

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32511

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18072

研究課題名(和文)前足部接地はスポーツ傷害の予防に繋がるか～前十字靭帯損傷に着目して～

研究課題名(英文)The effect of forefoot landing on prevention of sports injury. -Focusing on the anterior cruciate ligament injury-

研究代表者

吉田 成仁 (YOSHIDA, Naruto)

帝京平成大学・ヒューマンケア学部・准教授

研究者番号：60581791

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：前足部接地(FFS)は、前十字靭帯(ACL)の損傷を防ぐために、方向転換動作中に後足部接地(RFS)よりも安全な着陸手法である可能性があります。方向転換(180度ターン)中のFFSとRFSによる接地時の関節角度、床反力(GRF)、および筋活動について検討を行いました。この結果、FFSとRFSの間で関節角度、筋活動、GRFに有意差があり、FFSは、RFSよりもACL損傷のリスクが低いことが示唆されました。また、前足部接地フォームの指導を行い、この指導前後における傷害発生率の変化についても検討を行いました。傷害発生率については、フォーム指導の前後において大きな差を認めませんでした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

前十字靭帯(ACL)の損傷は、スポーツをする人々にとって非常に重大な影響を及ぼします。傷害の発生からスポーツ復帰するまでに平均9か月ほどの時間を要し、復帰したとしても競技レベルを下げざるを得ないケースも多くあるためです。前足部での接地フォームの指導により、ACL損傷の発生リスクを下げる可能性が示されたことは、学術的、社会的な意義があります。しかし、本研究では、フォームの指導前後において、傷害発生率に変化が認められませんでした。傷害の発生には、トレーニング負荷や疲労度、環境など、多くの因子が関わっていることが原因とも考えられるため、今後はこれらについても併せて検討をしていく必要があります。

研究成果の概要(英文)：In the prevention of anterior cruciate ligament (ACL) injuries, the forefoot strike (FFS) could be a safer landing technique than the rearfoot strike (RFS) during cutting motions. In this study, we aimed to clarify the joint angles, ground reaction forces (GRFs), and muscle activity levels associated with FFS and RFS landings during 180° turns. Our results showed significant differences in the lower-limb angles, muscle activities, and GRFs between the FFS and RFS. These findings suggest that increased lateral gastrocnemius (GL) and semitendinosus (ST) activities during the FFS may prevent large amounts of tension from being placed on the ACL and thereby reduce the risk of injury. Furthermore, we investigated the injury rates before and after giving out the instructions regarding the forefoot landing movement. However, no significant difference was noted between the injury rates before and after instruction.

研究分野：スポーツ医学

キーワード：前足部接地 傷害調査 前十字靭帯 フォーム指導

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

リオデジャネイロオリンピックパラリンピックが開催され、世界中のアスリートの素晴らしいパフォーマンスから沢山の感動と希望を与えられた。しかし、怪我が原因でこのステージに立つことのできなかつたアスリートが多くいることも事実である。特に、その原因となる傷害のひとつに膝前十字靭帯(ACL)損傷が挙げられる。ACL 損傷は、競技復帰までに少なくとも 6 カ月から 9 カ月以上の期間が必要となると考えられており、ACL 損傷後には、競技レベルを下げざるを得ないケースも多い。そのため、ACL 損傷を予防するためのプログラムやリハビリテーションメニューの作成は、リハビリテーション医学、スポーツ医学といった分野において喫緊の課題といえる。

現在、国内外を問わず、いくつかの ACL 損傷予防のためのプログラムが発表されており、それらの多くがバランス能力と筋力に着目したトレーニング内容となっている。これらの予防プログラムの実施により ACL 損傷の予防には少なからず効果を発揮しているものの、これらの効果はいまだ十分とは言えず、より効果的なアプローチが模索されている状況である。Lieberman (2010) によるとランニング時の足の接地フォームを前足部接地と後足部接地で比較した結果、身体へ加わる床反力が異なることが示されている。我々は、進行方向に対して 45 度方向へのカッピング動作を前足部から接地する方法(FFS)と後足部から接地する方法(RFS)で実施した場合の膝関節角度を比較検討した。その結果、FFS の方がハムストリングスの筋活動が高く、膝関節の最大外反角度も少ないことが明らかとなり、ACL 損傷の予防に繋がる可能性を報告した(Yoshida, 2016)。サッカーやハンドボールでは、あらゆる場面で多様なステップが用いられており、こういった高度かつ多様な動きに対応しながらプレーする必要があるため、スピードに乗ったカッピング動作やジャンプ着地動作といった多様なステップ動作時に ACL 損傷が発生している(Myklebust, 1998)。特に、方向転換動作時において、後足部接地で行うと ACL 損傷リスクが高くなる可能性が考えられる。実際に後足部接地による方向転換動作時に ACL を損傷している選手も多くみられる。スポーツ選手の ACL 損傷を予防するためにも、方向転換時に過剰な膝関節へのストレスを誘発しないステップ動作の習得が必要であると考えられる。多くのスポーツにおいて、できる限り前足部接地でのフォームに修正することで ACL 損傷の発生を予防できる可能性があるが、これらについての検討はなされていない。

