

氏 名 柴田 聡  
学位の種類 博士（スポーツ医学）  
学位記番号 博甲第 8880 号  
学位授与年月 平成 31年 1月 31日  
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当  
審査研究科 人間総合科学研究科  
学位論文題目 膝前十字靭帯（ACL）損傷の inciting event の  
バイオメカニクス的研究  
～女性における認知機能の関与の検証～

主 査 筑波大学准教授 博士（医学） 向井 直樹  
副 査 筑波大学教授 博士（医学） 宮川 俊平  
副 査 筑波大学准教授 竹村 雅裕  
副 査 筑波大学准教授 博士（医学） 小野 誠司

## 論文の内容の要旨

柴田氏の博士學位論文は、膝前十字靭帯（以下、ACL）損傷発生の男女差に着目し、台からの落下実験による着地動作の男女の違いと認知機能が着地動作及びカッティング動作に及ぼす影響について、キネマティックス、キネティックス、そして筋活動電位の観点から分析・検討したものである。

その要旨は以下のとおりである。

### （背景及び目的）

著者は、スポーツ活動中に好発する外傷である膝前十字靭帯（ACL）損傷のなかで、他者との接触を伴わずに、急激な減速、着地、方向転換で多く生じる非接触型の損傷の発生率が、女性では男性の2～7倍高いことに着目し、ACL 損傷発生の引き金となる動作（inciting event）である着地動作や方向転換動作に男女差が見られることを先行研究の分析に基づいて第1章に研究背景としてまとめている。そして問題点として、現在提唱されているスポーツ傷害予防のステップや外傷発生の多因子包括的モデルに当てはめて考えることが重要であること、及び女性特有のメカニズムや inciting event の男女差に関連する要因が十分に明らかになっていないことを指摘している。これらが、競技場面では様々な情報を処理して瞬時に意思決定や動作の選択が行われること（非予測的なイベントへの対応）に起因するのか、プレーヤー周辺の情報・状況を把握する機能（認知機能）の違いが影響しているのかという点にメカニズムの解明は及ぶことを推測している。

これらの背景を踏まえ、本研究では ACL 損傷発生率の高い女性の動作の特徴とその動作に影響を与える要因を明らかにすることを目的に 2 つの課題に取り組んでいる。第 2 章では、inciting event の 1 つとされる着地動作の性差を明らかにするとともに、そこに関連する内因性リスクファクターとその有無による受傷動作の違いを検討することを目的としている。第 3 章では、疲労等による認知機能の低下が、ACL 損傷のリスクファクターであるとの報告がある一方で、認知機能の変化が女性で顕著であるとの報告があることより、女性アスリートのみを対象に、認知機能の違いによって生じる動作の変化について種々の条件で検討している。

#### (方法)

ACL 損傷は、着地中の地面接地の約 40msec 前後のごく短い時間で生じると推定され、受傷肢位は、膝関節軽度屈曲位、外反・内旋位、脛骨の前方偏位と圧縮力の複合肢位で、股関節屈曲、外転、内旋位と衝撃吸収の不良を伴い、体幹前傾の減少や受傷側への側屈との関連が報告されている。第 2 章の研究課題 1 では、著者は、大学生アスリート男女各 10 名を対象に、30 cm の台上からの利き脚のみを用いた片脚着地動作を課題動作とし、離地後に着地位置を提示する非予測的な課題を加えた。その際に、台上に利き脚の踵でフットスイッチを踏んだ状態で片脚立位となった対象者は着地位置を右、左、変更なしの 3 種類の指示に応じて着地することを求めた。また着地位置の提示を片脚立位の足底がフットスイッチから離れるのと同様、0.1sec 後、0.2sec 後になるように設定し、計 9 種類のパターン（着地位置 3 か所×提示のタイミング 3 パターン）の実験を計画し、その際の関節角度、関節モーメントを算出し男女間で比較している。

第 3 章の研究課題 2 では、対象を大学体育会に所属する女性アスリート 15 名とし、認知機能テストとして Symbol Digit Modalities Test (SDMT) を課している。実験動作は研究課題 1 と同様の非予測的な課題を設定し、片脚着地動作に加えてカッティング動作、前方ステップ動作の 3 種類をランダムに指示した。その際の下肢・体幹の関節角度・関節モーメントおよび筋活動を計測し、認知機能との関連を検討している。

#### (結果及び考察)

著者は、第 2 章の結果として女性は男性に比べて着地時の体幹前屈角度、骨盤前傾角度、股関節屈曲角度が大きく、接地後の股関節の内転角度変化量、骨盤の立脚側への回旋角度変化量も大きいこと、地面反力値の垂直成分の最大値も大きく、着地動作中の衝撃吸収が男性と比べると十分にできていないことを明らかにしている。

また、第 3 章の結果としてはカッティング動作では、SDMT スコアが相対的に低いことによって接地前後の大腿四頭筋の筋活動増大、接地直後の大腿四頭筋に対するハムストリングの筋活動比が減少することを明らかにしている。そして、接地直後の大腿四頭筋の優位な筋活動は、脛骨の前方剪断力を生じ、結果的に ACL 損傷の発生リスクを高める可能性があることを示唆している。

さらには第 2 章の対象者の女性と、第 3 章の SDMT スコアが相対的に低い女性には、接地後の体幹・骨盤の立脚側への回旋運動が生じ、股関節の回旋や骨盤の回旋に、課題動作との非連動が観察されたことを報告している。荷重下での運動時の股関節の内転は膝関節の外反を導くことが示されており、股関節の前額面上の肢位を保つことの重要性が暗示されてきた。認知機能の一部は、精神運動速度や分配性の注意の機能に関連し、これらの機能が反応の遅れや動作への準備不足を引き起こす可能性を示唆していると考察している。

#### (結論)

著者は、SDMT スコアが相対的に低い値を示す対象者では、ACL の歪みや張力の増大につながる大腿四頭筋の筋活動の増加が膝関節の不安定性を増す筋活動変化を引き起こすことをバイオメカニクスの観点から示し、ACL 損傷の発生リスクが高まる可能性を示唆している。これは、女性の神経筋コントロールの特徴として、大腿四頭筋の活動のタイミングが早く大きいことが指摘されているが、本研究はさらに ACL 損傷リスクを高める動作に至る原因として、SDMT スコアの低下、つまり認知機能の関与を見出したと結論づけている。

## 審査の結果の要旨

#### (批評)

本研究では、膝前十字靭帯損傷 (ACL 損傷) に関係する男女の動作の違いとともに、ACL 損傷のリスクファクターとして認知機能に焦点をあて、その機能の相対的に高い群と低い群の着地動作の違いを検

討している。このような研究は非常に少なく、新しい知見を得るに至っている。すなわち、認知機能の向上をはかるあるいは疲労などによる低下を抑制することがACL損傷の予防につながる可能性が大きいと考えられるという知見を得ている。本研究は新規性が高く、大変興味深い研究として博士論文に十分に値する。審査委員はこの点を高く評価した。

平成30年11月22日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。その結果、審査委員全員が合格と判定した。

よって、著者は博士（スポーツ医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。