

6. 大規模前向き研究から ACL 損傷予防を 考える：UTSSI スポーツ損傷予防プロジェクト

ACL Injury Prevention from a Large Prospective Cohort Study: UTSSI sports injury prevention project

武富修治*^{1,2}, 川口航平*^{1,2}, 水谷有里*², 武井聖良*²
山神良太*¹, 河野賢一*¹, 村上 亮*¹, 鹿毛智文*¹
荒川嵩大*¹, 藤原清香*^{2,3}, 田中 栄*^{1,2}, 緒方 徹*^{2,3}

●はじめに

スポーツを行う上で外傷・障害の発生を避けて通ることはできない。サッカーの欧州プロフェッショナルリーグにおいては1シーズンに約50%の選手がなんらかの外傷・障害を経験すると報告されている¹⁾。一度、受傷してしまうと、治療やリハビリテーションを要し、競技復帰までに半年以上を要することもしばしばある上、手術を要するような外傷では一定の割合で復帰できないことも報告されており²⁾、予防が非常に重要になる。特に膝前十字靭帯（ACL）損傷は、原則手術療法を要し、復帰までに6~9カ月を要する上、再発も少なくなく、スポーツ現場では特に予防に注力されている分野である。スポーツ外傷の発症には、選手自身が持っている内的リスク因子や環境などの外的リスク因子に加えて、受傷イベントという多因子が関わっている³⁾。

本邦では、スポーツ外傷・障害を起こした選手の身体的特徴を解析し、怪我のリスク因子を解析する後ろ向き研究が多く行われている。後ろ向き研究では病院を受診した選手や手術を行った選手のみにアプローチすればよいので、実施は比較的

容易である一方、選手が怪我をする前に有していたリスク因子や外傷時や受傷前の動態を把握することは困難であり、得られた身体的特徴が怪我のリスクを示しているのか怪我の結果を示しているのかは区別できないという大きな欠点がある。そのため、理想的にはスポーツ外傷・障害を起こす前の多数の選手を対象とした前向き研究が必要である。特定の外傷・障害の発生数は多くはないため、前向き研究には非常に多くのサンプルが必要である。そのため、我々は大規模なスポーツ選手のメディカルチェック（MC）を行い、その後に発生するスポーツ障害・外傷を解析する大規模前向き研究である UTSSI スポーツ損傷予防プロジェクト⁴⁾を計画し、実施してきた。本邦において ACL 損傷リスクを解析する前向き研究の数は現状では非常に限られている^{5,6)}。本項では、UTSSI スポーツ損傷予防プロジェクトのうち、ACL 損傷予防に関する取り組みとその結果を述べる。

●方 法

本プロジェクトは以下の①~③の3段階から構成されている。

①メディカルチェック

対象アスリートに対し、主にシーズン開始前に MC を行う。本プロジェクトで実施している MC 項目を表にまとめた(表 1)。また、本プロジェクトでは、MCに加えて人工知能（AI）を使用した動態解析を行っている。従来の動態解析では体表

*1 東京大学大学院医学系研究科整形外科学

*2 東京大学スポーツ先端科学研究連携機構（UTSSI）

*3 東京大学大学院医学系研究科リハビリテーション医学

Corresponding author：武富修治（takeos-ky@umin.ac.jp）

表1 メディカルチェックの項目

身体測定	身長, 体重, 胸囲, 腹囲, 舟状骨結節高 (扁平足の指標)
体組成分析	筋量, 骨量, 体脂肪量, 体脂肪率
筋力測定	握力, 足趾把持筋力, 膝伸展筋力, 膝屈曲筋力, 股関節外転筋力
関節弛緩性	脊椎, 手関節, 肘関節, 肩関節, 股関節, 膝関節, 足関節
筋の柔軟性	腸腰筋, 大腿四頭筋, ハムストリング, 腓腹筋, ヒラメ筋
関節可動域	股関節, 足関節, 膝関節, 胸郭, 立位体前屈
バランス測定	静的バランス (片脚・両脚), 動的バランス (single leg landing)
足底圧測定	走行時足底圧分析
動体視力	動体視力, 反応速度
心理学的評価	DIPCA3
既往	外傷・障害・疾病の既往の聴取
動態解析	Drop vertical jump テスト

