

修士（スポーツ科学）学位論文

大学女子サッカー選手における
膝前十字靱帯損傷予防の科学的検証

The Scientific Substantiation of Anterior Cruciate Ligament
Injury in Female Collegiate Soccer Players

2014 年 1 月

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

5 0 1 2 A 0 5 2 - 1

馬越 博久

Magoshi Hirohisa

研究指導教員： 福林 徹 教授

—目次—

第1章	序論.....	1
第1節	序.....	2
第2節	本論文の目的、構成.....	10
第2章	膝前十字靱帯損傷バイオメカニクスの リスクファクターの検討.....	12
第1項	緒言.....	13
第1節	大学女子サッカー選手における膝前十字靱帯損傷危険率と方向転換 動作時における体幹・下肢キネマティクスとの関係性.....	15
第2項	方法.....	15
第3項	結果.....	23
第4項	考察.....	25
第2節	大学女子サッカー選手における膝前十字靱帯損傷危険度別にみた 方向転換動作の特徴.....	28
第2項	方法.....	28
第3項	結果.....	30
第4項	考察.....	33
第3章	膝前十字靱帯損傷予防プログラム効果の検討.....	37
第1節	大学女子サッカー選手において「The 11+」がパフォーマンスおよび Drop Vertical Jump,方向転換動作時における下肢関節キネマティクス に及ぼす影響.....	38

第1項 緒言.....	38
第2項 方法.....	41
第3項 結果.....	49
第4項 考察.....	58
 第4章 総括論議.....	 66
 第5章 参考資料.....	 70
第1節 大学女子サッカー選手において外的因子が Drop Vertical Jump のキネマティクスに及ぼす影響.....	71
第2節 方向転換動作における 3次元座標値の算出方法.....	75
～Frame-DIAS Vの妥当性～	
引用文献.....	87
謝辞.....	96

第 1 章

序論

第1節 序

1-1. サッカーにおける傷害特性

サッカーは世界で最も人気のあるスポーツの一つである。2012年の時点で国際サッカー連盟 (Federation International de Football Association:FIFA) には, 208 の国と地域が加盟しており, その競技人口は約2億7千万人(その内, 約2900万人が女子選手)であると報告されている(<http://www.fifa.com/worldfootball/bigcount/allplayer.html>). 日本におけるサッカー人口は約480万人であり, 日本サッカー協会 (Japan Football Association: JFA) に登録している女子選手は4万6千人と報告されている(<http://www.jfa.or.jp/jfa/databox/index.html>). 世界および日本においても女子選手は男子選手と比較すると圧倒的に少ない競技である。

しかし, 2011年にサッカーの祭典FIFAワールドカップにおいて, サッカー女子日本代表 (なでしこジャパン) は優勝する快挙を成し遂げた影響もあり, JFAに登録している女子サッカー選手の競技人口は増加の傾向をたどっている。またサッカーだけにとどまらず, 日本女子選手の競技レベルの向上には目を見張るものがあり, 世界大会において表彰台に上がる選手が増えている。

その一方で, 近年では女子選手のスポーツ参加の増加に伴い, 女子選手におけるスポーツ傷害が増大していることが問題となっている。特に女子サッカーにおけるスポーツ傷害の発生率は, 他の競技に比べ高いことが報告されている[1]。2008年の北京オリンピックにおいて, 最も傷害の多いスポーツは女子サッカーであり[2], アメリカの大学生を対象とした傷害調査においては, 女子サッカーが最も傷害発生が多く, 膝前十字靱帯 (Anterior Cruciate Ligament:以下ACL) 損傷の発生率が特に高いことがいわれている[3]。ACL損傷の発生頻度を男女で比較すると女性は男性の4~6倍であると報告されている[3][4][5][6]。また日本のサッカーにおける傷害調査においても, サッカーは他のスポーツ競技と比べ傷害発生率が高いといわれている[73]。以上よりACL損傷の

発生率が高い女子サッカーにおいて、ACL 損傷の予防対策の確立は急務とされている。

1-2. 膝前十字靱帯

ACL は大腿骨外側上顆の顆間窩側から脛骨前顆間区へ、後外側から前内方に捻れながら走行している膝関節内靱帯である。全長約 35mm で実質中央部の横径は 10mm である [7]。ACL は大腿骨外側顆起始部後上部から ACL 脛骨付着部の前内側に位置する前内側線維束 (Anteromedial Band : AMB) と大腿骨外側顆 ACL 起始部前下部から ACL 脛骨付着部の脛骨関節面に対し垂直に近い状態で走行し、ACL 脛骨付着部の後外側に位置する後外側線維束 (Posterolateral Band : PLB) に分けられる [8] (Fig. 1-1)。ACL の主な作用としては、①大腿骨に対する脛骨の前方制動 (約 80%) [9]、②膝屈曲時に大腿骨顆部が後方に転がる際に大腿骨顆部を前方へ滑らせる、③膝伸展位での生理的な脛骨顆部の外旋を誘導 (内旋制動) である。各線維の機能としては、AMB は膝関節伸展位 ($0\sim 30^\circ$) にて緊張し、再び屈曲位にて緊張が増す。一方、PLB は膝関節伸展位 ($0\sim 30^\circ$) にて緊張が増すと報告されている [8, 10, 11] (Fig. 1-2)。また前方引き出し力に対する AMB、PLB それぞれの線維への負荷は膝伸展位では 47%を AMB が、53%を PLB が制動しており、膝屈曲 90° では AMB が 75%を担っている [12]。また前方引き出し力、内旋や外反の合力や内・外反モーメントに対しては、主に AMB が制動しており、内旋モーメントには PLB が主に制動していると報告されている [12]。

このような機能解剖に加え、ACL には 3 種類の固有受容器 (ルフィニ終末、パチニ小体、自由神経終末) が存在することが明らかになっており [13]、これら固有受容器が刺激されることで関節最終可動域における制動 [14] や筋の剛性を高め関節の安定性へ寄与する役割 [15] が報告されている。

ACL を損傷することは、これらの機能が破綻し、膝関節に不安定性を生じる。そのため、スポーツ活動中において膝崩れ (giving way) や膝過伸展を招き、スポーツ活動の継続が困難になる傷害特性をもつ。

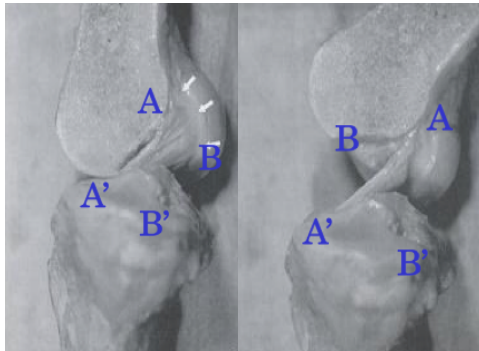


Fig. 1-1 Fiber orientation of ACL
AA' : anteromedial band
BB' : posterolateral band

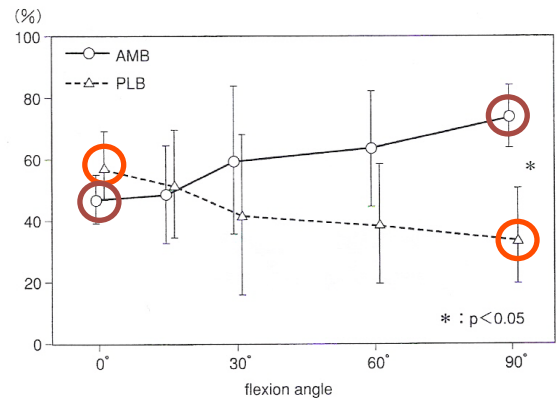


Fig. 1-2 Functional role of the ACL fiber bundles
(Modified from Mae, 2011)

1-3. 膝前十字靱帯損傷の疫学的知見

傷害の病態を把握するには、疫学、基礎科学、治療および予防効果に関して科学的根拠に基づいた理解が重要である。ACL 損傷は、これまでの疫学調査において、約 70%が非接触型損傷であり [3, 16], 女性に好発する（男性の 4～6 倍） [3] [4] [5] [6] というコンセンサスが既に得られている。また ACL 損傷は、サッカーやバスケットボールにおける着地や方向転換動作時に多発する [16] [17] ことが明らかとなっている。しかしサッカーにおける ACL 損傷は着地時よりも方向転換動作時に好発していることが報告されている [3, 17] (Fig. 1-3) 。このような基礎研究から、これまでの報告では女性に好発するという疫学的事実をもとに性差について検討した研究が多くみられ、解剖学的構造, 神経筋機能, ホルモン因子, 動作特徴からみたバイオメカニクスの知見などの側面から検討がなされている。

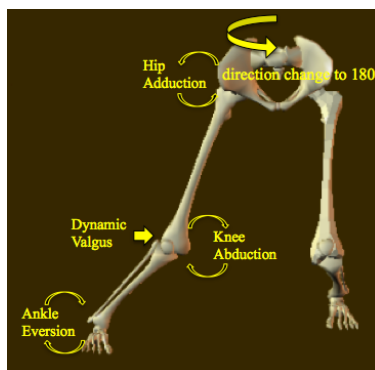


Fig. 1-3 Dynamic valgus during direction change to 180°

1-4. 膝前十字靱帯損傷のバイオメカニクスの知見

これまで, ACL 損傷の危険因子を明らかにするために, 解剖学因子, 神経・筋因子, バイオメカニクスの因子といった内的因子および環境因子である外的因子について検証されてきた. 内的因子においては女性に好発するという疫学的事実をもとに性差について検討した報告が多くみられる. 下肢アライメントは, 女性は男性に比べ ACL に負荷を与えやすい解剖学的構造をしており [14, 18-20], 動作時 (着地・方向転換) の筋活動に関しては, 女性は男性よりもハムストリングスの筋活動が小さいため ACL に力学的伸張ストレスを与えやすいことが報告されている [21, 22].

ACL 損傷の発生機序を解明するためには, これらの報告に加え, 特にバイオメカニクスの観点から理解することが重要である. ACL 損傷の受傷肢位に関して, これまで質問紙やビデオ調査を用いて分析されており, その結果, ACL 損傷の受傷肢位は, 膝外反位であることが明らかにされている [7] [23] [24] (Fig. 1-4).

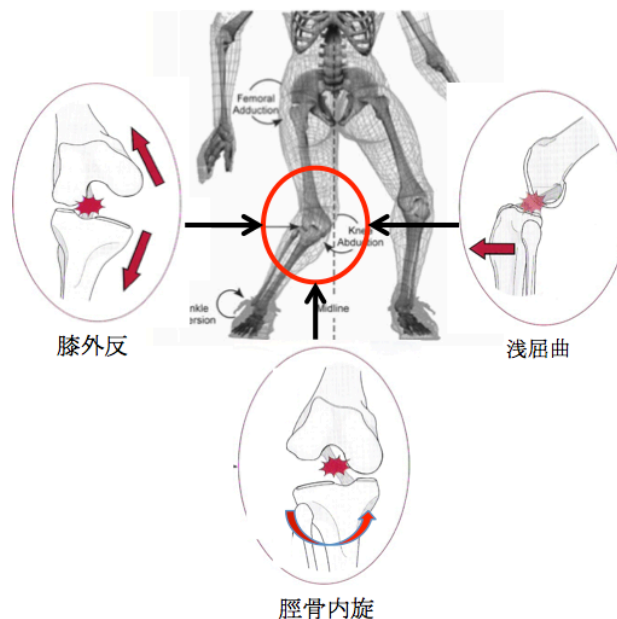


Fig. 1-4 Mechanism of ACL injury (Modified from Hewett, 2005)

しかしこれらの結果は定性的であるため、ACL 損傷のメカニズムは不明な点が残されている。ACL 損傷の発生機序を明確にするには、実際に ACL 損傷が起こる場面を正確に再現し定量化する必要があるが、それは容易ではない。現状では受傷機転となる動作を再現し、その動作特徴から ACL 損傷の発生機序や発生要因を推定するしかない。そのためこれまでの研究は、実験室環境下において ACL 損傷場面を想定し、方向転換やジャンプ着地を課題動作とした運動学的解析が行われている。その結果、接地直後早期に生じる膝外転角度および膝外転モーメントの増大が ACL 損傷の危険因子である[17]という一定のコンセンサスが得られている (Fig. 1-5) 。さらに近年では前向き調査において、高い膝外転モーメントを予測する指標が開発され[25]、潜在的に ACL 損傷の危険度を把握することが可能となっている。また ACL 損傷の受傷肢位に関しても、ACL 損傷場面のビデオ映像から Poser を用いた解析によって、ACL 損傷は接地後約 40ms 付近で起こり、急激な膝外反と内旋が生じ損傷に至ると報告されている[26]。このように、ACL 損傷の発生機序を理解するにあたって、計測機器の発達に伴い、定量化することが可能になり、より詳細な結果および新たな知見を得ることが可能となった。

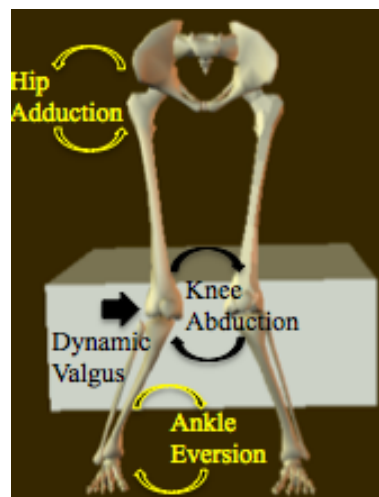


Fig.1-5 Knee abduction angle during drop vertical jump

1-5. 前十字靱帯損傷の予防プログラム

スポーツ整形外科の発展によって、ACL 損傷に対する診断、外科的手術といった治療は飛躍的進歩を遂げた。近年の医学は、治療から予防へと転換しつつあり、スポーツ医学においてもスポーツ外傷・障害において治療から予防へと転換している。ACL 損傷は欧米を中心に「Prevention（傷害予防）」という概念が世界規模で浸透し、これまで世界各国で ACL 損傷予防トレーニングが考案され、その効果を上げている。各プログラムによってその構成は異なるものの、その大半は ACL 損傷の発生率が減少したと報告している[27] [28] [29] [30] [31-34]。また予防プログラムによって ACL 損傷の発症がなぜ減少するのか、その要因を客観的に提示するために、介入前後において ACL 予防プログラムが下肢キネマティクスやキネティクスに及ぼす影響を検討した報告もいくつかみられる。予防プログラムの介入によって、着地動作時の膝屈曲角度は増大し、膝外転角度および床反力が減少したと報告されており[35-37]、予防プログラムは ACL 損傷予防に効果がある可能性が示された。しかし、これらの報告は予防プログラム介入による ACL 損傷発生率と身体キネマティクスの変化を個々に調査しており、予防プログラムが総合的に有効であるか否か結論がでていない。

そのため、近年では傷害予防を目的とした研究を行う際の基本概念として、Van Mechelen ら[38]の提唱した4段階（Fig. 1-5）に則り行われる研究が多い。まず外傷・障害の発生頻度および重症度を調査し、その競技において何が問題となる傷害であるか認識する。次に傷害発生のメカニズムやリスクファクターについて解明する。その上で予防介入を行い介入効果について検証する。そして最後に介入効果について再度疫学調査を行い、介入効果について客観的に検証するというものである。

この検証方法は、今後傷害予防プログラムの普及を推進するにあたり、傷害予防プログラムの実践によって傷害、特に ACL 損傷の発症がなぜ減少するのか、その要因を客観的に提示することは近年主流になっている Evidence Based Medicine（科学的根拠に基づく医療サービス）の提示の観点からも必須であると考えられる。

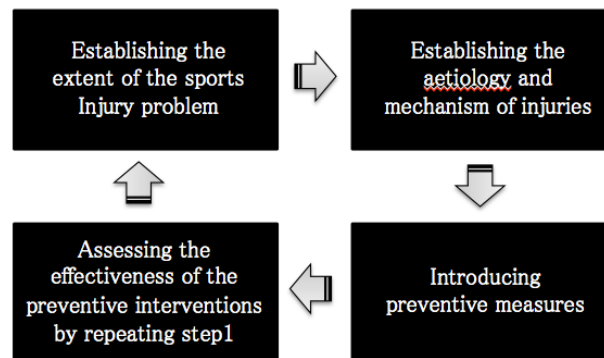


Fig.1-5 The Sequence of Prevention of Sports Injuries(Van Mechelen et al 1987)

1-6. 先行研究の問題点

これまでの基礎研究によって、ACL 損傷の疫学, 発生機序, 危険因子, 予防効果は証明されつつあるが, いまだ不明な点が多い。

特に ACL 損傷のバイオメカニクスの因子の解明に向けた研究は, その多くが横断的研究にとどまり, 動作中における ACL 損傷危険肢位が将来の ACL 損傷につながるか否か十分な科学的検証はなされていない。また予防効果の検証における研究においては, 予防プログラムが ACL 損傷予防に効果があると示される一方で, 他の報告では ACL 損傷予防プログラムの介入前後において身体キネマティクスは改善しないとの報告もあり, ACL 損傷予防プログラムの介入が運動中の体幹・下肢キネマティクスに及ぼす影響について一定のコンセンサスが得られていないのが現状である。

さらに近年では, 実験室環境下における結果と実際に発生している ACL 損傷の受傷場面との間にはギャップがあるとの報告がなされている[39]。これらのこれらの要因として, これまでの動作解析が実験室環境下にて測定されてきており, 実験室環境下における測定では, スペースの問題, サーフェイスやシューズの違いから動作（特にスピード）に制約が加わる場合が多く, 競技動作のバイオメカニクスの特徴を十分に評価できていない可能性が考えられる。したがって通常のトレーニング環境下において, 競技動作特

有の動きを評価することは, ACL 損傷のバイオメカニクスの危険因子を理解する上で有益な情報になると考える.

以上を踏まえて本論文では, 女子サッカーにおいて, ACL 損傷の発生率が高いという疫学的事実に基づき, サッカーにおける受傷メカニズムの解明と ACL 損傷の予防における科学研究を進めていく. 特に通常のトレーニング環境下でサッカー特有の動作である最大努力での方向転換動作を動作試技として予防介入の効果検証を行い, ACL 損傷予防の上で有益な情報を提示したい.

第2節 本論文の目的, 構成

ACL 損傷の治療法は 1970 年代より飛躍的に進歩した. しかし ACL 損傷後は, 外科的手術療法やリハビリテーションによって長期的な競技離脱が余儀なくされ, その後の競技力に大きく影響を及ぼす. そのため, 世界各地で予防対策の確立が急務として考えられている. 予防するにあたって ACL 損傷の疫学側面, 発症メカニズム, リスクファクター, 予防トレーニングの介入効果における理解が重要である.

疫学調査によって ACL 損傷は女性においてサッカーやバスケットボールに好発するスポーツ傷害である [3] [4] [5] [6] [17] というコンセンサスは得られている. しかし, バイオメカニクスの側面や予防プログラムの介入効果においては不明な点が多い.

そこで本研究では, 関東大学女子サッカー 1 部リーグに所属する選手を対象に, 通常のトレーニング環境における動作分析 (ACL 損傷危険率予測指標およびサッカー特有の動作) から, ACL 損傷予防トレーニングの効果を科学的に検証することを目的として研究を進めた.

研究 1 (第 2 章第 1 節) では ACL 損傷危険率予測指標から算出される ACL 損傷危険率とサッカー特有の動作である 180° 方向転換動作時の膝外転角度 (他のキネマティクスも含めて) との関連性を検証した. (第 2 章第 2 節) では, ACL 損傷危険度別に 180° 方向転換動作時の体幹・下肢キネマティクスの違いについて検証した.

研究 2 (第 3 章) では ACL 損傷予防プログラムの効果について検討を行った. サッカーにおける傷害予防には国際サッカー連盟 (FIFA) の医療評価研究センター (The FIFA Medical Assessment Research Center : F-marc) がサッカーに多い傷害を予防するためのプログラム「The 11+」を提唱している. そこで「The 11+」が ACL 損傷危険率予測指標および方向転換動作時の体幹・下肢キネマティクスに及ぼす影響について検証した.

第 4 章においては第 2 章および第 3 章までの実験を踏まえ, 本研究で得られた新しい知見について, ACL 損傷の予防について考察を行った.

第 5 章においては, 第 1 節にてトレーニング環境にて ACL 損傷予防プログラムの効果を検証するにあたって, 実験室環境とトレーニング環境の違いが ACL 損傷危険予測指標に与える影響について検証した.

また本研究では方向転換動作を 3 次元解析するにあたって, Frame-DIAS を用いて 3 次元座標値を算出している. そこで第 2 節では, Frame-DIAS によって算出した 3 次元座標値の妥当性を検証するために, ゴールドスタンダードである 3 次元動作解析装置 VICON から得られる 3 次元座標値と比較検証した.

なお, 本論文において膝関節前額面の運動は内外転と表記した. ただし, 2 次元評価を行った場合のみ膝外反と表記した.

