

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：32643

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700709

研究課題名(和文) 瞬時の判断を伴う動作と膝前十字靭帯損傷の関連性および予防への活用

研究課題名(英文) The relationship between reactive step maneuver and anterior cruciate ligament injury

研究代表者

佐保 泰明 (Saho, Yasuaki)

帝京大学・医療技術学部・助教

研究者番号：90438036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では突如示される光信号指示に反応して行うステップ動作(反応条件)が、前十字靭帯損傷のリスクとなるか検討し、また反動的な動作を組み込んだトレーニングプログラムが前十字靭帯損傷の予防に効果があるか検討した。

反応条件下でのステップ動作により、体幹の傾斜が大きくなること、膝関節運動が前十字靭帯損傷の受傷姿勢に近づくことが確認された。

反動的なステップを含むトレーニングプログラムの実施前後で、体幹の側方傾斜、回旋運動が減少し、膝関節運動も抑制される傾向にあった。以上のことから反応条件を含んだトレーニングが前十字靭帯損傷予防に効果的である可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：Anterior Cruciate Ligament (ACL) injuries often occur during reactive movements, such as unanticipated (UN) side-step. This study aimed to investigate whether the UN condition is more risky than the anticipated (AN) condition during step task and whether the reactive step exercises are useful for ACL injury prevention.

This study indicated that UN side-steps increase knee abduction and rotational moment. This suggested that UN tasks may help identify the risk of knee ligament injury.

Injury prevention program including reactive step exercises was performed. After this program, trunk lateral inclination and rotation to step side were decreased. This result suggested that reactive step exercises are important to decrease the risk of ACL injuries.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：前十字靭帯損傷 反応課題

1. 研究開始当初の背景

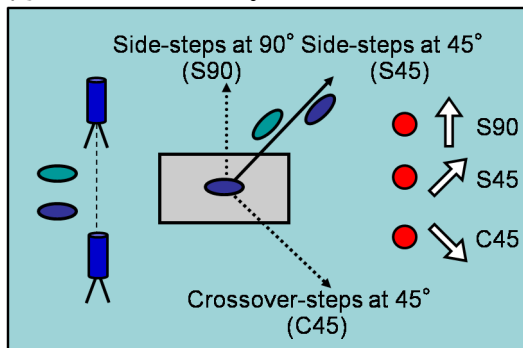
前十字靭帯損傷は重篤な傷害の一つであり、発生メカニズムの解明と予防方法の確立が急務である。これまで、前十字靭帯損傷発生メカニズムの検討には、受傷頻度の高い動作を再現し、各関節運動の検討が行われている。こうした手法で用いられる動作では予め対象者に実施する動作や方向を指示した状態(予測条件)で行われている。しかしながら、実際のスポーツ動作では相手やボールの動きに瞬時に対応することが求められ、こうした反動的な課題(反応条件)における膝関節の動きに注目することで、前十字靭帯損傷の発生メカニズムを明らかとする情報が得られる可能性がある。また、前十字靭帯損傷の受傷場面では体幹の動きが大きくなっていることが報告されており、体幹の動きとの関連を明らかにする必要がある。また、このような反応条件を取り入れたトレーニングプログラムは前十字靭帯損傷の予防に繋がる可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、従来の予測条件での身体動作と複数用意された課題の中から突如示された光信号指示にしたがって動作を遂行するスポーツ動作をシミュレーションした反応条件下での身体動作を比較することにより、反応条件が膝前十字靭帯損傷の受傷メカニズムに近づくか膝関節・体幹に注目して検討すること、反応条件を用いた傷害予防プログラムを立案すること、および作成したプログラムにより傷害を回避する動作が習得できるか検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 三次元動作解析装置を用いて以下の課題動作時の膝関節運動を調査した。課題動作は両足前方ジャンプから利き足で着地し、90度サイドステップ(S90)、45度サイドステップ(S45)、45度クロスオーバーステップ(C45)とし、ステップ方向は前方に設置したLEDライトを用いて指示した。LEDライト点灯(ステップ方向の指示)のタイミングは予測条件(AN)では課題実施前とした。反応条件(UN)では、前方ジャンプしてゲートを通じた瞬間とした(下図)。ステップ方向はランダムとした。



