な差はなかった。

(コントロール/ジャンプ : $p=0.793$)

(コントロール/バランス : $p=0.755$)

(ジャンプ/バランス : $p=1.000$)

なお、外傷種類の靱帯損傷は膝関節靱帯損傷について示している。捻挫の発生数については足関節捻挫がすべてであった。

3-4. 復帰期間別外傷発生数

表 7) 復帰期間別外傷発生数

	コントロール群		トレーニング群			
			ジャンプ群		バランス群	
復帰期間別外傷発生数(件)	(%)		(%)		(%)	
当日	19	45	15	63	12	63
1-3日間	7	17	5	21	2	11
4-7日間	5	12	2	8	2	11
1週間以上,1ヶ月未満	7	17	2	8	2	11
1ヶ月以上	4	10	0	0	1	5
合計	42	100	24	100	19	100

コントロール群、トレーニング群ともに当日トレーニングを抜けることが一番多い結果となった(表 7)。また、復帰期間が 1 ヶ月以上かかる外傷発生数はトレーニング群の方が少なかったが、各群間において統計学的に有意な差はなかった。

(コントロール/ジャンプ : $p=0.288$)

(コントロール/バランス : $p=1.000$)

(ジャンプ/バランス : $p=0.442$)

1 ヶ月以上の外傷の内訳は、前十字靱帯損傷、内側側副靱帯損傷、膝蓋骨脱臼、足関節内反捻挫、外側半月板損傷の 5 例であった。1 週間以上、1 ヶ月未満の外傷の内訳は全体の 11 例中、足関節捻挫が 8 例、肉離れが 2 例、打撲が 1 例であった。

4. 考察

部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰期間別外傷発生数については、先行文献と同様の結果を示した (6,12,13,36,43,75)。

コントロール群に比べてトレーニング群の外傷発生数が統計学的に有意に少ないことから、トレーニング介入による外傷予防効果が期待できた。特に、トレーニング介入群の膝関節、足関節外傷の発生数が低い傾

向にあることから、両部位に対する外傷予防トレーニング効果があると推察された。また、他の部位に関しては再検討していく必要がある。また、トレーニング介入群の捻挫発生数の低下から、捻挫に対しての外傷予防効果も期待できると考えられた。捻挫発生部位のすべてを足関節が占めたことから、足関節捻挫に対して外傷予防トレーニング効果があると思われる。

次にトレーニング介入群において復帰期間が1ヶ月以上かかる外傷の低下がみられる。また、その症例の多くを膝関節外傷が占めることから、復帰までに長期間を要する膝関節外傷に対しての予防効果が推察された。

外傷予防トレーニングの実施期間と外傷調査期間が短いため、1シーズンを越えるような長い期間を今後も継続して調査していく必要がある。

Hewett らや Hedit らは、6～7 週間の外傷予防トレーニング介入後、1シーズンの外傷調査を行っており^{21,71)}、調査期間が長い研究では、トレーニング介入から1シーズンの検証を3～8年間継続した報告もある^{5,59,71)}。

部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰期間別外傷発生数ともにジャンプ群、バランス群では、大きな差はみられなかった。前述したように、Myer らはプライオメトリックトレーニングとバランストレーニング予防効果の検証を行った⁵⁷⁾。トレーニング前後でジャンプ着地の動作解析を行い、膝関節角度の変化をみたところ、両トレーニングともトレーニング後では、統計学的に有意に改善したと報告している。このことより、プライオメトリックトレーニングとバランストレーニングは神経筋トレーニングを中心とする外傷予防トレーニングに欠かせないものであるとした⁵⁷⁾。本実験の外傷調査結果は、プライオメトリック群とバランス群に外傷発生数等において統計学的に有意な差がないことから、

Myer らのバイオメカニクスの見解と一致し、両トレーニングが外傷調査の検証からみても重要であることを示唆した。また、他の外傷予防トレーニングでは、スタティックなバランストレーニングのみでは外傷の予防効果が思わしくなかったという報告^{25,67,72)}もあることから、両トレーニングを組み合わせる行うことが外傷予防トレーニングでは重要であると推察される。

5. 結論

サッカーでは、ACL 損傷を代表とする重篤な下肢外傷が多発していることから、『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』の「バランス」、「ジャンプ&プライオメトリクス」の 2 項目を用いて外傷発生数、部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰期間別外傷発生数について検討した。

全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率ともにコントロール群に比べて、トレーニング群の方が低かった。また、トレーニング介入群の膝関節、足関節外傷の発生数が少ない傾向を示した。これらのことから、「下肢外傷予防トレーニングプログラム」による外傷予防効果が示唆された。特に足関節外傷の中でも捻挫に対しての予防効果が推察された。

また、部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰期間別外傷発生数ともにジャンプ群、バランス群では、大きな差はみられなかった。両トレーニングを組み合わせる行うことが外傷予防トレーニングでは重要であると推察された。

しかし、外傷予防トレーニングの実施期間、外傷調査期間が短いため、1 シーズンを越えるような長い期間を今後も継続して調査していく必要がある。

第3章 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム検証

～動作解析編～

1. 目的

ACL 損傷メカニズムが解明されるのに従い、スポーツ動作時にみられる膝関節浅屈曲、外反などの ACL 損傷に危険な関節肢位には、下肢の神経筋コントロールが関与しているということが明らかになってきた^{45,60,71)}。これに基づいて、神経筋機能の向上に着目した下肢外傷予防トレーニングプログラムを作成し実行したところ、ACL を損傷する選手が減少したという報告がある^{21,46,59,65)}。

しかし、ほとんどの外傷予防トレーニングプログラムは、バランス、ストレングス、プライオメトリック、アジリティトレーニングなどを含んだ網羅的なトレーニング内容が多く、各トレーニングの効果がどのように外傷発生メカニズムに影響し、外傷発生率が低下した原因と過程が明白ではない。この点に着目した Myer らはバランストレーニングとプライオメトリックトレーニングとのジャンプ着地動作時の関節肢位の比較をした。プライオメトリックトレーニングとバランストレーニングにより、膝外反角度を減少させることが、ACL 損傷率を低下させたと報告している⁵⁷⁾。このことは筋電図学的研究からも裏付けられている。プライオメトリックトレーニング介入後における股関節内転筋のプレアクティビティ、股関節周囲筋の共同収縮の増加など、筋活動の様態が変化したことで、股関節内転つまり、膝外反を減少したと報告されている⁸⁾。また、プライオメトリックトレーニングは関節の安定性を促進し、外傷リスクを下げたのではないかと述べている^{8,57,68)}。

効果がみられたほとんどの下肢外傷予防トレーニングには、プライオ

メトリックトレーニングが含まれており、ジャンプ着地やカッティング動作での関節肢位の改善が ACL 損傷をはじめとする下肢外傷発生率の低下に影響を及ぼしたと考えられている^{21,46,59,65})。先行文献をまとめると^{21,46,57,59,65})、プライオメトリックトレーニングのみ、またはバランスとプライオメトリックの 2 つを混合させたトレーニングが下肢外傷予防において効果的であると考えられる。

そこで本研究では、女子サッカー選手下肢外傷予防プログラムの効果について検証を行うため、スポーツ活動時の関節肢位の改善に効果的であると考えられるプライオメトリックトレーニングとバランストレーニング、予防トレーニングは行わず、通常のトレーニングのみのコントロール群とを比較し、下肢外傷予防トレーニング介入前後で検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象

対象者は某大学女子サッカー部に所属する選手 19 名(年齢 19.5 ± 1.0 歳 身長 $161.2 \pm 6.2\text{cm}$ 体重 $57.4 \pm 7.6\text{kg}$)とし、解析対象としては左脚 19 脚を対象とした。なお、無作為抽出により「バランストレーニング群」($n=7$)、「ジャンプ&プライオメトリックトレーニング群」($n=6$)、「コントロール群」($n=6$)を選定した。本実験の対象者は、第 2,4 章の対象者と一部重複している。対象者には実験の目的、必要性を説明し、同意を得た。また、早稲田大学スポーツ科学部研究倫理委員会の承認を得た。

表 8) 身体プロフィール ～動作解析対象～

	人数(N)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪(%)
ジャンプ群	6	160.3(± 5.5)	54.8(± 5.5)	23.2(± 3.7)
バランス群	7	159.9(± 8.0)	55.8(± 8.0)	22.3(± 2.3)
コントロール群	6	163.7(± 5.0)	61.9(± 3.9)	23.4(± 3.9)
全体	19	161.2(± 6.2)	57.4(± 7.6)	22.9(± 3.2)

なお、以下、「ジャンプ&プライオメトリック群」を「ジャンプ群」と呼ぶ。「バランス群」と「ジャンプ群」の両群を「トレーニング群」と呼ぶこととする。また、外傷予防トレーニング介入前の測定を「プレ測定」、介入後の測定を「ポスト測定」と呼ぶこととする。

2-2. 外傷予防トレーニングプログラム、内容・頻度について

本実験のトレーニングについては、第 2 章の 2-3 を参照とする。

2-3. 動作解析

2-3-1. 実験試技

実験試技はキャリブレーションされたポイントで、カウンタームーブ

メントジャンプを最大努力で行うものとした。その際に手は腰よりやや上に当て、両足は肩幅程度で着地するように指示した。

LED ランプが点灯するのを合図として静止立位からカウンタームーブメントジャンプを行うよう指示した。体が回旋したり、バランスを崩したり、着地が失敗した場合は試技を中止し、再度試技を行った。試技は験者がチェックし、3 回成功した時点で終了とした。



0msec. (接地時) 100msec. 250msec. 500msec.

図 13) 実験試技 (接地～500msec.後)

2-3-2. 試技の記録

試技のマークの中心の右側、前方それぞれか 4.6m 離れた位置より 2 台の家庭用ビデオカメラ (Sony 社製, 30Hz) で撮影した。3 台目のカメラは試技の中心の斜め左前方から 5.75m の位置で撮影した。3 台とも三脚の高さは 57.2cm とした。3 台とも被験者の全身の皮膚マーカが映るようにした。各カメラ映像を同期させるため、3 台のビデオカメラには LED シンクロナイザを設置し、試技を行う前に同期信号を出力した。3 台のビデオカメラから被験者の全身が映るように配置した。

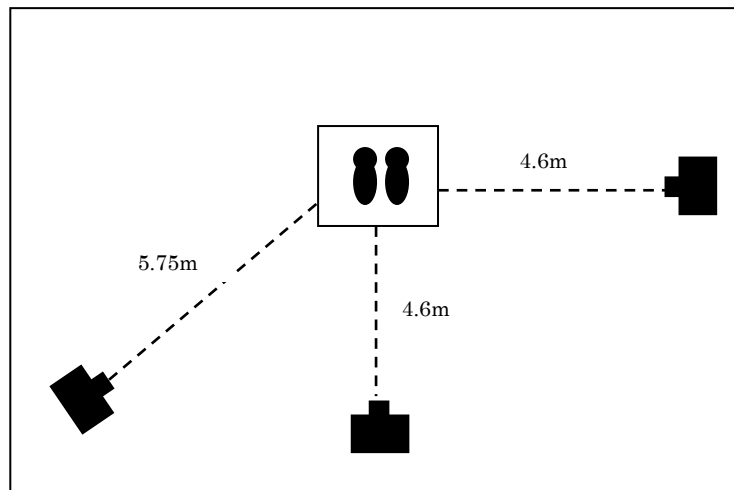


図 14) 実験配置

2-3-3. 皮膚マーカ

測定前に各被験者のランドマークに 9 つの皮膚マーカを貼付した。貼付位置は左脚の足関節外果、内果、膝蓋骨、内外膝関節裂隙、大転子、上前腸骨棘とした。大転子、上前腸骨棘は右脚にも貼付した。



図 15) 皮膚マーカ貼付位置

2-3-4. データ算出方法

各カメラの映像をパーソナルコンピュータに取り込み、Frame-Dias2 version3(DKH 社製)を用いて動作解析を行った。LED ランプの同期信号を合図に各カメラ映像を同期させた。左脚の足関節内・外果、膝蓋骨、内外膝関節裂隙、左右の大転子、左右の上前腸骨棘をデジタイズし、三次元座標に変換した。ノイズを平滑化するために、Butterworth Filter(6Hz)を用いた。

2-3-5. 関節角度算出方法

三次元座標の足関節外果と内果から足関節中心(AC)、内外膝関節裂隙から膝関節中心(KC)、三次元座標の上前腸骨棘と大転子から股関節中心(HC)を算出した。これを含む三次元座標からベクトルを定義した⁶²⁾。以後、膝蓋骨は patella、右上前腸骨棘は RASIS、左上前腸骨棘は LASIS と省略表記する。

ベクトルの内積公式、関数 ATAN2 及び、関数 DEGREES を用いて、各関節角度を算出した。関節角度算出後、ジャンプ着地動作中の関節角度から静止立位での関節角度を引いた値を採用した。

2-3-5-1. 膝関節屈曲・伸展角度($\theta 1$)定義

AC-KC と KC-HC の成す角度を膝関節屈曲・伸展角度とした。すなわち、 $\theta 1$ の増加は膝関節屈曲角度の増加を表す。



図 16) 膝関節屈曲・伸展角度定義

2-3-5-2. 膝関節内・外反角度(θ_2)定義

被験者の前額面に LASIS-KC、patella-AC を投影し、前額面上で LASIS-KC と patella-AC が成す角度を膝関節内・外反角度とした。 $\theta_2 > 0$ の場合を外反、 $\theta_2 < 0$ の場合を内反、 $\theta_2 = 0$ の場合は中間位とした。

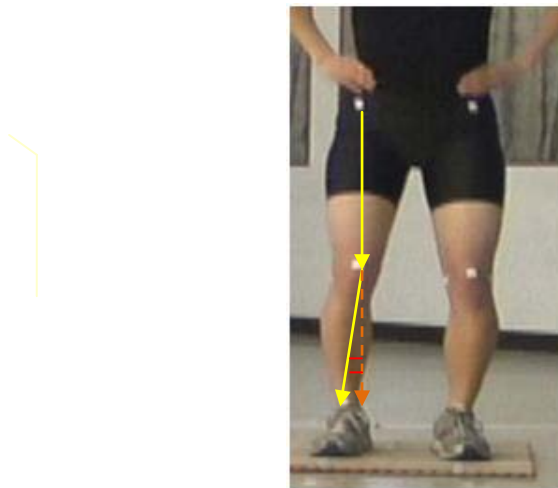


図 17) 膝関節内反・外反角度定義

2-3-5-3. 股関節内・外転角度(θ_3)定義

RASIS-LASIA と HC-KC が成す角度を算出し、 90° からひいた値を膝関節内・外転角度とした。 $\theta_3 > 0$ の場合を内転、 $\theta_3 < 0$ の場合を外転、