第 2 章

膝前十字靱帯損傷バイオメカニクスの リスクファクターの検討

第1項 緒言

ACL 損傷の発生機序の解明に向けて、特にバイオメカニクスの観点から理解することが重要である。これまで、実験室環境下において方向転換やジャンプ着地を課題動作とした運動学的解析が行われており、その動作特徴から ACL 損傷の発生機序や発生要因を推定する報告がなされている。ACL 損傷の危険因子として、先行研究において屍体膝を用いた実験によって、膝外反、脛骨内旋、脛骨前方引き出しの増大に伴い ACL の歪みが増大することが報告されている [40] [41, 42]。また Hewett ら [17] は、前向き調査において着地時の膝外転モーメントの増加が ACL 損傷の危険因子であることを報告している。以上より接地直後早期の膝外転角度および膝外転モーメントの増大と ACL に加わる力学的伸張ストレスの増大は、密接な関係にあることが推察される。しかし、方向転換動作においては、接地後早期に膝外反角度が増大する報告 [21, 43, 44] や、一方で、反対に膝内反角度が増大する [45] 報告があり、一定のコンセンサスが得られていないのが現状である。これは方向転換動作がジャンプ着地動作とは異なり、実験室環境下における測定では、スペースの問題、サーフェイスやシューズの違いから動作（特にスピード）に制約が加わる場合が多く、競技動作のバイオメカニクスの特徴を十分に評価できていない可能性が考えられる。したがって通常のトレーニング環境下において、競技動作特有の動きを評価することは、ACL 損傷のバイオメカニクスの危険因子を理解する上で有益な情報になると考える。

近年では Myer ら [25] が家庭用ビデオカメラを用いた 2 次元撮影による Drop vertical jump（以下 DVJ）時の運動学的解析（膝内側変位量、膝屈曲角度変位量）および身体特性（脛骨長、体重）、神経筋機能（Quadriceps/Hamstring：QH 比）の結果を総合的に評価し、数値化することによって、ACL 損傷の危険因子とされる高い膝外転モーメント（ $> 21.74\text{Nm}$ ）を約 8 割予測できる ACL 損傷危険率予測指標を開発した [46]。ACL 損傷危険率予測指標の検者間信頼性は $\text{ICC} = 0.60\text{--}0.78$ であり、脛骨長、膝内側変位量、膝屈曲

角度変位量における 3 次元計測との妥当性は各々 $ICC = 0.95, 0.66, 0.99$ である。また高い膝外転モーメント ($>21.74Nm$) の抽出に関しては感度が 77%, 特異度が 71%と報告されており [47], 信頼性の高い予測指標と言える。つまり ACL 損傷の危険率を評価する上で, スポーツ現場への応用が非常に簡易的で効率性および有用性の高いツールであるといえる。ただし, ACL 損傷の予防の観点からサッカーのように着地よりも方向転換時に多発する [3, 17] 競技においては, ACL 損傷危険率予測指標によって ACL 損傷の危険率が高いと予測された選手がトレーニング環境下において方向転換動作を行った際にも同様に危険率が高い動きとなるのかを検証する必要がある。

そこで本研究では, 大学女子サッカー選手を対象に, ACL 損傷危険率予測指標を用いて算出した ACL 損傷危険率とトレーニング環境下における方向転換動作時の体幹・下肢キネマティクスとの関係性を検証し, ACL 損傷 High-risk と予測された選手の方向転換動作時の体幹および下肢キネマティクスにおける時系列変化の特徴を明らかにすることを目的とする。また方向転換動作時における膝外転角度と他のキネマティクスとの関連性について検証し, 膝外転の増大に関係する他の因子について明らかにする。

第1節 大学女子サッカー選手における膝前十字靱帯損傷危険率と方向転換 動作時における体幹・下肢キネマティクスとの関係性

第2項 方法

1. 対象

関東大学女子サッカーリーグ1部に所属する女子サッカー選手 35 名 (Table. 2-1-1) を対象とし, 過去半年以内の下肢傷害の既往がある選手は除外対象とした. 対象者の身体特性は表 1 に示す. 対象者には研究の目的, 方法, 倫理的配慮等に関する説明を十分にを行い, 文書にて参加の同意を得られた者を対象とした. また, 本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した.

Table. 2-1-1 Physical Characteristics

Age (year)	Height (cm)	Body Weight (kg)	Soccer experience (year)
19.3 ± 1.4	159.1 ± 4.1	55.1 ± 6.6	10.8 ± 3.5

2. 動作課題

A. Drop vertical jump (Fig. 2-1-1)

DVJ 測定[48]では, まず高さ 31cm の台の上に 35cm 幅の線を引いてそこに足を合わせるようにして立つことを指示した. その後, 任意のタイミングにて台から降り, 地面に着地後すぐにバスケットボールをリバウンドするように最大に垂直ジャンプを行わせた. 計測は 1 ~ 2 回の練習を行ったあと, 3 回成功するまで行った. 試行 3 回の平均値を求め, 個人の値とした.

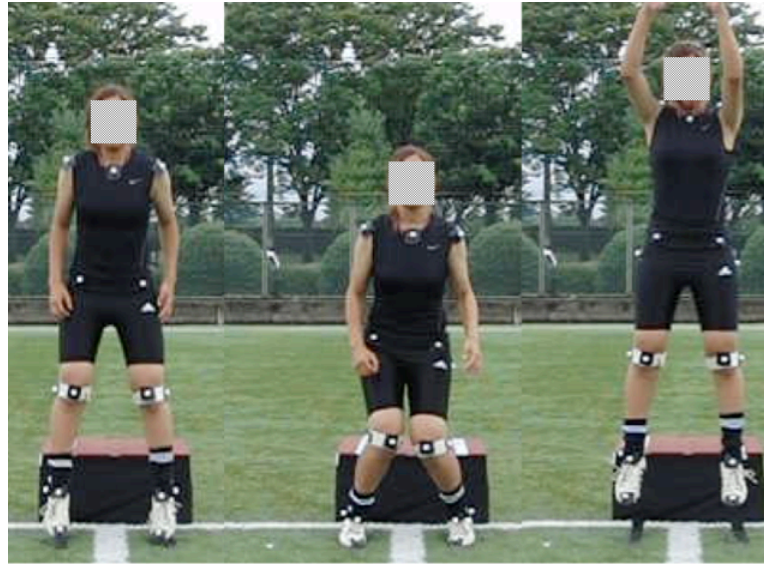


Fig. 2-1-1 Drop vertical jump

B. 10m×5 shuttle run (以下:SR) (Fig. 2-1-2, Fig. 2-1-4)

方向転換動作課題には JFA フィジカルフィットネスグループが提唱する SR を用いた [74]. SR はスタンディングでスタートラインに立ち, 選手の任意のスタートで 10m 走行後, スタートラインより 10m 先に引いたラインを足で超えるか踏むかして進行方向に対して 180° の方向にターンを行い, スタートラインに戻り再び 180° ターンを行う動作を合計 2 往復半行うものである. ターンは最初の 180° ターンを右脚にて行わせ左右両方で踏めるよう常に同一方向を向き方向転換を行うように指示した. 光電管を用いて最初の 180° ターンにおける進入タイム (スタート地点より 8.5m 地点) および 10m×5 のスプリントタイムを記録した. 計測は 1～2 回の練習を行ったあと, フィジカル測定の規定に準じて試技を 2 回実施させタイムは良い方を採用し, 動作においては 2 回の平均値を測定値とした.



Fig. 2-1-2 10m×5 shuttle run

3. 動作計測

A, Drop vertical jump

DVJ 測定には, 3 台のハイスピードカメラ (EX-FH20, CASIO 社) を用いて, 先行研究[48]に従って台に引いた足幅 35cm の中心から台の前方 30cm より前方 4m および左右 4m の位置にカメラを設置し, 前額面・矢状面の 3 方向からサンプリング周波数を 210Hz として 2 次元撮影を行った (Fig. 2-1-3). 全てのカメラの三脚には水平計を装着し, 動作を水平に撮影できるように設定した. 座標値および角度を算出するために, 測定実施前に対象者には皮膚マーカを貼付した. 皮膚マーカの貼付位置は, 大腿骨大転子 (右・左), 膝蓋骨中央 (右・左), 膝関節外側裂隙 (右・左), 腓骨外果 (右・左) の計 8 ヶ所とした (Fig. 2-1-5).

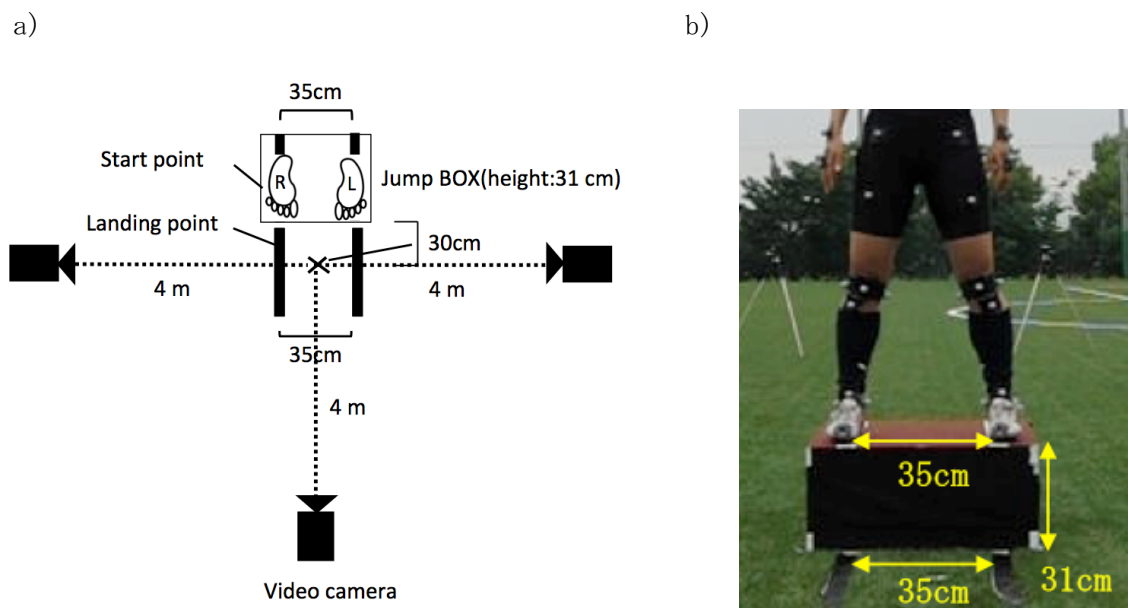


Fig. 2-1-3 Drop vertical jump

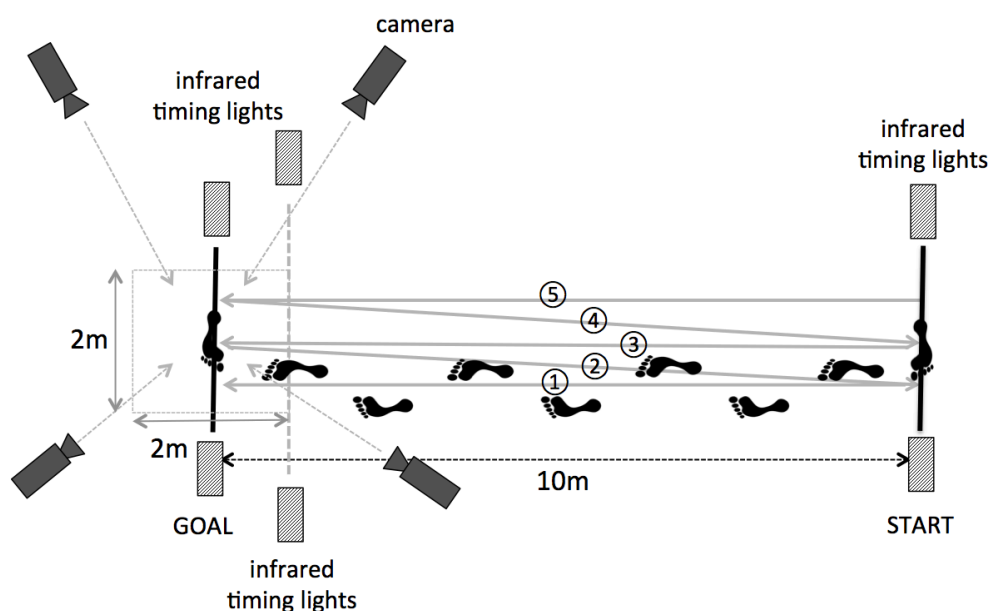
a) Camera placement, b) Details of the box size

B. 10m×5 shuttle run

動作撮影にはハイスピードカメラ (EX-F1, CASIO 社) を 4 台用いてサンプリング周波数を 300Hz にて撮影した. 4 台のカメラを同期するために同期センサーを用いた. キャリブレーションの範囲は 2m×2m とし, 前後左右に 1m 間隔で計 9 箇所, 高さは 50cm 間隔で計 5 カ所 (0cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm) の合計 45 カ所とした (Fig. 2-1-4). 座標値および角度を算出するために, 測定実施前に対象者には皮膚マーカを貼付した. 皮膚マーカの貼付位置は, 肩峰 (右・左), 胸骨上縁, 仙骨, 上前腸骨棘 (右・左), 大腿骨大転子 (右・左), 膝蓋骨中央 (右・左), 膝関節外側裂隙 (右・左), 膝関節側内側裂隙 (右・左), 腓骨外果 (右・左), 脛骨内果 (右・左), 踵骨 (右・左), 第 2・3 中足骨頭中央 (右・左) の計 22 点とした (Fig. 2-1-5).

すべての測定に際してサッカーの競技場所である人工芝で, 普段履きなれたスパイクを着用させて測定した.

a)



b)

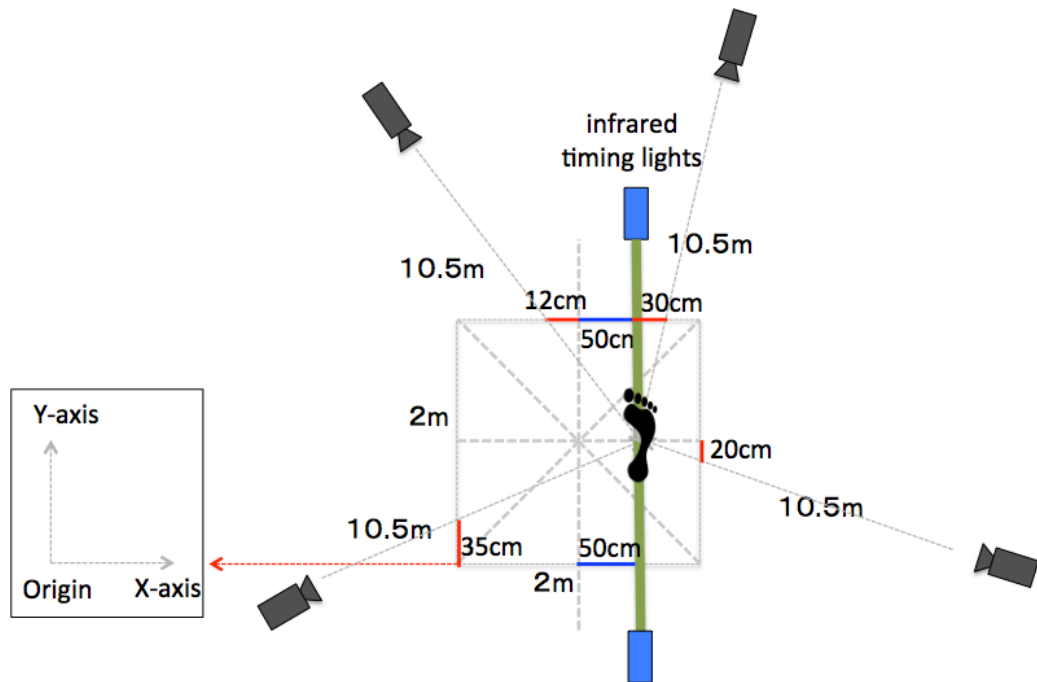


Fig. 2-1-4 Experimental Diagram of 10m×5 shuttle run

a) Setting, b) Camera placement



Fig. 2-1-5 The locations of markers

4. データ解析

膝外転モーメントの増加は, ACL 損傷の危険因子であり, 先行研究において, カッティング時の膝外転モーメントは利き足の方が非利き足に比べ大きいと報告されている[49]. 本研究では, ACL 損傷危険度が高い可能性のある利き足(右脚)を DVJ および SR の解析対象とし, 利き足が左脚の選手に関しては SR 測定において除外対象とした.

A. Drop vertical jump

フリーソフト Image J (National Institute of Health, USA) を用いて膝内側変位量および膝屈曲角度変位量を計測した. 膝内側変位量は接地直前の膝蓋骨中心の X 座標 (X_1) から着地後の最大膝内側変位時の X 座標 (X_2) との差を算出した. 膝屈曲角度変位量は, 大転子, 膝関節外側裂隙, 外果のなす角を膝屈曲角度として, 接地直前の膝屈曲角度 (Θ_1) から着地時の最大膝屈曲角度 (Θ_2) との差を算出した (Fig. 2-1-6).

ACL 損傷危険率予測指標を用いて, 脛骨長, 膝内側移動量, 膝屈曲角変位量, 体重, QH 比の値より, ACL 損傷危険率を求めた. 先行研究に従い, 脛骨長は膝関節外側裂隙から腓骨外果までとし, QH 比は推定式 (体重 $\times 0.01 + 1.10$) を用いて算出した[48]. 算出方法は, 指標上の脛骨長, 膝内側移動量, 膝屈曲角変位量, 体重, QH 比それぞれのポイントの合計を求め, probability of high knee load (以下: ACL 損傷危険率) を算出した (Fig. 2-1-7).

また解析の再現性検討のため, 検者内信頼性として級内相関係数 ICC (1, 1) を求め, 検者間信頼性を検討するために, 級内相関係数 ICC (2, 1) を求めた. 検者内の信頼性を検討するために, 同一検者で 3 回実施し, 検者間の信頼性を検討するために, 2 名の異なる検者にて 1 回ずつ実施した.

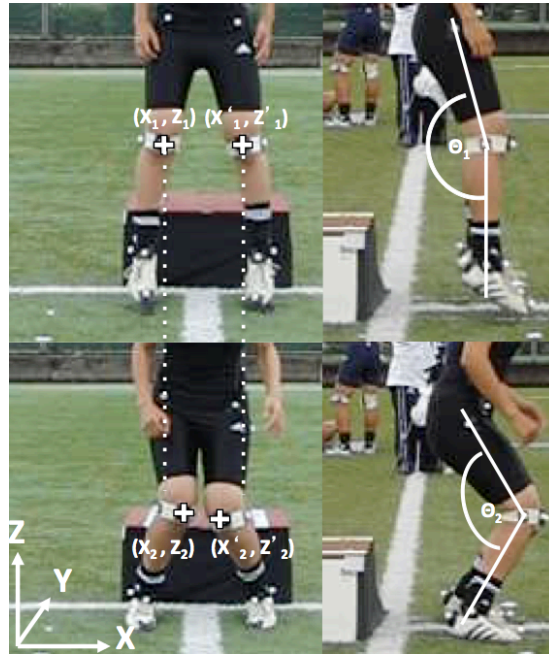


Fig.2-1-6 Kinematics calculation method at the DVJ

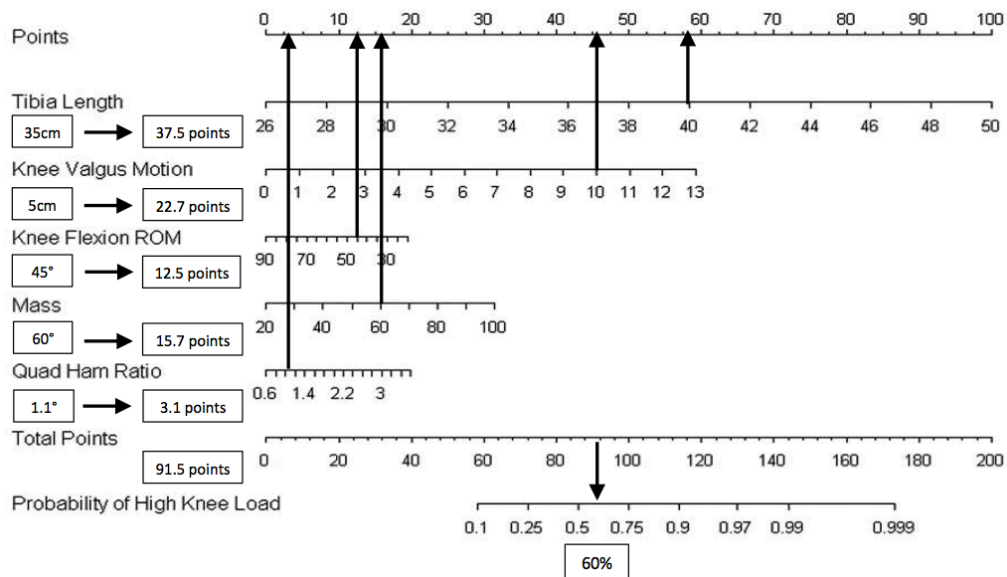


Fig.2-1-7 ACL injury risk prediction tool (Quote from the literature 8)

Each of the five predictors (Tibia length (cm), knee valgus motion (cm), knee flexion ROM (deg), body weight (kg), QH ratio) provides on the 'points' axis at the top of the diagram. All of the recorded 'points' measured using this method are then summed, and this value is located on the 'total points' line with a straight edge. A vertical line drawn down from the 'total points line' to the 'probability line' identifies the probability

B. 10m×5 shuttle run

ハイスピードカメラで撮影した動画を動画処理ソフト(EDIUS NE03, Grass valley 社)を用いて出力形式を MOV から AVI に変換するために動画処理を行った後, 動作解析ソフト Frame-DIAS V (DKH 社)に取り込んだ. 皮膚マーカの軌跡は, 15Hz のカットオフ周波数で low-pass Butterworth デジタルフィルタを通してフィルタ処理を行った後, 貼付した皮膚マーカの 3 次元座標値を算出した. 算出した 3 次元座標値より体幹外方傾斜角度, 股関節屈曲/内外転角度, 膝屈曲/外転角度の時系列変化を接地前 50ms から接地後 150ms まで求め, 静止立位からの変位量を算出した. 股関節屈曲/内外転角度, 膝屈曲/外転角度は, オイラー角の定義に基づき身体座標系からの角度を算出した. 体幹外方傾斜角度は, 左右上前腸骨棘の midpoint から左右上前腸骨棘に向かうベクトルと左右上前腸骨棘の midpoint から胸骨上縁に向かうベクトルとのなす角として算出した. 股関節・膝屈曲角度は屈曲方向を(+), 股関節・膝外転角度は外転方向を(+), 体幹外方傾斜(右側方傾斜)角度を(+), として表記した. また接地の規定は, 足先または踵に貼付した皮膚マーカの Z 座標が最下点になった地点とした.



Fig. 2-1-8 10m×5 shuttle run

5. 統計処理

ACL 損傷危険率, 膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量と SR における最大膝外転角度, 最大膝外転角度における体幹外方傾斜, 股関節屈曲/外転, 膝屈曲角度との関係性には Pearson の相関係数を用いた. 統計解析ソフトには SPSS 21.0 J for Windows を用い, 統計学的有意水準は 5%未満とした.

第3項 結果

DVJ における ICC(1, 1)は, 膝内側変位量 0.99, 膝屈曲変位量 0.93 であった. また ICC(2, 1)は, 膝内側変位量 0.99, 膝屈曲変位量 0.98 であった (Table. 2-1-2) .