解析は90度サイドステップ、45度サイドステップとし、最大垂直床反力、膝関節屈曲/伸展・外転/内転、外旋/内旋モーメント(接

地後40msec時および最大値)、足部接地時間を算出し条件間で比較した。また体幹の側方傾斜角度を比較した。

(2) 男女間の前十字靭帯損傷リスクの比較を行った。対象は育成年代であった。前十字靭帯損傷のリスクの評価としてMyerらが提唱するVertical Drop Jump(DVJ)を用いてハイリスク判定される割合を検討した。リスク算出に際し、DVJにおいて前方および側方に設置したビデオカメラから膝内方移動量、膝屈曲変位量を算出し、別途、脛骨長、体重、HQ比(体重から推定)を計測した。また、一般的な傷害予防プログラムによるリスクの変化を検討した。

(3) 反応課題を用いたアジリティ、ステップ動作およびコアエクササイズ、バランスエクササイズを中心としたトレーニングプログラムを考案した。

(4) 男子大学サッカー選手を対象に(3)のトレーニングプログラムを8週間実施し、その効果を検証した。介入前後に三次元動作解析装置を用いて課題動作中の膝関節および体幹運動を計測した。課題動作は両足前方ジャンプから右足で着地し、45度サイドステップ、前方ランニング、45度クロスオーバーステップとし、ステップ方向は前方に設置したLEDライトを用いて指示した。LEDライト点灯(ステップ方向の指示)のタイミングは予測条件(AN)では課題実施前とし、反応条件(UN)では、前方ジャンプしてゲートを通じた瞬間とした。ステップ方向はランダムとした。解析にはVisual 3D(C-Motion, Inc, Germantown MD, USA)を使用した。解析対象は45度サイドステップ(S45)とした。膝関節および体幹の運動について足部接地時、接地後40msec時、足部接地期の最大値及び最小値を介入前後で比較した。

4. 研究成果

(1) 最大垂直床反力は条件間で差が認められなかった( $p>0.05$ )。足部接地時間は反応条件(UN)のほうが予測条件(AN)よりも有意に長かった(S90: UN  $499 \pm 60$ msec vs. AN  $403 \pm 61$ msec, S45: UN  $438 \pm 37$ msec vs. AN  $356 \pm 65$ msec,  $p<0.05$ )。接地後40msec時の膝外転モーメントはS45においてANよりもUNの方が有意に大きかった(UN  $0.16 \pm 0.1$ Nm/kg vs. AN  $0.08 \pm 0.09$ Nm/kg,  $p<0.05$ )。最大膝関節外転モーメントは条件間で違いは認められなかった。最大膝関節内旋モーメントについて条件間で違いが認められなかったが、S90において接地後40msecにおける膝関節内旋モーメントはUNの方がANよりも有意に大きかった。また、体幹運動について、UNにおいてステップとは反対方向への体幹側方傾斜が大きくなった。以上のことから反応条件下のサイドステップではステップ角度によ

り違いがあるものの、予測条件よりも反応条件で前十字靭帯損傷のリスクとなる膝関節モーメントが大きく発生する可能性が示唆された。

(2) DVJ において、女性選手では 37 人 74 膝中 14 膝(19%)がハイリスクと判定された。一方で男性においては 39 人 78 膝中 4 膝(5%)がハイリスクと判定された。Myer らが提唱する DVJ は計測が簡単で、臨床で用いやすい方法であるが、女性を対象として考案されたものである。本研究結果からも前十字靭帯損傷のリスクを算出する方法として女性を対象とした場合、有益であると考えられるが、男性では検出率が高くなく、リスクをスクリーニングする別の手法の考案が重要であると考えられた。また、一般的に育成年代の女性は成長期に、膝外反角度が大きくなるとされているが、本研究では一般的な傷害予防プログラムを 1 年間実施したところ、膝内方移動量(膝外反角度)に変化がなかったことから、育成年代女性への適切な運動介入により、前十字靭帯損傷リスクの増加を抑制できる可能性が示唆された。

### (3) トレーニングプログラム

トレーニングプログラムはウォーミングアップで実施できるよう、15 分から 20 分程度で実施できることとし、アジリティ、ステップ動作、コアエクササイズ、バランスエクササイズ、ダイナミックストレッチからなる構成とした。ステップ動作では反応課題を組み込んだ。縦横 3m 間隔にマーカーを設置し、横 6 列、縦 6 列のグリッドを作成した。ランニングの際はスタートライン(1 つ目のマーカー)から開始し、6 つ目のマーカーをゴールラインとした。プログラムは 4 つの構成とした；