$\theta_3=0$ の場合は中間位とした。



図 18) 股関節内転・外転角度定義

2-3-6. 解析方法

解析範囲はカウンタームーブメントジャンプ後、つま先接地から 500msec.未満を解析範囲とした。それぞれ 3 回の成功試技の平均値を取り、解析対象とした。

2-4. 静的因子測定（解剖学的スクリーニング）

2-4-1. Q-angle

立位にて、上前腸骨棘、膝蓋骨中央、脛骨結節を結ぶ線が成す角度を東大式角度計を用いて測定した。

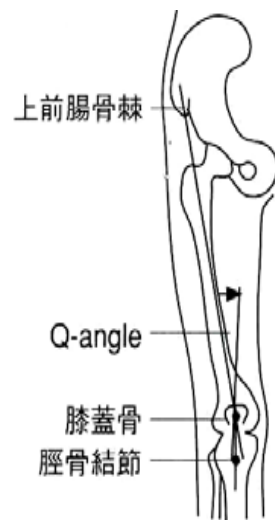


図 19) Q-angle

2-4-2. 股関節内・外旋 (IR,ER)

被験者の肢位は腹臥位とし膝関節を 90° に屈曲させた状態で、験者が他動で股関節を内旋あるいは外旋し、抵抗を感じたところで止めた。その角度を東大式角度計を用いて計測した。なお、股関節内旋角度から股関節外旋角度を引いた値を 2 で除したものを股関節内・外旋中間位 (IR-ER) とした。

2-5. 統計処理

静的因子測定における群間比較については、クラスカル・ウォリス検定を使用した。下肢外傷トレーニング前後の比較については、各最大関節角度を抽出し、対応のある t 検定を用いて比較した。また、経時的な角度変化を比較するために繰り返しのある二元配置分散分析を用いた。統計学的に有意差がある該当箇所は、事後検定として対応のある t 検定を行った。各群の比較では、クラスカル・ウォリス検定を用いて検定した。いずれも有意水準は $p < 0.05$ とした。

3. 結果

静的因子測定結果において各群間に統計学的に有意な差はなかった。

(Q-angle 右 p=0.922 左 p=0.327 : IR-ER 右 p=0.333 左 p=0.722)

最大関節角度では、下肢外傷予防トレーニング後、バランス群では統計学的に有意に膝関節最大屈曲角度が増加し、股関節最大内転角度が減少した(表 9)。また、トレーニング前後において最大関節角度には統計学的に有意な群間差はなかった。

表 9) 最大関節角度－各群におけるプレ・ポスト測定比較

	膝関節最大屈曲角度			膝関節最大外反角度			股関節最大内転角度		
	プレ測定	ポスト測定	p値	プレ測定	ポスト測定	p値	プレ測定	ポスト測定	p値
ジャンプ群	51.37	57.51	N.S.	7.10	7.97	N.S.	6.86	-2.04	N.S.
(SD)	7.91	9.82		2.46	3.86		11.35	4.60	
バランス群	55.88	64.97	* p=0.027	7.39	8.39	N.S.	13.07	-3.31	* p=0.020
(SD)	14.63	18.10		5.94	4.44		10.45	5.92	
コントロール群	56.32	68.14	N.S.	7.40	4.66	N.S.	4.83	-0.27	N.S.
(SD)	6.22	12.54		5.08	3.08		10.74	10.14	

*: p<0.05

膝関節屈曲・伸展角度($\theta 1$)については、3群とも接地時に軽度屈曲を示し、接地後は屈曲角度が増加した(図 20-22,表 10)。統計検定の結果、交互作用はなく、下肢外傷予防トレーニング介入後、バランス群で接地から接地 400msec.後までの間、トレーニング前後の主効果において膝関節屈曲角度が有意に増加した。他の 2 群においても膝関節屈曲角度が増加傾向にあったが、統計学的に有意な変化はみられなかった。

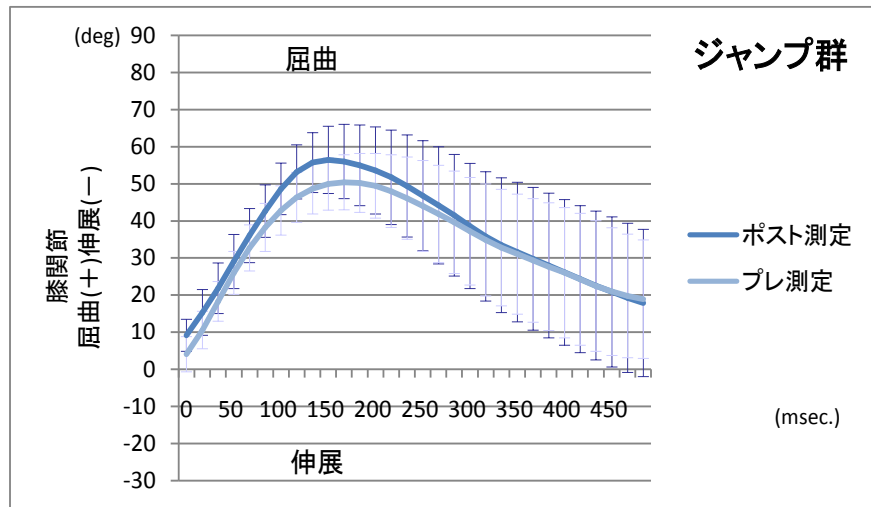


図 20) ジャンプ群—膝関節屈曲・伸展角度トレーニング前後の比較

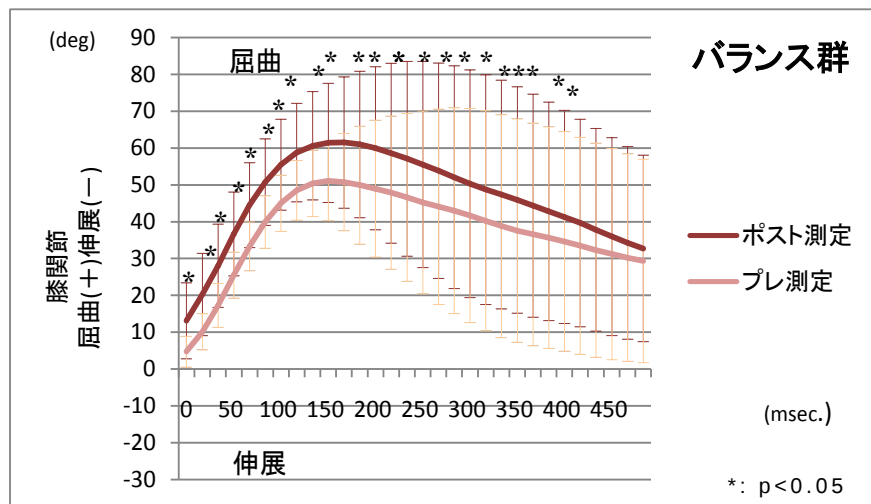


図 21) バランス群—膝関節屈曲・伸展角度トレーニング前後の比較

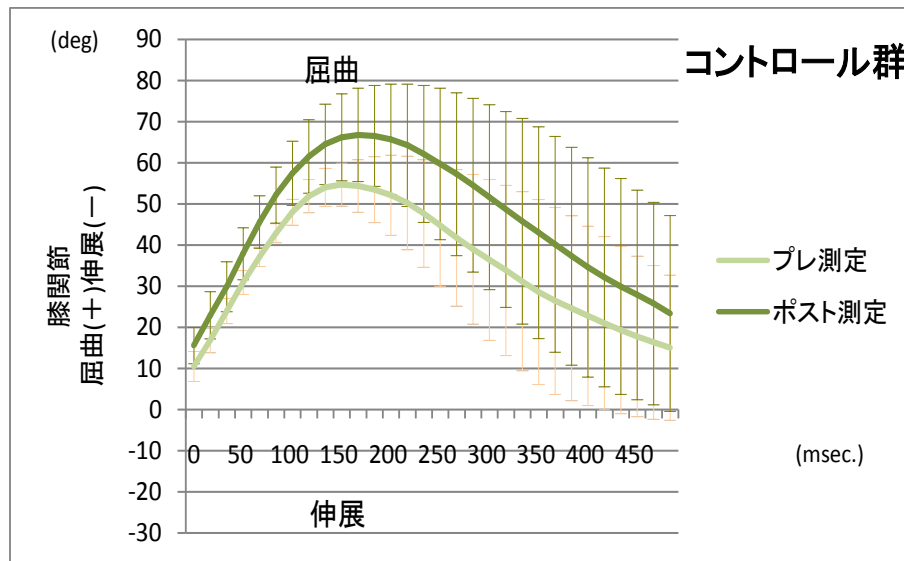


図 22) コントロール群—膝関節屈曲・伸展角度トレーニング前後の比較

表 10) 膝関節屈曲・伸展角度の経時的変化

プレ測定	(msec.)	ジャンプ群	(SD)	バランス群	(SD)	コントロール群	(SD)	ポスト測定	(msec.)	ジャンプ群	(SD)	バランス群	(SD)	コントロール群	(SD)
プレ測定	0	4.08	4.73	4.72	4.16	10.47	3.62	ポスト測定	0	9.14	4.31	13.11	10.30	15.59	4.42
	17	10.54	5.05	10.11	4.91	16.91	3.10		17	15.31	6.19	20.24	11.21	22.93	5.74
	33	18.28	5.35	17.24	5.94	23.95	3.09		33	21.84	6.84	28.06	11.28	29.86	6.10
	50	26.01	5.78	25.54	6.26	30.88	2.86		50	29.05	7.28	36.69	11.37	37.88	6.32
	67	32.70	6.19	33.33	6.66	37.13	2.34		67	36.04	7.31	44.49	11.49	45.60	6.36
	83	38.22	6.48	39.91	7.16	42.84	2.30		83	42.63	7.06	50.74	11.77	52.17	6.81
	100	42.79	6.64	45.00	7.60	47.97	3.12		100	48.62	6.98	55.47	12.36	57.44	7.80
	117	46.34	6.73	48.48	8.10	51.86	4.05		117	53.18	7.31	58.74	13.39	61.54	8.91
	133	48.69	6.81	50.43	9.04	54.02	4.65		133	55.72	8.07	60.59	14.71	64.48	9.81
	150	49.95	7.02	51.07	10.74	54.67	5.23		150	56.43	9.07	61.39	16.17	66.20	10.57
	167	50.39	7.43	50.74	13.23	54.33	6.35		167	55.99	10.01	61.48	17.84	66.77	11.37
	183	50.22	7.96	49.92	16.02	53.45	7.98		183	54.98	10.86	60.96	19.85	66.53	12.28
	200	49.43	8.69	48.95	18.58	52.10	9.75		200	53.59	11.73	59.94	22.14	65.70	13.40
	217	48.02	9.76	47.87	20.77	50.19	11.41		217	51.74	12.70	58.59	24.43	64.23	14.88
	233	46.11	11.06	46.59	22.80	47.67	13.03		233	49.38	13.77	57.08	26.41	62.15	16.65
	250	43.99	12.24	45.25	24.77	44.74	14.75		250	46.77	14.86	55.51	27.99	59.72	18.38
	267	41.83	13.12	44.06	26.51	41.75	16.53		267	44.18	15.76	53.85	29.24	57.21	19.82
	283	39.58	13.81	42.94	27.94	38.97	18.16		283	41.50	16.39	52.06	30.23	54.53	21.11
	300	37.19	14.45	41.67	29.09	36.40	19.53		300	38.61	16.88	50.27	30.90	51.63	22.47
	317	34.84	15.11	40.22	29.88	33.83	20.73		317	35.80	17.45	48.72	31.16	48.66	23.83
	333	32.78	15.69	38.80	30.25	31.15	21.77		333	33.46	18.14	47.35	31.05	45.79	24.97
	350	31.03	16.16	37.58	30.31	28.60	22.48		350	31.57	18.80	45.93	30.72	43.00	25.76
	367	29.33	16.66	36.58	30.23	26.45	22.72		367	29.78	19.26	44.37	30.26	40.17	26.21
	383	27.63	17.21	35.65	30.07	24.59	22.47		383	27.94	19.49	42.80	29.66	37.31	26.48
	400	26.03	17.58	34.63	29.79	22.79	21.84		400	26.11	19.63	41.28	28.93	34.58	26.62
	417	24.26	17.74	33.46	29.45	21.01	21.06		417	24.32	19.80	39.65	28.17	32.13	26.58
	433	22.46	17.58	32.27	29.09	19.32	20.30		433	22.57	20.05	37.81	27.50	29.93	26.22
	450	20.94	17.18	31.20	28.67	17.77	19.54		450	20.86	20.20	35.95	26.87	27.88	25.51
	467	19.77	16.67	30.25	28.15	16.36	18.68		467	19.27	20.12	34.28	26.14	25.74	24.62
	483	18.94	15.96	29.32	27.61	15.06	17.62		483	17.86	19.84	32.75	25.35	23.39	23.79

膝関節内・外反角度(θ_2)については、3群とも接地から150msec.後の間に僅かながら外反し、その後ほぼ中間位を示した(図23-25,表11)。統計検定の結果、交互作用はなく、下肢外傷予防トレーニング介入前後で変化はみられなかった。