ACL 損傷危険率および膝内側変位量と SR における最大膝外転角度との間には高い正の相関関係が認められた ($r=0.699, p<0.001, r=0.620, p<0.001, n=35$) (Table. 2-1-3).

また ACL 損傷危険率と膝内側変位量, 最大外転角度における体幹外方傾斜角度との間においても, 正の相関関係が認められた ($r=.493, p<0.01, r=.432, p<0.01, n=35$) . (Table. 2-1-4) .

SRにおける最大膝外転角度と最大外転角度における体幹外方傾斜角度との間には, 中等度の正の相関がみられた ($r=.616, p<0.001, n=35$) .

Table. 2-1-2 95% Confidence Intervals(ICC(1, 1)) (N=35)

	ICC(1, 1)	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
Knee valgus motion	0.99	0.95	0.99
Knee flexion ROM	0.93	0.77	0.98
Hip flexion ROM	0.94	0.79	0.97
Ankle DF ROM	0.91	0.74	0.94

Table. 2-1-2 95% Confidence Intervals (ICC(2, 1)) (N=35)

	ICC(2, 1)	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
Knee valgus motion	0.99	0.95	0.99
Knee flexion ROM	0.98	0.95	0.99
Hip flexion ROM	0.94	0.79	0.97
Ankle DF ROM	0.92	0.75	0.95

Table.2-1-3 Correlation between DVJ kinematics and SR kinematics

ACL injury prediction tool \ SRC	Knee abduction (deg)	Knee flex (deg)	Hip flex (deg)	Hip abduction (deg)	Trunk lateral inclination (deg)
The probability of ACL risk risk(%)	.699**	-1.76	-.144	-.252	.493*
Knee valgus motion (cm)	.620**	-.113	-.118	-.069	.432*
Knee flex ROM(deg)	-.082	.024	-.034	.244	.344

*: p<0.01, **: p<0.001

Table.2-1-3 Correlation at the SR parameter

SRC	Knee abduction (deg)	Knee flex (deg)	Hip flex (deg)	Hip abduction (deg)	Trunk lateral inclination(deg)	Approach speed(ms)	SR time (ms)
Knee abduction (deg)	1						
Knee flex (deg)	-.036	1					
Hip flex (deg)	-.097	.533**	1				
Hip abduction (deg)	.086	.207	.003	1			
Trunk lateral inclination (deg)	.616**	.474†	.354	.010	1		
Approach speed(ms)	.117	.476**	.376	.067	.247	1	
SR time(ms)	.119	.636**	.385	.232	.219	.638**	1

† : p<0.05, **: p<0.001

第4項 考察

本研究は, Myer ら [25] によって開発された ACL 損傷危険率予測指標を用いて ACL 損傷危険率および膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量と SR における体幹および下肢キネマティクスの関係性についてトレーニング環境下で検証した.

DVJ のキネマティクスである膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量の算出にあたり, 検者内信頼性および検者間信頼性を算出した. その結果, 検者内信頼性は各々 ICC = 0.99, 0.93 であり, 検者間信頼性は各々 ICC = 0.99, 0.98 となり, 解析の信頼性は高いといえる.

本結果より, ACL 損傷危険率と SR における最大膝外転角度との間には正の相関関係が認められた ($r=0.699, p<0.001$). これは ACL 損傷危険率予測指標によって, 高い ACL 損傷危険率を示す選手は, SR において最大膝外転角度が増加することを意味する. つまり, 本結果より, Myer らによって開発された ACL 損傷危険率予測指標によって, SR における ACL 損傷危険度の高い選手を把握できる可能性があることが示唆された.

また SR における最大膝外転角度と最大外転角度における体幹外方傾斜角度の間において, 正の相関関係が認められた ($r=0.620, p<0.001$). 先行研究において, 体幹外方傾斜は膝外転角度を増大させることが報告されており [50], 本結果においても先行研究同様に膝外転角度増大には体幹外方傾斜角度の増大が関連していることが示唆された.

ACL 損傷危険率を算出するために用いる DVJ は, 両脚同時に着地およびジャンプを行うため, 体幹の側方動揺がみられにくい動作である. そのため, DVJ における膝内側変位量は股・足関節である近位関節の影響が大きく, 体幹の影響は受けにくい試技といえる. 先行研究において, ACL 損傷時には膝外転および体幹外方傾斜となっていることから, ACL 損傷の危険因子である膝外転角度の増大には, 体幹外方傾斜角度の増大が関与している可能性があることが報告されている [50]. また Eirik ら [51] は, 最大膝外転モーメントの増大は ACL 損傷の危険因子であり, side step cutting における最大膝外転モーメントには, 膝外反角度, 体幹外方傾斜角度, 進入速度, カッティング角度が影響し

ていることを報告している。つまり、動作時の膝外転は、近位関節である股・足関節だけでなく、体幹の外方傾斜の影響を大きく受けるといえる。本研究より、ACL 損傷危険率と体幹外方傾斜との間には正の相関関係が認められた ($r=.493, p<0.01$)。そのため、ACL 損傷危険予測指標は、体幹を評価するツールではないが、ACL 損傷危険率が高いということは、膝外転に影響する体幹の制動性において、何らかの関係性をもつと推察する。

本結果および先行研究より、膝外転と体幹外方傾斜との関連性には、おおむね整合性があるといえる。したがって、SR における膝外転角度と高い正の相関関係を示した ACL 損傷危険予測指標は、膝外転と関連する体幹の外方傾斜とも関連性をもつ結果になったと考える。しかし、他の研究では、実験室環境下での測定においてアプローチスピードを規定せずに行った場合、体幹の側方傾斜と膝外転には関連性が認められない可能性があると報告している [52]。これは、実験室とトレーニング環境下による測定環境の違いが大きく影響していると考ええる。実験室環境下における測定では、スペースの問題、サーフェイスやシューズの違いから動作（特にスピード）に制約が加わる場合が多い。本研究および ACL 損傷の受傷機転において共通しているものとしては、トップスピードでアプローチしていることである。つまり、トップスピードにてアプローチした際に体幹の制動をうまく行えない選手が、膝外転角度を増大させ、ACL 損傷の危険度を高めていると推察する。

本研究から、ACL 損傷危険予測指標によって算出される ACL 損傷危険率はトレーニング環境下での SR 時の最大膝外転角度と密接に関連していることが明らかとなった。また本研究のように、通常のトレーニング環境下においてサッカー特有の 180° 方向転換動作時の動作解析は、先行研究にて報告されている ACL 損傷の受傷メカニズムと類似した身体運動を評価することができることが示唆された。

しかし、本結果では、膝外転角度の増大は体幹外方傾斜の増大が原因であるとは断定できないことを考慮して、今後膝外転角度を増大させている要因について因果関係を明らかにしてしていく必要がある。

結論

本研究では, 通常のトレーニング環境下においてサッカー特有の 180° 方向転時における体幹・下肢のキネマティクスを評価した.

- ・ ACL 損傷危険率と SR 時の最大膝外転角度, SR 時の最大膝外転角度と体幹外方傾斜角度との間に正の相関関係がみられた.
- ・ 通常のトレーニング環境下において競技特有の動作解析を行うことは, 先行研究にて報告されている ACL 損傷の受傷メカニズムと類似した身体運動を評価することができると可能性が示唆された.

第2節 大学女子サッカー選手における膝前十字靱帯損傷危険度別にみた方向転換動作の特徴

第2項 方法

1. 対象

関東大学女子サッカーリーグ1部に所属する女子サッカー選手35名を対象とし、第2章第1節で用いたACL損傷危険予測指標を先行研究[46]にもとづいて、平均値から1SD以上をACL損傷High risk群（ $\geq 70\%$ ）12名、平均値より1SD以下をLow risk群（ $< 45\%$ ）11名に分類した。過去半年以内の下肢傷害の既往がある選手は除外対象とした。対象者には研究の目的、方法、倫理的配慮等に関する説明を十分に行い、文書にて参加の同意を得られた者を対象とした。また、本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した。

Table. 2-2-1 Physical Characteristics (mean $\pm$ SD)

	High risk group N=12	Low risk group N=11	P Value
Age (year)	19.7 $\pm$ 1.2	19.7 $\pm$ 1.4	ns
Height (cm)	161.4 $\pm$ 5.5	158.6 $\pm$ 5.5	ns
BW (kg)	54.5 $\pm$ 5.1	54.1 $\pm$ 5.2	ns
Soccer experience (year)	10.4 $\pm$ 2.3	10.3 $\pm$ 3.8	ns

2. 動作課題および動作計測

A. Drop vertical jump

DVJ の動作試技および動作計測の詳細は第 2 章 1 節に示した通りである.

B. 10m×5 shuttle run

SR の動作試技および動作計測の詳細は第 2 章第 1 節に示した通りである.

3. データ解析

A. Drop vertical jump

DVJ のデータ解析の詳細は第 2 章第 1 節に示した通りである.

B. 10m×5 shuttle run

SR のデータ解析の詳細は第 2 章第 1 節に示した通りである.

4. 統計処理

SR の接地前 50ms から 10ms ごとの各関節角度を Mann-Whitney U 検定を用いて 2 群間で比較し, 最大膝外転角度およびその際の体幹外方傾斜角度における High-risk 群と Low-risk 群の 2 群間比較には対応のない t 検定を用いた. 統計解析ソフトには SPSS 21.0 J for Windows を用い, 各検定の統計学的有意水準は 5%未満とした.

第3項 結果

2 群間における対象者の身体特性には統計学的有意差は認められなかった (Table. 2-2-1) .

SR における膝外転角度は, 2 群ともに接地後 2 峰性のピークをとる傾向が示された. また SR の接地前 50ms から 10ms ごとにおける膝外転角度は ACL 損傷 High-risk 群が Low-risk 群に対して高値を示し ($p<0.01$) , 特に接地後 30ms~50ms における膝外転角度は有意に高値を示した ($p<0.001$) (Fig. 2-2-1. a). さらに SR 時における最大膝外転角度は Low-risk 群に対し High-risk 群が有意に高い値を示した ($p<0.001$) (Fig. 2-2-2).

体幹外方傾斜角度においては, 2 群とも接地前から右側方傾斜を示しており, Low-risk 群は接地前 30ms にて右側方傾斜のピークを迎えており, 接地後 40ms において膝外転角度がピークを示す際には体幹外方傾斜角度が減少する軌跡を示した. 一方で, High-risk 群は接地後 30ms にてピークを示し膝外転角度のピークとほぼ同時期に起こっていた. また 150ms の全域において High-risk 群は Low-risk 群に比べ右側方傾斜が大きい値を示した ($p<0.01$) (Fig. 2-2-1. b). さらに最大膝外転角度時における体幹外方傾斜角度は Low-risk 群に対し High-risk 群が有意に高い値を示した ($p<0.01$) (Fig. 2-2-3).

股屈曲および膝屈曲角度において 2 群間では統計学的有意差は認められず, 進入タイムにおいても High-risk 群, Low-risk 群ともに有意な差は認められなかった.

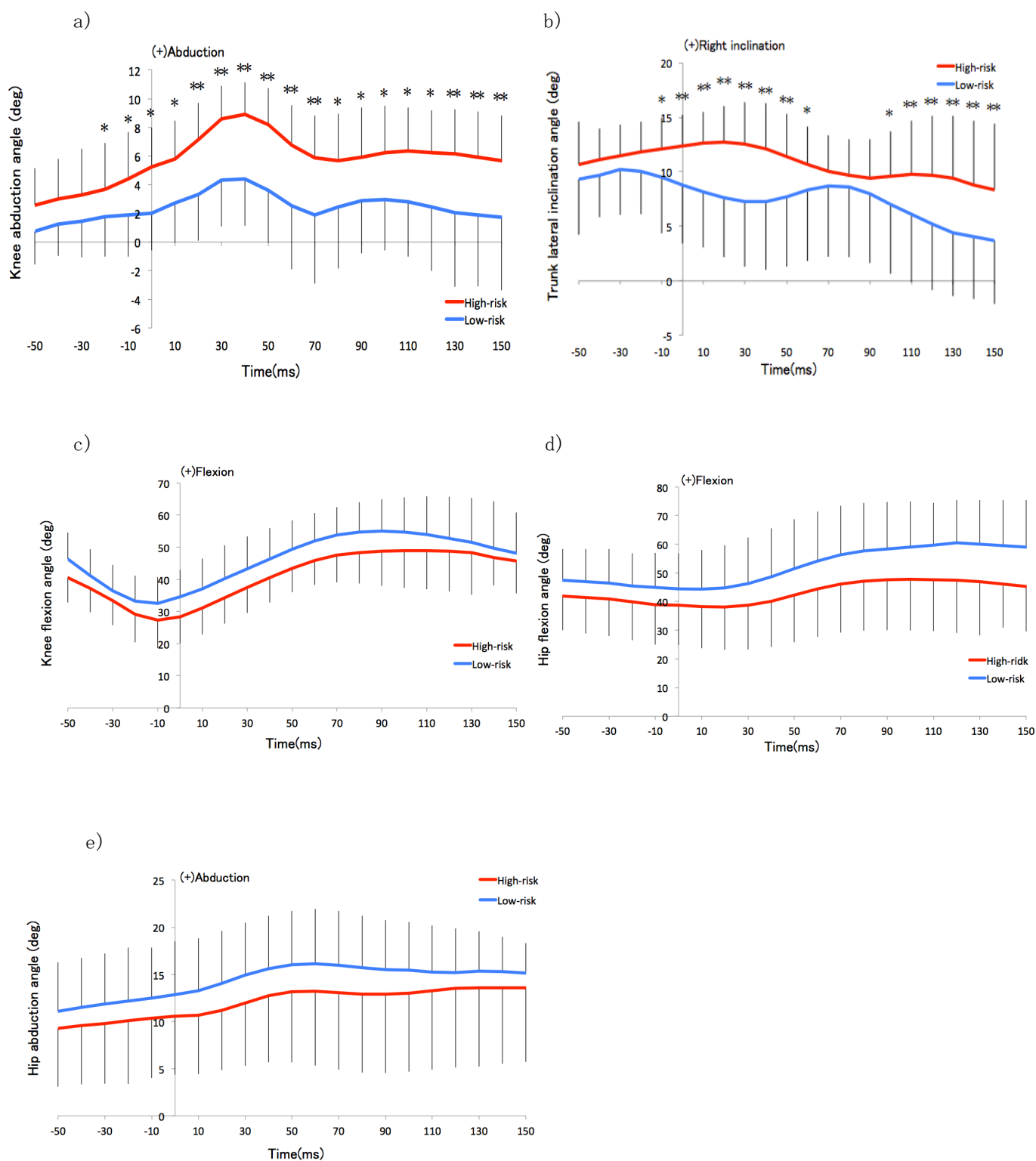


Fig.2-2-1 Comparison of the High-risk group and the low-risk group during SR

a)Knee abduction angle, b)Trunk lateral inclination angle, (c)Knee flexion angle, (d)Hip flexion angle, (e)Hip adduction angle * $p < 0.01$, ** $p < 0.001$

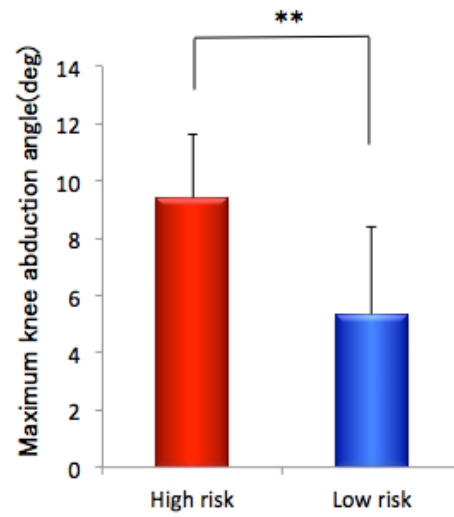


Fig.2-2-2 Comparison of High-risk and Low-risk at the Maximum
knee abduction during SR ** $p < 0.001$

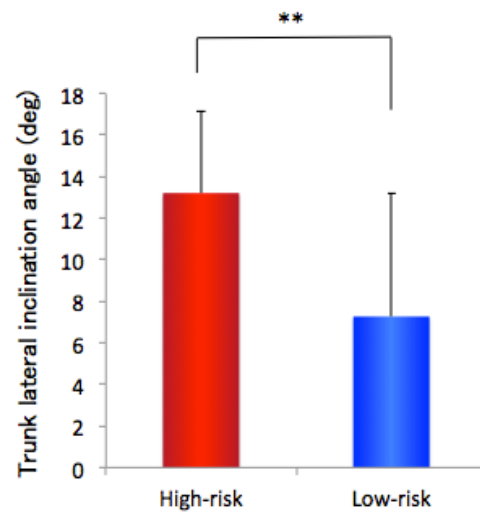


Fig.2-2-3 Comparison of High-risk and Low-risk at the trunk lateral
inclination during SR * $p < 0.001$

第4項 考察

先の報告において（第2章1節），ACL 損傷危険率と SR における最大膝外転角度との間には，正の相関関係を認めたことを報告した．ACL 損傷危険率を算出するにあたり，ACL 損傷危険率が高い選手と低い選手において SR 時の体幹・下肢キネマティクスに違いがあるか否か検証することは，ACL 損傷バイオメカニクスの危険因子を理解する上で重要である．

そこで本研究では，ACL 損傷危険率予測指標を用いて ACL 損傷 High-risk 群および Low-risk 群に分類した選手のトレーニング環境下における SR の体幹および下肢キネマティクスにおける時系列変化の特徴を2群間にて比較した．

本研究において ACL 損傷 High-risk 群および Low-risk 群の2群間における SR 膝外転角度の時系列変化は，両群とも先行研究同様2峰性のピークをとる傾向がみられ，接地後約 40ms に膝外転角度がピークとなる同様の軌跡を示した．しかし，ACL 損傷 High-risk は Low-risk に比べ膝外転角度が有意に大きく，SR における最大膝外転角度においても，ACL 損傷 High-risk 群は Low-risk 群と比較して高値を示した．ACL 損傷の受傷肢位として Olsen ら[24]は，ビデオ解析にて膝関節 5～25° 屈曲位で，5～20° 外反位であったと報告している．また Koga ら[26]は Poser を用いた解析によって ACL 損傷は接地後約 40msec 付近で起こり，急激な膝外反と内旋が生じ損傷に至ると報告しており，接地直後に生じる膝外反は，ACL 損傷に関与している可能性が高いことが明らかになっている．本結果において，ACL 損傷危険率が高いと抽出された選手は，SR においても膝外転角度が接地直後に増大する傾向にあり，ACL 損傷危険度が高まる可能性が示唆された．先行研究において DVJ や SR は減速から逆方向に運動方向を転換し，加速する同様の複合運動であり，カッティング動作において膝外転モーメントと膝外転角度は正の相関関係があると報告されている[40]．以上より ACL 損傷危険予測指標を用いた際に ACL 損傷危険率が高い High-risk は，SRC においても膝外転モーメントが増大したと考えられ，高い膝外転角度を示したと推察する．

ここで膝外転角度を増大させる要因として体幹外方傾斜角度について考えてみる. High-risk 群の体幹外方傾斜角度のピークは, 膝外転角度ピークと同時期に起こっている. その一方で Low-risk 群は接地前にピークに達し, 接地後の膝外転角度ピーク時には体幹外方傾斜 (右側方傾斜) は減少し, 正中方向へ戻る動きが観察された. 先行研究において, ACL 損傷の受傷場面をビデオ解析した結果, ACL 損傷時には膝外転と体幹の外方傾斜が生じていることから, ACL 損傷の危険因子である膝外転は体幹の外方傾斜が関与していると報告されている [50]. 本結果においても High-risk 群の軌跡をみると支持脚の膝外転角度の増大と支持脚外方方向への体幹外方傾斜角度の増大は同時期に生じており, 第 2 章 1 節にて述べたように膝外転角度の増大と体幹外方傾斜角度の増大との間には関連性がある. しかし, どちらが原因結果なのかは判断できない. そこで Low-risk 群の軌跡をみると, 接地前の体幹外方傾斜角度が小さいことに加え, 接地前にピークが生じており, 接地後の膝外転角度のピークも小さい. つまり接地前に体幹外方傾斜を制動することで接地後の膝外転角度の増大を抑制していると考ええる. したがって, High-risk 群の接地後の膝外転角度ピークが Low-risk 群と比較して増大した要因としては, 接地前の体幹外方傾斜角度が大きいことに加え, 体幹外方傾斜角度のピークが接地後に起こったため, 膝外転角度の増大が引き起こされたと考ええる. 以上より, 接地後の膝外転角度の増大を抑制するためには, 接地前に体幹の外方傾斜 (右側方傾斜) をいかに制動できるかが重要であると推察する.

本結果では ACL 損傷危険率にて SR における膝外転角度の特徴を予測できる可能性が示唆されたが, 先行研究において, ACL 損傷危険率を算出するために用いている DVJ と side step cutting における膝外転角度および膝外転モーメントの比較では, 相関は認められなかったと報告されている [53]. また実験室環境下での測定において SR を用いた研究では, アプローチスピードを規定せずに行った場合, 体幹の外方傾斜角度と膝外転角度には関連性が認められない可能性があると報告している [52]. これらの報告に共通していることは, 実験室環境下での測定ということである. 実験室環境下での測定で

は、アプローチスピードに制約が大きくなり、体幹の動揺が出現しにくい可能性がある。そのため、膝外転角度増大と体幹外方傾斜角度との間に関連性がみられなかったと推察する。我々は、実験室内での測定と人工芝における測定が算出される関節角度に影響を及ぼすか DVJ を用いて検証した（参考資料 1）。その結果、人工芝における測定では、実験室測定よりも膝内側変位量には有意差は認められなかったが、膝屈曲角度変位量は有意に減少した。つまり、異なったサーフェイスによって算出されるキネマティクスに違いが生じることがわかった。アプローチスピードを要さない DVJ でさえ、下肢キネマティクスに影響を与えるため、スピードを要す SR においては体幹および下肢キネマティクスが実験室測定と異なる可能性がある。よって通常のトレーニング環境下にて動作解析を行うことは、ACL 損傷のバイオメカニクスの危険因子において ACL 損傷のリスクとなりうる動作の特徴をより明確に把握することができると考える。

本研究において、ACL 損傷危険率が高い選手は、低い選手に比べ、方向転換動作においても膝外転角度が高まることが示唆されたことに加え、High-risk 選手は、膝外転角度の増大には体幹の側方傾斜が影響している可能性が考えられた。そのため、予防プログラムにおいては膝のアライメントに着目するだけでなく、接地前にいかに体幹を制動するかに着目する必要があることが考えられる。

本研究の限界として、本測定はトレーニング環境下であるため、床反力の測定は行えず、受傷メカニズムを検証する上で重要な関節に及ぼすモーメントを算出できていないため、身体キネマティクスのみによる検討となっている。しかし、通常のトレーニング環境下で動作解析を行うことは、本来の競技動作で用いられる俊敏な動きを評価し、より受傷場面を考慮した測定であると言える。今後はトレーニング環境下における測定と研究室ベース測定との違いをより明確にし、受傷場面とのギャップを解消していく必要がある。

結論

ACL 損傷 High-risk および Low-risk と予測された選手のトレーニング環境下における SR の体幹および下肢キネマティクスにおける時系列変化の特徴を比較した.