2. 研究の目的

実際にスポーツ現場へフィードバックを行うためには、先行研究にて明らかにされている進行方向に対して 45 度へのカッピング以外の方向転換動作においても、前足部接地で実施することで膝関節へのストレスが抑制でき、ACL 損傷予防に役立てるかを明らかにする必要がある。本研究においては 180 度のターン動作を FFS と RFS の 2 種類にて実施させ、接地フォームの違いが ACL 損傷のリスクファクター(下肢の筋活動、関節角度)に与える影響を明らかにする。また、FFS フォームの指導を行う前後における傷害発生率を比較検討し、FFS フォームの指導が、ACL 損傷を含めたスポーツ傷害の発生に及ぼす影響についても明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ターン動作における足の接地フォームと下肢筋活動・膝関節角度の関連性の検討

課題動作として 180 度のターン動作を行い、課題動作の各試技を赤外線カメラにて撮影し、筋活動を表面筋電図により記録した。この時、フォースプレートと同期させ、接地の瞬間とともに床反力の変化を記録した。各筋の最大随意筋収縮(MVC)を測定し、%MVC を算出した。得られたデータから、3 次元動作解析を行い、足の接地フォームと筋活動動態や下肢関節角度との関連性についても検討した。

課題動作

ターン動作(右足で実施とした): 150cm 側方からフォースプレート中心点に足を着き 180 度ターンを行う。

下肢関節角度の評価

3 次元動作解析システム OptiTrack Motive (OptiTrack 社製)、床反力計 (Kistler 社製) 1 枚、サンプリング周波数 100Hz の赤外線カメラ 12 台を用いる。ターン地点をフォースプレート上としサンプリング周波数 1000Hz にて床反力データの計測を行い、ジャンプ着地時の床反力を算出する。対象者には、モーションキャプチャスーツを着衣させ、直径 14mm のソフトマーカーを全身 49 点に貼付した。なお、足部のマーカーのみ直径 9mm のものを使用した。算出された座標より、股関節角度は、解剖学的立位肢位を基準とし、各関節角度を変化量にて表した。骨盤のセグメントの Y 方向のベクトルを軸として大腿のセグメントが前方方向に回転する動きを屈曲、後方方向に回転する動きを伸展とした。骨盤のセグメントの Z 方向のベクトルを軸として大腿のセグメントが内側方向に回転する動きを内転、外側方向に回転する動きを外転とした。骨盤のセグメントの X 方向のベクトルを軸として大腿のセグメントが内旋方向に回転する動きを内旋、外旋方向に回転する動きを外旋とした。なお、股関節の屈曲/伸展角度は屈曲を負(-)、伸展を正(+)、内転/外転角度は内転を正(+)、外転を負(-)とし、内旋/外旋角度は内旋を正(+)、外旋を負(-)とした。膝関節角度は、大腿のセグメントの Y 方向のベクトルを軸として下腿のセグメントが前方方向に回転する動きを伸展、後方方向に回転する動きを屈曲とした。大腿のセグメントの X 方向のベクトルを軸として下腿のセグメントが内側方向に回転する動きを内反、外側方向に