パート : ランニングとダイナミックストレッチ

パート : コアエクササイズとバランスエクササイズ

パート : アジリティエクササイズ

パート : リアクションドリル(反応課題を用いたステップワーク)

#### -1. ランニング

スタートラインからゴールラインまでランニングする。

#### -2. 前後走

3 つ目のマーカーまでフォワードランニングし、マーカー 2 つ分バックステップをすることを 3 回繰り返してゴールラインに到達する。

#### -3. Hip - in & Hip-out

Hip-in はマーカーまで走りストップして膝を前に引き上げ、膝を外側に回して足をつく。次のマーカーまで走り反対側を実施し、ゴールラインまで続ける。

Hip-out はマーカーまで走り、ストップし

て膝を横に引き上げる。膝を前に回して足をつく。次のマーカーまで走り、反対側を実施する。

#### -1. フロントベンチ

地面に腹臥位となり、両肘および両つま先で支え、体幹を宙に浮かせる。体幹を一直線に保つ。30 秒間保持する(レベル 1)。

段階的に強度を上げるため、フロントベンチを維持しながら、片脚もしくは片手を宙に浮かせ、保持する(レベル 2)。

レベル 3 として、宙に浮かせた脚、もしくは手を上下もしくは左右にスイングする。

#### -2. サイドベンチ

側臥位の姿勢から、下の肘で支えて身体を浮かせながら、体幹を一直線に保つ。30 秒間保持する(レベル 1)。

段階的にレベルを上げるため、レベル 2 として上側にある股関節を外転させ、脚を宙に浮かせた状態で保持する。

レベル 3 として、宙に浮かせた脚を前後上下にスイングする。

#### -3. ヒップリフト

背臥位で膝 90 度として片脚を挙上し、反対側の臀部を挙上して 30 秒保持する(レベル 1)。

臀部を挙上した状態で、反対側の脚をスイングする(レベル 2)。

#### -4. ワンレッググッドモーニング

片脚立位から支持脚膝関節軽度屈曲位のまま股関節を屈曲する。バランスを維持し、脊柱が屈曲しないように注意する。

#### -1. スプリント-ストップ

2 つ目のマーカーまでスプリントし、減速して、3 つ目のマーカーでストップする。ゴールラインまでくり返す。

#### -2. ストップ-サイドステップ

1 つ目のマーカーまでスプリントし、減速する。2 つ目のマーカーでストップし、すぐに隣のマーカーまでサイドステップする。ゴールラインまでくり返し行う。

#### -3. ラテラルホップ、クロスラテラルホップ

ラテラルホップは右斜め 45 度前方にジャンプして右脚で着地する。続けて左斜め 45 度前方にジャンプして左脚で着地する。スタートラインからゴールラインまで繰り返す。

クロスラテラルホップは、ジャンプ方向と反対の脚で着地する(右斜め 45 度にジャンプした場合、左脚で着地する)。着地時に衝撃を吸収し、アライメントに注意する。

#### -4. バウンディング

1 つ目のマーカーまでジョギングし、その後バウンディングをゴールラインまで行う。着地時のアライメントに注意する。

#### リアクションドリル

リアクションドリルは Smart Speed( Fusion Sports Pty Ltd. Australia ) を用いて実施する。

スタートラインにゲート を設定し、5m 前方にゲート を設置する。ゲート から左右

45度で3m前方にゲート（左45度）およびゲート（右45度）を設定する。ゲートを通じた瞬間にランダムにゲートもしくはのLEDライトが点灯するしくみとなっている。

#### -1. 右足着地-カッティング

ゲートの手前に立ち、前方で大きくジャンプし右脚で着地する。ゲートが点灯した場合は着地後サイドステップを行い、ゲートを通る。ゲートが通過した場合はクロスオーバーステップを行い、ゲートを通る。左右3回ずつ行う。点灯する方向はランダムとする。レベル2として着地後90度方向へ3mサイドステップし、その後前方へスプリントしてゲートを通る。

を通過する。

#### -2. ランニング-カッティング

ゲートからランニングし、ゲート通過後、もしくはのうちLEDが点灯したゲートに向かってランニングする。

#### -3. スプリント-減速-カッティング

ゲートからスプリントしてを通過した瞬間に減速し、もしくはのうちLEDが点灯した方向にカッティングを行う。カッティングの際は右脚を軸として実施し、が点灯した際はサイドステップ、が点灯した場合はクロスオーバーステップとする。3回実施し、左脚でも実施する。