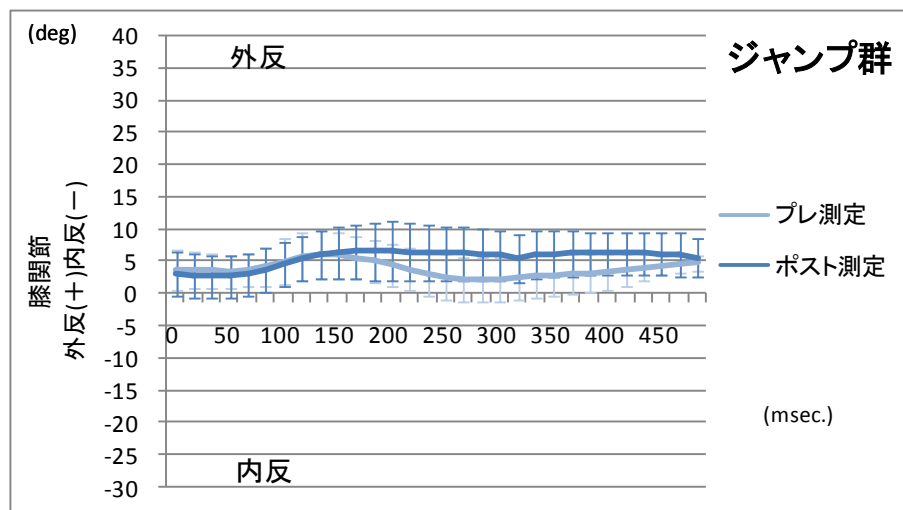


図 23) ジャンプ群—膝関節内反・外反角度トレーニング前後の比較

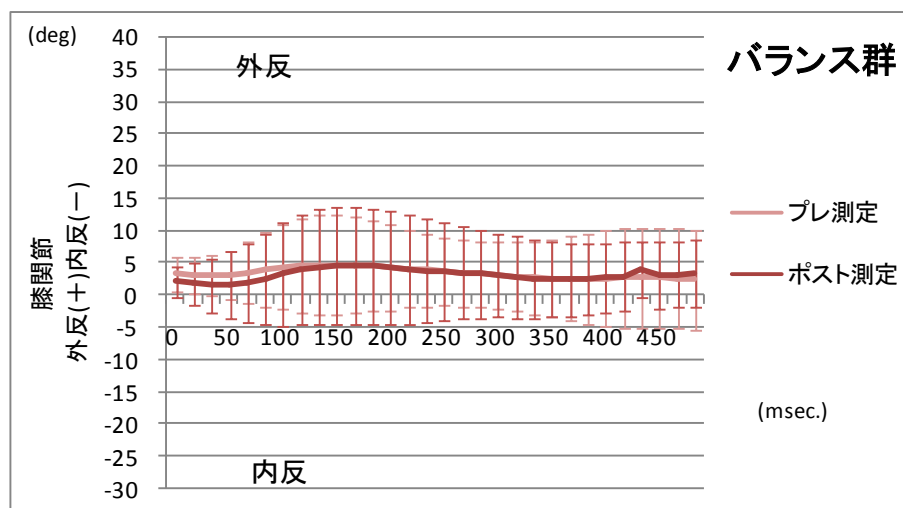


図 24) バランス群—膝関節内反・外反角度トレーニング前後の比較

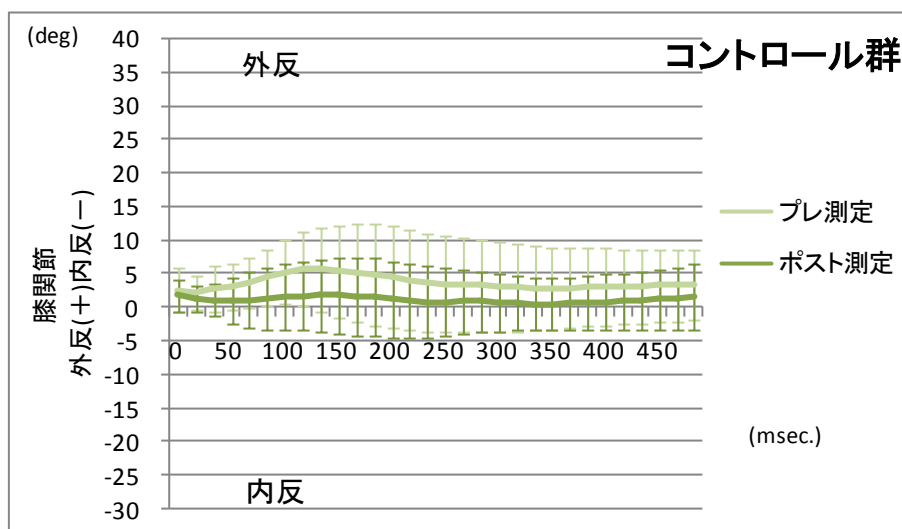


図 25) コントロール群一膝関節内反・外反角度トレーニング前後の比較

表 11) 膝関節外反・内反角度の経時的変化

測定	(msec.)	ジャンプ群	(SD)	バランス群	(SD)	コントロール群	(SD)	測定	(msec.)	ジャンプ群	(SD)	バランス群	(SD)	コントロール群	(SD)
プレ測定	0	3.62	3.03	3.24	2.68	2.59	3.24	ポスト測定	0	2.97	2.38	2.06	2.25	1.79	2.40
	17	3.65	2.84	3.06	2.79	2.13	2.49		17	2.81	3.20	1.77	3.80	1.38	1.91
	33	3.54	2.70	2.96	3.12	2.74	3.36		33	2.65	4.12	1.47	2.26	1.08	2.46
	50	3.44	2.59	3.06	3.79	3.03	3.42		50	2.68	5.19	1.54	0.86	0.98	3.42
	67	3.63	2.62	3.42	4.76	3.62	3.64		67	2.98	6.14	1.81	1.92	1.12	4.21
	83	4.17	3.02	3.91	5.79	4.45	4.12		83	3.65	7.11	2.46	2.28	1.36	4.63
	100	4.98	3.50	4.38	6.63	5.22	4.77		100	4.52	7.93	3.23	1.94	1.56	4.83
	117	5.70	3.82	4.60	7.30	5.64	5.47		117	5.39	8.56	3.90	1.41	1.70	5.10
	133	6.06	3.81	4.69	7.60	5.64	6.18		133	6.01	8.98	4.32	1.77	1.73	5.39
	150	5.99	3.58	4.68	7.65	5.39	6.81		150	6.36	9.14	4.51	1.96	1.73	5.69
	167	5.54	3.28	4.59	7.46	5.09	7.27		167	6.53	9.09	4.54	1.76	1.65	5.84
	183	5.04	3.17	4.45	7.04	4.78	7.52		183	6.58	8.94	4.45	1.64	1.46	5.80
	200	4.42	3.23	4.25	6.60	4.41	7.59		200	6.54	8.77	4.25	1.63	1.20	5.63
	217	3.78	3.37	4.11	6.00	4.04	7.51		217	6.46	8.49	4.01	1.80	0.96	5.43
	233	3.15	3.46	3.89	5.60	3.72	7.31		233	6.37	8.09	3.79	1.89	0.81	5.24
	250	2.62	3.45	3.67	5.32	3.49	7.08		250	6.27	7.63	3.59	1.92	0.79	5.06
	267	2.26	3.40	3.45	5.19	3.35	6.89		267	6.22	7.18	3.44	1.83	0.84	4.83
	283	2.14	3.38	3.27	5.13	3.23	6.78		283	6.06	6.79	3.26	0.59	0.85	4.54
	300	2.23	3.40	3.06	5.22	3.11	6.65		300	6.00	6.51	3.03	0.47	0.75	4.24
	317	2.46	3.44	2.87	5.42	2.96	6.49		317	5.45	6.32	2.77	1.82	0.59	4.03
	333	2.70	3.45	2.70	5.69	2.84	6.26		333	5.91	6.14	2.56	1.94	0.45	3.89
プレ測定	350	2.88	3.36	2.59	6.05	2.82	6.03	ポスト測定	350	6.09	5.80	2.49	3.01	0.44	3.82
	367	3.01	3.19	2.55	6.47	2.88	5.89		367	6.20	5.64	2.43	1.97	0.54	3.85
	383	3.15	2.99	2.54	6.96	2.96	5.81		383	6.26	5.50	2.50	2.13	0.68	3.95
	400	3.37	2.81	2.57	7.39	3.03	5.72		400	6.27	5.41	2.62	4.16	0.80	4.06
	417	3.70	2.52	2.63	7.68	3.11	5.61		417	6.27	5.35	2.81	2.04	0.90	4.14
	433	4.08	2.07	2.67	7.79	3.17	5.51		433	6.25	4.42	3.95	2.04	1.01	4.25
	450	4.40	1.61	2.64	7.79	3.25	5.38		450	6.19	5.28	3.06	2.64	1.16	4.44
	467	4.61	1.31	2.52	7.74	3.29	5.29		467	6.12	5.19	3.21	2.35	1.27	4.61
	483	4.72	1.20	2.34	7.69	3.33	5.25		483	5.55	5.12	3.33	2.08	1.50	4.94

股関節内・外転角度(θ_3)については、下肢外傷予防トレーニング介入前は接地時から接地から 500msec.後にて内転位を示していたが、下肢外

傷予防トレーニング介入後は外転位を示した(図 26-28,表 12)。股関節外転角度増加傾向にあったが、交互作用はなく、トレーニング介入前後の主効果において統計学的に有意な差はなかった。