回転する動きを外反とした。大腿のセグメントの Z 方向のベクトルを軸として足部のセグメントが内旋方向に回転する動きを内旋、外旋方向に回転する動きを外旋とした。なお、膝関節の屈曲/伸展角度は屈曲を正(+), 伸展を負(-), 内反/外反角度は内反を正(+), 外反を負(-)とし、内旋/外旋角度は内旋を正(+), 外旋を負(-)とした。また、足部・足関節角度の算出は、下腿のセグメントの Y 方向のベクトルを軸として足部のセグメントが足背方向に回転する動きを背屈、足底方向に回転する動きを底屈とした。下腿のセグメントの X 方向のベクトルを軸として足部のセグメントが回内方向に回転する動きを回内、回外方向に回転する動きを回外とした。下腿のセグメントの Z 方向のベクトルを軸として足部のセグメントが内転方向に回転する動きを内転、外転方向に回転する動きを外転とした。なお、足関節の底屈/背屈角度は底屈を負(-), 背屈を正(+), 回外/回内角度は回外を正(+), 回内を負(-)とし、内転/外転角度は内転を正(+), 外転を負(-)とした。

表面筋電図記録

筋活動の記録には表面筋電図(Biometrics 社)を使用し、被験筋は、中殿筋(GM), 大腿直筋(RF), 内側広筋(VM), 外側広筋(VL), 内側ハムストリング(MH), 外側ハムストリング(LH), 腓腹筋外側頭(GL), 前脛骨筋(TA)の 8 筋とした。電極には表面電極とアンプが一体化された EMG アンプ(Biometrics 社; 電極間中心距離 2cm)を使用し、各筋線維方向に平行になるように貼付し、アース電極は左手首に設置した。導出した筋電位はサンプリング周波数 1000Hz にて A/D 変換し、データ取込・汎用解析プログラム TRIAS System(Biometrics 社)を用いて PC 内に保存した。筋電図の解析は、生波形から root mean square(RMS)に変換し、試技間の検討に用いた。

床反力計の記録

床反力計(Kistler 9286BA, Kistler 社製)を用いて 180 度ターン動作時の床反力値(y 軸, z 軸)を測定した。サンプリング周波数を 1000Hz とし、データ取込・汎用解析プログラム TRIAS System を用いて PC 内に取り込んだ。取り込んだデータを対象者それぞれの体重で除して標準化し、ローパス 6Hz の 3 点移動平均法を用いて平滑化した。床面接地時点(Initial Contact: IC)は床反力の鉛直成分(z 軸)が 10N を越えた点とした。

解析区間

分析には、着地初期の筋活動を調べるために、接地から離地までを 100%とし、足尖接地から 50%までの区間を検討した。

(2)接地時における FFS フォームの指導による傷害発生率の変化の検討

傷害は、「試合または練習中に発生し、受傷日の翌日から翌々日以降に予定されている練習または試合の全てに参加できなかったもの(Time loss injury)」と定義した(Fuller, 2006)。傷害の内訳として、外傷は「明確な 1 回の外力により発生したもの」、障害は「原因が特定できず微細な損傷が繰り返し起こることで発生したもの」と定義・分類した。傷害が発生した際には、チームに所属するトレーナーが、「受傷日」、「傷害の部位」、「傷害の種類」について選手に聞き取り調査を行った。国際オリンピック委員会(IOC)の injury surveillance system(Junge, 2008)を参考に、部位は 24 部位、種類は 18 種類に分類し、算出項目は、傷害発生数、傷害発生率とした。傷害発生率は、傷害発生数と Exposure time を用いて、1000 player hours(以下、1000PH)当たりの発生率を算出した(Schroeder, 2015)。Exposure time は、各対象者の試合参加時間および練習参加時間の合計として算出した。