- ACL 損傷危険率の高い High-risk 選手は, SR 時に高い膝外転角度を示す選手を抽出できる可能性があることが示唆された.

- SR における膝外転角度の増大には, 接地前の体幹外方傾斜が関与していることが示唆された.

第 3 章

膝前十字靱帯損傷予防プログラム効果の検討

第1節 大学女子サッカー選手において「The 11+」がパフォーマンス, Drop Vertical Jump および方向転換動作時における下肢関節キネマティクスに及ぼす影響

第1項 緒言

ACL 損傷は, 膝関節の安定性を破綻させ, スポーツ活動の継続困難を余儀なくさせる. 損傷された ACL は, 自然治癒能力が低いことから, 保存療法で損傷靱帯の治療を確実に得る方法は確立されていない. そのため, ACL 損傷後は外科的手術療法である ACL 再建術が選択されることが多い. ACL 再建術後は, リハビリテーションを必要とし, 競技復帰までに長期的な競技離脱を強いられることから, その後の競技力に大きく影響を及ぼす. よって予防対策の確立が急務として考えられている. これまで世界各国で ACL 損傷予防トレーニングが考案され, その効果を上げている. 多くの予防プログラムにおいて, その効果は ACL 損傷の発生率が減少したと報告されている[27] [31] [29, 32-34]. またこのような疫学調査に加え, 予防プログラム介入が, ACL 損傷発生率に与える影響を客観的に提示するために, 予防プログラムがバイオメカニクスの危険因子に与える影響を介入前後で比較検討した報告も数多く散見される. Hewett ら[35] [54]は, 予防プログラムの介入によって, 着地動作時の膝屈曲角度は増大し, 膝外転角度は減少したと報告している. また Irmischer ら[36]は介入プログラムによって床反力を減少させる効果を得ている. 以上の報告より, 予防プログラムは ACL 損傷予防に効果がある可能性が示された. しかし, その一方で, ハイリスクスポーツとされるサッカーやバスケットボールにおいては, ACL 発生率は減少していないとの報告がなされている[3]. また ACL 損傷予防プログラムは下肢キネマティクスに影響を与えないといった報告[55, 56]も散見され, いまだ予防プログラムの介入効果に関して, 疫学的側面, バイオメカニクスの側面において一定のコンセンサスは得られていないのが現状である.

そこには、ACL 損傷の予防プログラムの構成要素が、概要的には同じだが、トレーニング内容の詳細、期間、検証対象動作がプログラムによって異なることや介入効果を検証する際の測定環境がトレーニング環境と異なっていることが要因として考えられる。そのため、サッカーに特化した傷害予防プログラムを用いて、サッカー特有の動作をトレーニング環境下でプログラム介入の効果を検証することはサッカーに対する予防プログラムの効果を科学的に理解する上で有益な情報になると考える。

サッカーにおける傷害予防には国際サッカー連盟（FIFA）の医療評価研究センター（The FIFA Medical Assessment Research Center ; F-marc）がサッカーに多い傷害を予防するためのプログラム「The 11+」を提唱している。「The 11+」は、ストレングス、バランス、プライオメトリックスを柱に運動中の身体アライメントを適正化させることを目的につくられたものであり、20分程度の短時間で実施できることが特徴である。我々はこれまで日本サッカー協会（スポーツ医学委員会）と日本体育協会（医科学研究班）の協同事業として「サッカー選手における傷害予防と The 11+の効用」にここ3年間取り組み、ジュニアユース（男女）において下肢の傷害発生率を減少させ、身体パフォーマンスを向上させる効果を得た[78]。しかし、「The 11+」の介入が下肢キネマティクスにどのように影響を与えるか科学的検証は得られていない。さらに対象者を育成年代のサッカー選手（男女）としていたため、発生率の減少やパフォーマンスの向上において純粋に予防プログラムによるものというには結論を急ぎすぎている可能性がある。Hewett ら[57]は、成長期段階別に DVJ 時の下肢キネマティクス変化について検討し、思春期を迎えると膝外反角度が増加することを報告している。これによって、成長過程にある選手は、身長、体重の急激な成長が動作時の膝キネマティクスに影響することを明らかとした。したがって成長期選手を対象として、「The 11+」の介入効果を検証する場合、純粋に予防プログラムによって ACL 損傷発生率を減少させたとは言えない可能性が示唆された。一方、成人選手を対象とすることは、成長期における発達の影響を考慮することなくプログラム実施による運動能力の変化を検証できるものと考えられる。

ACL 損傷予防プログラムの科学的検証を明らかにしていく上で予防方法の普及が急がれる。しかし、ACL 損傷予防プログラムをチーム全体に対して行うには時間的・環境的制約が大きく、現場に落とし込むには難しい場合がある。そのためあらかじめ ACL 損傷 High-risk の選手を抽出した上で予防トレーニングを行うことで効率性および有効性の両面を高めることができると考える。

近年、Myer らが ACL 損傷の危険率を評価する上で、スポーツ現場への応用が非常に簡易的で効率性および有用性の高い ACL 損傷危険率予測指標を開発した[25]。第2章では、トレーニング環境下において、ACL 損傷危険率とサッカー特有の方向転換動作時（10m×5 shuttle run：以下 SR）の膝外転角度との関係性を検証した結果、2群間に正の相関関係（ $r=0.699$, $p < 0.001$ ）を認めた。つまり、ACL 損傷が着地よりも方向転換時に多発する[3, 17]サッカーでは、ACL 損傷危険率予測指標によって、SR 中の高い膝外転角度を示す選手を抽出できる可能性があることを示した。ただし、約30%は関連性を示さないことが言えるため、予防効果を簡便な ACL 損傷危険率予測指標のみで検証することは、妥当であるとはいいがたい。

そこで ACL 損傷が着地および方向転換時に好発するという疫学的事実より「The 11+」の介入効果検証を ACL 損傷危険率予測指標（着地）および SR（方向転換）の両面において検証する必要がある。

以上より本研究では、成長の影響を受けない成人女性（大学女子サッカー）選手において「The 11+」が身体パフォーマンスに影響を与えるか否か検証するとともに、ACL 損傷危険率および SR における体幹・下肢キネマティクスにおいても影響を及ぼすか検証することを目的とした。

第2項 方法

1. 対象

関東大学女子サッカーリーグ1部に所属する7チーム(230名)を対象とし、過去半年以内の下肢傷害の既往がある選手は除外対象とした。その結果、本研究に参加可能な対象者は206名(TR:110名, CTRL:96名)(Table. 3-1)であった。

7チーム(206名)を「The 11+」介入群(Training:以下TR):4チーム110名, コントロール群(以下:CTRL):3チーム96名として無作為に割り当てた。介入期間は2013年4月から2013年10月(2013-2014シーズン)までの6ヶ月間とし、トレーニング前のpre期およびトレーニング後のpost期において、Fig. 3-1に示す研究デザインにて「The 11+」の介入効果を検証した。なおCTRLに関しては無処置群とした。

ただし、pre期における対象者は206名(TR:110名, CTRL:96名)であったが、post期ではシーズンを通して傷害によって測定困難となった51名が除外された155名をpre-post期を通した対象者とした(TR:90名, CTRL:65名)(Table. 3-2)。

また10m×5 shuttle runの3次元撮影には155名中、TRから28名、CTRLから18名を、無作為に抽出し実験を行った(Table. 3-3)。

対象者には研究の目的、方法、倫理的配慮等に関する説明を十分に行い、文書にて参加の同意を得られた者を対象とした。また、本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した。

Table. 3-1 Subject demographics at the pre measurement (mean±SD)

	TR(N=110)	CTRL(N=96)	P value
Age (year)	19.2 ± 1.1	19.3 ± 1.5	n. s
Height (cm)	159.8 ± 5.4	159.2 ± 4.2	n. s
Tibia length (cm)	36.1 ± 2.1	35.2 ± 1.7	.005
Body weight (kg)	54.7 ± 5.1	54.9 ± 5.8	n. s
Soccer experience (year)	10.5 ± 3.6	10.3 ± 3.2	n. s

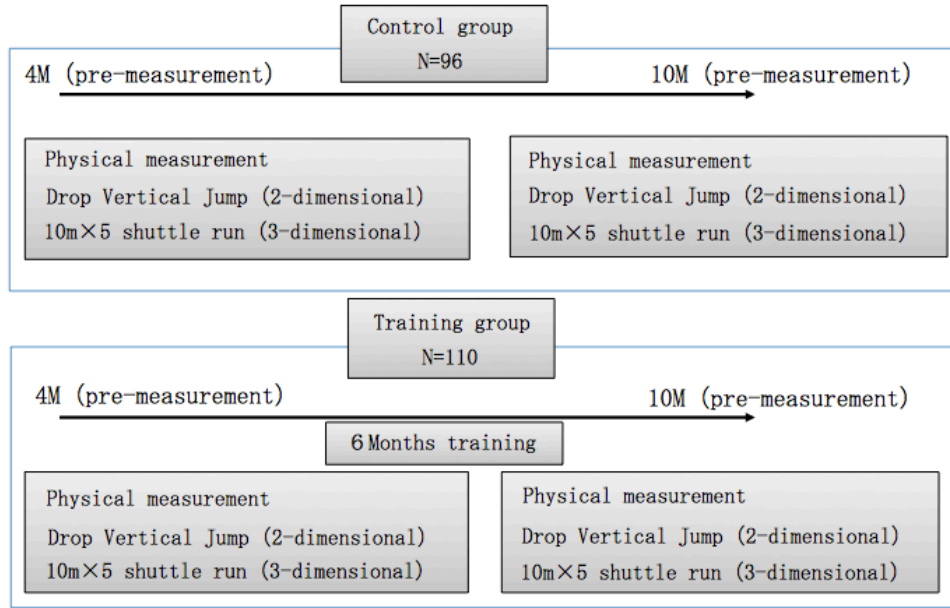


Fig. 3-1 Study design

Table.3-2 Subject demographics at the post measurement (mean±SD)

	TR(N=90)	CTRL(N=65)	P value
Age (year)	19.6 ± 1.2	19.3 ± 1.5	n. s
Height (cm)	159.1 ± 5.1	159.4 ± 4.3	n. s
Tibia length (cm)	36.2 ± 2.2	35.2 ± 1.7	.005
Body weight (kg)	54.3 ± 5.2	54.4 ± 5.3	n. s
Soccer experience (year)	10.7 ± 3.1	10.2 ± 3.2	n. s

Table.3-3 Subject Demographics at the SR(mean±SD)

	TR(N=28)	CTRL (N=18)	P Value
Age (year)	20.1 ± 1.1	19.3 ± 0.9	.07
Height (cm)	159.3 ± 5.4	158.9 ± 5.3	.87
Tibia length(cm)	35.1 ± 1.7	34.8 ± 1.4	.71
Body weight (kg)	53.2 ± 5.1	53.4 ± 5.4	.72
Soccer experience (year)	9.3 ± 2.7	9.8 ± 3.3	.91

2. 動作課題

「The 11+」介入効果の検証において、JFA フィジカルフィットネスグループが推奨するフィジカルテストを用いてパフォーマンスに与える影響を検証し、Drop vertical jump(以下 DVJ) (2次元撮影), 10m×5 shuttle run (以下 SR) (3次元撮影) を用いて、動作中の下肢キネマティクスに与える影響について検証した。

I. フィジカル測定(対象者に関する基本データは Table. 3-1 に示す)

JFA フィジカル測定ガイドラインに準じて、以下の5項目を採用した。

スプリントスピード (加速力) : ①10m スプリント

(最大スピード) : ②40m スプリント

アジリティ : ③10m×5 shuttle run

パワー (鉛直成分) : ④垂直跳び

(水平成分) : ⑤バウンディング (5段飛び)

測定は十分なウォーミングアップと動作確認後、2回計測し良いタイムを個人の測定値とした。

II. 2次元動作撮影 : DVJ (対象者に関する基本データは Table. 3-1 に示す)

Myer らが報告する ACL 損傷危険率[46]を算出し、ACL 損傷高リスク選手を抽出するために DVJ を行わせた。DVJ の測定方法の詳細は第2章1節に示した通りである。

III. 3次元動作撮影 : SRC (対象者に関する基本データは Table. 3-3 に示す)

JFA フィジカル測定ガイドラインに準じて SR を行わせた。

SR の測定方法の詳細は第2章第1節に示した通りである。

以下に各項目の測定方法の詳細を記す。

3. 動作計測

I. フィジカル測定

スプリントスピード

40m 直線走を測定した (Fig. 3-2). 測定には光電管 (BROWER 社製) を用いた. スタートライン上に片脚のつま先を置き, 対象者には任意のタイミングでスタートさせた. 加速力の評価として 10m 区間のタイムも測定した.



Fig. 3-2 10m and 40m sprint

アジリティ : 10m×5 shuttle run (Fig. 3-3)

SR はスタンディングでスタートラインに立ち, 選手の任意のスタートで 10m 走行後, スタートラインより 10m 先に引いたラインを足で超えるか踏むかして進行方向に対して 180° の方向にターンを行い, スタートラインに戻り再び 180° ターンを行う動作を合計 2 往復半行うものである. ターンは最初の 180° ターンを右脚にて行わせ左右両方で踏めるよう常に同一方向を向くように指示した. 光電管を用いて 10m×5 のスプリントタイムを記録した.



Fig. 3-3. 10m×5 shuttle run

垂直跳び (Fig. 3-4)

測定にはジャンプ MD (竹井機器工業株式会社) を用いて, 本体をベルトにて腰に巻き, プーリーでひもの長さを調整した. 対象者にゴム板上にて直立姿勢をとらせ, 任意のタイミングで垂直飛びを行わせた.



Fig. 3-4 Vertical jump

バウンディング (5 段飛び) (Fig. 3-5)

対象者にスタートラインに立ってもらい, 任意のタイミングにて両足スタートで右・左または左・右の順に片脚ジャンプをさせ, 5 歩目で両脚着地を行わせた. スタート地点から, 着地脚の後端の距離をメジャーにて計測した.



Fig. 3-5 Bounding

4. 傷害予防プログラム

4-1. 「The 11+」 (Fig. 3-6)

傷害予防プログラムにはFIFAのF-marcが推奨している「The 11+」を用いた。「The 11+」はストレングス、バランス、プライオメトリックスを中心に動作中のアライメントを適正化させることを目的につくられたものである。20分程度の短時間で実施できることが特徴である。

「The 11+」における指導内容は、「膝をつま先に対して内側に入れないこと」「膝をつま先方向と同じにする」「着地時に膝を深く曲げる」「着地時の股関節を深く曲げる」「骨盤が後傾しないよう中間位から前傾位を保つ」「動作時における体幹の側方傾斜が起こらないようにする」ことを中心に動作指導を行った。

詳細については参考資料に示す。



Fig. 3-6 「The 11+」

4-2. 介入方法

F-MARCは2回/週以上のプログラム実施を推奨している。そのため、各チームにおいて2～3回/週の介入を実施させた。介入チームには事前にコーチおよびトレーナーに「The 11+」の内容を指導し、紙面およびDVDを配布した。トレーニング熟知した同一者が定期的に介入チームへ訪問し、トレーニングが正しく行えているか確認した。

「The 11+」以外のトレーニングについてはコントロールしていないが、従来のトレーニングに傷害予防プログラムは含まれていない。

5. データ解析

A. フィジカルテスト

すべての項目において2回の測定のうち、良い記録を採用し個人の測定値とした。

B. Drop vertical jump

DVJのデータ解析方法の詳細は第2章第1節に示した通りである。本章では、膝関節のみではなく股関節屈曲角度および足関節背屈角度の変化についても検証した。股関節屈曲角度変位量は肩峰、大転子、膝関節外側裂隙のなす角を股関節屈曲角度として、接地直前の股関節屈曲角度から着地時の最大股関節屈曲角度との差を算出した。また足関節背屈角度変位量においても同様に膝関節外側裂隙、外果、第5中足骨頭のなす角を足関節背屈角度として、接地直前の足関節背屈角度から着地時の最大足関節背屈角度との差を算出した。

C. 10m×5 shuttle run

SRのデータ解析方法の詳細は第2章第1節に示した通りである。

6. 統計処理

TRおよびCTRLにおいて、フィジカルテスト、ACL危険率、DVJにおける膝内側変位量・

膝屈曲変位量・股関節屈曲角度変位量・足関節背屈角度変位量および SR における体幹外方傾斜角度, 股関節屈曲/外転, 膝屈曲/外転角度をプログラム介入前後にて比較した.

I. フィジカルテスト各パラメータに関して, TR と CTRL における介入前後比較に反復測定による 2 元配置分散分析 (測定時期×トレーニング有無: 2×2) を用いた.

II. ACL 危険率および DVJ 時の膝内側変位量, 膝屈曲変位量, 股関節屈曲角度変位量・足関節背屈角度変位量に関しても, TR と CTRL における介入前後比較に反復測定による 2 元配置分散分析 (測定時期×トレーニング有無: 2×2) を用いた.

III. SR における体幹・下肢キネマティクスに関して, 時系列変化を接地前 50ms より接地後 150ms とし, 最大膝外転角度と最大膝外転角度に対する体幹外方傾斜・股関節屈曲/外転, 膝屈曲/外転角度について, TR と CTRL における介入前後比較に反復測定による 2 元配置分散分析 (測定時期×トレーニング有無: 2×2) を用いた. また接地前 50ms より接地後 150ms の間における体幹外方傾斜・股関節屈曲/外転, 膝屈曲/外転角度の最大値, 最小値に関しても TR と CTRL における介入前後比較に反復測定による 2 元配置分散分析 (測定時期×トレーニング有無: 2×2) を用いた.

すべての統計処理において, 交互作用が認められた場合, 事後検定として多重比較検定を行った. また交互作用が認められず, 主効果のみに有意差を認めた場合, Bonferroni の多重比較を行った. なおトレーニング介入効果において有意差を認めたものについては, 効果量を算出した. なお統計学的有意水準は 5%未満とし, 統計解析ソフトには SPSS 21.0 J for Windows を用いた.

第3項 結果

I. フィジカルテスト

測定時期（pre 期-post 期），トレーニング有無の2要因分散分析の結果，10m プリントのみ交互作用が認められたため（ $F=5.58, p=0.019$ ），水準ごとの単純主効果を検討した。その結果，測定時期に関して pre 期において有意に単純主効果が認められた（ $p<0.05$ ）。40m スプリント，10m×5 shuttle run，バウンディング，垂直跳びにおいては，交互作用は認められず，TRに有意な主効果が認められ，TRはCTRLに対して有意に向上した（ $p<0.000, p<0.000, p<0.000, p<0.000, p<0.05$ ）。一方，CTRL 群において統計学的有意差は認められなかった（Table. 3-3）。

Table. 3-4 Physical measurement results (mean±SD)

		n	Pre		Post	p
10mスプリント(sec)	TR	90	2.17 ± 0.08	.05	2.12 ± 0.09	.000
	CTRL	62	2.12 ± 0.09		2.11 ± 6.52 ^{ns}	ns
40m sprint(sec)	TR	90	6.65 ± 0.29	ns	6.51 ± 0.56 ^{ns}	.000
	CTRL	62	6.54 ± 0.28		6.52 ± 0.03	ns
10m×5 shuttle run(sec)	TR	90	13.20 ± 0.60	ns	12.92 ± 0.41 ^{ns}	.00
	CTRL	62	12.93 ± 0.48		13.04 ± 0.75	ns
bounding (m)	TR	90	9.28 ± 0.70	ns	9.53 ± 0.65 ^{ns}	.000
	CTRL	62	9.56 ± 0.70		9.53 ± 0.48	ns
vertical jump(cm)	TR	90	41.65 ± 4.34	ns	42.58 ± 3.98 ^{ns}	.05
	CTRL	62	43.03 ± 4.25		43.57 ± 4.80	ns

II, ACL 損傷危険率, 膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量 (股屈曲/足背屈角度変位量)

ACL 損傷危険率 (Fig. 3-5. a)

2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため ($F=10.48, p=0.002$), 水準ごとの単純主効果を検討した. その結果, トレーニング有無に関しては TR に有意な単純主効果が認められ ($p<0.001$), 測定時期に関しては pre 期において有意な単純主効果が認められた ($p<0.05$). 多重比較検定の結果, TR において pre 期よりも post 期の方が, 有意に ACL 損傷危険率が減少し, pre 期において CTRL よりも TR が, ACL 損傷危険率が有意に増加していた. またトレーニング介入における効果量は 0.36 であった.