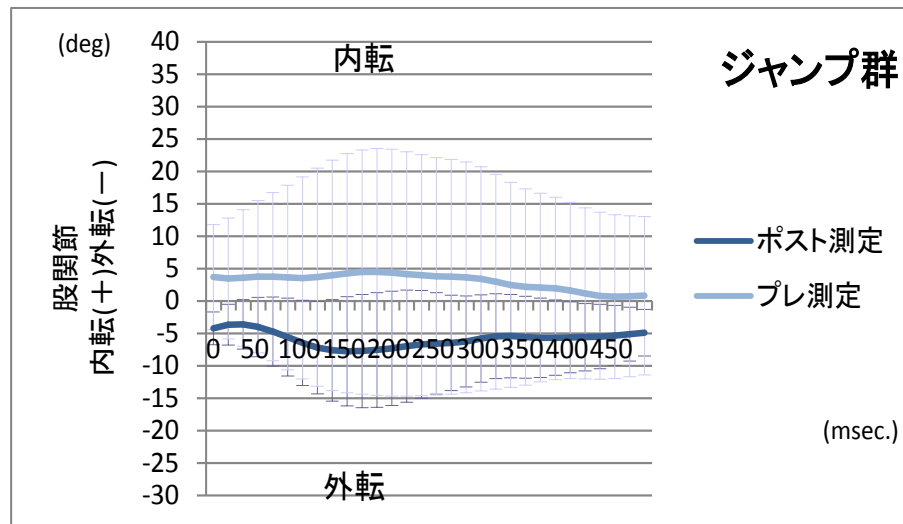


図 26) ジャンプ群—股関節内転・外転角度トレーニング前後の比較

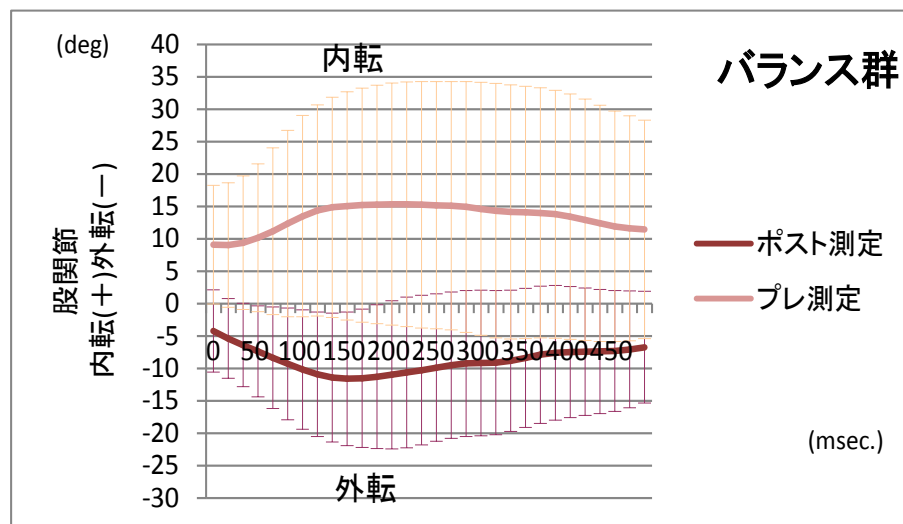


図 27) バランス群—股関節内転・外転角度トレーニング前後の比較

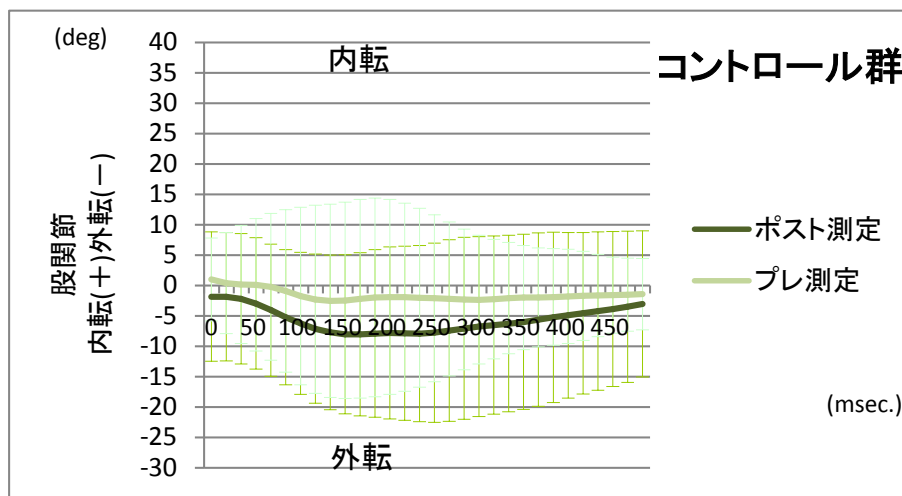


図 28) コントロール群―股関節内転・外転角度トレーニング前後の比較

表 12) 股関節内転・外転角度の経時的変化

プレ測定	(msec.)	ジャンプ群	(SD)	バランス群	(SD)	コントロール群	(SD)	ポスト測定	(msec.)	ジャンプ群	(SD)	バランス群	(SD)	コントロール群	(SD)
プレ測定	0	3.69	8.06	9.09	9.15	0.98	6.81	ポスト測定	0	-4.25	2.52	-4.23	6.32	-1.87	10.65
	17	3.45	9.33	9.00	9.61	0.38	8.33		17	-3.67	3.16	-5.38	6.16	-1.89	10.56
	33	3.56	10.55	9.38	10.33	0.15	9.73		33	-3.61	3.84	-6.40	6.42	-2.21	10.70
	50	3.74	11.74	10.15	11.41	0.09	10.88		50	-4.02	4.57	-7.38	7.04	-2.98	10.82
	67	3.74	12.96	11.15	12.88	-0.23	12.06		67	-4.72	5.33	-8.37	7.86	-4.08	10.87
	83	3.60	14.24	12.32	14.38	-0.94	13.37		83	-5.59	6.01	-9.32	8.64	-5.24	11.13
	100	3.53	15.58	13.48	15.52	-1.73	14.60		100	-6.48	6.55	-10.18	9.21	-6.28	11.68
	117	3.66	16.83	14.36	16.31	-2.30	15.47		117	-7.20	7.12	-10.92	9.62	-7.13	12.28
	133	3.95	17.80	14.85	16.99	-2.54	15.92		133	-7.63	7.81	-11.42	9.96	-7.74	12.74
	150	4.26	18.44	15.06	17.61	-2.48	16.16		150	-7.78	8.42	-11.61	10.29	-8.04	13.10
	167	4.46	18.84	15.18	18.08	-2.22	16.33		167	-7.74	8.75	-11.53	10.67	-8.05	13.45
	183	4.49	19.04	15.28	18.39	-1.99	16.33		183	-7.57	8.86	-11.29	11.09	-7.92	13.81
	200	4.36	19.04	15.34	18.66	-1.92	16.03		200	-7.31	8.83	-10.99	11.44	-7.83	14.13
	217	4.16	18.86	15.31	18.89	-1.95	15.47		217	-6.98	8.66	-10.65	11.62	-7.89	14.33
	233	3.96	18.58	15.23	19.02	-2.02	14.71		233	-6.70	8.30	-10.28	11.55	-7.94	14.48
	250	3.81	18.33	15.17	19.08	-2.12	13.75		250	-6.57	7.82	-9.90	11.37	-7.79	14.73
	267	3.72	18.12	15.10	19.17	-2.22	12.66		267	-6.50	7.36	-9.51	11.27	-7.44	14.96
	283	3.64	17.82	14.90	19.33	-2.31	11.57		283	-6.26	7.01	-9.25	11.27	-7.07	14.97
	300	3.41	17.30	14.59	19.52	-2.35	10.59		300	-5.82	6.74	-9.17	11.25	-6.78	14.82
	317	2.97	16.58	14.31	19.64	-2.27	9.81		317	-5.46	6.55	-9.10	11.11	-6.54	14.64
	333	2.47	15.81	14.14	19.62	-2.11	9.15		333	-5.42	6.43	-8.84	10.91	-6.30	14.51
	350	2.15	15.13	14.06	19.48	-2.01	8.55		350	-5.59	6.31	-8.38	10.74	-6.00	14.40
	367	2.04	14.56	13.97	19.30	-1.98	8.15		367	-5.70	6.12	-7.89	10.59	-5.65	14.26
	383	1.94	14.07	13.77	19.13	-1.91	7.94		383	-5.68	5.82	-7.58	10.39	-5.27	14.00
	400	1.62	13.61	13.41	18.94	-1.81	7.73		400	-5.63	5.48	-7.47	10.11	-4.91	13.62
	417	1.16	13.20	12.92	18.64	-1.72	7.33		417	-5.60	5.20	-7.44	9.82	-4.58	13.28
	433	0.78	12.89	12.38	18.23	-1.68	6.77		433	-5.51	4.97	-7.40	9.57	-4.24	13.04
	450	0.65	12.65	11.92	17.79	-1.62	6.29		450	-5.34	4.65	-7.30	9.33	-3.90	12.78
	467	0.71	12.43	11.60	17.34	-1.53	6.02		467	-5.12	4.17	-7.09	9.01	-3.51	12.43
	483	0.81	12.21	11.44	16.84	-1.44	5.88		483	-4.90	3.61	-6.73	8.63	-3.05	12.04

下肢外傷予防トレーニング介入前後の、各関節最大角度において、コントロール群と2つのトレーニング群に統計学的有意な差はみられなかった(表13)。また、トレーニング介入後の各関節角度の経時的変化についても統計学的に有意な差はなかった(図29-31)。しかし、トレーニング前の経時的な関節角度についての群間比較では、コントロール群が膝関節屈曲・伸展角度($\theta 1$)においてジャンプ群、バランス群よりも増加傾向にあった。ジャンプ後の接地から17sec.後時点で、ジャンプ群よりも有意に膝関節屈曲角度は増加しており、接地から33msec.後時点で、バランス群よりも有意に膝関節屈曲角度が増加していた(図32)。他の時点においては統計学的に有意な差はなかった。

表13) 最大関節角度—プレ・ポスト測定における群間比較

プレ測定									
	ジャンプ群	バランス群	p値	ジャンプ群	コントロール群	p値	バランス群	コントロール群	p値
膝関節最大屈曲角度	51.37	55.88	N.S.	51.37	56.32	N.S.	55.88	56.32	N.S.
(SD)	7.91	14.63		7.91	14.63		14.63	14.63	
膝関節最大外反角度	7.10	7.39	N.S.	7.10	7.40	N.S.	7.39	7.40	N.S.
(SD)	2.46	5.94		2.46	5.08		5.94	5.08	
股関節最大内転角度	8.86	18.73	N.S.	8.86	4.83	N.S.	18.73	4.83	N.S.
(SD)	14.14	1.72		14.14	10.74		1.72	10.74	
ポスト測定									
	ジャンプ群	バランス群	p値	ジャンプ群	コントロール群	p値	バランス群	コントロール群	p値
膝関節最大屈曲角度	57.51	64.97	N.S.	57.51	68.14	N.S.	64.97	68.14	N.S.
(SD)	9.82	18.10		9.82	18.10		18.10	18.10	
膝関節最大外反角度	7.97	8.39	N.S.	7.97	4.66	N.S.	8.39	4.66	N.S.
(SD)	3.86	4.44		3.86	3.08		4.44	3.08	
股関節最大内転角度	-2.04	-3.31	N.S.	-2.04	-0.27	N.S.	-3.31	-0.27	N.S.
(SD)	4.60	5.92		4.60	10.14		5.92	10.14	

*: P<0.05

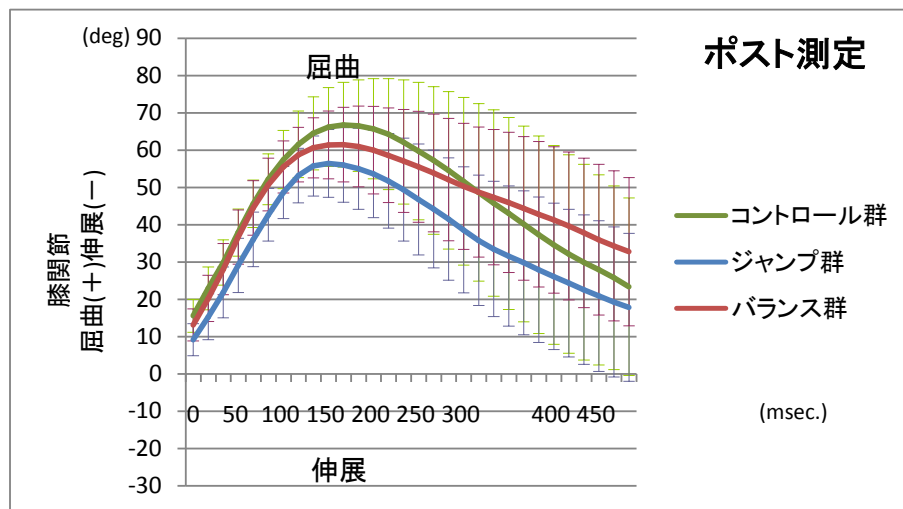


図 29) トレーニング後一膝関節屈曲・伸展角度 3 群間の比較

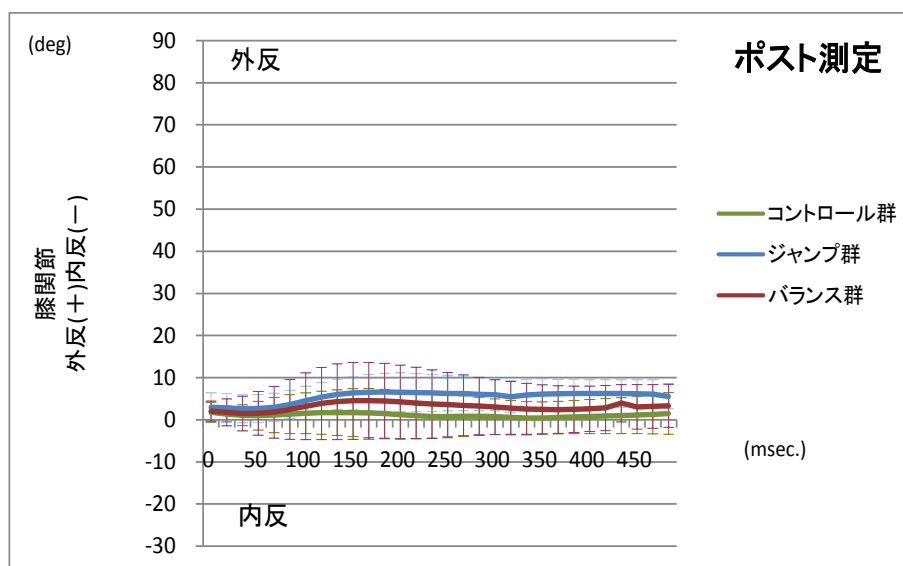


図 30) トレーニング後一膝関節内反・外反角度 3 群間の比較

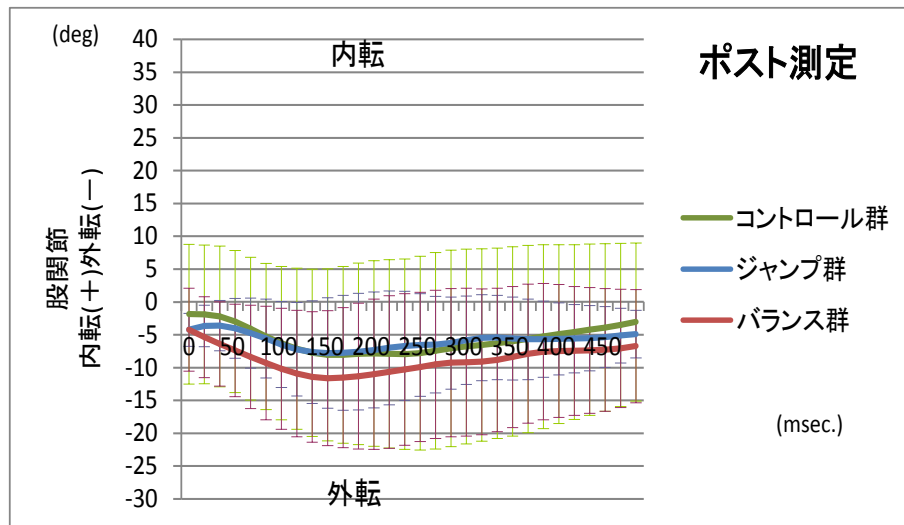


図 31) トレーニング後一肢関節内転・外転角度 3 群間の比較

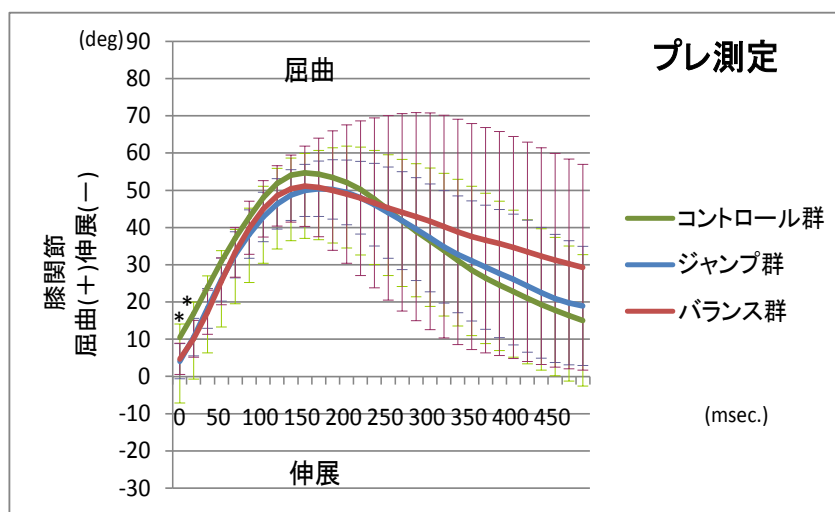


図 32) トレーニング後一肢関節内転・外転角度 3 群間の比較

4. 考察

ジャンプ着地、急なカッティング時での膝関節軽度屈曲、股関節内転、膝外反にともなう脛骨の内旋が起こることが女子選手の ACL 損傷メカニズムとして報告されている (45,48,68,71,81)。下肢外傷予防トレーニング

の介入効果によって、本実験では、ジャンプ着地時の膝関節屈曲角度の増加、膝外反の減少、股関節外転位を示すことが期待された。

本実験では、下肢外傷予防トレーニング介入後、トレーニング群の 1 つであるバランス群では、トレーニング介入前に比べて統計学的に有意に膝関節屈曲角度が増加し、最大角度についても有意に増加した。また、3 群ともトレーニング介入前に比べて屈曲角度が増加傾向にあった。着地時の屈曲角度が浅いと大腿四頭筋が優位に活動するため、脛骨の前方変位が起こり、ACL が断裂するほどの剪断力が生まれる^{40,41,42,71}。膝関節浅屈曲位では、膝関節屈曲筋群の共同収縮による膝関節の安定性が損なわれた状態である^{3,41,71}。膝関節屈曲角度が増加することは、ACL に負荷のかかる着地姿勢を回避するため、ACL 損傷は減少すると考えられている。予防プログラムにおける膝関節屈曲角度の増加は Hewett らも報告している^{22,23}。ただし、本実験の結果では、3 群ともに予防トレーニング介入後の膝関節屈曲角度が増大している傾向にあるため、外傷予防トレーニングの効果については長期間の検証が必要であると考えられた。

本実験では、膝外反角度においてトレーニング介入前後の変化がなかった。サッカーの競技特性をふまえるとジャンプ動作は少なく、実験試技である CMJ は両足での着地であるため、膝外反角度に大きな変化が見られなかったと考える。しかしながら、トレーニング群において、統計学的に有意ではなかったものの予防トレーニング介入前に股関節内転傾向にあったのが、トレーニング介入後では股関節外転傾向を示していた。また、股関節最大内転角度については、トレーニング後のバランス群で統計学的に有意に減少がみられた。股関節内転は膝外反角度の増加に関係しており、膝外反モーメントの増加は ACL にかかる張力が増加す

ると言われている⁴⁸⁾。また、屍体の膝関節でも膝外反と脛骨の内旋が大
腿四頭筋の収縮による脛骨の前方変位に加われば、ACL への負荷は増加
するという報告がある⁴⁸⁾。これらのことから、ジャンプ着地、カッティ
ング時の股関節内転位を防ぐことは、危険肢位である膝関節外反を減少
させ、ACL 損傷予防につながっていくと考えられる。Pollard らは女子
サッカー選手を対象として、1 シーズンにわたり 20 分間の PEP プログ
ラム^{46,47)}を週 2~3 回行った。三次元動作解析を用いて、ドロップジャ
ンプ着地時の下肢の関節肢位をトレーニング前後で比較した。その結果、
外傷予防トレーニング後では、膝関節屈曲角度、外反角度に変化はなか
ったが、股関節内旋角度が減少し、股関節外転角度が大きくなったと報
告している⁶⁸⁾。筋電図学的な評価においても、神経筋コントロールトレ
ーニング後、着地前の股関節内転筋の活動が高まり、股関節内転筋と外
転筋の共同収縮がみられることが報告されている⁸⁾。この結果は Hewett
らの下肢外傷予防トレーニングによって股関節内・外転モーメントが減
少した運動学的な結果²⁴⁾を神経生理学的に裏付けるものとなっている。