#### -4. 連続片脚ホップ-カッティング

ゲートから右脚で連続片脚ホップを行い、ゲート通過後、ゲートもしくはに向かい、サイドステップもしくはクロスオーバーステップを行う。

#### -5. ターンジャンプ-着地-カッティング

ゲートの前に後ろ向きに立ち、180度ターンジャンプをしながらゲートを通る。着地は両足で行い、ゲートもしくはゲートの点灯した方向へサイドステップもしくはクロスオーバーステップを行う（レベル1）。

レベル2としてターンジャンプの着地を片脚で実施し、ステップを行う。

ステップレベルを上げる基準は、着地後アライメントをきちんと保ちながら、正しい方向へのステップ動作が可能な場合とする。

プログラム中は下肢及び体幹のアライメントの重要性を説明し、注意させる。

(4) 45度サイドステップ(S45)における体幹運動について、右足部接地前から、接地直後まで右側屈し、その後左側屈する軌跡を示した。反応条件(UN)において、足部接地時の体幹側屈角度(右+/左-)は介入前が $21.6 \pm 7.1$ 度、介入後は $13.1 \pm 7.0$ 度であった。また、最大側屈角度も介入前 $27.4 \pm 8.7$ 度、介入後 $20.9 \pm 9.9$ 度であった。一方で、予測条件(AN)において、足部接地時の体幹側屈角度は介入前 $21.1 \pm 10.5$ 度、介入後 $19.0 \pm 9.1$ 度であり、変化がなかった。体幹の回旋(右+/左-)について、右足部接地前から

接地直後まで体幹は右回旋し、その後左回旋する。UNにおいて足部接地時、介入前は $24.4 \pm 7.8$ 度であったのに対して介入後は $18.8 \pm 6.8$ 度であった。一方で、ANでは介入前が $19.0 \pm 8.2$ 度、介入後が $17.9 \pm 6.1$ 度であった。以上のことから介入プログラムにより、UNにおいては体幹の接地側への側屈、回旋が抑制される傾向にあった。膝関節運動について、接地時の膝外転角度はUNにおいて介入前が $2.2 \pm 2.5$ 度、介入後が $0.4 \pm 1.6$ 度であった。接地から40msec時ではそれぞれ $4.5 \pm 3.6$ 度、 $2.1 \pm 2.1$ 度であった。接地後40msec時の膝内旋角度は、UNにおいて介入前は $4.2 \pm 2.9$ 、介入後は $2.7 \pm 3.9$ 度であった。前十字靭帯損傷肢位とされる膝関節外転、内旋角度は有意差は認められないものの、介入後に減少する傾向にあった。体幹の接地側への傾斜の増大は前十字靭帯損傷のリスクファクターとされており、体幹部側屈および体幹運動が得られた本プログラムは、前十字靭帯損傷の予防法確立への一助となる可能性があり、反応課題を用いた傷害予防プログラムが有効である可能性がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

佐保泰明、加藤晴康、中原千香子、馬越博久、小林拓馬、福林徹、ジュニア期におけるスポーツ外傷・障害予防への取り組み、日本体育協会スポーツ医・科学研究報告(査読無)、第2報、2015年、pp.4-8

[学会発表](計3件)

1. 佐保泰明. 非予測条件下におけるサイドステップ動作が膝関節に与える影響. 第23回臨床スポーツ医学会. 横浜, 2012年11月3日

2. Yasuaki Saho. Knee biomechanics during side-step maneuvers in anticipated and unanticipated conditions. 17th Annual Congress of the European College of Sport Medicine, Bruges, Belgium. 4-7 Jul. 2012

3. Yasuaki Saho, Haruyasu Kato, Chiaki Nakamura, Takuya Matsuda, Satoshi Nakajo, Mariko Shimada, Takuma Kobayashi, Toru Fukubayashi. The efficacy of Comprehensive warm-up program in male adolescent football players. IOC World Conference Prevention of Injury & Illness in sport. Monte-Carlo, Monaco. 10-12 April. 2014

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐保 泰明 (Yasuaki Saho)  
帝京大学・医療技術学部・助教  
研究者番号：90438036

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：