

【課題番号：EECS2506】

## 筋シナジー解析を用いたインステップキックの動作解析 ～利き足・非利き足間における筋協調性比較～

森拓海<sup>1)</sup>\*、梅崎泰侑<sup>1)</sup>、川村大地<sup>1)</sup>、賣井坂健太<sup>1)</sup>、高橋咲樹<sup>1)</sup>、篠原博<sup>1, 2)</sup>

1) 青森県立保健大学大学院健康科学研究科

2) 青森県立保健大学健康科学部理学療法学科

Key Words ①筋シナジー ②サッカー ③インステップキック

### I. はじめに

サッカーは、キック・ドリブル・ヘディング・トラッピングなど様々な技術が求められ、中でもキックは重要な技術である。これまでの先行研究により、インステップキックは、関節運動やセグメント間の運動連鎖に加え、複数筋の活動によって実行されることが示されてきた。これらは、利き足・非利き足間で異なる可能性がある。本来、全身的に行われるキック動作の協調性が低下すると、スポーツ障害の発生につながる。筋活動を個々の筋で捉える従来の筋電図研究では、キック動作全体の協調性を十分に説明できない場合がある。このことは、キック動作の理解には、個々の筋の活動の大きさだけでなく、複数筋がどのようなまとまりとして動員されるか、さらにそれがどのタイミングで動作に寄与するかを含めた検討が必要であることを示唆するが、未だに明らかになっていない。

スポーツ動作時の身体の筋協調性を明らかにする手法として、筋シナジー解析がある。筋シナジー解析は、計測した筋電図データを、非負値行列因数分解 (non-negative matrix factorization: NMF) を用いて「重み付け」と「活動パターン」の2つの成分に分けることで、筋協調性を評価することができる。スポーツ分野においては、競泳に多いスイマーズショルダーの既往群は健常群と比較して上肢と体幹の間の筋協調性が低下するという報告をはじめ<sup>1)</sup>、様々な競技や動作の分析に用いられている。全身の協調性が重要であるキック動作を、筋シナジー解析を使用して分析することは、サッカーにおける障害受傷の新たなメカニズム解明や障害受傷の予防、パフォーマンスアップにつながる可能性がある。

### II. 目的

筋シナジー解析を用いて、インステップキックにおけるパフォーマンスを利き足・非利き足間で比較することで、筋の協調性という観点から違いを明らかにすることを本研究の目的とした。

### III. 研究方法

#### 1. 対象

A 大学に所属するサッカー経験のある右利き健常男子学生 8 名 (年齢:  $20.0 \pm 0.5$  歳、身長:  $170.4 \pm 2.5$ cm、体重  $59.0 \pm 2.8$ kg、競技年数  $10.8 \pm 0.8$  年) とした。なお、本研究は青森県立保健大学研究倫理委員会の承認を得て行った (承認番号: 24041)。

#### 2. 課題動作

---

\*連絡先: 〒030-8505 青森市浜館間瀬 58-1 E-mail: 2481009@ms.auhw.ac.jp

課題動作は最大努力でのインステップキックとし、前方に設置したフットサルゴールの中央に貼り付けた的を狙うように指示した。助走距離は 3 歩で統一し、助走角度は規定しなかった。利き足・非利き足のどちらから実施するかは、被験者間で無作為に決定した。

### 3. 測定項目

ゴール裏でスピードガンを用いてボール速度を計測した。キック動作の相分けのため、ハイスピードカメラでキック動作を 300Hz で撮像した。蹴り足のつま先離地から股関節最大伸展までを第 1 相、股関節屈曲開始から股関節最大屈曲までを第 2 相とした。ゴール外に外れた試技は除外し、利き足・非利き足それぞれで 7 試行ずつ成功するまで実施した。ボール速度が最速のものから上位 3 試行を解析対象とした。左右の外腹斜筋 (EAO)・腰部脊柱起立筋 (ES)、蹴り足側の大殿筋 (GMX)・大腿直筋 (RF)・内側ハムストリングス (MH)、長内転筋 (AL) の 8 筋から筋活動を 1500Hz で計測した。

### 4. 筋シナジー解析

筋活動の生波形に対し 2.5~500Hz のバンドパスフィルタを用いてアーチファクトを除去した。さらに、二乗平均平方根を用いて正規化した。時間は、101 点に補完した。各条件で、正規化した 3 試行の波形を平均し、NMF を求めた<sup>2)</sup>。シナジー数の決定には Local VAF<sup>3-5)</sup> と Global VAF<sup>5)</sup> を用い、Global VAF>90%かつ Local VAF>75%となるシナジー数を採用した。シナジー同士の類似性の評価には Scalar product (SP) を用い<sup>6)</sup>、SP>80%の場合類似していると定義した。

### 5. 統計学的分析

統計学的分析には SPSS Statistics (version30、IBM 社製) を使用し、有意水準は 5%とした。Shapiro-Wilk 検定による正規性の確認後、正規分布に従う場合は対応のある t 検定、従わない場合は Wilcoxon の符号付き順位検定を用いてボール速度と重み付け係数を比較した。