以上のことからより、本実験において下肢外傷予防トレーニング後に
膝関節屈曲角度が有意に増加したと股関節外転傾向を示唆したことは、
女子サッカー選手において、下肢外傷予防トレーニングがスポーツ
動作中の関節肢位においても改善の傾向があったと考えられる。

Myer らはバランストレーニングとプライオメトリックトレーニング
の効果を比較した。彼らは、ACL 損傷を代表とする下肢外傷予防におい
てバランストレーニング、プライオメトリックトレーニングの両方が必
要であると報告している⁵⁷⁾。本実験では、プライオメトリックトレー
ニングをしていたジャンプ群よりもバランス群の方が着地時の膝関節屈曲
肢位においてトレーニング後、有意な改善がみられた。予防トレーニン

グ検証の先行文献をみると、バランストレーニングのみでは、効果がないという報告もある^{67,72)}。また、プライオメトリックトレーニングのみで下肢外傷予防に効果があったという報告もあり、バランストレーニングの効果に対して明白な答えはない。

Kean らによれば、バランストレーニングを行ったところ、カウンタームーブメントジャンプのパフォーマンスが向上したとしている³⁴⁾。このことから、彼らはジャンプ動作において予備動作や空中で身体をコントロールする能力や着地準備にバランス能力の適応改善がみられたのではないかと報告している^{34,80)}。バランストレーニングでは、求められる姿勢を維持し、細かいバランスの崩れに対する補正をする静的バランス能力だけでなく、ある動きが円滑に行なわれるために必要な難しいバランス状況の中で求められる動作を円滑に遂行する動的バランスが獲得できると述べている³³⁾。

これらのことから、バランストレーニングによる関節静的安定性および動作での動的安定性がジャンプのパフォーマンスへ影響した可能性が推察される。また、先行研究によれば^{34,66)}、バランストレーニングだけでは神経筋機能的に十分な効果はなく、プライオメトリックに代表される他の要素に左右されながら下肢外傷予防の効果を発揮していると考えられる。しかし、バランストレーニングによる静的な神経筋機能の改善やスポーツ動作時の関節肢位を含め、動的な神経筋コントロールの改善を行うことで、プライオメトリックトレーニングの効果や着地動作における正しい技術の円滑な習得が可能であると推察される。

このような理由から、下肢外傷予防において、プライオメトリックトレーニングとバランストレーニングの両方がスポーツ動作中の関節肢位の改善に有益であると推察される。

また、本実験でバランス群のみが有意にトレーニング後改善されたのは、被験者の関節静的安定性や運動に対する身体適応能力が十分でなかったためはないかと推察される。このような状態でプライオメトリックトレーニングを行ったために、ジャンプ群でトレーニング効果が十分に発揮されなかったものではないかと考えられる。

5. 結語

女子サッカー選手における『女子サッカー選手外傷予防プログラム』の効果とスポーツ動作中の関節肢位に対する影響を検討した。「バランス群」、「ジャンプ群」、「コントロール群」の3群をトレーニング前後において、動作解析を行いジャンプ着地時の膝関節、股関節角度を算出した。

ジャンプ着地時の関節角度において、外傷予防トレーニング後の「バランス群」では、膝関節最大屈曲角度が統計学的に有意に増加し、経時的な角度変化においても、トレーニング前後の主効果で膝関節屈曲角度は有意に増加していた。また、「バランス群」では股関節最大内転角度が統計学的に有意に減少していた。経時的な角度変化においても、2つのトレーニング群は股関節外転傾向にあった。

女子サッカー選手において、下肢外傷予防トレーニングがスポーツ動作中の関節肢位の改善の傾向があることが示唆された。プライオメトリックトレーニングとバランストレーニングの両方がスポーツ動作中の関節肢位の改善に有益であると推察される。

本実験でバランス群のみが有意にトレーニング後に改善されたのは、関節静的安定性や運動に対する身体適応能力が十分でなかったためであると推察される。また、これはジャンプ群でトレーニング効果が十分に発揮されなかった一因であると考えられる。

第 4 章 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム検証

～フィジカル測定編～

1. 目的

下肢外傷予防プログラムの普及に伴い、多くのトレーニングで外傷予防効果がみられている^{21,46,59,65)}。しかし、外傷発生数とそのリスクが減少しても外傷予防のみが目的のトレーニングでは、トレーニング現場においてプログラムを導入することは困難である。外傷予防プログラムがフィジカルパフォーマンスに及ぼす影響を及ぼすとわからなければ、コーチや選手の予防トレーニングについての理解を得るのは難しい。

Myer らは外傷予防プログラムで使われている神経筋トレーニングを行い、フィジカルパフォーマンスとスポーツ動作中の関節肢位への影響を調査した。その結果、神経筋トレーニングはスポーツ動作中の関節肢位とフィジカルパフォーマンスともに改善がみられた^{56,58)}。このように、下肢外傷予防とフィジカルパフォーマンスの向上が臨めれば、現場のコーチ、選手からも理解を得られ、サッカーのフィジカルトレーニングとして導入が可能である。そのためには下肢外傷予防トレーニングが実際のパフォーマンスに及ぼす影響を調査し、サッカーの競技パフォーマンス向上にいかせるか検討する必要がある。

今回は『女子サッカー選手外傷予防プログラム』の「バランス」と「ジャンプ&プライオメトリック」の 2 つのトレーニングに着目して外傷予防トレーニング介入前後のフィジカルパフォーマンスを比較した。

2. 方法

2-1. 対象

対象者は某大学女子サッカー部に所属する選手 20 名(年齢 20.1 ± 2.1 歳 身長 $161.4 \pm 6.1\text{cm}$ 体重 $57.0 \pm 7.6\text{kg}$)とした。なお、無作為抽出により「バランストレーニング群」($n=7$)、「ジャンプトレーニング群」($n=7$)、「コントロール群」($n=6$)を選定した。本実験の対象者は、第 2,3 章の対象者と一部重複している。対象者には実験の目的、必要性を説明し、同意を得た。また、早稲田大学スポーツ科学部研究倫理委員会の承認を得た。対象者には実験の目的、必要性を説明し、同意を得た。

表 14) 身体プロフィール ～フィジカルパフォーマンス測定対象～

	人数(N)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪(%)
ジャンプ群	7	160.7(± 5.2)	54.8(± 5.0)	23.1(± 3.4)
バランス群	7	159.9(± 7.8)	55.8(± 8.0)	22.3(± 2.3)
コントロール群	6	164.0(± 5.1)	60.8(± 9.2)	23.0(± 4.3)
全体	20	161.4(± 6.1)	57.0(± 7.6)	22.8(± 3.2)

なお、以下、「ジャンプ&プライオメトリック群」を「ジャンプ群」と呼ぶ。「バランス群」と「ジャンプ群」の両群を「トレーニング群」と呼ぶこととする。また、外傷予防トレーニング介入前の測定を「プレ測定」、介入後の測定を「ポスト測定」と呼ぶこととする。

2-2. 外傷予防トレーニングプログラム、内容・頻度について

本実験のトレーニングについては、第 2 章の 2-3 を参照とする。

2-3-1. フィジカル測定

財団法人日本サッカー協会が出版している JFA フィジカル測定ガイドライン 2006 年版⁸²⁾と、被験者のチームで普段行なっているフィジカル測定項目を参考にして使用した。

測定項目は、「0-10-20m スプリント」、「プロアジリティ」、「カウンタームーブメントジャンプ（以下 CMJ）」、「バウンディング」、「Yo-yo Intermittent Recovery Test Level.2（以下 yo-yo レベル 2）」、「マルチステージシャトルラン」とした。測定は JFA フィジカル測定ガイドライン⁸²⁾に沿って行なった。測定には指導者が付き添い、正しいフォームやポイントの指示、データ記録を行なった。なお、フィジカル測定項目「バウンディング」に関しては、左右の記録を平均した数値を記録として使用した。

A. 「0-10-20m スプリント」

20m 一直線のコースで全力疾走し、ゴール地点では走り抜けるよう指示をした。スタート地点・0m・10m・20m 各点に磁気バーをセットし、タイマーをウェストに巻き付け、感知しやすい方向に向けた。スタートは磁気バーの 1.0m 手前（1 歩分）のマーカより片足をつけて運動を開始させた。最短距離、最大スピードにて運動をしてもらった。正しく記録が出なかった場合は、十分な休息をとってから再開させた。また、測定は「パーソナルタイマー(アクティ社)」を使用した。

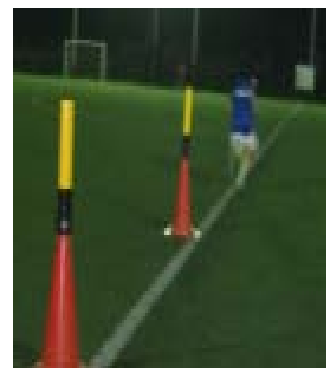
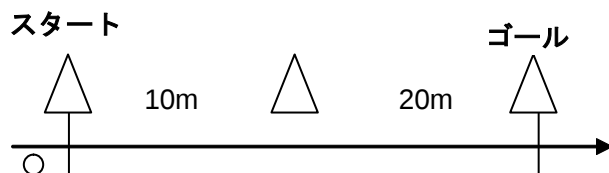


図 33) 0-10-20m スプリント走

B.「プロアジリティ」

10m 一直線上に、両端・中央と 5m 間隔の 3 点を基点に、中央からスタートし、両端のポイントで切り返し走をさせた。全力疾走させ、ゴール地点では走り抜けるよう指示をした。中央の基点に磁気バーを立て、スタートとゴール時のタイムを測定した。タイマーはウエストに巻き付け、感知しやすい方向に向けた。スタートは磁気バーの 1.0m 手前（1 歩分）のマーカより片足をつけて運動を開始させた。最短距離、最大スピードにて運動をしてもらった。正しく記録が出なかった場合、コースを間違えた場合は、十分な休息をとってから再開させた。また、測定は「パーソナルタイマー(アクティ社)」を使用した。

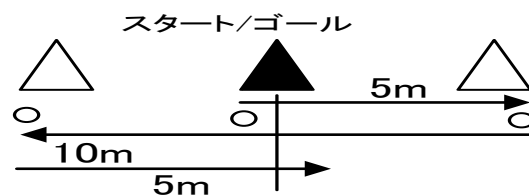


図 34) プロアジリティ

C.「カウンタームーブメントジャンプ（以下 CMJ）」

測定器具のゴムボードの上に乗り、測定器を腰に巻きつけ姿勢を正し、紐を足の長さに調節をした。ジャンプフォームは手を腰に当てて上肢の反動を使わせないようにし、立った姿勢からおおよそ膝関節 90 度近くを目安に腿の反動を使って最大ジャンプをさせた。着地は最初に足を接地したゴムボード上の位置にすることとした。フォームが乱れてしまった場合は測り直しをした。また、測定は「ジャンプ MD(竹井機器)」を使

用した。



図 35) CMJ (カウンタームーブメントジャンプ)

D. 「バウンディング」

スタート地点に両足を揃えてセットさせ、両足で踏み切り、右足－左足－両足着地と左足－右足－両足着地の試技をさせた。なお、踏み切り時の反動のつけ方は自由とし最大ジャンプをさせた。測定距離スタート地点から両足着地時の後ろ足の踵までを記録とした。フォームの乱れ、転倒した場合は測り直しをした。



図 36) バウンディング

E. 「yo-yo レベル 2 (Yo-yo Intermittent Recovery Test Level.2)」

文部科学省で定めた新体力テストが録音された CD を用い、その規定に従った。20m 地点にマーカーを適度に設置し、そのラインで切り替えしを行なうよう指示した。

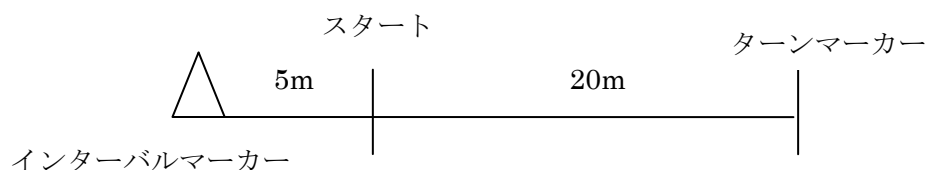


図 37) yo-yo レベル 2

F. 「マルチステージシャトルラン」

文部科学省で定めた新体力テストが録音された CD を用い、その規定に従った。20m 地点にマーカーを適度に設置し、そのラインで切り替えしを行なうよう指示した。

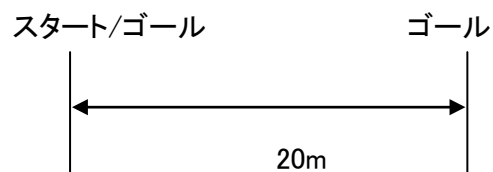


図 38) マルチステージシャトルラン

3-3. 統計処理

外傷予防トレーニング前後のフィジカルパフォーマンス測定と比較については対応のある t 検定を用いた。外傷予防トレーニング後の「バランス群」、「ジャンプ群」、「コントロール群」の 3 群間でのフィジカルパフォーマンス測定と比較については、クラスカルウォリスの検定を行った。なお、外傷予防トレーニング前のフィジカル測定では 3 群間に統計学的に有意な差はなかった。

3. 結果

下肢外傷予防トレーニング介入後では、すべてのフィジカルパフォーマンス測定項目において、統計学的に有意な改善はみられなかった(表 15, 図 39-45)。

表 15) 各測定種目—各群におけるプレ・ポスト測定比較

測定項目	単位	ジャンプ群		バランス群		コントロール群	
		プレ	ポスト	プレ	ポスト	プレ	ポスト
0-10mスプリント	秒	2.04(0.17)	2.07(0.09)	1.97(0.14)	2.05(0.09)	1.95(0.14)	2.08(0.20)
10-20mスプリント	秒	1.52(0.09)	1.54(0.06)	1.46(0.17)	1.54(0.03)	1.53(0.03)	1.55(0.07)
プロアジリティ	秒	5.53(0.49)	5.54(0.22)	5.38(0.17)	5.29(0.53)	5.18(0.56)	5.42(0.20)
CMJ	cm	39(5.18)	37(4.08)	42(5.15)	38(3.40)	43(1.67)	39(3.90)
バウンディング	m	5.69(0.46)	5.6(0.43)	5.61(0.32)	5.53(0.30)	5.84(0.42)	5.82(0.40)
yo-yoレベル2	m	246(62.94)	251(71.98)	229(59.84)	240(56.57)	267(65.32)	273(64.08)
マルチステージシャトルラン	回	90(11.89)	93(10.08)	92(15.85)	93(13.56)	102(8.38)	102(10.12)