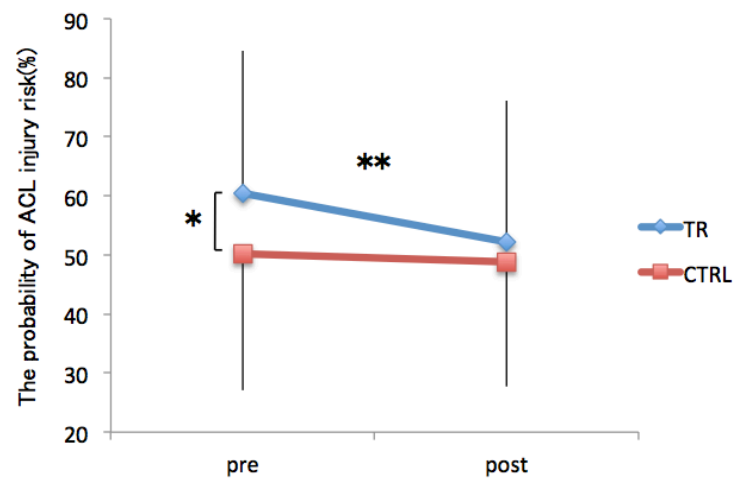
膝内側変位量 (Figure. 3-5. b)

2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため ($F=8.19, p=0.005$), 水準ごとの単純主効果を検討した. その結果, 測定時期に関しては, いずれの測定時期においても有意差は認められなかった. トレーニング有無に関しては TR に有意な単純主効果が認められ ($p<0.001$), 多重比較検定の結果, TR において pre 期よりも post 期の方が, 有意に膝内側変位量が減少した. またトレーニング介入における効果量は 0.32 であった.

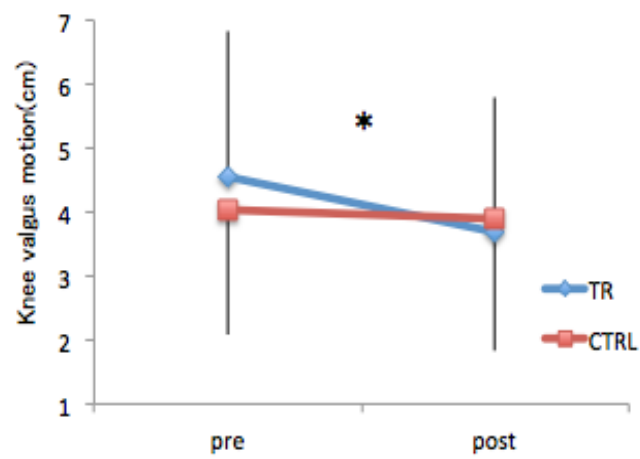
膝屈曲角度変位量・股関節屈曲角度変位量・足関節背屈角度変位量 (Fig. 3-5. c. d. e)

膝屈曲角度変位量において 2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため ($F=8.75, p=0.004$), 水準ごとの単純主効果を検討した. その結果, トレーニング有無に関してはトレーニング群に有意な単純主効果が認められ ($p<0.001$), 測定時期に関しては post 期において有意な単純主効果が認められた. ($p<0.05$). 多重比較検定の結果, TR において pre 期よりも post 期の方が, 有意に膝屈曲角度変位量が増加し, post 期において CTRL よりも TR が, 膝屈曲角度変位量が有意に増加した. またトレーニング介入における効果量は 0.42 であった. 股関節屈曲角度変位量および足関節背屈角度変位量においても TR において pre 期から post にかけて有意に増加した ($p<0.001$) (効果量: 0.46, 0.40) .

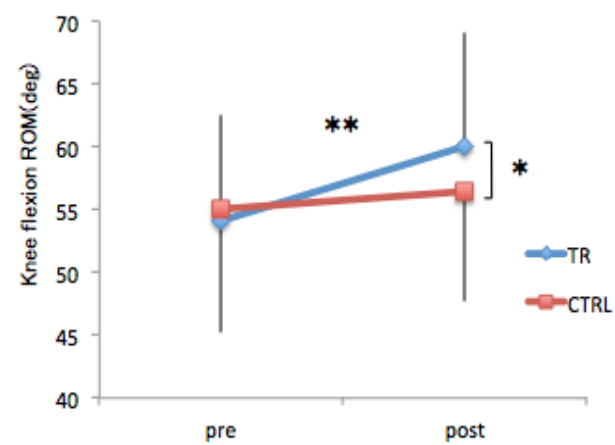
a)



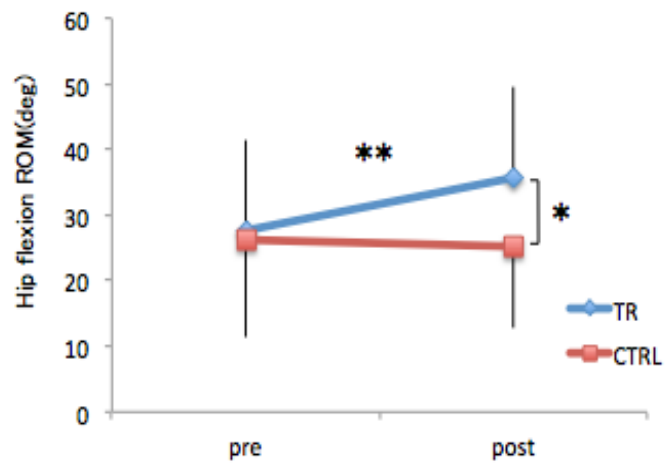
b)



c)



d)



e)

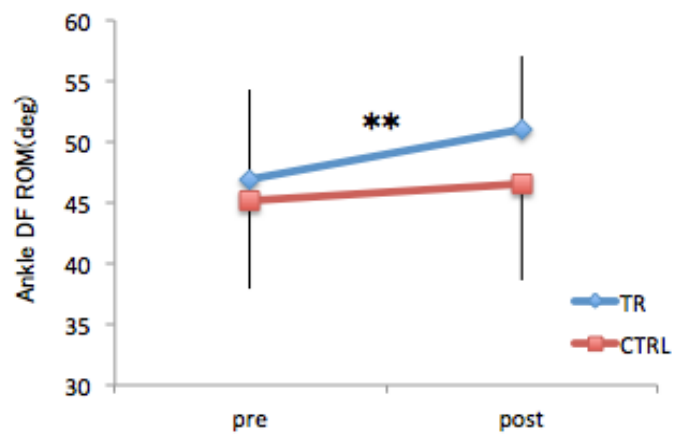


Fig.3-5 Comparison of between TR and CTRL during DVJ *:p<0.05, **:p<0.001

a) The probability of ACL injury risk, b) Knee valgus motion, c) Knee flexion ROM
e) Hip flexion ROM, e)Ankle DF ROM

Ⅲ, SR における体幹・下肢キネマティクス (Fig. 3-6, 3-7, 3-8)

膝外転角度 (最大値)

2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため ($F=9.41$, $p=0.005$), 水準ごとの単純主効果を検討した. その結果, トレーニング有無に関しては TR に有意な単純主効果が認められ ($p<0.001$), 測定時期に関しては post 期において有意な単純主効果が認められた ($p<0.05$). 多重比較検定の結果, TR において pre 期よりも post 期の方が, 有意に膝外転角度が減少し, post 期において CTRL よりも TR が, 膝外転角度が有意に減少した. またトレーニング介入における効果量は 0.63 であった.

最大膝外転角度における体幹外方傾斜角度

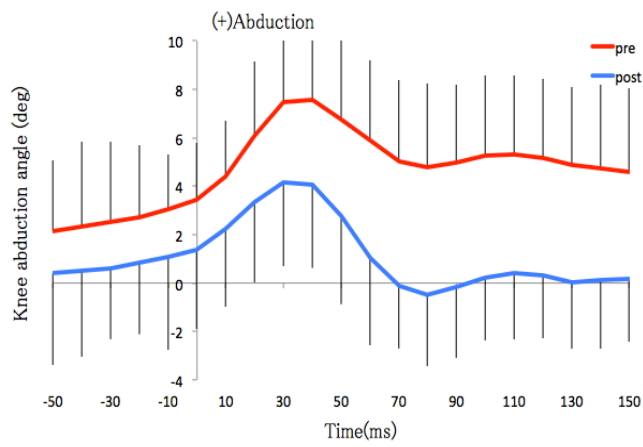
2 要因分散分析の結果, 有意な交互作用が認められたため ($F=5.70$, $p=0.05$), 水準ごとの単純主効果を検討した. その結果, トレーニング有無に関しては TR に有意な単純主効果が認められ ($p<0.05$), 測定時期に関しては post 期において有意な単純主効果が認められた ($p<0.05$). 多重比較検定の結果, TR において pre 期よりも post 期の方が, 有意に体幹右側方傾斜角度が減少した. またトレーニング介入における効果量は 0.42 であった.

最大膝外転角度における股外転角度

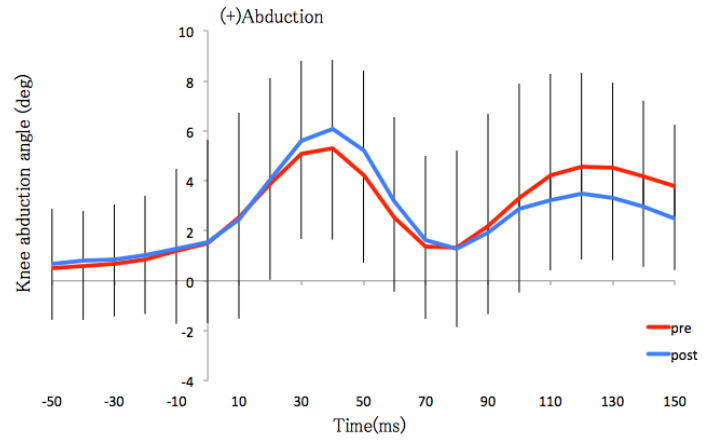
2 要因分散分析の結果, 交互作用は認められず, 主効果において有意差を認めた ($p<0.05$). TR において pre 期よりも post 期の方が, 有意に股外転角度が増加した. またトレーニング介入における効果量は 0.50 であった.

膝屈曲角度および股屈曲角度において, 統計学的有意差は認められなかった.

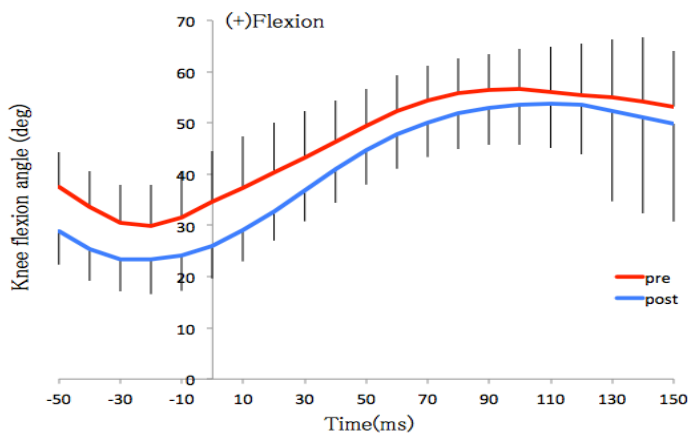
A)



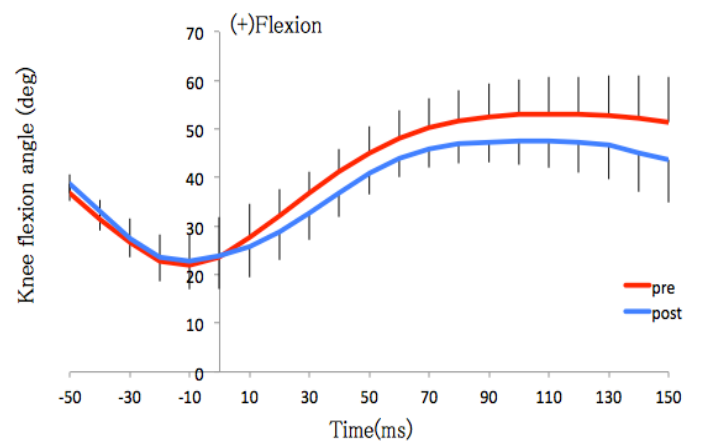
a)



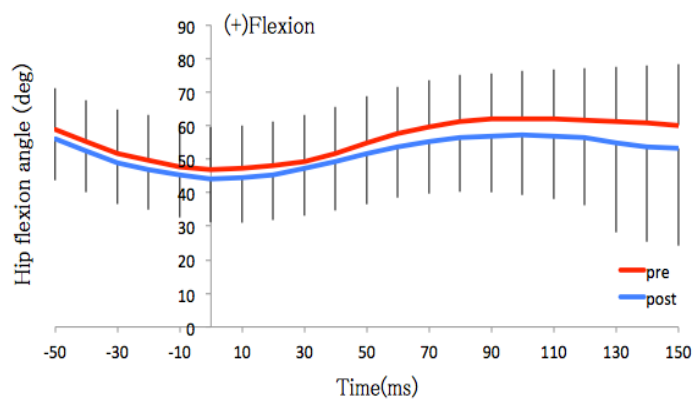
B)



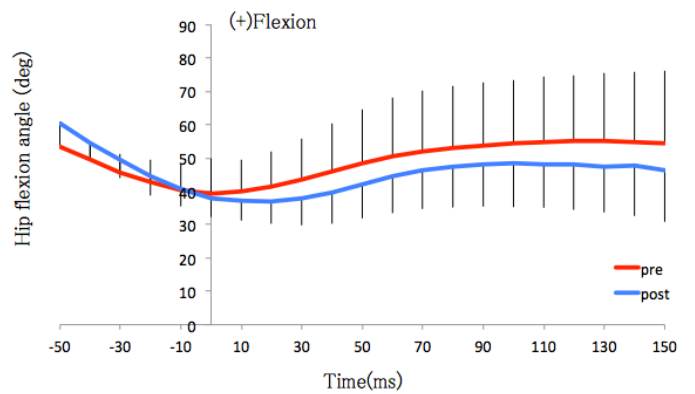
b)



C)



c)



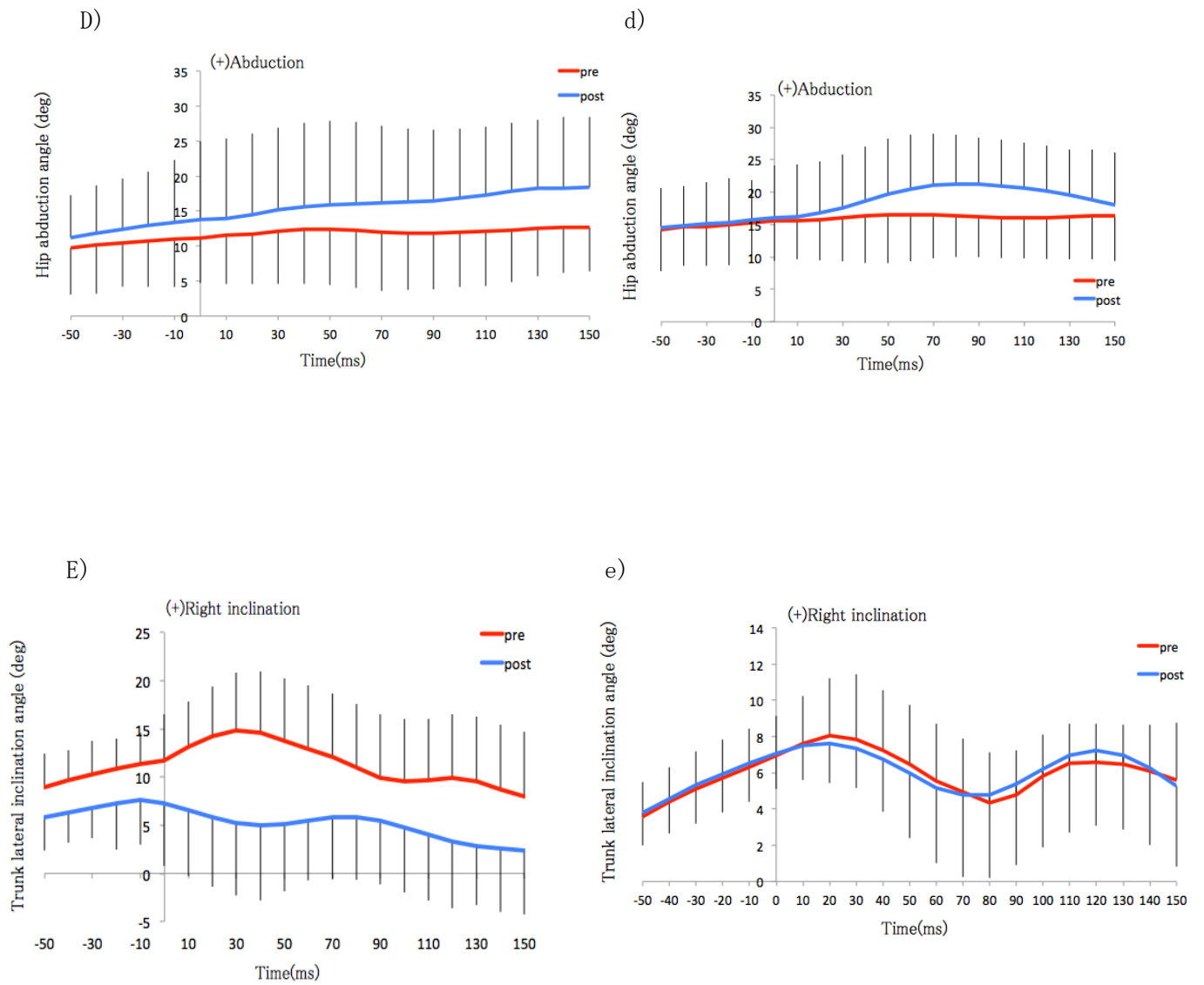


Fig.3-6 Comparison of knee and hip motion and trunk lateral inclination

between TR and CTRL during SR

a) knee abduction angle, b) trunk lateral inclination angle , c) hip flexion angle

d) hip abduction angle, e) knee flexion angle

Upper case:TR, Lower case:CTRL

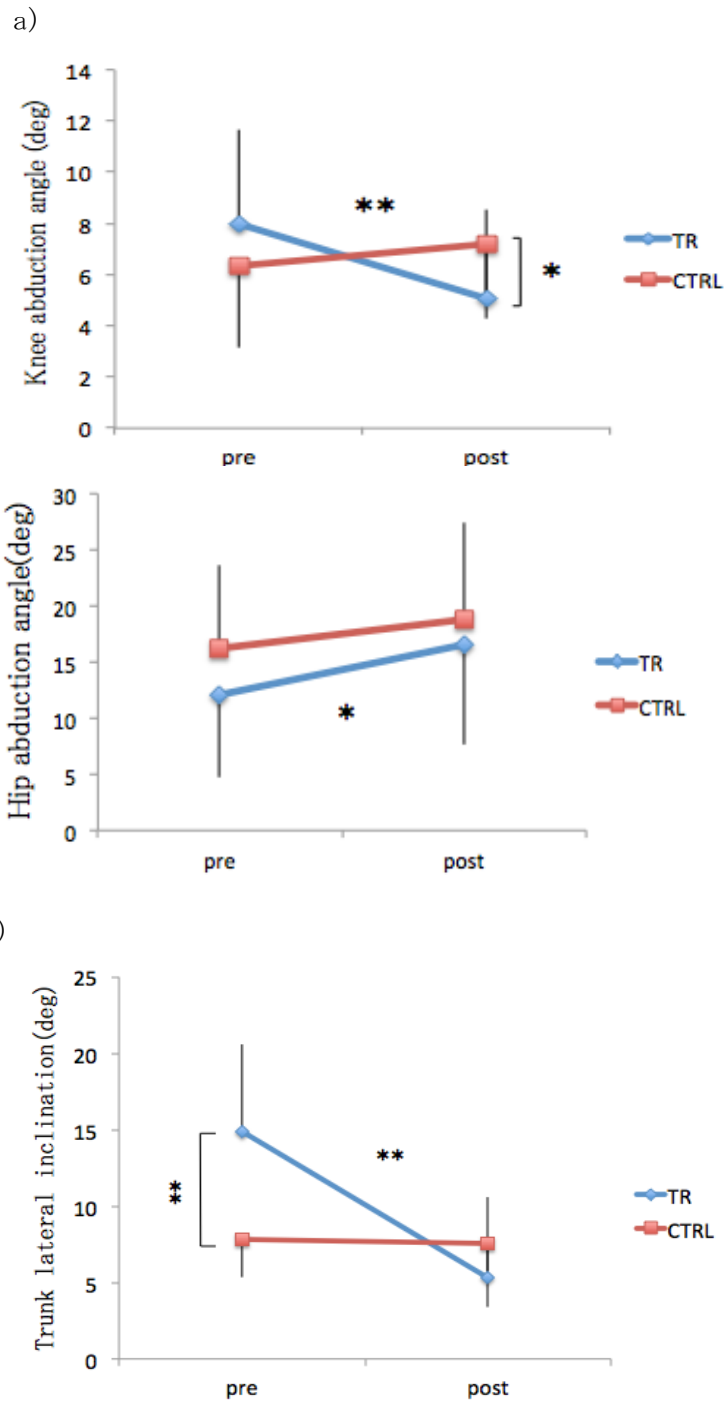


Fig.3-7 Comparison of maximum knee abduction and hip abduction and trunk lateral inclination

between TR and CTRL during SR *: $p < 0.05$, **: $p < 0.0001$

a) Maximum knee abduction angle

b) Hip abduction angle at the maximum knee abduction angle

c) Trunk lateral inclination angle at the maximum knee abduction angle

Table.3-8 Maximum,Minimum,Excursion angle of hip and knee motion and trunk inclination during SR