面に赤外線マーカーを装着し、複数の赤外線カメラから動態解析を行う光学的モーションキャプチャシステムが用いられることが多く、撮影環境や服装の制約があり、解析には長時間を要するため、多くの対象を計測することが困難であるという問題があった。本プロジェクトでは本学で開発したAIを用いた動態解析法である多くの人数を場所や服装に制限されず、かつマーカーを用いずに動態の解析が可能な技術であるVMocap^{7,8)}を用いている。動態撮影にAIを用いることで関節位置の推定が可能となったため、ジャンプやターンなどの動きにおいてスポーツ選手が持つ特有のクセや体の使い方の解析が短時間に多くの症例に対し、従来法に近い精度で可能となっている。Hewettが2005年にACL損傷リスクをdrop vertical jump (DVJ)の動態解析により評価してから⁹⁾、多くの研究でDVJテストが用いられていることから、我々もDVJの動態をVMocapを用いて行うこととした。

②スポーツ外傷・障害の前向き調査

MCを行った選手が、その後のシーズンに受傷した外傷・障害を前向きに記録する。

③スポーツ外傷・障害のリスク因子の解明

MCデータと動態解析、外傷・障害の発症データを併せて解析することで、発症メカニズムやリスク因子を探索する。解析には通常の統計学的解析に加えて、ニューラルネットワークを用いたアルゴリズムを開発し、用いることも同時に試行している。

本プロジェクトは東京大学医学部の倫理委員会

の承認を受けて行われている。また、プロジェクトに参加したアスリートは文書による研究の説明を受け、書面による同意を提出した。

●本プロジェクトにより得られた知見

我々は本プロジェクトを2018年に開始し、延べ約1000名のアスリートのデータを蓄積してきた。これまで本プロジェクトによって得られたACL損傷予防に関わる知見を紹介する。

■ジャンプ動作の男女差

ACL損傷は男性選手より女性選手に多いことが報告されており^{10,11)}、その一因として、ジャンプ着地動作に男女差があることが関与している可能性がある。DVJの動態の男女差を解析した。男性サッカー選手61名、女性サッカー選手63名の動態解析の結果、着地時には女性選手の方が膝屈曲角度および膝外反角度が大きく、着地後最も深く膝を屈曲させた姿勢では、女性選手の方が膝関節および股関節の屈曲角度が小さいということがわかった¹²⁾。

■サッカー選手の利き脚・非利き脚の違い

男性サッカー選手121名、女性サッカー選手106名のMCの結果、男性選手では非利き脚の方が股関節外転筋力が弱い、女性選手では非利き脚の方が膝伸展筋力が弱い、男性・女性とも非利き脚の方が膝屈曲筋力が弱い、男性選手では非利き脚の方がH/Q比が小さいなど、男女で項目は異なるものの、利き脚と非利き脚では、身体特性が異なることがわかった¹³⁾。女性のACL損傷が非利き脚に多いことが報告されているが、そのメカニ

ズムはよくわかっていない。女性サッカー選手 64 名の動態解析の結果、DVJ の着地時の膝外反角度が利き脚より非利き脚で大きいことがわかった¹⁴⁾。着地時の膝外反が ACL 損傷のリスクであることを考慮すると、本研究の結果は、女性サッカー選手の非利き脚に ACL 損傷が多いことの一因となっている可能性がある。

■ACL 損傷のリスク

女性サッカー選手の ACL 損傷のリスク因子を受傷前の走行時足底圧測定結果から分析した。111 選手のうち、11 選手 13 膝が ACL 損傷を受傷した。発症のリスク因子は、走行中の中足部内側の荷重が小さい（母趾球荷重ができていない）ことであった（武井聖良ほか、2023 年日本スポーツ整形外科学会で報告）。

男性アメリカンフットボール選手 152 名のうち 11 選手 11 膝が非接触型の ACL 損傷を受傷した。受傷リスクを 25 項目の内的リスク因子から算出したところ H/Q 比が低いことおよび体重が軽いことが非接触型の ACL 損傷のリスクとして抽出された¹⁵⁾。体重が軽いことに関しては、アメリカンフットボールにおける非接触型の ACL 損傷がランニングポジションに多いという競技特性に由来することが考えられた。