() SD値

表 16) 各測定種目—プレ・ポスト測定における各群の比較

測定項目	単位	プレ測定					
		ジャンプ群	バランス群	ジャンプ群	コントロール群	バランス群	コントロール群
0-10mスプリント	秒	2.04(0.17)	1.97(0.14)	2.04(0.17)	1.95(0.14)	1.97(0.14)	1.95(0.14)
10-20mスプリント	秒	1.52(0.09)	1.46(0.17)	1.52(0.09)	1.53(0.03)	1.46(0.17)	1.53(0.03)
プロアジリティ	秒	5.53(0.49)	5.38(0.17)	5.53(0.49)	5.18(0.56)	5.38(0.17)	5.18(0.56)
CMJ	cm	39(5.18)	42(5.15)	39(5.18)	43(1.67)	42(5.15)	43(1.67)
バウンディング	m	5.69(0.46)	5.61(0.32)	5.69(0.46)	5.84(0.42)	5.61(0.32)	5.84(0.42)
yo-yoレベル2	m	246(62.94)	229(59.84)	246(62.94)	267(65.32)	229(59.84)	267(65.32)
マルチステージシャトルラン	回	90(11.89)	92(15.85)	90(11.89)	102(8.38)	92(15.85)	102(8.38)

() SD値

測定項目	単位	ポスト測定					
		ジャンプ群	バランス群	ジャンプ群	コントロール群	バランス群	コントロール群
0-10mスプリント	秒	2.07(0.09)	2.05(0.09)	2.07(0.09)	2.08(0.20)	2.05(0.09)	2.08(0.20)
10-20mスプリント	秒	1.54(0.06)	1.54(0.03)	1.54(0.06)	1.55(0.07)	1.54(0.03)	1.55(0.07)
プロアジリティ	秒	5.54(0.22)	5.29(0.53)	5.54(0.22)	5.42(0.20)	5.29(0.53)	5.42(0.20)
CMJ	cm	37(4.08)	38(3.40)	37(4.08)	39(3.90)	38(3.40)	39(3.90)
バウンディング	m	5.6(0.43)	5.53(0.30)	5.6(0.43)	5.82(0.40)	5.53(0.30)	5.82(0.40)
yo-yoレベル2	m	251(71.98)	240(56.57)	251(71.98)	273(64.08)	240(56.57)	273(64.08)
マルチステージシャトルラン	回	93(10.08)	93(13.56)	93(10.08)	102(10.12)	93(13.56)	102(10.12)

() SD値

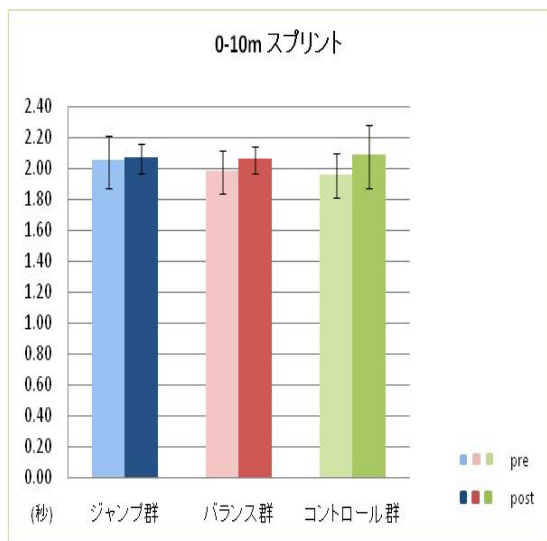


図 39) 0-10m スプリント

プレ・ポスト測定比較

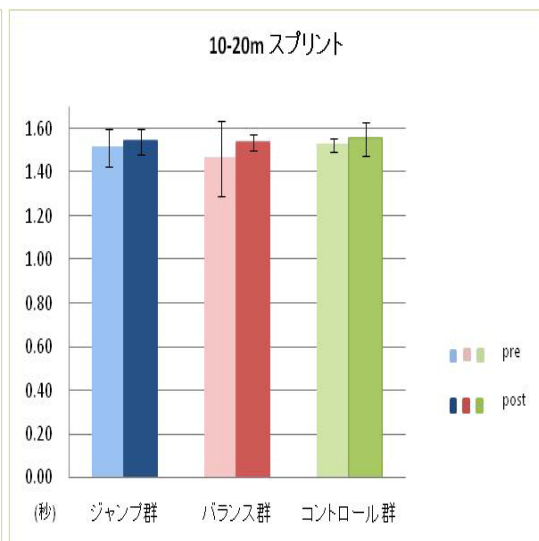


図 40) 10-20m スプリント

プレ・ポスト測定比較

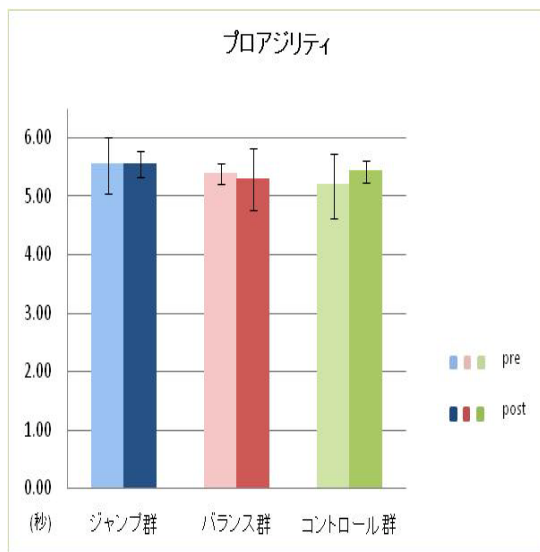


図 41) プロアジリティ

プレ・ポスト測定比較

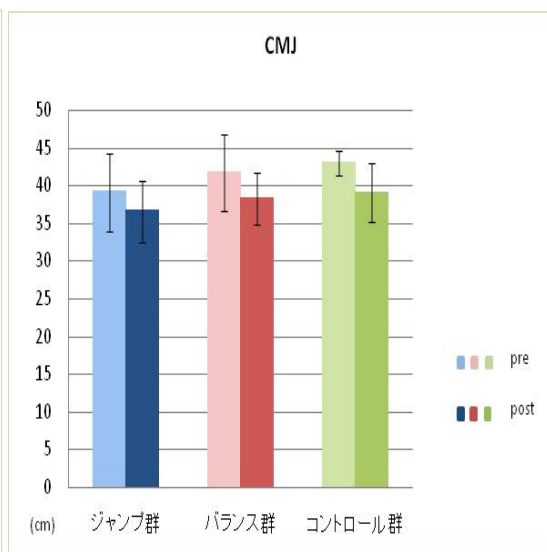


図 42) CMJ

プレ・ポスト測定比較

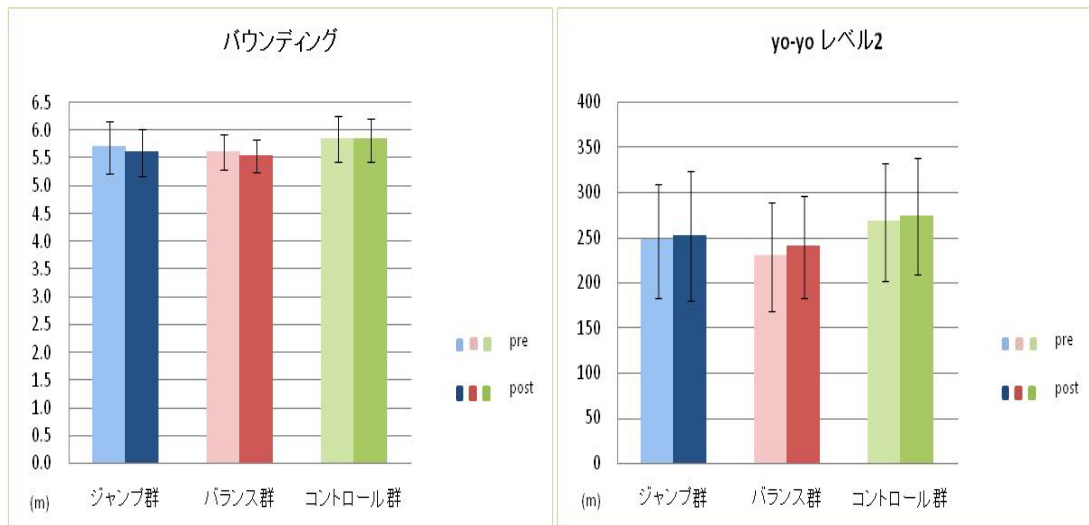


図 43) バウンディング

図 44) yo-yo レベル 2

プレ・ポスト測定比較

プレ・ポスト測定比較

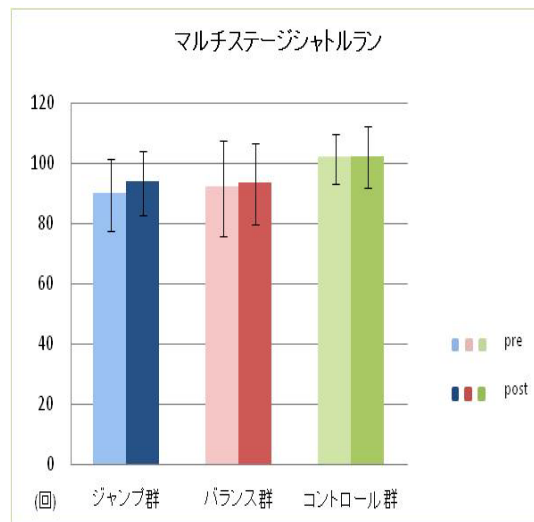


図 45) マルチステージシャトルラン プレ・ポスト測定比較

また、「バランストレーニング群」、「ジャンプトレーニング群」、「コントロール群」の3群間の比較は、すべてのフィジカルパフォーマンス測定項目において、統計学的に有意な改善はみられなかった(表 16)。

4. 考察

本実験では、下肢外傷予防トレーニング介入後、すべてのフィジカルパフォーマンス測定項目において、統計学的に有意な改善はみられなかった。しかし、Myer らは網羅的な神経筋トレーニングを行い、フィジカルパフォーマンスの改善が得られたと報告している⁵⁸⁾。彼らは60分のトレーニングを週3回、6週間行い、プライオメトリック、バランス、ストレングス、スピードの4つをトレーニング内容としていた⁵⁸⁾。また、バランスとプライオメトリックトレーニングそれぞれを週3回、7週継続して行った研究でも同様にフィジカルパフォーマンスの改善がみられたと報告している⁵⁶⁾。しかし、予防トレーニング後のフィジカルパフォーマンスに改善がみられなかったという報告もある^{8,73)}。Chimera らの実験では、20～30分の予防トレーニングを週2回、6週間のプライオメトリックトレーニング介入前後の筋活動様態の変化を調査するとともに、スプリントと垂直跳びのパフォーマンス測定を行った。その結果、筋活動様態は有意な改善がみられたが、パフォーマンス測定については変化がなく、その理由をトレーニングの頻度や特性にあったとしている⁸⁾。また、Steffen らは FIFA 公認の外傷予防トレーニングプログラム「F-MARC11」を用いてフィジカルパフォーマンスへの影響を検討したが、トレーニングの前後、介入群とコントロール群間にはフィジカルパフォーマンスに変化はなかった。彼らはトレーニング時間が短いこと、トレーニング強度が低いことが要因でないかと考察している⁷³⁾。なお、15分間のトレーニングを週3回10週間行っていた。これらのことから、フィジカルパフォーマンスを改善するためには、もっと強度が高い刺激が必要であると推察している⁷³⁾。また、トレーニング期にプレ測定を行い、オフ期にポスト測定を行ったことが影響しフィジカルパフォーマンス

スに変化がみられなかったのではないかと推察し、測定を行った時期がフィジカルパフォーマンスに影響したとしている⁷³⁾。

本実験では **Steffen** らの実験と同様のトレーニング頻度であったが、**Myer** らの実験に比べてトレーニング時間や継続期間が少なかったためにフィジカルパフォーマンスの改善がみられなかったのではないかと考えられた。しかし、本実験では、外傷予防トレーニング介入前後の測定結果において、全体的なフィジカルパフォーマンスが低下の傾向にあった。これは、フィジカルパフォーマンス測定の時期がフィジカルパフォーマンス低下の一因であると考えられた。本実験のトレーニング介入した時期は、プレシーズン期であったが、毎週末に公式戦を行なっている状況であり、疲労度が高い状況であった。本実験は実験ということで 10～20 分のトレーニングを週 3 回、6 週継続したが、このようなプレシーズンの状態ではシーズン週 2 回の頻度が適当であると思われた。フィジカルパフォーマンス測定の時期に伴い、専門的なトレーニングの影響があると考えられる。また、**Myer** らが測定を行った時期は、被験者の 73% がオフシーズン中であったと報告している⁵⁸⁾。バランス群とプライオメトリック群とでパフォーマンス測定比較を行った実験時期については、被験者の 84% がオフシーズン中であり、ジョグやウエイトなどのトレーニングを中心として行っていたと報告している⁵⁶⁾。プレシーズンに予防トレーニングすることでさらなる効果を高めるとも述べている⁵⁶⁾。これらのことから、本実験では各群とも全体的に記録は低下傾向にあったことは、外傷予防トレーニング介入やフィジカル測定の時期がフィジカルパフォーマンスに少なからず影響したのではないかと推察された。

今回の実験では、外傷予防トレーニングがフィジカルパフォーマンスに影響しているとは今回の実験ではいえなかった。フィジカルパフォー

マンス測定については、外傷予防トレーニングによる影響よりも専門的なトレーニングの影響に左右されたと推察される。

また、トップクラス、または大学の日本女子サッカーチームは、3月、4月から1月、2月まで1年を通して試合が組まれていることが常であり、そのような状況下で、シーズン期分けをし「女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』の外傷予防トレーニングの頻度、強度を考慮し、定着させていくかが、今後の課題であると言える。

外傷予防トレーニング後の3群間におけるフィジカル測定結果の比較については全ての測定項目において群間に有意差はなかった。また、トレーニング介入後のフィジカル測定では、トレーニング群、コントロール群ともにほとんどの項目で記録が低下傾向にあるため、トレーニング介入後のフィジカル測定期にサッカー専門トレーニングと公式戦との負荷により、被験者にはある程度の疲労が蓄積していたと推察される。トレーニング介入前の測定でも、全ての測定項目において群間に有意差はなかった。

