

3. 人工知能を用いた前向き研究： UTSSI スポーツ損傷予防プロジェクト

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*³, 田中 栄*¹, 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。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を計画した。

●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^{4,5)}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。

*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連携研究機構 (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
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, 膝伸筋力, 膝屈筋力, 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, 立位椎体前屈
バランス測定	静的バランス, 動的バランス (single leg jump)
足底圧測定	走行時足底圧
動体視力	動体視力, 反射速度
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

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行っている。

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900名以上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知見の一部を紹介する。

●ハムストリング肉ばなれのリスク

男性アスリート182選手の22肢にハムストリング肉ばなれを発症した。発症のリスク因子としてはハムストリングと腸腰筋の柔軟性が低いことおよび姿勢制御能力が低いこと（いずれも受傷選手の受傷肢 vs 非受傷選手）が抽出された（川口航平ほか、2019年第11回JOSKAS）。

また、男性サッカー選手139選手の前向き研究では、28肢にハムストリング肉ばなれを発症し、ハムストリング/大腿四頭筋筋力比(H/Q比)が小さいことが、そのリスク因子であった。カットオフ値は0.503であり、カットオフ値未満であると

ハムストリング肉ばなれの発症リスクは3.4倍であった（水谷有里ほか、2022年JOSKAS-JOSSM）。

動態解析では、男性アメリカンフットボール選手（ボックス）78名のうちハムストリング肉ばなれを発症した13選手の解析では、drop vertical jump (DVJ) テストにおける両脚ジャンプ着地が非受傷群に比べて、時間をかけ膝関節・股関節をより屈曲させるsoft landingをしていることが示された（水谷有里ほか、2019年第30回日本臨床スポーツ医学会）。

●大腿四頭筋肉ばなれのリスク

女性サッカー選手では男性選手と異なり、ハムストリング肉ばなれより大腿四頭筋肉ばなれが多いと報告されている。女性サッカー選手131選手の7肢に大腿四頭筋肉ばなれを発症した。発症のリスク因子は、ハムストリングの柔軟性が低いこと（vs 健側）およびヒラメ筋の柔軟性が低いことと股関節の内旋可動域が狭いこと（vs 非受傷群）であった（水谷有里ほか、2022年第33回日本臨床スポーツ医学会）。

●足関節捻挫のリスク

男性サッカー選手145選手のうち、31選手に足関節内反捻挫を発症した。発症のリスク因子は、股関節外転筋力が弱いこと（vs 非受傷群）であった⁶⁾。

また、男性サッカー選手の足関節捻挫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。69選手のうち、16足に足関節捻挫を発症した。発症のリスク因子は、走行中の前内側区画の荷重率が低いことであった（樋口淳也ほか、2019年第45回JOSM）。

●中足骨疲労骨折のリスク

女性サッカー選手の中足骨疲労骨折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。109 選手のうち、11 足に中足骨疲労骨折 (Jones 骨折 6 足、第 4 中足骨疲労骨折 1 足、第 3 中足骨疲労骨折 4 足) を発症した。発症のリスク因子は、走行中の前足部外側の足底圧が高いことであった (武井聖良ほか、2022 年第 33 回日本臨床スポーツ医学会で報告)。

●ジャンプ動作の男女差

膝前十字靭帯 (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^{7,8)}、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、着地後最も深くしゃがんだ姿勢では、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⁹⁾。

●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¹⁰⁾。

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¹¹⁾。このことは、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。

●今後の展望

AI の進歩は著しく、既に様々な分野で応用がはじまっており、スポーツ外傷・障害予防分野でも AI の活用が期待されるが、未だそれほど導入は進んでいないのが現状である。前向き研究には非常に多くのサンプルが必要である。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。また、動態解析に AI を応用することで、多くの人数を一度に簡便に解析することが可能となった。大規模前向き研究に動態解析を加えることで、よりスポーツ現場に近い動的リスクが明らかになることが期待される。将来的には MC データから個々の選手のスポーツ外傷・障害発症リスクの算出を行う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) 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.
- 5) Ohashi T, Ikegami Y, Yamatomo 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.
- 6) Kawaguchi K, Taketomi S, Mizutani Y, et al. Hip Abductor Muscle Strength Deficit as a Risk Factor for Inversion Ankle Sprain in Male College Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Orthop J Sports Med*. 2021; 9: 23259671211020287.

3. 人工知能を用いた前向き研究：UTSSI スポーツ損傷予防プロジェクト

- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.