女性サッカー選手 147 名のうち 13 選手 15 膝が非接触型の ACL 損傷を受傷した。受傷リスクを 25 項目の内的リスク因子から算出したところ競技歴が長いこと、H/Q 比が低いことおよび大腿四頭筋力が強いことが非接触型の ACL 損傷のリスクとして抽出された。HQ 比が低いことに関しては、男性アメリカンフットボールにおける非接触型の ACL 損傷のリスクとも同じであり、我々のコホートからは H/Q 比は日本人の ACL 予防のキーワードである可能性が示された。

●今後の展望

前向き研究には非常に多くのサンプルが必要である。また、我々の研究対象アスリートの競技も限られているのが現状である。今後は、対象競技を増やし、サンプルも増やすことで、研究の精度を上げると同時に、未知のリスク因子も明らかにしていきたい。動態解析のみならず、スポーツ外傷・障害の発症リスク因子の解析に AI を導入することで、大規模データの解析が可能となり、また複雑に交絡する多因子からなる発症モデルを明

らかにすることができる可能性が高まると考えられる。将来的には MC データから個々のアスリートの ACL 損傷発症リスクの算出を行い、リスクを下げる予防トレーニングを処方できるようになることを期待している。

謝 辞

本プロジェクトでアスリートのメディカルチェックにご協力いただいた医師、理学療法士、アスレティックトレーナーの方々および動態解析や AI を用いた解析にご協力いただいた東京大学情報理工学系研究科の方々に感謝致します。

文 献

- 1) Larruskain J, Lekue JA, Diaz N, et al. A comparison of injuries in elite male and female football players: A five-season prospective study. *Scand J Med Sci Sports*. 2018; 28: 237-245.
- 2) Minhas SV, Kester BS, Larkin KE, et al. The Effect of an Orthopaedic Surgical Procedure in the National Basketball Association. *Am J Sports Med*. 2016; 44: 1056-1061.
- 3) Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med*. 2005; 39: 324-329.
- 4) Taketomi S, Kawaguchi K, Mizutani Y, et al. Anthropometric and musculoskeletal gender differences in young soccer players. *J Sports Med Phys Fit*. 2021; 61: 1212-1218.
- 5) Shimozaki K, Nakase J, Takata Y, et al. Greater body mass index and hip abduction muscle strength predict noncontact anterior cruciate ligament injury in female Japanese high school basketball players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018; 26(10): 3004-3011.
- 6) Nakase J, Kitaoka K, Shima Y, et al. Risk factors for noncontact anterior cruciate ligament injury in female high school basketball and handball players: A prospective 3-year cohort study. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*. 2020; 22: 34-38.
- 7) Uchiyama E, Suzuki H, Ikegami Y, et al. Muscles Cooperation Analysis Using Akaike Information Criteria for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol*

- Soc. 2020; 4799-4802.
- 8) Ohashi T, Ikegami Y, Yamamoto K, et al. Video Motion Capture from the Part Confidence Maps of Multi-Camera Images by Spatiotemporal Filtering Using the Human Skeletal Model. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2018; 4226-4231.
 - 9) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, 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): 492-501.
 - 10) 武富修治, 川口航平, 水谷有里, 他. 整形外科医の立場から—女性アスリートの身体的特徴とスポーツ外傷予防—. *整形・災害外科*. 2022; 1495-1501.
 - 11) Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, et al. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy*. 2007; 23: 1320-1325.
 - 12) Kawaguchi K, Taketomi S, Mizutani Y, et al. Sex-Based Differences in the Drop Vertical Jump as Revealed by Video Motion Capture Analysis Using Artificial Intelligence. *Orthop J Sports Med*. 2021; 9: 23259671211048188.
 - 13) Taketomi S, Kawaguchi K, Mizutani Y, et al. Musculoskeletal Asymmetry in Young Soccer Players: Differences between the Dominant and Nondominant Leg. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*. 2022; 294-302.
 - 14) Nakahira Y, Taketomi S, Kawaguchi K, et al. Kinematic Differences Between the Dominant and Nondominant Legs During a Single-Leg Drop Vertical Jump in Female Soccer Players. *Am J Sports Med*. 2022; 3635465221107388.
 - 15) Taketomi S, Kawaguchi K, Mizutani Y, et al. Lower hamstring to quadriceps muscle strength ratio and lower body weight as factors associated with non-contact anterior cruciate ligament injury in male American football players: A prospective cohort study. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*. 2024; 35: 43-47.