J,Weineck は、スピードやスプリントに関連する筋パワーと疲労が大いに関係していることを報告している⁷⁹⁾。最大スピードは、神経-筋系が調整され、筋間コーディネーションと筋内コーディネーションが円滑に作業され、さらにそこに心理的アプローチが加わったときにのみ発揮されるものであるといわれている。一般的には、筋が疲労するとエネルギー貯蔵の減少し、筋内のアシドーシスが見られると言われているが、疲労とは複雑な現象である。疲労を引き起こす多くの要因を区分すると、筋や神経接合部で生じる末梢的要因、 α 運動ニューロン、脊髄や脳で生じる中枢的要因の2つがある。疲労による筋出力の低下は主に中枢的要因によるものと考えられており、 α 運動ニューロンの興奮性の低下によ

り個々の運動ニューロンの発火頻度の低下、動員の減少を伴う。このように、疲労により中枢神経系の制御過程が十分でないと、筋パワー発揮に支障をきたし、最大スピード及び加速の減少に繋がると報告されている^{38,79)}。これらのことから、スプリント、アジリティ、**CMJ** やバウンディングの種目で記録が低下したのではないかと推察される。

実際、サッカーでは、高いスプリント能力やアジリティ能力が求められるため、プライオメトリックトレーニングがトレーニング現場において実践され、サッカーパフォーマンスの向上に効果をあげている^{2,44,51,79)}。また、バランストレーニングも関節の安定性を向上させることから^{25,26)}、リハビリや外傷予防の目的でトレーニング現場に取り入れられている。このことから、下肢外傷予防トレーニングを1シーズンの長期間にわたって継続し、下肢外傷予防トレーニング介入前後のフィジカルパフォーマンスを定期的に評価し検討することが必要である。また、年間を通じて公式試合が組まれているトップクラス、または大学の日本女子サッカーチームにおいて「女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム」の外傷予防トレーニングの頻度、強度を考慮し、定着させていく必要がある。

5. 結論

女子サッカー選手における『女子サッカー選手外傷予防プログラム』の効果とフィジカルパフォーマンスに対する影響を検討した。

「バランス群」、「ジャンプ群」、「コントロール群」の3群をトレーニング前後において、JFA フィジカル測定ガイドライン 2006 年版を基準としたフィジカル測定項目を用いてフィジカルパフォーマンスを評価した。

外傷予防トレーニング前後のフィジカルパフォーマンス測定の結果において、統計学的に有意な差はなかった。また、3群間の比較については、統計学的に有意な差はみられなかった。

本実験からは下肢外傷予防トレーニングがサッカーパフォーマンスに影響しているとはいえなかった。フィジカルパフォーマンス測定については、外傷予防トレーニングによる影響よりも専門的なトレーニングの影響に左右されたと推察された。

トップクラス、大学の日本女子サッカーチームは、1年を通して公式試合が組まれている。このような状況の中、シーズン期分けをし『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』の外傷予防トレーニングの頻度、強度を考慮し、定着させていくことが、今後の課題である。

第 5 章 総合考察

本研究では、『日本女子サッカーリーグ外傷予防プログラム』を用い、外傷予防プログラムの効果とパフォーマンスへの影響を検証するために、外傷調査、スポーツ活動時の関節肢位に及ぼす影響、フィジカルパフォーマンスへの影響について調査を行った。今回は、スポーツ活動時の関節肢位の改善に効果的であると考えられるプライオメトリックトレーニングを行ったジャンプ群とバランストレーニングを行ったバランス群と通常のトレーニングのみを行った選手をコントロール群として比較し、下肢外傷予防トレーニング前後で検討することを目的とした。

外傷調査では、全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率ともにコントロール群に比べて、トレーニング群の方が少なかった。また、トレーニング介入群の膝関節、足関節外傷の発生数が少ない傾向にあった。これらのことから、下肢外傷予防トレーニングプログラムによる外傷予防効果が示唆された。また、トレーニング群であるバランス群とジャンプ群間には、部位別外傷発生数、種類別外傷発生数、復帰期間別外傷発生数とも大きな差はみられなかった。

外傷予防トレーニングによるスポーツ動作の関節肢位への影響を調査するためにカウンタームーブメントジャンプ着地時の下肢動作解析を行い、膝関節屈曲・伸展角度、膝関節内反・外反角度、股関節内転・外転角度を算出した。結果としては、外傷予防トレーニング後の「バランス群」では、膝関節最大屈曲角度が統計学的に有意に増加し、経時的な角度変化においても、交互作用はなかったがトレーニング前後の主効果で、膝関節屈曲角度が統計学的に有意に増加していた。また、股関節最大内転角度が統計学的に有意に減少した。経時的な角度変化において、2 つのトレーニング群は股関節外転傾向にあった。これらのことから、下肢外

傷予防トレーニングがスポーツ動作中の関節肢位において改善の傾向があることが示唆された。Myer らを代表とする先行文献の結果を踏まえると^{21,46,56,57,59,65)}、プライオメトリックトレーニングとバランストレーニングの両方がスポーツ動作中の関節肢位の改善に有効であると推察される。それゆえ、本実験でバランス群のみが有意にトレーニング後に改善されたのは、トレーニング導入前の被験者の関節静的安定性や運動に対する身体適応能力が十分でなかったことが要因と考えられた。このような導入前の被験者の状態では、ジャンプトレーニングの負荷は高く、トレーニング効果が十分に発揮されなかったのではないかと推察された。「F-MARC 11」を用いて行った Junge らの研究でも、選手の競技レベルによって外傷予防効果が左右されることが報告がされており³¹⁾、本研究の結果を支持するものと考えられる。

フィジカルパフォーマンス測定については、下肢外傷予防トレーニングがフィジカルパフォーマンスに良い影響を与えるとは言えなかった。トレーニング介入した時期は、プレシーズン期であったものの、毎週末に大学トップチームと公式戦を行なっている状況であったため、疲労度が高い状況であった。この状況を踏まえると、本実験のような1つの種目限定のトレーニング内容では、プレシーズン期においても週2回のトレーニング頻度が適当であると推察された。長期間トレーニングを継続させていく上で、トレーニング頻度や内容を考慮する必要性が考えられた。下肢外傷予防プログラムの導入にあたっては、プレシーズン期では週2回、インシーズンでは週1回のトレーニング頻度で行うことが妥当であると思われる。本実験では検証していないが、複数のトレーニングを網羅的に行うことでトレーニング頻度を上げることも可能であると推察され、ウォーミングアップにも適切であると考えられた。

以上をまとめると、下肢外傷予防プログラムは外傷予防効果があり、バランス、ジャンプの両方のトレーニングを組み合わせることが外傷予防トレーニングでは重要であると推察された。しかし、フィジカルパフォーマンスにおいては効果があるとはいいきれなかった。

今後の課題としては、外傷予防トレーニングの実施期間、外傷調査期間が短いため、1シーズンを越えるような長い期間を今後も継続して調査していく必要がある。動作解析においてはサッカーではジャンプよりもカッティングが多いことから、カッティング動作における関節肢位の影響をみることが今後、必要であると考ええる。

外傷予防トレーニングの内容としては、被験者のレベル、人数拡大、群分けなど対象を考慮し、神経筋トレーニングを中心とした網羅的な内容での外傷予防トレーニングでも今後検討すべきであると考ええる。

トップクラス、大学の日本女子サッカーチームは、1年を通して公式試合が組まれている。このような状況の中、シーズン期分けをし、それぞれのチーム状況にあった『女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム』の外傷予防トレーニングの頻度、強度を考慮し、定着させていくことが、一番の課題であると言える。

第 6 章 結語

- 1) 「日本女子サッカーリーグ外傷予防プログラム」を用い、外傷予防プログラムの効果とパフォーマンスへの影響を検証するために、外傷調査、ジャンプ着地時の関節肢位に及ぼす影響、フィジカルパフォーマンスへの影響について調査を行った。
- 2) 外傷調査では、全体外傷発生数、1000 時間あたりの外傷発生率ともにコントロール群に比べて、トレーニング群の方が統計学的に有意に少なかった。
- 3) 外傷予防トレーニングによるスポーツ動作の関節肢位への影響を調査では、トレーニング介入後のバランス群で、統計学的に有意に膝関節最大屈曲角度が増加し、股関節最大内転角度が減少した。経時的な角度変化においても、膝関節屈曲角度が統計学的に有意に増加していた。また、2 つのトレーニング群は股関節外転傾向にあった。
- 4) フィジカルパフォーマンス測定については、下肢外傷予防トレーニングがフィジカルパフォーマンスに有意な影響を与えなかった。
- 5) 下肢外傷予防プログラムは外傷予防効果があることが示唆された。バランス、ジャンプの両方のトレーニングを組み合わせる方がより効果的であると推察された。しかし、フィジカルパフォーマンスについては効果があるとは言えなかった。
- 6) トレーニングシーズン、被験者のレベル、被験者数の拡大など、長期間での外傷予防トレーニングを実施することを考慮し、プレシーズン期では週 2 回、インシーズンでは週 1 回のトレーニング頻度で行うことが妥当であり、複数のトレーニング種目を網羅的に行うことはウォーミングアップに適切であると推察された。このことを踏まえ、今後も継続して調査していく必要があると考えられた。

< 引用・参考文献一覧 >

- 1) **Ardent, E A; Dick, R;** Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer : American Journal of Sports Medicine 23, 694-701, 1995.
- 2) **Baech , T R; Earle, R W;** 編 石井, 直方;日本語版監修 長谷川, 裕;岡田, 純一;監修 ストレングストレーニング&コンディショニング NSCA 決定版 : ブックハウスHD, 2004. - 第 2 版 巻.
- 3) **Baratta, R; Solomonow, M; Zhou, B H; Leston, D; Chuinard, R; D'Ambrosia, R** Muscular coactivation : the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability : American Journal of Sports Medicine, 1988.
- 4) **Borden , B P; Dean, G S; Feagin, J A; Garrett, W E;** Mechanisms of anterior cruciate ligament injury : Orthopedics 23, 573-578, 2000.
- 5) **Caraffa, A C; Proietti, M; Aisa, G;** Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer : A prospective controlled study of proprioceptive training : Knee Surg SportsTraumatol Arthrosc 4, 19-21, 1996.
- 6) **Carolyn , A E; Meeuwisse, W H; Hartmann, S E;** Evaluation of risk factor for injury surveillance system : The American Journal of Sports Medicine 33(12), 1882-1891, 2005.
- 7) **Chappell, J D; Yu, B; Kirikendall, D T; Garrett, W E;** A comparison of knee kinematics between male and female recreational athletes

- in stop-jump task : American Journal of Sports Medicine 30,
261-267, 2002.
- 8) **Chimera, Nicole J; Swanik, K A; Swanik, B C; Straub, S J;** Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes : Journal of Athletic Training 39(1), 24-31, 2004.
 - 9) **Dvorak , J; Junge, A; Grimm, K; Krikendall, D;** Medical report from the 2006 FIFA World Cup Germany : Br J Sports Med 41, 578-581, 2007.
 - 10) **Ford , K R; Myer, G D; Hewett; Hewett, T E;** Valgus knee motion during landing in high school female basketball players : Med Sci Sports Exerc. 35, 1745-1750, 2003.
 - 11) **Ford , K R; Myer, G D; Toms, E; Hewett, T E;** Gender differences in the kinematics of unanticipated cutting in youth athletes : Med Sci Sports Exerc. 37, 124-129, 2005.
 - 12) **Gail, F L; Carling, C; Reilly, T;** Injuries in youth elite female soccer players : an 8-season prospective study : American Journal of Sports Medicine 36, 276-, 2008.
 - 13) **Gall, F L; Carling, C; Reilly, T; Vandewalle, H; Church, J; Rochcongar, P;** Incidence of injuries in elite French youth soccer players : a 10-seasons study : American Journal of Sports Medicine 34, 928-938, 2006.
 - 14) **Gary, W B; Marisa, C A; Nancy, S I; Kristina, N L; Paul, H E; Jennifer, P J;** Neomuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump-training program :

Journal of Athletic Training 39(1),17-23, 2004.

- 15) **Gilchrist, J; Mandelbaum, B R; Melancon, H; Ryan, G W; Silvers, H J; Gruffin, L Y; Watanabe, D S; Dick, R W; Dvorak, J; A**
randomized controlled trial to prevent noncontact anterior
cruciate ligament injury infemale collagiate soccer players :
American Journal of Sports Medicine 36, 1476, 2008.
- 16) **Griffin, L Y; Agel, M J; Albohm, M J; Aredet, E A; Dick, R W;**
Garrett, W E; Garrick, J G; Hewett, T E; Huston, L; Ireland, M L;
Johnson, R J; Kibler, W B; Lephart, S; Lewis, J L; Lindenfeld, T
N; Mandselbaum, B R; Marchak, P; Teits, C C; Wojtys, E M;
Nonconract anterior cruciate ligament injuries : risk factor and
prevention strategies : J Am Acad Orhop Surg 8, 141-150, 2000.
- 17) **Grindstaff, T L; Hammill, R R; Tuzson, A E; Hertelq, J;**
Neuromuscular control training programs and noncontact
anterior crusiatae ligament injury rate in female atheletes : A
numbers-needed-to- treat analysis : Journal of Athletic training
41(4), 450-456, 2006.
- 18) **Harmon, K G; Ireland, M L;** Gender differences in noncontact
anterior cruciate ligament injuries : Clin Sports Med. 19, 287-302,
2000.
- 19) **Herman, D C; Weinhold, P S; Guskiewicz, K M; Garrett, W E; Yu,**
Bing; Padua, D A; 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 36(4),
733-740, 2008.

- 20) **Hewett, T E; Ford , K R; Myer, G D;** Anterior cruciate ligament injuries in female athletes : part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention : American Journal of Sports Medicine 34, 490-498, 2006.
- 21) **Hewett, T E; Liddenfeld, T N; Riccobene, J V;** The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes : American Journal of Sports Medicine 26, 699-705, 1999.
- 22) **Hewett, T E; Myer, G D; Ford, K R; et al.** Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk on female athletes : a prospective study : American Journal of Sports Medicine 33, 492-501, 2005.
- 23) **Hewett, T E; Stroupe, A L; Nance, T A; et al.** Plyometric training in female athletes : American Jouranal of Sports Medicine 24, 765-773, 1996.
- 24) **Hewett, T E; Stroupe, A L; Nance, T A; Noyes, F R;** Plyometric training in female athletes : decreased impact forces and increased hamstraing torques : American Journal of Sports Medicine 24, 765-773, 1996.
- 25) **Hrysomllis, Con** Relationship between balance ability, training and sports injury risk : Journal of Sports Medicine 37(6),547-556, 2007.
- 26) **Hurd, W J; Chmeielewski, T L; Synder-Macklet, L;** Perturbation-enhanced neuromuscular training alters muscle activity in female athletes : Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,

2006.