4. 研究成果

(1) ターン動作における足の接地フォームと下肢筋活動・膝関節角度の関連性の検討結果

FFS と RFS の比較において、床反力、下肢の角度、筋活動に有意な差を認めた。床反力の垂直成分は、両側ドロップジャンプ中に FFS よりも RFS の方が大きくなるとの報告がある(Cortes, 2007)。また、ACL へのストレスは、接地前から増加し始め、床反力の最大値に対応する形でピークに達する(Cerulli, 2003)。さらに、ACL 損傷をしていないグループと比較し、ACL 損傷グループは膝関節外反角度が大きく、垂直方向の床反力は約 20%大きかったとの報告があった(Hewett et al, 2005)。従って、本研究において RFS が FFS に比較して垂直方向の床反力が高値を示したことは、RFS では ACL に対してより大きな張力がかかると考えられ、ACL 損傷のリスクが高い可能性がある。また、FFS では接地前から足関節を底屈させるため腓腹筋の筋活動が増加しており、接地時には腓腹筋の遠心性収縮によって着地時の衝撃を緩和すると考えられる。また、ハムストリングは、脛骨の前方変位を防ぐ作用を持っている(Baratta, 1988; Imran, 1998; Liu, 2000; Torry, 2004)。脛骨の前方変位により ACL の緊張が高まるため、FFS の GL と ST の筋活動量が有意に高かったことは、ACL に大きな張力が働くことを防ぎ、ACL 損傷のリスクを軽減できていた可能性がある。さらに着地動作中の中臀筋の筋活動は、骨盤を水平に保つ作用があるが、これらの機能は股関節と膝関節の動きを安定させ、姿勢を安定的に維持し、ACL の緊張を軽減する(Griffin, 2000; McClay, 2001; Zeller, 2003)。本研究においても、FFS の GM の筋活動が接地初期に高値を示しており、180 度ターン動作のける ACL 損傷のリスクを減らすのに役立つと考えられた。RFS では、膝関節内旋角度が FFS よりも高値を示しており、FFS が RFS と比較して ACL 損傷のリスクを低減していることを示唆すると考える。さらに、FFS では、足関節回外角度が大きく、ACL の損傷を防ぐのに役立つと考えられるものの、足関節捻挫のリスクも考慮する必要がある。

この研究における研究限界として、本研究のような生体力学的危険因子の検討は、実験において課題動作を分析するため、実際に ACL 損傷を再現しておらず、実験における課題動作と ACL 損傷時の動作には、いくつかの違いが存在する可能性がある。また、体幹側屈角度と骨盤傾斜角度を測定していないため、今後の調査では体幹と骨盤も含めた検討が必要である。

(2) 足の接地フォーム指導による傷害発生率の変化の検討結果

Exposure time は、フォームの指導前は 5894 時間であり、フォーム修正後は 7223 時間であった。

傷害発生数は、指導前は 18 件であり、指導後は 23 件であった。1000PH 当たりの傷害発生率は、指導前では 3.1 件 (95%CI : 1.6-4.5) であり、指導後は 3.2 件 (95%CI : 1.9-4.5) であった。

傷害を外傷と障害に分類すると、指導前では外傷 11 件 (61.1%)、障害 7 件 (38.9%) であり、指導後では外傷 19 件 (82.6%)、障害 4 件 (17.4%) であった。1000PH 当たりの発生率は、指導前では外傷 1.9 件 (95%CI : 0.8-3.0)、障害 1.2 件 (95%CI : 0.3-2.1) であり、指導後では外傷 2.6 件 (95%CI : 1.4-4.0)、障害 0.6 件 (95%CI : 0.1-1.1) であった。

傷害の部位は、指導前では足関節 8 件 (44.4%) が最も多く、次いで膝関節 7 件 (38.9%)、大腿 2 件 (11.1%)、アキレス腱 1 件 (5.6%) であった。指導後では、膝関節 8 件、足関節 7 件、肩関節 4 件であった。1000PH 当たりの発生率は、指導前において足関節 1.4 件 (95%CI : 0.4-2.3)、膝関節 1.2 件 (95%CI : 0.3-2.1)、大腿 0.3 件 (95%CI : 0.0-0.8)、アキレス腱 0.2 件 (95%CI : 0.0-0.5) であった。指導後では膝関節 1.1 件 (95%CI : 0.3-1.9)、足関節 1.0 件 (95%CI : 0.3-1.7)、肩関節 0.6 件 (95%CI : 0.1-1.1) であった。

傷害の種類は、指導前では捻挫 6 件 (33.3%) が最も多く、次いで靭帯断裂 4 件 (22.2%)、その他 3 件 (16.7%) の順であった。指導後では捻挫 9 件 (39.1%) が最も多く、次いで脱臼・亜脱臼 5 件 (21.7%)、靭帯断裂と半月板/軟骨損傷がそれぞれ 3 件 (13.0%) であった。1000PH 当たりの発生率は、指導前において捻挫 1.0 件 (95%CI : 0.2-1.8)、靭帯断裂 0.7 件 (95%CI : 0.0-1.3)、その他 0.5 件 (95%CI : 0.0-1.1) の順であった。指導後では、捻挫 1.3 件 (95%CI : 0.5-2.1)、脱臼 0.7 件 (95%CI : 0.1-1.3)、靭帯断裂と半月板/軟骨損傷がそれぞれ 0.4 件 (95%CI : 0.0-0.9) であった。