			Pre		Post	P value
Knee abduction angle(°)	Maximum	TL	8.56 ± 3.63	ns	5.31 ± 3.67	.015
		CTRL	7.16 ± 2.28		7.44 ± 2.59	
	Minimum	TL	2.02 ± 1.79	ns	-2.96 ± 4.14	.05
		CTRL	-0.19 ± 3.31		-0.78 ± 3.42	
	Excursion	TL	6.58 ± 2.64	ns	8.29 ± 4.60	ns
		CTRL	7.45 ± 2.78		8.32 ± 2.69	
Knee flexion angle(°)	Maximum	TL	60.05 ± 7.72	ns	55.50 ± 8.84	ns
		CTRL	54.37 ± 7.93		49.17 ± 5.21	
	Minimum	TL	32.01 ± 7.23	ns	25.98 ± 7.31	ns
		CTRL	35.82 ± 11.69		23.21 ± 5.18	
	Excursion	TL	28.04 ± 8.01	ns	29.52 ± 9.39	ns
		CTRL	30.31 ± 11.21		25.96 ± 6.59	
Hip flexion angle(°)	Maximum	TL	65.87 ± 15.73	ns	61.29 ± 18.88	ns
		CTRL	58.33 ± 18.59		50.77 ± 10.54	
	Minimum	TL	44.41 ± 11.56	ns	41.96 ± 14.60	ns
		CTRL	35.82 ± 11.69		33.38 ± 8.53	
	Excursion	TL	21.46 ± 10.66	ns	19.33 ± 8.21	ns
		CTRL	22.51 ± 7.91		17.39 ± 6.11	
Hip abduction angle(°)	Maximum	TL	15.15 ± 7.18	ns	20.23 ± 10.18	ns
		CTRL	18.68 ± 7.28		22.05 ± 7.15	
	Minimum	TL	9.19 ± 6.99	ns	10.88 ± 10.51	ns
		CTRL	13.68 ± 5.85		15.01 ± 8.26	
	Excursion	TL	5.97 ± 2.26	ns	9.46 ± 4.50	ns
		CTRL	5.00 ± 3.10		7.05 ± 3.20	
Trunk lateral inclination(°)	Maximum	TL	15.05 ± 4.12	.01	8.34 ± 6.21	ns
		CTRL	8.06 ± 2.25		7.61 ± 4.02	
	Minimum	TL	9.03 ± 8.20	.01	4.23 ± 8.11	ns
		CTRL	2.82 ± 3.09		2.66 ± 4.42	
	Excursion	TL	6.02 ± 8.63	ns	4.09 ± 8.43	ns
		CTRL	5.24 ± 2.33		4.95 ± 2.21	

第4項 考察

本研究では、大学女子サッカー選手において傷害予防トレーニング「The 11+」がパフォーマンス、ACL 損傷危険率および SR における体幹・下肢キネマティクスに及ぼす影響について通常のトレーニング環境下にて TR と CTRL で介入前後比較を行った。

解析にあたってまず、解析の再現性について検討した。その結果、DVJ における ICC(1, 1)は、膝内側変位量 0.99, 膝屈曲角度変位量 0.93, 股関節屈曲角度変位量 0.94, 足関節背屈角度変位量 0.91 であった。また ICC(2, 1)は、膝内側変位量 0.99, 膝屈曲角度変位量 0.98, 股関節屈曲角度変位量 0.94, 足関節背屈角度変位量 0.92 であった（第2章第1節：Table. 2-1-2）ことから解析の信頼性は高いといえる。

本研究の結果、「The 11+」はフィジカル測定の全項目（10m・40m スプリント, SR, 垂直跳び, バウンディング）を有意に向上させ、パフォーマンスの向上に効果を示した。また動作中の下肢キネマティクスにおいては、DVJ時の膝内側変位量を減少させ、膝屈曲角度変位量, 股関節屈曲角度変位量, 足関節背屈角度変位量を増大させたことより ACL 損傷危険率に効果を示した。さらに SR においては、接地後における最大膝外転角度および体幹外方傾斜角度を減少させた。

パフォーマンス

先行研究において、Reis ら[58]は「The 11+」がパフォーマンスを向上させる効果があることを報告している。また日本体育協会スポーツ医・科学研究報告[73]によると「The 11+」を育成年代のサッカー選手に介入させることで、傷害発生率の減少に加え、パフォーマンスの向上に効果を示すことが報告されている。

本研究においても「The 11+」は、フィジカル測定の全項目（10m・40m スプリント, SR, 垂直跳び, バウンディング）において有意に向上し、大学女子サッカー選手におけるパフォーマンスの向上に効果を示し、先行研究と同様の結果を示した。

パフォーマンス向上の詳細として、スプリントスピードに関しては、Askling ら[59]は、

ハムストリングスの遠心性および求心性収縮力の向上がスプリントスピードの向上に影響すると報告している。「The 11+」内の Nordic hamstrings はハムストリングスの遠心性/求心性収縮力を高めるストレングストレーニングであるため、先行研究同様スプリントスピード向上の一助を担っていると推察する。次にジャンプ能力の向上に関しては、先行研究にて下肢筋力とジャンプ高は、正の相関があると報告されており[27, 35], 敏捷性向上においては、プライオメトリックトレーニングが有効的であるといわれている[30]. 「The 11+」はストレングストレーニングに加え・バランス・プライオメトリックトレーニングより構成されており、ジャンプ力・敏捷性を向上させるためのトレーニング要素を含んでいる。したがって本研究において「The 11+」の介入は、先行研究同様にパフォーマンスの向上に対しておおむね良好な効果が得られたと推察する。

ACL 損傷危険率

ACL 損傷予防プログラムがバイオメカニクスの因子に与える効果に関する報告はいくつか散見される。これまでの先行研究では、ジャンプ着地動作を用いてプログラムの介入前後比較を行っている。Pollard ら[56]は、主にジャンプ、敏捷性トレーニングを中心としたプログラムを行い、DVJ 時の股/膝関節における関節角度の変化を調査し、膝屈曲・膝外転角度には変化はみられず、股関節屈曲角度の増加と、股関節内転角度が減少したことを報告している。また Hewett ら[27]は、プライオメトリックトレーニングによって着地時の床反力および膝外転モーメントが減少したことを報告している。Myer ら[25]は、あらかじめスクリーニングテストを行い、DVJ時の高い膝外転モーメントを示すリスク群と非リスク群に対するプライオメトリックトレーニングおよびバランストレーニング効果について検討している。その結果、リスク群において膝外転モーメントの減少がみられた。さらにキネマティクスに変化をもたらす要素はプログラムによる介入だけではなく、動作指導によって、最大膝屈曲角度は増加するという報告もある[60]。しかし、反対にバランストレーニング単独介入ではキネマティクスに影響を与えないとい

った報告もある[33].

以上より,これまでの報告をまとめると運動中のキネマティクスの改善には,トレーニング個々の要素の単独ではなく,プライオメトリックやバランストレーニングおよび動作指導を組み合わせたプログラムが効果的である可能性が高い. 先行研究において,膝外転角度(膝内側変位量)の増大は,ACLの歪みを増大させる[41]ことや,股/膝関節浅屈曲角度は大腿四頭筋がハムストリングスに対して有意に活動することで,脛骨の前方偏位が増すことが報告されている[61]. つまりこれらのトレーニングによって,ACLへの歪みや剪断力を減少させる効果を得ることができる考える.

本結果ではACL損傷危険率が,pre期-post期においてTRはCTRLと比較して有意に減少した. その要因としては,DVJ時の膝内側変位量および膝屈曲角度変位量が改善したことにある. 膝内側変位量はpre期-post期において統計学的に有意に減少した. また膝屈曲角度変位量は,pre期-post期において有意に増加したことに加え,股関節屈曲角度変位量および足関節背屈角度変位量においてもpre期-post期で有意に増加し,下肢関節全体を屈曲させて着地できるようになったことが観察された. 「The 11+」はバランス・プライオメトリックトレーニングに加え,骨盤,股,膝関節の位置関係に着目し,neutral positionをとらせる動作指導をを主体に構成されたプログラムである. そのため,「The 11+」においても先行研究同様,前額面および矢状面上におけるキネマティクスを改善させ,ACLへの歪みや剪断力を減少させる効果があると推察する. 加えて本研究では,成人選手を対象としたため,本結果が純粋にプログラム効果であったことが証明された.

本研究の限界は,本測定から得られた結果がキネマティクスのみであるため,本研究ではなぜ「The 11+」の介入によってDVJにおける膝キネマティクスが改善し,ACL損傷危険率が減少したか科学的に明らかにすることはできない. また各パラメータにおいて「The 11+」介入効果の効果量は,膝内側変位量,膝屈曲角度変位量,ACL損傷危険率の各々で,0.32,0.42,0.36であった. そのため,本研究で得られた結果では,優越率が低いと判断されることを考慮する必要がある.

10m×5 shuttle run

本結果によると、「The 11+」によって TR は SR における接地後の最大膝外転角度および体幹外方傾斜角度（右側方傾斜）が減少した。しかし、矢状面上の動きである股・膝関節屈曲角度においては有意な改善は認めていない。

荷重下での膝外反位では、大腿骨が脛骨外側関節面を前方へ押し出す力となり、脛骨の内旋が生じ、ACL の張力や歪みを増大させると報告[23]されている。また先行研究において、膝屈曲 30° 以下の膝浅屈曲位では、大腿四頭筋の収縮によって脛骨を前方変位させ、ACL の張力や歪みを増大させる[61] [62, 63] と報告されている。ただし、単独の膝浅屈曲に比べ、膝浅屈曲に加えた膝外反や膝外反に加えた脛骨内旋など複合運動が ACL の張力や歪みをより増大させることが明らかとなっている[40] [41] [42]。以上より減速時の膝外転角度が減少したことは、ACL 損傷の予防に効果的である可能性が示唆された。

本研究にて用いた傷害予防プログラム「The 11+」は、ストレングス・バランス・プライオメトリックトレーニングより構成されている。先行研究において、ジャンプ着地動作を用いてバランス・プライオメトリックトレーニングの前後比較を行った報告では、いまだ一定のコンセンサスは得られていないが、膝屈曲角度、膝外転角度を減少させる傾向にある[27, 54, 55]。本研究においても、バランス・プライオメトリックトレーニングによって DVJ 時の膝屈曲角度変位量を増加させ、膝内側変位量を減少させたことで、ACL 損傷危険率の減少に効果をもたらした。加えて SR 時の前額面上の動きである膝外転、体幹側方傾斜、股外転角度においても改善を認めた。これまでの報告において、ACL 損傷予防プログラムの効果検証に方向転換動作を用いた報告は少なく、近年 Celebrini ら[64]が、バランス・プライオメトリックトレーニングを行い、トレーニング前後でサイドカッティング時の膝屈曲・外転角度および膝屈曲・外転モーメントの変化をみている。その結果は、最大膝屈曲角度を増大させ、最大膝外転モーメントを減少させた。つまり、方向転換動作における膝外転角度や股外転角度の改善には、バランス・プライオメ

リックトレーニングの影響が大きいと考える。ただし、本結果における体幹の外方傾斜の改善においては、単にバランス・プライオメトリックトレーニングによる影響だけでは考えにくく、フロントベンチやサイドベンチといったコアトレーニングの影響が考えられる。フロントベンチやサイドベンチは、腹腔内圧の亢進とコアスタビリゼーションをもたらす効果があり、Keith ら [75] [76] は、腹腔内圧の上昇には、脊柱の安定化作用があると報告している。つまり「The 11+」内のコアトレーニングによって体幹の動的安定性が向上したことで、減速時における体幹動揺が減少し、バランス・プライオメトリックトレーニングによって動作中の下肢アライメントが適正化され、下肢キネマティクスが改善したと考える。ではなぜこのようなトレーニングによって動作中の身体キネマティクスは改善するのか検討してみたい。

近年では、ACL 損傷の予防には神経筋機能を高めることが重要であると報告され、バランストレーニングやプライオメトリックトレーニングが神経筋機能を高める効果があるといわれている [27, 54, 65]。しかし、これらのトレーニングがプロプリオセプターを刺激して動作時のキネマティクスを改善するという推測は、あまりにも飛躍しているという報告がある [77]。そのため本研究の結果より、各関節角度の時系列変化に着目してみる (Fig. 3-6)。pre 期における膝外転角度は TR および CTRL 双方に先行研究同様 2 峰性のピークをとる傾向がみられ、接地後約 40ms 時に膝外転角度のピークを迎えた。その際、体幹外方傾斜角度（右側方傾斜）は、TR の pre 期において膝外転角度のピークと体幹外方傾斜のピークがほぼ同時期（接地後 40ms）であった。その一方で CTRL においては、膝外転角度のピーク時（接地後 40ms）と体幹外方傾斜のピーク（接地後 20ms）のタイミングは一致しておらず、接地後先に体幹外方傾斜のピークが起き、その後膝外転角度のピークが生じた。post 期では CTRL に変化はみられていないが、TR では体幹外方傾斜角度のピークが減少したことに加え、接地前にピークが生じており、接地後の膝外転角度のピークも減少していた。

第 2 章 2 節において接地後の膝外転角度の増大には接地前後の体幹の制動性が関係

している可能性を示した. つまり TR における pre 期に増大した膝外転角度は, 潜在的にもつ因子 (解剖学的因子, 神経筋因子等) による影響に加え, 体幹の外方傾斜によって助長された結果と考える. 以上より TR における pre 期-post 期の変化は, 予防プログラムによって体幹外方傾斜のピークを接地後から接地前に制動できるようになったことで接地後の膝外転角度の増大を抑制したと考える.

次にキネマティクスの改善において筋活動の視点から考えてみる. 先行研究では, 着地動作に ACL にかかる張力は, 床反力のピーク時に最大になることが報告されており [66], ACL 損傷を防ぐには床反力のピークまでの時間に外乱に対する筋の収縮が間に合うか否かが焦点となる. これまでの報告では, 高さ 60cm の台からの両脚着地時の床反力ピークは接地後約 40ms であったことが報告されており [67], side step 時においても 40ms にてピークを迎えたと報告されている [68]. 近年では Koga ら [26] が, poser 解析を用いた解析によって ACL 損傷は接地後約 40ms 以内に損傷に至ると報告していることから 40ms 以内に靱帯を保護する筋の反応が必要になると考えられる. しかし, 筋の反応に関する報告では, 大脳を経由した反応 (フィードバック制御) を用いると 30ms ほど遅延すると言われている [69]. また電気活動が生じてから骨格筋に張力が生まれるまでには, 40ms のタイムラグ (electromechanical delay: EMD) があるため [70], 靱帯を保護するための筋の防御機構では不意な外力に対応するにはあまりにも遅すぎる. つまりフィードバック制御では ACL 損傷を防ぐことは困難である. しかしこれを補填する機能として予備筋活動 (プリアクティビティー) がある. Cowling ら [71] は, 片脚着地時のプリアクティビティーについて調査している. それによると, 着地前 200ms 前後で内外側ハムストリングスが放電しはじめ, 接地前 50ms 前後でピークを迎えたのに対し, 大腿直筋は接地前 80ms から放電しはじめ, ピークは接地後 80ms であった. その際に着地後, 膝を深く曲げるように指示することでハムストリングスの筋放電のピークを迎える時間が早まったと報告されている. また Chimera ら [72] は, プリアクティビティーがトレーニングによって変化するかどうか検討している. その結果, プライオメトリックによって Drop

Landing時のプリアクティビティーが増大し、早期活動を起こしたことを報告した。つまりプリアクティビティーはトレーニングによって高められる可能性があり、プリアクティビティー高めることはACL 損傷予防に貢献すると考えられる。そのため、これまで報告されている傷害予防プログラムには、このプリアクティビティーを高める効果があると推察する。しかし、プリアクティビティーが高まることで動作中のキネマティクスにどのような影響を及ぼすか検討した報告は我々が渉猟する限りみあたらない。そのため本研究において「The 11+」の介入がDVJ時のキネマティクスおよびSR時の接地後40msにおける膝外転角度および体幹外方傾斜角度のピークを改善させた要因として、プリアクティビティーによる影響が考えられるが、本研究からは明らかにすることはできない。

ただし本結果では、サッカー特有の傷害予防プログラム「The 11+」が、ACL 損傷危険率およびSR時の膝外転や股外転、体幹外方傾斜角度を改善させ、動作時に加わるACLヘストレスを軽減させる可能性があり、少なくともACL 損傷予防に対して一定の効果があると言える。

本研究の限界として、本測定はキネマティクスのみの評価であるため、キネマティクスの改善が、筋活動量や筋力の増大によってもたらされたものなのか、またはプリアクティビティーの向上によるものなのか、定かではない。今後はキネマティクスのみならず、筋活動や関節モーメントなど様々なバイオメカニクスの側面からACL 損傷の予防効果検証について検討していく必要がある。また接地早期のキネマティクスを改善させるためには接地前にどのような筋活動を起こしているかを明らかにすることがACL 損傷予防プログラムの効果を科学的に検証する上で重要なものであり、今後検討すべき項目である。

結論

「The 11+」はDVJ時の膝内側変位量を減少させ、膝屈曲角度変位量を増加させ、ACL損傷危険率を減少させる効果があることが示唆された。また方向転換動作（SR）時の膝外転角度および体幹外方傾斜を減少させる効果が期待できることが示唆された。さらに接地前の体幹外方傾斜の制動が接地後の膝外転角度の増大を抑制する可能性があることが示唆された。

第 4 章

総括論議

本邦では、大学女子サッカー選手における ACL 損傷予防の科学的検証を行うことを目的とし研究を進めた。本研究では、これまで行われてきた実験室環境での動作解析からトレーニング環境における動作解析に着目し、動作解析時のアプローチスピードや受傷動作時の動作、受傷時の環境（人工芝）等、可能な限り通常の練習および試合時の状況（ACL 損傷が発生している場面）での動作解析を行った。その上で ACL 損傷に関連する要因を見出し、サッカーの傷害予防トレーニング「The 11+」の ACL 損傷予防に対する効用について科学的に検証した。

ACL 損傷を予防するにあたり、ACL 損傷の発生機序を解明し、バイオメカニクスの観点から理解することが重要である。これまで、ACL 損傷の発生メカニズムの解明に向けた報告によって、動作中における危険因子は解明されつつあるが、未だコンセンサスが得られない部分も多い。ACL 損傷の発生メカニズムの解明には、実際に ACL 損傷が起こる場면을正確に再現し、定量化する必要があるが現実的ではない。そのため、可能な限り受傷場面を想定した上で、動作や筋力、筋活動といったバイオメカニクスの危険因子を様々な側面から検証し、新たな知見を見出すことに努める必要がある。

通常のトレーニング環境下で動作解析を行うことは、ACL 損傷のバイオメカニクスの危険因子を理解する上で有益な情報になる。近年では、家庭用ビデオカメラを用いて DVJ を 2 次元撮影することによって、ACL 損傷の危険因子である高い膝外転モーメントを 8 割予測できることが報告されている[46]。これによって開発された ACL 損傷予測指標は、簡易的に用いることができるため、スポーツ現場への応用を可能にした。そこで第 2 章では、この指標を用いて ACL 損傷危険率が高いと予測された選手がサッカー特有の方向転換動作（SR）においても同様に ACL 損傷危険度が高くなる動きをするか検証した。その結果、ACL 損傷危険率が高い選手（High-risk）は、SR 時の膝外転角度が増大することが示唆された。この要因には接地前の体幹外方傾斜が関係している可能性があり、接地前に体幹外方傾斜を制動できできない場合、接地後の膝外転角度が増大する可能性が考えられた。先行研究によって、ACL 損傷に至る膝外反は、体幹の外方傾斜が関与している

と報告されており[50], 本結果より通常のトレーニング環境下においてアプローチスピードを最大限に発揮させ, 動作解析を行うことは, 動作時における ACL 損傷の危険因子をより明確にすることができたと考える. 本章において, サッカーにおける ACL 損傷の危険因子を特定したことで, ACL 損傷を予防する際には, 膝のアライメントに着目するだけでなく, 体幹の動揺性をどの時期に制動すべきか着目する必要があることが考えられた.

第3章では ACL 損傷予防トレーニング「The 11+」が, ACL 損傷危険率を算出する際に用いる DVJ とサッカー特有の動作 SR の運動時の体幹・下肢キネマティクスに影響を及ぼすか検証した. さらにパフォーマンス向上における効用についても検証した. その結果, 「The 11+」はパフォーマンスの向上に対して良好な効果が得られた. 「The 11+」がパフォーマンスの向上に効果があることは, すでに先行研究において報告されており[58], 本研究においても同様の結果を得ることができた. また動作時のキネマティクスに与える影響としては, DVJ 時の膝内側変位量の減少と膝屈曲角度変位量を増大させたことにより, ACL 損傷危険率を低下させる効果を得た. また SR においては, 減速時の接地から約 40ms における最大膝外転角度を減少させた. ただし, SR では股および膝関節の屈曲角度においては統計学的に有意な増加は認められなかった. しかし, ACL 損傷が膝浅屈曲, 膝外反, 脛骨内旋の複合運動で生じるため[26, 40] [41], その要素である膝外転角度を減少させたことは, ACL 損傷の予防に効果を示したといえる. 以上よりサッカーにおける傷害予防トレーニング「The 11+」は, ACL 損傷の予防において, 効果的であることが示唆された.

本研究において得られた新たな知見として第2章では, ACL 損傷危険率が高い選手は, SR において ACL 損傷の危険因子の1つである膝外転角度が増大することが明らかとなった. さらにその膝外転角度を増大させる因子としては, 接地前の体幹の制動性が大きく関与している可能性が示唆された. 接地後に体幹外方傾斜のピークが起こる場合, 接地後の膝外転角度が増大し, 接地前に体幹外方傾斜のピークが出現する場合, 接地後

の膝外転角度のピークは小さいことがわかった。

これらのバイオメカニクスの危険因子から、予防トレーニングにおいて、ACL 損傷危険予測指標を用いて ACL 損傷危険率の高い選手を抽出することは、方向転換動作においても High-risk となる選手を抽出することにつながることを示し、ACL 損傷予防プログラムを行うにあたって効率性および有効性の両面を高めることを可能にしたと考える。

第3章にて得られた知見は、サッカーの傷害予防プログラム「The 11+」はパフォーマンスの向上に加え、DVJ 時の下肢キネマティクスを改善させ、ACL 損傷危険率を下げる効果を得たことである。さらに、DVJ よりも大きな外乱が加わる SR においても膝外転・体幹外方傾斜角度においても改善を認め、ACL 損傷の予防において効果を得ることができた。しかし、ACL 損傷は接地後約 40ms 以内で損傷に至るため、筋の防御機構ではあまりにも遅すぎる。よって TR において接地前に体幹の外方傾斜を制動させ、接地後の膝外転角の増大を抑制した本結果から、接地後の膝外転角度の改善には、接地前のプリアクティビティーが「The 11+」によって高められた可能性があると推察する。

以上より、本論文では「The 11+」の ACL 損傷に対する予防効果について科学的根拠を明らかにすべく研究を行い、その過程でこれまで明らかにされていなかった新たな知見を得ることができた。ただし、本研究では、「The 11+」によって動作時の身体キネマティクスを改善させる効果を得ることができたが、実際に ACL 損傷の予防につながるか否か、ACL 損傷の発生率について疫学調査にて明らかにする必要がある。また、キネマティクスが改善した要因に関して科学的検証が行えておらず、今後は関節モーメントや筋力、筋活動（プリアクティビティー）といった他の評価パラメータからさらに検証を深めていくことが必要であり、今後の研究課題としてあげられる。

第 5 章

参考資料

参考資料 1

第1節 大学女子サッカー選手において外的因子が Drop Vertical Jump のキネマティクスに及ぼす影響

第1項 緒言

動作中の ACL 損傷危険因子を抽出することは, ACL 損傷の予防において効率性および有効性の面より重要である. ACL 損傷危険率予測指標[46]を用いて, ACL 損傷高リスク選手を予測する際, 人工芝と実験室におけるサーフェイスおよびシューズの違いが身体キネマティクスに与える影響について検証することは重要である.