- 27) 井原 秀俊 関節トレーニング 神経運動器協調訓練 改定第2版:
1996, 共同医書出版社.
- 28) **Junge, A; Dvorak, J; Graf-Baumann, T;** Football innjurie during
the World Cump 2002 : The American Journal of Sports Medicine
32(1), S23-27, 2004.
- 29) **Junge, A; Dvorak, J;** Inflience of definition and data collection on
the Incidence of injuries in football : The AMERICAN JOURNAL
OF SPORTS MEDICINE 28(5), s40-46, 2000.
- 30) **Junge, A; Dvorak, J;** Injuries in female football players top-level
internation tournaments : Br J Sports Med. 41, 3-7, 2007.
- 31) **Junge, A; Rosch, D; Peterson, L; Geaf-Baumann, T; Dvorak, J;**
Prevetion of soccer injuries : aprospective intervention study in
youth amateur players : American Journal of Sports Medicine
30(5), 652-659, 2002.
- 32) **JungeA et al.** Football injuries During FIFA Tournaments and the
Olympic Games, 1998-2001 : American Jpurnal of Sports Medicine
32(1), S80-89, 2004.
- 33) 勝田 茜, 浦辺 幸夫, 田中 浩介, 岩本 久生, 是近 学, 佐々木
理恵子 ジャンプ能力と身体運動機能の関連ーACL損傷予防の視点
からー : Japanese Phsical Therapy Association.
- 34) **Kean, C O; Behm, D G; Young, W B;** Fixed foot balance training
increases rectus femoris activation during landing and jump
height in recreationnlly active women : Journal of Sports Science &
Medicine 5, 138-148, 2005.

- 35) 小粥, 智浩; 山本, 利春; 渋谷, 賢一; サッカー選手のダッシュ能力に影響を及ぼす要因 – 瞬時の数歩の素早い移動は何に左右されるか – : サッカー医・科学研究 第22巻, 75-77, 2002.
- 36) **Kucera, K L; Marshall, S W; Kirikendall, D T; Garrett, W E** Injury history as a risk factor incident injury in youth soccer : Br J, Sports Med. 39. 462-, 2005.
- 37) 倉林 準, 持丸 正明, 河内 まき子 股関節中心推定法の比較検討 : バイオメカニズム学会誌 27(1), 29-36, 2002.
- 38) **Latash, Mark L**; 著 笠井 達哉/ 道免 和久: 監訳 運動神経生理学講義 : 大修館書店, 2002.
- 39) **Lephart , S M; Abt, J P; Ferris, C M; Sell, T C; Nagai, T; Myers, J B; Irrgang, J J**; Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes : a plyometric versus basic resistance program : British Journal of Sports Medicine 39, 932-938, 2005.
- 40) **Li, G; DeFrate, L E; Rubasg, H E; et al.** In vivo kinematics of the ACL during weight-bearing knee flexion : J Orthop Res 23, 340-344, 2005.
- 41) **Li, G; Rudy, T W; Sakane, M; et al.** The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ force in ACL : J Biomech 32, 395-400, 1999.
- 42) **Li, G; Zayonts, S; Most, E ; et al.** In situ forces of the anterior cruciate and posterior cruciate ligament in high knee flexion : an in vitro investigation : J Orthop Res 22, 293-297, 2005.
- 43) **Lilley, K; Gass, E; Locke, S**; A retrospective injury analysis of

- state representative female soccer players : Physical Therapy in Sport 3, 2-9, 2002.
- 44) **Maffiuletti, N A; Dugnani, S; Folz, M; Pierno, E D; Mauro, F;**
 Effect of combined electrosittimulation and plyometric training on vertical jump height : MEDICINE & SCIENCE SPORTS & EXERCISE, 2002.
- 45) **Malinzak , R; Kirkendall , D T; Yu , B;** A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks : Clin Biomech 16, 438-445, 2001.
- 46) **Mandelbaum, B R; Silvers, H J** Prevention of ACL injury in the female soccer athletes : two-yare follow-up : American Journal of Sports Medicine 33, 1003-1010, 2005.
- 47) **Mandelbaum, B R; Silvers, H J; Watanabe, D S; Knarr, J F; Thomas, S D; Griffin, L Y; Kirkendall, D T; Garrett, W;**
 Effectiveness of a neuronucular and proprioceptive training program in preventing anterior crusiate ligament injurie in female athlete : The American jpurnal of Sports Medicine 33(7), 1003-1010, 2005.
- 48) **Markolf, K L; Burchfield, D M; Shapiro, M M;** Combined knee loading states that generate hight anterior cruciate ligament force : J Orthop Res 13, 930-935, 1995.
- 49) **McHugh, M P; Tyler, T F; Tetro, D T; Mullaney, M J; Nicholas, S J;**
 Risk factors noncontact ankle sprain in high school athletes : American Journal of Sports Medicine 34(3), 464-470, 2006.
- 50) **McNair, P J; Marshall, R N; Bogert, A J;** Important features

- associated with acute anterior cruciate ligament injury : N Z Med J. 103, 537-539, 1990.
- 51) **Miller, M G; Herniman, J J; Ricard, M D; Cheatham, C C; Michael, T J** The effect of a 6-week plyometric training program on agility : Journal of Sports Science & Medicine 5, 459-465, 2006.
- 52) **Mithata, L C; Beutler, A I; Borden, B P;** Comparing the incidence of anterior cruciate ligament injury in collegiate lacrosse, soccer, and basketball players : implications for anterior cruciate ligament mechanism and prevention : American Journal of Sports Medicine 34, 899-, 2006.
- 53) **水谷 博** 一流女子サッカー選手のスポーツ障害に関する調査研究 : 体力科学 44(6), 787, 1995.
- 54) **Myer, G D; Ford , K R; Hewett, T E;** Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes : Journal of Athletic Training 39(4), 352-364, 2004.
- 55) **Myer, G D; Ford, K R; Brent, J L; Hewett, T E;** Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes : BMC Musculoskeletal Disorders 8:39, 1-7, 2007.☆
- 56) **Myer, G D; Ford, K R; Brent, J L; Hewett, T E;** The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes : Journal of Strength & Conditioning Research, 20(2), 345-353, 2006.
- 57) **Myer, G D; Ford, K R; McLean, S G; Hewett, T E** The effects of

- plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics : The American journal of Sports Medicine 34(3), 445-455, 2006.
- 58) **Myer, G D; Ford, K R; Palumbo, J P; Hewett, T E;** Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes: Journal of Strength and Conditioning Research 19(1).51-60, 2005.
- 59) **Myklebust, G; Engebretsen, L; Beakken, I H; Skjolberg, A; Olsen, O; Bahr, R;** Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: A prospective intervention study over three seasons : Clinical Journal of Sport Medicine 13, 71-78, 2003.
- 60) **Nagano , Y; Ida , H; Akai, M; Fukubayashi, T;** Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing : The Knee 14, 218-223, 2007.
- 61) 日本女子サッカーリーグ; 日本臨床スポーツ医学会; 国立スポーツ科学センター; 女子サッカー選手下肢外傷予防プログラム : 日本女子サッカーリーグ; 日本臨床スポーツ医学会; 国立スポーツ科学センター, 2008.
- 62) 小笠原, 一生; 宮永, 豊; 白木, 仁; 向井, 直樹; 竹村, 雅裕; 八十島, 崇; 宮川, 俊平; 片脚着地時にみられた下肢 Kinematics の性差 : 体力科学 55, 403-412, 2006.
- 63) **Olsen , O E; Myklebust, G; Engebretsen, L; Bahr, R;** Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball : a systematic video analysis : American Journal of

Sports Medicine 32, 1002-1012, 2004.

- 64) **Olsen, Odd-Egil; Myklebust, G; Engebretsen, L; Holme, I; Bahr, R;** Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports : cluster randomise controlled trial : BMJ 330,449, 2005.
- 65) **Olsen; Myklebust; et al.** Prevention of knee and ankle injuries in youth team handball : a randomised controlled trial : BMJ 330-449, 2005.
- 66) **Owen, J L; Campbell, S; Falkner, S J; Bialkowski, C; Ward, A T;** Is there evidence that proprioception or balance training can prevantion ACL injnuries in athlete without previous ACL injury? : Physical Therapy 86(10), 1436-1440, 2006.
- 67) **Pfeiffer, R P; Shea, K G; Robert, D; Grandstrad , S; Bond, L;** Lack of effect of a knee ligament injury prevention program on the incidence of noncontact anterior cruciate ligament injury : The Journal of Bone and Joint Surgery 88, 1769-1774, 2006.
- 68) **Pollard , C D; Sigward, S M; Ota, S; Langford, K; Powers, C M;** The influence of in-season injury prevantion training on lower-extremity kinematics during landing in female soccer players : Clin J Sport Med 16(3), 223-227, 2006.
- 69) **Reilly, T; Williams, A M;** Soccer & Science Second Edition - 2003. - 第 p.39-40, 59-63 卷.
- 70) **Shelbourne, KDDT; Llootwyk, T;** The relationship between notch wtdth and the risk for anterior cruciate ligament rupture : American Journal of Sports Medicine 26, 402-8, 1986.
- 71) **Silvers, H J; Mandelbaum, B R;** Prevantion of anterior cruciate

- ligament injury in the female athlete : Br. J. Sports Med. 41, 52-59, 2007.
- 72) **Soderman, K; Werner, S; Pietila, T; Engstrom, B; Alfredson, H;**
Balance board training : prevention of traumatic injuries of the
lower extremities in female soccer players ? : Knee Surg, Sports
Traumatol, Arthrosc 8, 356-363, 2000.
- 73) **Steffen, K; Bakka, M. H; Myklebust, G; Bahr, R;** Performance
aspects of an injury prevention program : a ten-week intervention
in adolescent female football players : Scandinavian Journal of
Medicine & Science in Sports 18(5), 596-604, 2008.
- 74) **Steffen, K; Myklebust, G; Anderson, T E; Holme, I; Bahr, R;**
Self-reported injury history and lower limb function as risk
factors for injuries in female youth soccer : The American Journal
of Sports Medicine 36(4), 700-708, 2008.
- 75) **Tegnander, A; Olsen, O E; Moholdt, T T; Engebretsen, L; Bahr, R;**
Injuries in Norwegian female elite soccer : a prospective
one-season cohort study : Knee Surg Traumatol Arthrosc 16,
194-198, 2007.
- 76) **Tscholl, P; O'Riordan, D; Fuller, C W; Dovrak, J; Gutzwiller, F;**
Junge, A; Causation of injuries in female football players in
top-level tournaments : Br J Sports Med 41, 8-14, 2007.
- 77) 内山 秀一, 加藤 譲, 今川 正浩, 宇野 勝 大学サッカー選手に
おける現在の競技生活に支障をきたしている障害とその発生学 : 東
海大学スポーツ医科学雑誌 10, 18-23, 1998.
- 78) 氏平 裕人, 宮川 俊平, 白木 仁, 向井 直樹, 竹村 雅裕, 小林

直行, 泉 重樹 女子サッカー選手の足関節不安定性がジャンプ能力に及ぼす影響 : The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine.

79) **Weineck, J**; Optimale football training サッカーの最適トレーニング : 大修館書店, 2002. - 第 4 章, 211-262 巻.

80) **Wilkstrom, E A; Tillman, M D; Schenker, S M; Borsa, P A**; Jump-landing direction influences dynamic postural stability scores : Journal of Science and Medicine in Sport, 2007.

81) **Yu, B; Garret, W E**; Mechanisms of non-contact ACL injuries : British Journal of Sports Medicine 41, 47-51, 2007.

82) 財団法人日本サッカー協会技術委員会 JFA フィジカル測定ガイドライン: 財団法人日本サッカー協会, 2006 年度版.

83) 財団法人日本サッカー協会技術委員会 JFA Technical NEWS : 財団法人日本サッカー協会, 2007 年. - 第 19, p9-11 巻.

84) 財団法人日本サッカー協会技術委員会 JFA Technical NEWS : 財団法人日本サッカー協会, 2007 年. - 第 22, p53 巻.

85) **Zafeiridis, A; Saraslandis, P; Manou, V; Ioakimidis, P; Dipla, K; Kellis, S**; The effects of resisited sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance : J SPORTS MED PHYS FIYNESS 45, 284-290, 2005.

謝 辞

本論文の作成にあたって熱心なご指導・ご鞭撻をいただいた福林徹教授に厚くご御礼申し上げます。自分の研究の方向性が見いだせないまま、大学院に進学した私に多くの学ぶ機会と経験を与えてくださった先生の寛大さに心から感謝しております。誠にありがとうございました。

副査を快く承諾してくださった、鳥居俊准教授、堀野博幸准教授に深く御礼申し上げます。口頭試問におきましてもご指導の程、よろしくお願いいたします。

実験にご協力してくださったア式蹴球部女子のみなさま、貴重な練習時間を頂戴し、誠にありがとうございました。みなさまが温かく迎え入れてくださったおかげで、トレーニングから計測まで無事終わることができました。特に、実験施設準備やトレーニング計画について円滑に進むように協力してくださった主務の梶尾雅子さん、キャプテンの堂下弥里さん、グランドマネージャーの藤本知恵さん、澤夏美さん、学生トレーナーの錦見優子さんには心から感謝の意を表します。また、実験介入について快く承諾してくださった長岡義一監督には、心より御礼申し上げます。

スポーツ科学部客員講師の広瀬統一先生、実験計画から、論文作成、学会発表に至るまで、熱心にご指導していただき、厚く御礼申し上げます。広瀬先生がいてくださらなければ、このように論文を完成させることはできませんでした。どんなにお忙しい時でも温かく熱心にご指導し

てくださったことは私にとっては何よりの励みでした。学会発表、修士論文作成だけでなくすべての面において、物わかりがよくなく不器用な私に寛容に何度もご指導くださったことは決して忘れません。ゼミ生でもない私のことを気にかけてくださり、誠にありがとうございました。心より感謝しております。

国立スポーツ科学センターの小笠原一生様、大変お忙しい中お時間を作っていただき、本論文の動作解析について熱心にご指導していただいたことに厚く御礼申し上げます。小笠原さんには、研究に対する姿勢、基本を教えていただきました。動作解析、修論の勉強、DVD作成でも明るく熱心にご指導いただき、ありがとうございました。もっといろんなことを学ばせていただきたかったです。私の体調や家族のことまで心配してくださり本当にありがとうございました。

お忙しい中、実験を手伝ってくださった福林研究室の皆様、広瀬ゼミの皆様、国立スポーツ科学センターの荒木恵先輩、卒論生の福田あやさん、皆さんがいてくださったから、つらいときも苦しい時も楽しく笑って明るく過ごしてこられました。本当にありがとうございました。

最後に、遠く離れていても、どんなときも私を支えてくれた両親と弟に心より感謝しています。来年度からは言葉よりも態度で感謝の気持ちを伝えていきます。本当にありがとうございました。