上記のことより、フォーム指導の前後シーズンを比較した場合、全体の傷害発生数と発生率、部位ごとの傷害発生数と発生率、外傷・障害の発生数と発生率に大きな差を認めなかった。指導前、指導後に共通して足関節と膝関節での発生が多かったが、足関節と膝関節はスポーツ活動において傷害が好発する部位である。これは、相手との接触がある中で、急激なストップや方向転換、ジャンプなどを繰り返すスポーツにおいて、下肢にかかるストレスの大きさに身体が耐えられないことが原因のひとつも考えられる。こういったフォームの指導に併せ、ストレングストレーニングの導入によって傷害発生が抑制できるといった報告も数多く出てきていることから、フォームの修正指導に併せて、身体を強化するためのトレーニングも必要である可能性がある (Coppack, 2011; Waldén, 2012; Zouita, 2016)。

また、本検討の要因が足関節の接地フォームの修正のみであり、トレーニング強度やトレーニング量、休養や睡眠などのコンディションに関連する因子、相手との接触やサーフェイス等の環境因子など、多岐にわたる因子が傷害の発生に関わっていることが原因と考えられる。今後は、ジャンプ着地やカッティング動作のフォームの指導に併せ、コンディションチェックやトレーニング負荷量の管理など、対象者のコンディションをより詳細に把握しつつ、傷害発生に関係する多くの因子を可能な限り排除しつつ、調査を行うことで、傷害発生を抑制する介入方法が検討できると考える。また、傷害発生の予防のみならず、選手のパフォーマンス向上にも役立てるための介入についても併せて検討する必要があると考える。

< 引用文献 >

Baratta, et al. "Muscular coactivation: the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability." *The American journal of sports medicine* 16.2 (1988): 113-122.

Cerulli, et al. "In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report." *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 11.5 (2003): 307-311.

Coppack, et al. "The effects of exercise for the prevention of overuse anterior knee pain: a randomized controlled trial." *The American journal of sports medicine* 39.5 (2011): 940-948.

Cortes, et al. "Effects of gender and foot-landing techniques on lower extremity kinematics during drop-jump landings." *Journal of applied biomechanics* 23.4 (2007): 289-299.

Fuller, et al. "Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries." *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 16.2 (2006): 83-92.

Griffin, et al. "Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies." *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 8.3 (2000): 141-150.

Hewett, 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." *The American journal of sports medicine* 33.4 (2005): 492-501.

Imran, et al. "Control of knee stability after ACL injury or repair: interaction between hamstrings contraction and tibial translation." *Clinical Biomechanics* 13.3 (1998): 153-162.

Junge, et al. "Injury surveillance in multi-sport events: the International Olympic Committee approach." *British journal of sports medicine* 42.6 (2008): 413-421.

Lieberman, et al. "Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners." *Nature* 463.7280 (2010): 531-535.

Liu, Wen, et al. "The effect of hamstring muscle compensation for anterior laxity in the ACL-deficient knee during gait." *Journal of biomechanics* 33.7 (2000): 871-879.

McClay, et al. "ACL research retreat: the gender bias. April 6-7, 2001. Meeting report and abstracts." *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 16.10 (2001): 937.

Myklebust, et al. "A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball." *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 8.3 (1998): 149-153.

Schroeder, et al. "Epidemiology of overuse injuries among high-school athletes in the United States." *The Journal of pediatrics* 166.3 (2015): 600-606.

Torry, et al. "Mechanisms of compensating for anterior cruciate ligament deficiency during gait." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36.8 (2004): 1403-1412.

Waldén, et al. "Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial." *BMJ* 344 (2012): e3042.

Yoshida, et al. "Effect of forefoot strike on lower extremity muscle activity and knee joint angle during cutting in female team handball players." *Sports medicine-open* 2.1 (2016): 32.

Zeller, et al. "Differences in kinematics and electromyographic activity between men and women during the single-legged squat." *The American journal of sports medicine* 31.3 (2003): 449-456.

Zouita, et al. "Strength training reduces injury rate in elite young soccer players during one season." *The Journal of Strength & Conditioning Research* 30.5 (2016): 1295-1307.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 今野 壮大, 増成 暁彦, 功刀 峻, 河村 崇史, 吉田 成仁, 宮川 俊平 |
| 2. 発表標題 180°方向転換減速動作における前足部接地と後足部接地の違いについて |
| 3. 学会等名 第72回日本体力医学会大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|