大学女子サッカー選手の Drop vertical jump (DVJ) 測定において, 人工芝と実験室におけるサーフェイスおよびシューズの違いが身体キネマティクスに与える影響について明らかにすることを目的とした.

第2項 方法

1. 対象

関東大学女子サッカーリーグ1部に所属する女子サッカー選手 52 名 (Table. 4-1-1) を対象とした. 過去半年以内の下肢傷害の既往がある選手は除外対象とした. 対象者には研究の目的, 方法, 倫理的配慮等に関する説明を十分に行い, 文書にて参加の同意を得られた者を対象とした. また, 本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した.

Table. 4-1-1 Subject Demographics (mean $\pm$ SD)

Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Soccer experience (year)
19.2 $\pm$ 2.1	154.8 $\pm$ 4.1	56.3 $\pm$ 5.5	13.5 $\pm$ 1.7

2. 動作課題

動作試技には DVJ を用いた. 対象者をランダムに分け, 人工芝 (スパイク着用) および実験室 (室内用シューズ着用) にて DVJ を行わせた. DVJ の測定方法の詳細およびパラメータは第 2 章第 1 節に示した通りである.

3. データ解析

DVJ のデータ解析方法の詳細は第 2 章第 1 節に示した通りである.

4. 統計処理

ACL 損傷危険率, 膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量の各パラメータを実験室と人工芝において対応のある t 検定を用いて比較した. 統計解析ソフトには SPSS 21.0 J for Windows を用いて, 統計学的有意水準は 5%未満とした.

第 3 項 結果

膝屈曲角変位量は人工芝測定の方が室内測定よりも有意に小さく, ACL 損傷危険率は有意に大きい結果となった ($p < 0.01$, $p < 0.05$) (Figure. 4-1). その際の効果量 0.52 はであり, 中等度であった. 膝内側変位量においては統計学的な有意差は認められなかった.

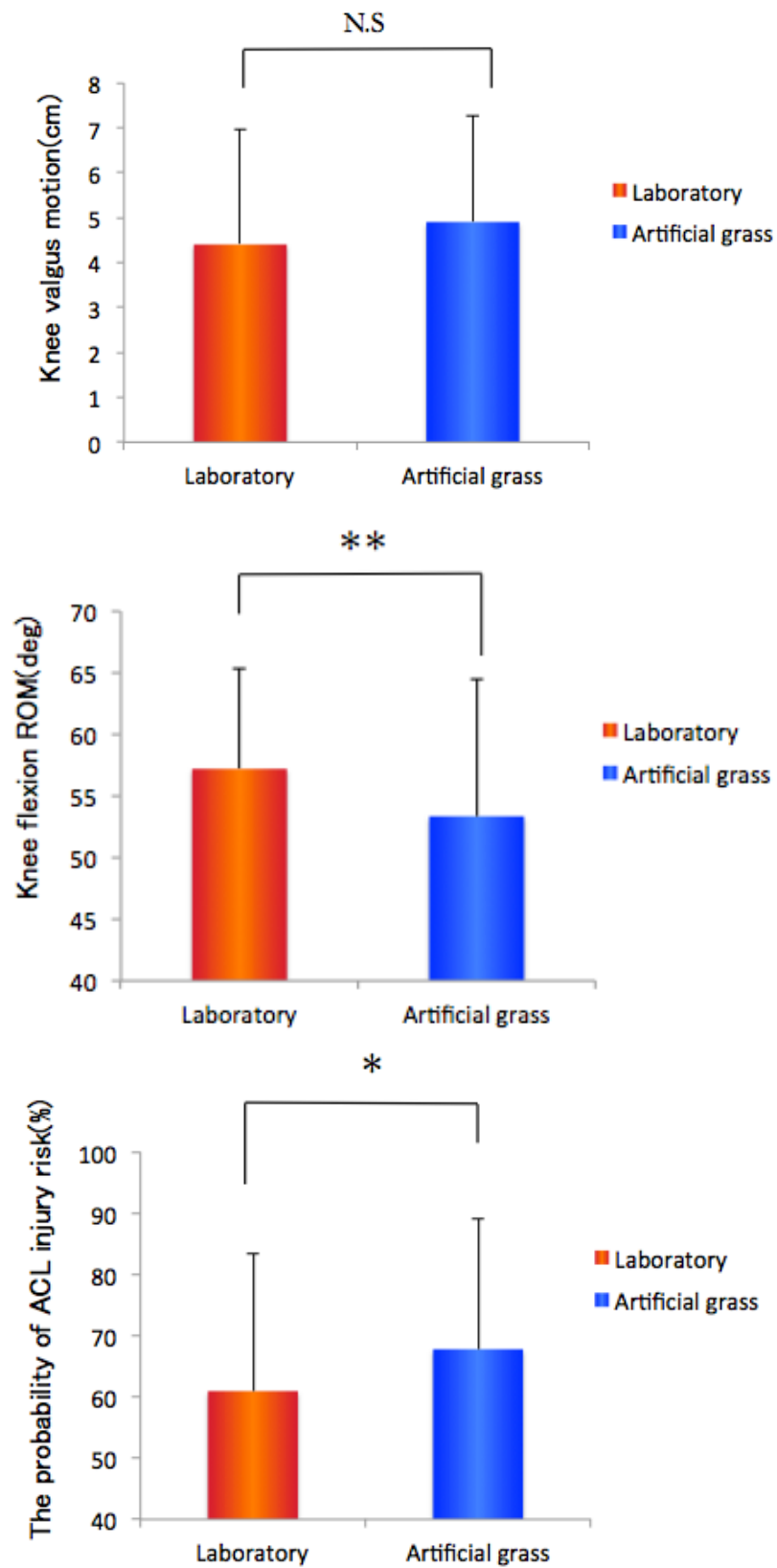


Fig. 4-1-1 Comparison of DVJ kinematics between Laboratory and artificial grass

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.001$

第4項 結論

- ・通常のトレーニング環境下（人工芝）における測定では，実験室測定よりも ACL 損傷の危険度は高くなることが示唆された。
- ・サッカー選手において通常のトレーニング環境は人工芝およびスパイクであるため，実験室の床面および室内シューズでは，ACL 損傷危険率を算出する際に過小評価となる可能性があり，注意が必要である。

参考資料 2

第2節 方向転換動作における3次元座標値の算出方法

～Frame-DIAS VとVICONによる検証～

第1項 緒言

これまでの動作解析において3次元座標値を算出するためには、実験室内にて3次元動作解析装置 VICON が使用されることがゴールドスタンダードになっている。しかし VICONは高価であり、計測に際して準備に時間を要し、さらにはトレーニング環境において測定することは、機材の運搬やトレーニング環境下に設置する際の許可の問題等にて困難であることが多く、実用的とはいえない。そのため、家庭用カメラを用いて3次元座標値を算出することが可能である Frame-DIAS は現場測定において実用的な解析ソフトである。ただし Frame-DIAS より算出される3次元座標値が、ゴールドスタンダードである VICON にて算出される3次元座標値と比較して信頼性のある値か、検討した報告は我々が渉猟する限りみられない。そこで方向転換動作における3次元座標値の算出にあたって Frame-DIAS VとVICONを比較することを目的とする。

第2項 方法

1. 対象 (Table. 4-2-1)

関東大学女子サッカーリーグ1部に所属する女子サッカー選手7名を対象とし、過去半年以内の下肢傷害の既往がある選手は除外対象とした。対象者には研究の目的、方法、倫理的配慮等に関する説明を十分に行い、文書にて参加の同意を得られた者を対象とした。また本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した。

Table. 4-2-1 Subject Demografhics (mean±SD)

Age (year)	Height (cm)	Body Weight (kg)	Soccer experience (year)
20.0 ± 0.8	160.1 ± 7.1	52.2 ± 6.4	10.4 ± 2.0

2. 動作課題

動作試技には10m×5 shuttle run(SR)を用いた.対象者には普段履きなれたスパイクを着用し,トレーニング環境下にて行わせた.SRの測定方法の詳細は第2章1節に示した通りである.

3. データ解析

Frame-DIAS V (DKH 社)

- ・Frame-DIAS Vを用いた解析の詳細は第2章1節に示した通りである.
- ・解析は自動追尾のみにて行い,手動でのマーカ認識は解析対象外とした.
- ・ハイスピードカメラ (EX-F1, CASIO 社)を用いて,サンプリング周波数を300Hzとした.カメラ設定はマニュアルにて行い,F値:3.0,シャッター速度:1/1250,ISO感度:100(天候にて調整必要)と設定し,できる限り鮮明に記録できるように調節した.

VICON(Inter Reha 社)

3次元動作解析装置 VICON で記録したデータを NEXUS (Inter Reha 社)に取り込み,貼付した反射マーカの3次元座標値を算出した.

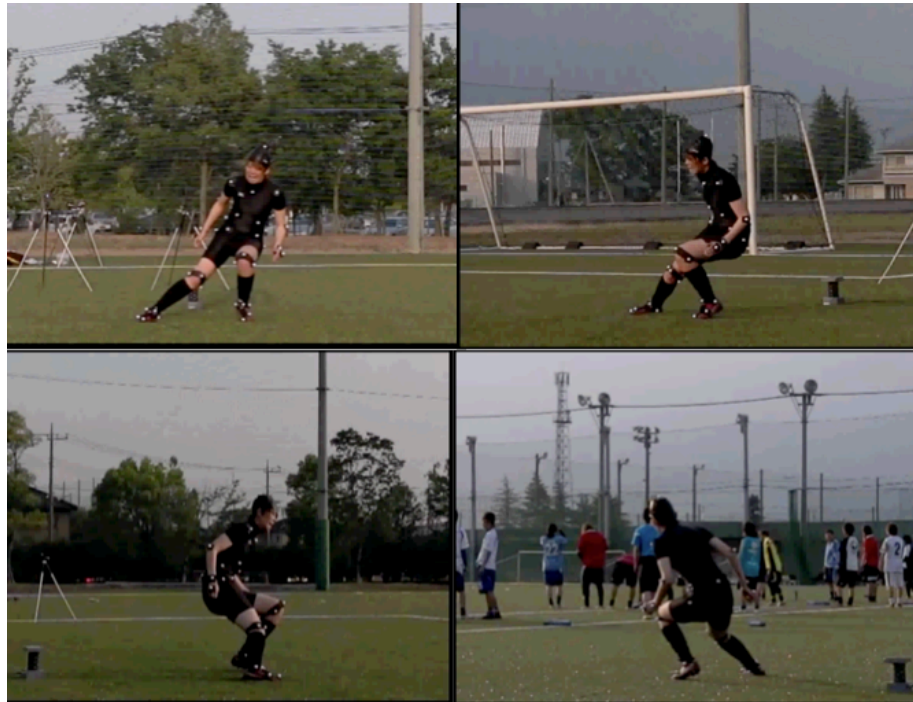
補間, フィルター処理および角度算出方法

- ・Frame-DIAS Vと NEXUS とともに補間機能は,スプライン補間を用い,皮膚マーカの軌跡は,15Hzのカットオフ周波数で low-pass Butterworth デジタルフィルターを通してフィルター処理を行い,2群間で統一した.
- ・Frame-DIAS Vおよび NEXUS から得られた3次元座標値を用いて,第2章2節で用いた方法で統一し,体幹外方傾斜・股屈曲/股外転,膝屈曲/膝外転角度を算出した.

4. 統計処理

体幹外方傾斜, 股関節屈曲/外転, 膝屈曲/外転角度の接地から 10ms ごとの値について Frame-DIAS V 値と NEXUS 値の関係性を Pearson の相関係数を用いて検討した. 統計解析ソフトには SPSS 21.0 J for Windows を用い, 統計学的有意水準は 5%未満とした.

a)



b)

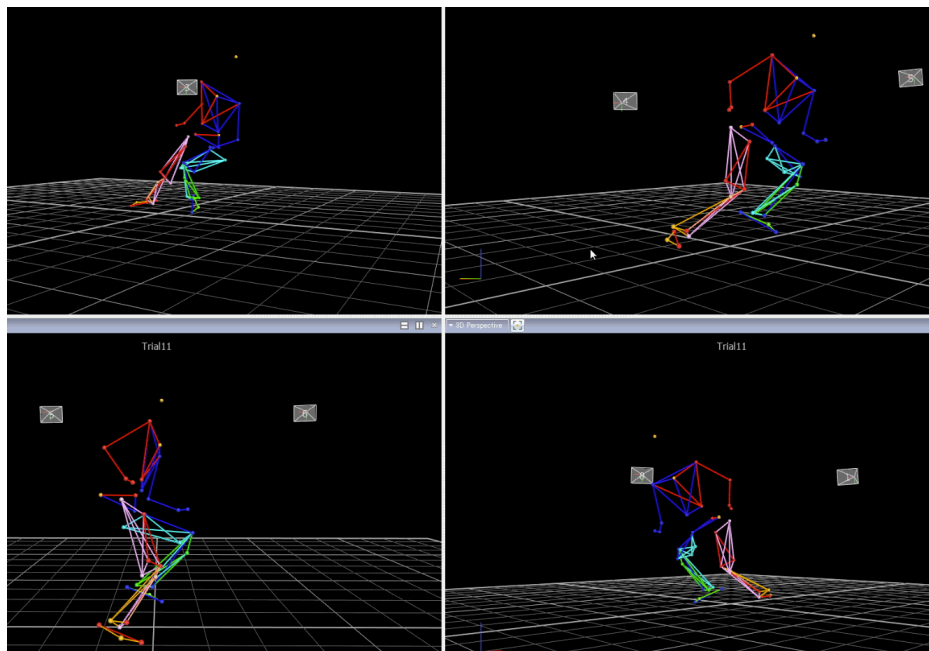
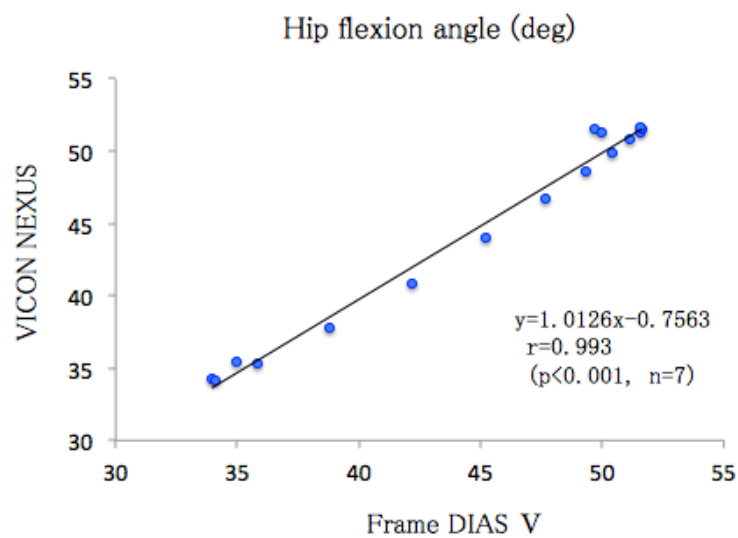
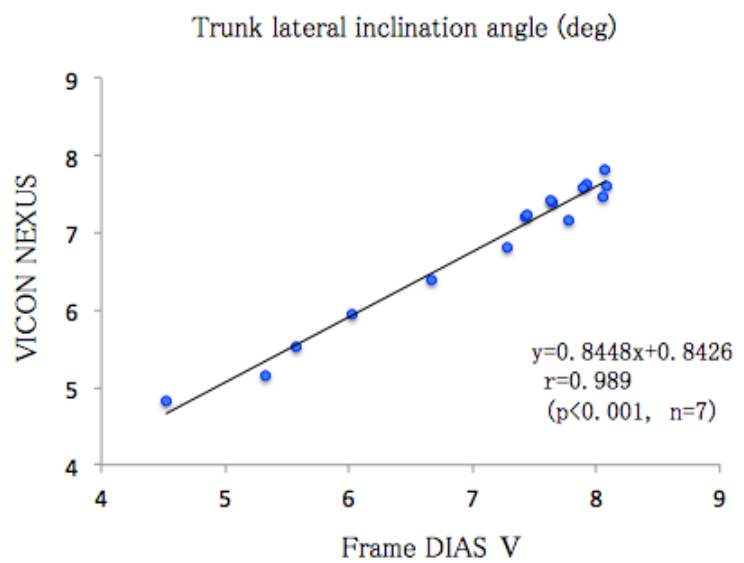


Fig.4-2-1 Comparison of trunk and knee,hip motion during SR
between Frame-DIAS and VICON

a) Frame-DIAS V, b) VICON NEXUS

第3項 結果

貼付した皮膚マーカの3次元座標値より算出した体幹外方傾斜, 股関節屈曲/外転, 膝屈曲/外転角度は, Frame-DIAS VとVICON NEXUSとの間で, 高い正の相関 ($r=0.989, p<0.001, r=0.993, p<0.001, r=0.987, p<0.001, r=0.983, p<0.001, r=0.998, p<0.001, n=7$) を示した. (Table. 4-2-2)



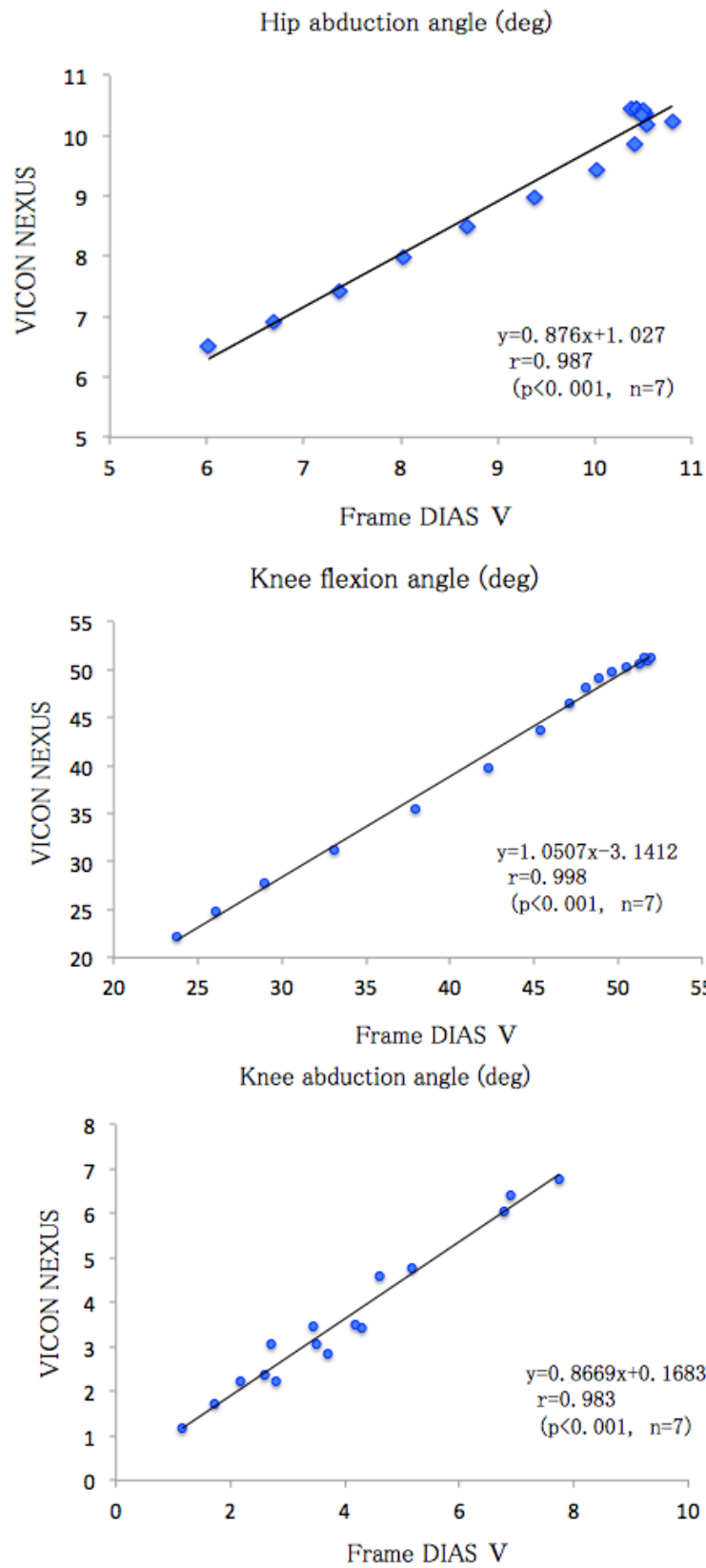
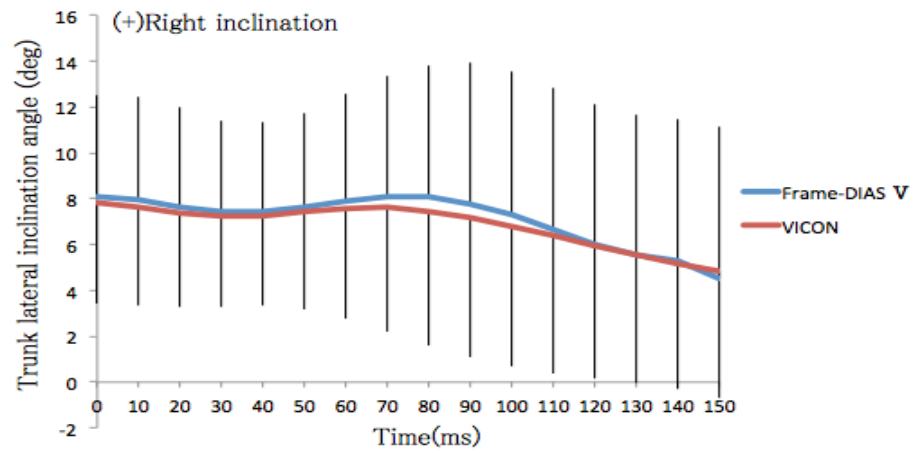
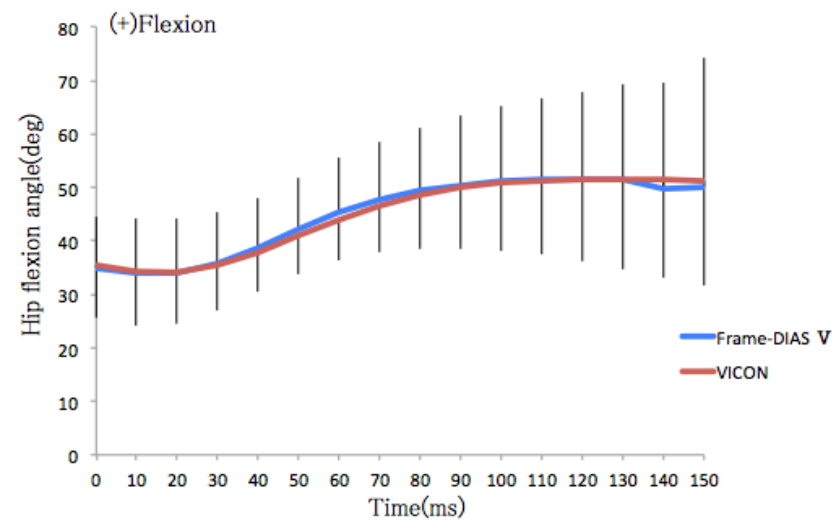