## IV. 結果

Global VAF>90%かつ Local VAF>75%となるシナジー数は、利き足が 2、非利き足が 1 であった。シナジー1 は、利き足・非利き足間で一致しており (SP=96%)、利き足は MH と RF、非利き足は MH、RF、AL から構成されていた。非利き足の AL の重み付け係数が有意に高かった (p=0.011)。シナジー2 は、利き足でのみみられたが、非利き足のシナジー 1 とも類似しているものであった (SP=89%)。また、シナジー2 は AL、MH から構成されていた。これらは、それぞれ第 1 相の中盤から第 2 相の初期、第 2 相の開始後から後半にかけて活動していた (図 1)。

ボール速度は、利き足が 83.8±2.7 km/h、非利き足が 73.7±2.4 km/h で利き足の方が有意に速かった (P=0.012)。

## V. 考察

本研究では、健常男子学生を対象にインステップキック時の体幹・下肢の筋活動を計測し、利き足・非利き足間における筋シナジーの違いを検討した。シナジー1 は、第 1 相から第 2 相に移行する前後で、MH による股関節伸展と RF・AL による股関節屈曲を行う役割を持つと考えられる。また、シナジー2 は、第 2 相における、AL による股関節外転の制御、RF による過度な膝関節伸展の制御を行うと考えられる。非利き足では 1 つの筋シナジーのみが抽出されたが、そのシナジーは利き足におけるシナジー1 およびシナジー2 の双方と高い類似性を示した。これは、インステップキックにおいて、利き足と非利き足の間で共通するシナジーが存在する一方で、非利き足では本来 2 つに区別され得るシナジーが、1 つの筋シナジーとして統合されて観察されたことを示す

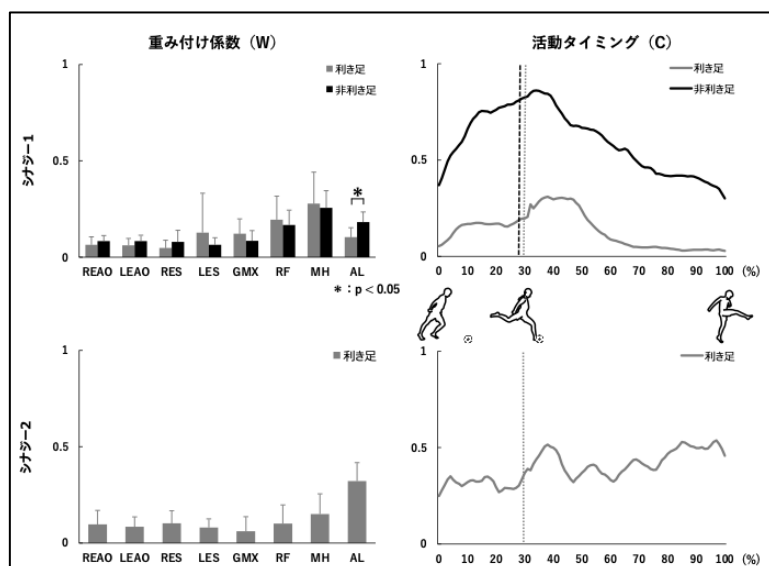


図1 利き足・非利き足におけるインステップキックの筋シナジー

左図は重み付け係数 (W) で縦軸は筋の活動の比、横軸は筋を示す。右図は活動タイミング (C) で縦軸は要素の活動度、横軸は蹴り足のつま先離地～股関節最大屈曲を示す。横軸の点線は相の切り替わるタイミングを示す。

所見であると考えられる。利き足・非利き足間にみられるボール速度の差についても、このような筋協調構造の違いが関与している可能性がある。ただし、筋シナジー数の差が運動の優劣や熟練度を直接示すものではないことから、本結果については慎重に解釈する必要がある。

## VI. 文献

- 1)Matsuura Y, Matsunaga N, Akuzawa H, Oshikawa T, Kaneoka K: Comparison of Muscle Coordination During Front Crawl and Backstroke With and Without Swimmer's Shoulder Pain. Sports Health, 2024, 16: 89-96.
- 2)Lee DD, Seung HS: Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization. Nature, 1999, 401: 788-791.
- 3)Torres-Oviedo G, Macpherson JM, Ting LH: Muscle synergy organization is robust across a variety of postural perturbations. J Neurophysiol, 2006, 96: 1530-1546.
- 4)Hug F, Turpin NA, Guével A, Dorel S: Is interindividual variability of EMG patterns in trained cyclists related to different muscle synergies? J Appl Physiol (1985), 2010, 108: 1727-1736.
- 5)Hug F: Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? J Electromyogr Kinesiol, 2011, 21: 1-12.
- 6)Cheung VC, Turolla A, Agostini M, Silvoni S, Bennis C, Kasi P, Paganoni S, Bonato P, Bizzi E: Muscle synergy patterns as physiological markers of motor cortical damage. Proc Natl Acad Sci U S A, 2012, 109: 14652-14656.

## VII. 発表

本調査に関連する内容は、2025年度保健医療福祉研究発表会・日本ヒューマンケア科学学会第18回学術集会合同集会にて報告した。