Fig.4-2-2 Correlation plot of between Frame-DIAS and VICON at the he trunk and lower limb motion during SR

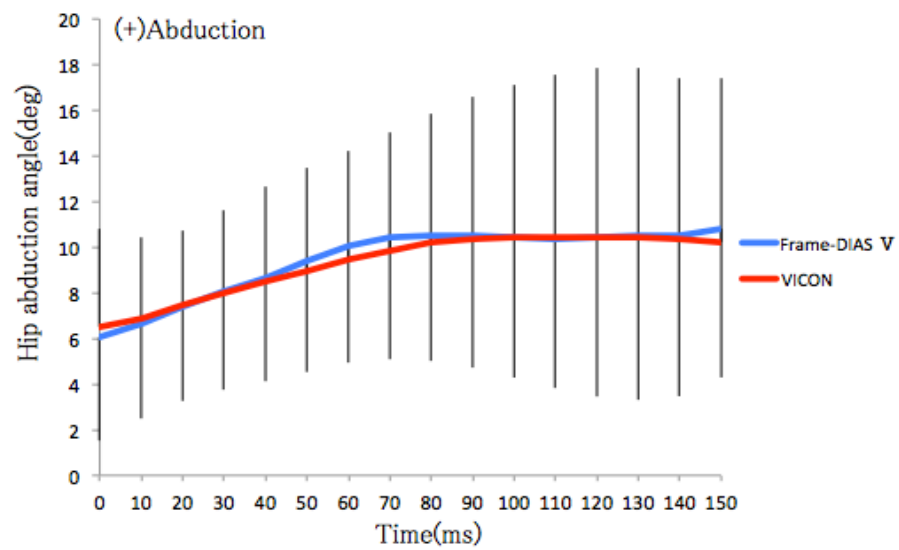
a)



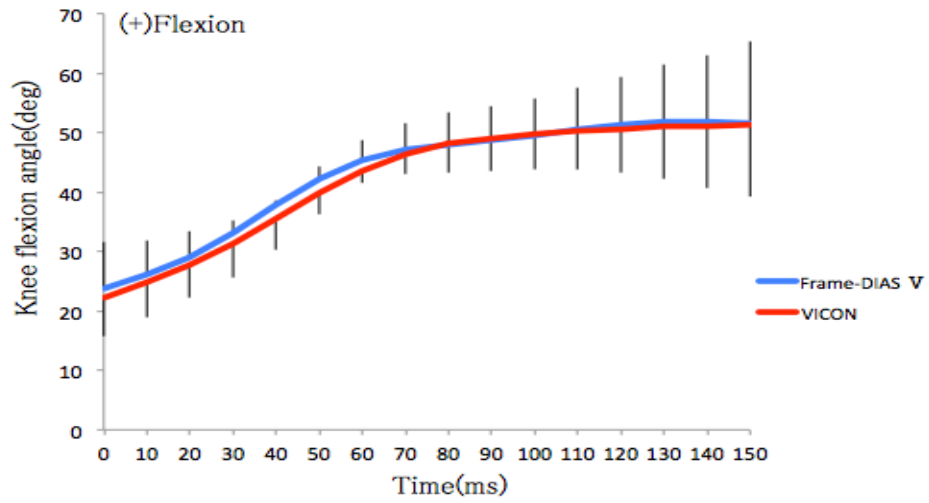
b)



c)



d)



e)

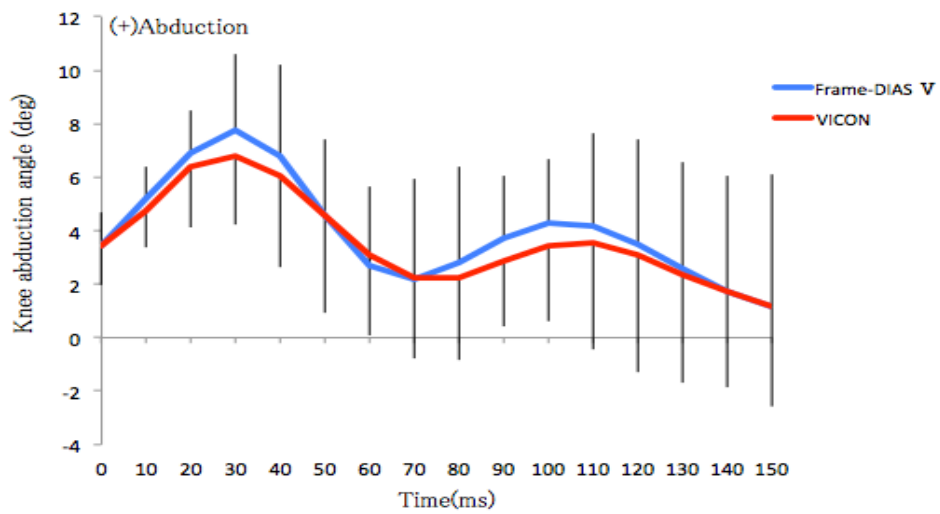


Fig.4-2-3 Comparison of between Frame-DIAS and VICON at the he trunk and lower limb motion during

- a) trunk lateral inclination angle, b) hip flexion angle, c) hip abduction angle
d) knee flexion angle, e) knee abduction angle

第4項 結論

これまでの3次元動作解析は3次元動作解析装置 VICON が使われることがゴールドスタンダードである。しかし、スポーツ現場においては3次元動作解析装置 VICON を使用することは実用的とはいえない。本結果より、家庭用ビデオカメラ（ハイスピード）を用いて撮影した映像から解析ソフト Frame-DIAS にて算出した3次元座標値は、VICON NEXUS と類似した3次元座標値を算出することが可能であることが示唆された。

参考資料 3

FIFA 「The 11+」 []

パート1 ランニングエクササイズ

1 RUNNING STRAIGHT AHEAD



ストレート・アヘッド

2 RUNNING HIP OUT



ヒップ・アウト

3 RUNNING HIP IN



ヒップ・イン

4 RUNNING CIRCLING PARTNER



サークリング・パートナー

5 RUNNING JUMPING WITH SHOULDER CONTACT



ショルダー・コンタクト

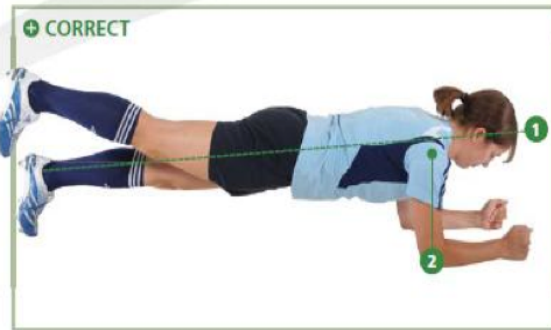
6 RUNNING QUICK FORWARDS AND BACKWARDS SPRINTS



前後走

パート2 ストレングス・バランス・プライオメトリックエクササイズ

7.3 THE BENCH ONE LEG LIFT AND HOLD



ベンチ

8.3 SIDEWAYS BENCH WITH LEG LIFT



サイドベンチ

9 HAMSTRINGS BEGINNER – INTERMEDIATE – ADVANCED



ハムストリングス

10.3 SINGLE-LEG BALANCE TEST YOUR PARTNER



シングルレッグスタンス

11.3 SQUATS ONE-LEG SQUATS



シングルレッグスクワット

12.3 JUMPING BOX JUMPS



ボックスジャンプ

パート1 ランニングエクササイズ

13 RUNNING ACROSS THE PITCH



アクロスザピッチ

14 RUNNING BOUNDING



バウンディング

15 RUNNING PLANT AND CUT



プラント&カット

すべての指導において「膝をつま先に対して内側に入れないこと」「膝をつま先方向と同じにする」「着地時に膝を深く曲げる」「着地時の股関節を深く曲げる」「骨盤が後傾しないよう中間位から前傾位を保つ」「動作時における体幹の側方傾斜が起こらないようにする」ことを行い、各内容を2セットずつ行わせる。

引用文献

1. Hootman, J.M., R. Dick, and J. Agel, Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train*, 2007. **42**(2): p. 311-9.
2. Junge, A., et al., Sports injuries during the Summer Olympic Games 2008. *Am J Sports Med*, 2009. **37**(11): p. 2165-72.
3. Agel, J., E.A. Arendt, and B. Bershadsky, Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med*, 2005. **33**(4): p. 524-30.
4. Griffin, L.Y., et al., Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg*, 2000. **8**(3): p. 141-50.
5. Arendt, E.A., J. Agel, and R. Dick, Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *J Athl Train*, 1999. **34**(2): p. 86-92.
6. Arendt, E. and R. Dick, Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med*, 1995. **23**(6): p. 694-701.
7. Arnoczky, S.P., Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res*, 1983(172): p. 19-25.
8. Sakane, M., et al., In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res*, 1997. **15**(2): p. 285-93.
9. Butler, D.L., F.R. Noyes, and E.S. Grood, Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*, 1980. **62**(2): p. 259-70.
10. Fujie, H., et al., Mechanical functions of the three bundles consisting of the human anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011. **19**

Suppl 1: p. S47-53.

11. Markolf, K.L., et al., Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. An in vitro study performed with a new experimental technique. *J Bone Joint Surg Am*, 1990. **72**(4): p. 557-67.
12. Gehring, D., M. Melnyk, and A. Gollhofer, Gender and fatigue have influence on knee joint control strategies during landing. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2009. **24**(1): p. 82-7.
13. Schutte, M.J., et al., Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 1987. **69**(2): p. 243-7.
14. Woodland, L.H. and R.S. Francis, Parameters and comparisons of the quadriceps angle of college-aged men and women in the supine and standing positions. *Am J Sports Med*, 1992. **20**(2): p. 208-11.
15. Johansson, H., P. Sjolander, and P. Sojka, Activity in receptor afferents from the anterior cruciate ligament evokes reflex effects on fusimotor neurones. *Neurosci Res*, 1990. **8**(1): p. 54-9.
16. Boden, B.P., et al., Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 2000. **23**(6): p. 573-8.
17. Hewett, T.E., et al., Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med*, 2005. **33**(4): p. 492-501.
18. Braten, M., T. Terjesen, and I. Rossvoll, Femoral anteversion in normal adults. Ultrasound measurements in 50 men and 50 women. *Acta Orthop Scand*, 1992. **63**(1): p. 29-32.
19. Beckett, M.E., et al., Incidence of Hyperpronation in the ACL Injured Knee: A Clinical Perspective. *J Athl Train*, 1992. **27**(1): p. 58-62.

20. Shelbourne, K.D., W.A. Facibene, and J.J. Hunt, Radiographic and intraoperative intercondylar notch width measurements in men and women with unilateral and bilateral anterior cruciate ligament tears. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1997. **5**(4): p. 229-33.
21. Malinzak, R.A., et al., A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2001. **16**(5): p. 438-45.
22. Moul, J.L., Differences in Selected Predictors of Anterior Cruciate Ligament Tears Between Male and Female NCAA Division I Collegiate Basketball Players. *J Athl Train*, 1998. **33**(2): p. 118-21.
23. Hara, K., et al., Anatomy of normal human anterior cruciate ligament attachments evaluated by divided small bundles. *Am J Sports Med*, 2009. **37**(12): p. 2386-91.
24. Olsen, O.E., et al., Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med*, 2004. **32**(4): p. 1002-12.
25. Myer, G.D., et al., Biomechanics laboratory-based prediction algorithm to identify female athletes with high knee loads that increase risk of ACL injury. *Br J Sports Med*, 2011. **45**(4): p. 245-52.
26. Koga, H., et al., Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med*, 2010. **38**(11): p. 2218-25.
27. Hewett, T.E., et al., The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am J Sports Med*, 1999. **27**(6): p. 699-706.
28. Petersen, W., et al., A controlled prospective case control study of a prevention

- training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2005. **125**(9): p. 614-21.
29. Myklebust, G., et al., Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med*, 2003. **13**(2): p. 71-8.
 30. Mandelbaum, B.R., et al., Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *Am J Sports Med*, 2005. **33**(7): p. 1003-10.
 31. Olsen, O.E., et al., Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 2005. **330**(7489): p. 449.
 32. Ettlinger, C.F., R.J. Johnson, and J.E. Shealy, A method to help reduce the risk of serious knee sprains incurred in alpine skiing. *Am J Sports Med*, 1995. **23**(5): p. 531-7.
 33. Soderman, K., et al., Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2000. **8**(6): p. 356-63.
 34. Caraffa, A., et al., Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1996. **4**(1): p. 19-21.
 35. Hewett, T.E., et al., Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *Am J Sports Med*, 1996. **24**(6): p. 765-73.
 36. Irmischer, B.S., et al., Effects of a knee ligament injury prevention exercise program on impact forces in women. *J Strength Cond Res*, 2004. **18**(4): p. 703-7.
 37. Noyes, F.R. and S.D. Barber-Westin, Neuromuscular retraining intervention programs: do they reduce noncontact anterior cruciate ligament injury rates in

- adolescent female athletes? *Arthroscopy*, 2014. **30**(2): p. 245-55.
38. van Mechelen, W., H. Hlobil, and H.C. Kemper, Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*, 1992. **14**(2): p. 82-99.
 39. Myer, G.D., et al., Development and validation of a clinic-based prediction tool to identify female athletes at high risk for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*, 2010. **38**(10): p. 2025-33.
 40. Kanamori, A., et al., The forces in the anterior cruciate ligament and knee kinematics during a simulated pivot shift test: A human cadaveric study using robotic technology. *Arthroscopy*, 2000. **16**(6): p. 633-9.
 41. Gabriel, M.T., et al., Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res*, 2004. **22**(1): p. 85-9.
 42. Levine, J.W., et al., Clinically relevant injury patterns after an anterior cruciate ligament injury provide insight into injury mechanisms. *Am J Sports Med*, 2013. **41**(2): p. 385-95.
 43. Ford, K.R., G.D. Myer, and T.E. Hewett, Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med Sci Sports Exerc*, 2003. **35**(10): p. 1745-50.
 44. McLean, S.G., S.W. Lipfert, and A.J. van den Bogert, Effect of gender and defensive opponent on the biomechanics of sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc*, 2004. **36**(6): p. 1008-16.
 45. Besier, T.F., et al., Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*, 2001. **33**(7): p. 1176-81.
 46. Myer, G.D., et al., Clinical correlates to laboratory measures for use in non-contact anterior cruciate ligament injury risk prediction algorithm. *Clin*

- Biomech (Bristol, Avon), 2010. **25**(7): p. 693-9.
47. Myer, G.D., et al., Three-dimensional motion analysis validation of a clinic-based nomogram designed to identify high ACL injury risk in female athletes. *Phys Sportsmed*, 2011. **39**(1): p. 19-28.
 48. Myer, G.D., K.R. Ford, and T.E. Hewett, New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *Br J Sports Med*, 2011. **45**(4): p. 238-44.
 49. Cowley, H.R., et al., Differences in neuromuscular strategies between landing and cutting tasks in female basketball and soccer athletes. *J Athl Train*, 2006. **41**(1): p. 67-73.
 50. Hewett, T.E., J.S. Torg, and B.P. Boden, Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br J Sports Med*, 2009. **43**(6): p. 417-22.
 51. Kristianslund, E., et al., Sidestep cutting technique and knee abduction loading: implications for ACL prevention exercises. *Br J Sports Med*, 2013.
 52. Nagano, Y., et al., Relationship between three-dimensional kinematics of knee and trunk motion during shuttle run cutting. *J Sports Sci*, 2011. **29**(14): p. 1525-34.
 53. Kristianslund, E. and T. Krosshaug, Comparison of drop jumps and sport-specific sidestep cutting: implications for anterior cruciate ligament injury risk screening. *Am J Sports Med*, 2013. **41**(3): p. 684-8.
 54. Myer, G.D., et al., The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res*, 2006. **20**(2): p. 345-53.
 55. Lephart, S.M., et al., Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in

- high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *Br J Sports Med*, 2005. **39**(12): p. 932-8.
56. Pollard, C.D., et al., The influence of in-season injury prevention training on lower-extremity kinematics during landing in female soccer players. *Clin J Sport Med*, 2006. **16**(3): p. 223-7.
 57. Hewett, T.E., G.D. Myer, and K.R. Ford, Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Joint Surg Am*, 2004. **86-A**(8): p. 1601-8.
 58. Reis, I., et al., Performance enhancement effects of Federation Internationale de Football Association's "The 11+" injury prevention training program in youth futsal players. *Clin J Sport Med*, 2013. **23**(4): p. 318-20.
 59. Askling, C., J. Karlsson, and A. Thorstensson, Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports*, 2003. **13**(4): p. 244-50.
 60. Onate, J.A., et al., Instruction of jump-landing technique using videotape feedback: altering lower extremity motion patterns. *Am J Sports Med*, 2005. **33**(6): p. 831-42.
 61. Arms, S.W., et al., The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. *Am J Sports Med*, 1984. **12**(1): p. 8-18.
 62. Renstrom, P., et al., Strain within the anterior cruciate ligament during hamstring and quadriceps activity. *Am J Sports Med*, 1986. **14**(1): p. 83-7.
 63. Beynnon, B.D., et al., Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. *Am J Sports Med*, 1995. **23**(1): p. 24-34.
 64. Celebrini, R.G., et al., Effect of a Novel Movement Strategy in Decreasing ACL Risk Factors in Female Adolescent Soccer Players: A Randomized Controlled Trial.

- Clin J Sport Med, 2013.
65. Holm, I., et al., Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. Clin J Sport Med, 2004. **14**(2): p. 88-94.
66. Cerulli, G., et al., In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2003. **11**(5): p. 307-11.
67. Decker, M.J., et al., Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2003. **18**(7): p. 662-9.
68. McLean, S.G., A. Su, and A.J. van den Bogert, Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement. J Biomech Eng, 2003. **125**(6): p. 864-74.
69. Williams, G.N., et al., Dynamic knee stability: current theory and implications for clinicians and scientists. J Orthop Sports Phys Ther, 2001. **31**(10): p. 546-66.
70. Zhou, S., et al., Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1996. **72**(5-6): p. 410-6.
71. Cowling, E.J., J.R. Steele, and P.J. McNair, Effect of verbal instructions on muscle activity and risk of injury to the anterior cruciate ligament during landing. Br J Sports Med, 2003. **37**(2): p. 126-30.
72. Chimera, N.J., et al., Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes. J Athl Train, 2004. **39**(1): p. 24-31.
- 73 奥脇透：日本におけるにおけるスポーツ外傷サーベイランスサーベイランスシステムの構築-第2報-, 平成23年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告Ⅱ：2011.

74. 公益財団法人日本サッカー協会, JFA フィジカル測定ガイドライン: 2006
75. Keith A. Mans posture: its evolution and disorders. Lecture IV. the adaptations of the abdomen and its viscera to orthograde posture. Br Med J. 1923;1:587-90
76. 吉澤英造, 大谷清, 才藤栄一訳. 腰痛-最新のエビデンスに基づく予防とリハビリテーション. ナップ, 東京; 2005
77. Daehan Kim, Guido Van Rysseghem, and Junggi Hong, Overcoming the Myth of Proprioceptive Training. Clinical Kinesiology 65(1); Spring, 2011
78. Katharina Grimm et al, Health and Fitness for the Female Football player A guide for plyers and coaches.

謝辞

本論文は早稲田大学スポーツ科学学術院福林徹教授の指導のもとに行われたものであり、稿を終えるにあたり、適時助言、指導してくださった先生に深く感謝の意を表する。さらに早稲田大学スポーツ科学学術大学院彼末一之教授、金岡恒治教授、広瀬統一准教授にはご多忙の中、審査員として新身なご指導、ご指摘を賜り心から感謝する。

本研究を行うにあたり、多大なご理解とご協力をいただいた関東大学女子サッカー連盟委員長川本竜史先生をはじめ、関東大学女子女子サッカー1部に所属するチームの内本研究に参加していただいた各大学の監督、コーチ、トレーナー、選手の皆様に心より感謝する。

また帝京大学佐保泰明助教には本研究の実施にあたり、研究内容、学術集会での資料作成に渡り、ご指導を賜り深く感謝する。

さらに早稲田大学スポーツ科学学術院深野真子助手には修士論文作成にあたりご指導を賜り深く感謝する。

そして研究活動を進めるにあたり、公私ともに支えて頂いた早稲田大学スポーツ科学研究科スポーツ外科研究室に所属する皆様に深く感謝する。

最後に、これまで長きに渡った学生生活を支えてくださった両親、妻にこの場を借りて心より感謝する。