

## 女子および男子サッカー選手におけるインステップキックのボール速度に関する研究

坂本慶子<sup>\*1</sup>, 佐々木亮太<sup>\*1</sup>, 田部井祐介<sup>\*1</sup>, 洪 性賛<sup>\*2</sup>, 中山雅雄<sup>\*2</sup>, 浅井 武<sup>\*2</sup>

### The study of ball velocity during instep kick among female and male soccer players.

Keiko SAKAMOTO<sup>\*1</sup>, Yusuke TABELI, Ryota SASAKI, Sungchan HONG, Masao NAKAYAMA and Takeshi ASAI

<sup>\*1</sup> Doctoral Program of Tsukuba Univ., Inst. of Health and Sports Science  
Tennoudai 1-1-1, Tukuba city, Ibaraki, 305-0005 Japan

The performance of female players is increasing worldwide. It seems important to be able to kick a fast ball for scoring goals in a high level soccer game. To kick a fast ball, clarifying the leg swing motion mechanism, and conducting training suitable for female which is based on scientific evidence are inevitable. This study was designed to compare the swing motion between female and male soccer players to extract the mechanical and technical characteristics of female players. The motion capture system (250 Hz) were used to compare ball velocity, foot velocity, average peak knee joint torques, angular velocity of thigh and shank, and average energy ratio of female and male soccer players in an attempt to elucidate the mechanical and technical characteristics of female players before ball impact. The ball velocity, foot velocity immediately prior to impact, and average peak knee and hip joint torques, average thigh and shank energy were smaller for the female players than for the male players ( $p < 0.05$ ). Moreover, the mean thigh-to-shank energy ratio for female players was lower than that of male players. Female and male players' swing motions presumably include energy transfer by means of a kinetic chain technique between the thigh and shank; however, our results suggest that female players may have a lower thigh-to-shank energy ratio than male players. In order for female players to increase ball velocity, effective transfer of energy from thigh-to-shank seems to be vital important.

**Key Words** : Soccer, Female, Kicking, Energy

## 1. 緒 言

サッカーのキック動作において、高いボール速度を得ることは、重要な技術の一つである。ボール速度決定づける要因として、スイング速度<sup>(1)</sup>、蹴り脚の質量、位置でボールインパクトをすることが重要であること<sup>(2)</sup>が、これまでの力学的な研究で報告されている。とりわけ、蹴り脚のスイング速度を高めることは、重要課題である。しかしながら、女子サッカーの指導現場において、女子選手と男子選手のサッカーでは、骨格や筋力、柔軟性などの性差があるにもかかわらず<sup>(3)(4)(5)</sup>、女子選手に適した技術指導が行われていない。また、これまでのキック技術に関する研究は、男子サッカー選手を対象としたものが多く、女子サッカー選手における力学的研究は少ない<sup>(6)(7)(8)</sup>。そこで本研究では、Vicon motion capture を用いて、女子選手及び男子選手のインステップキック動作を比較検討し、女子選手および男子選手のボール速度の違いに影響する要因を明らかにすることを目的とした。

<sup>\*1</sup> 学生員, 筑波大大学院人間総合科学研究科 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

<sup>\*2</sup> 正員, 筑波大学 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: s0930492@u.tsukuba.ac.jp

## 2. 方法

### 2・1 被験者

本研究の対象は、体育系大学においてサッカーを専門種目とし、サッカー経験が10年以上の女子13名 (height,  $160.4 \pm 4.9$  cm; weight,  $57.1 \pm 5.7$  kg), 男子サッカー選手13名 (height,  $174.3 \pm 4.7$  cm; weight,  $66.8 \pm 4.9$  kg)とした。被験者には、事前に実験の目的と内容を十分に説明し、実験の協力への同意を得た。これらの実験手順は、筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行われた。被験者の利き脚は、全被験者とも右脚であった。

### 2・2 実験試技

実験試技は、インステップ部分（足の甲を中心としたつま先から足首までの部分）でボールを捉えるキック動作（インステップキック）とした。各被験者には、十分なウォーミングアップを行わせた後、プレイスしたサッカーボール（FIFA公認5号球、アディダス社製、質量430g、空気圧900hp）を、自由助走から、利き脚を用いて全力で10m先の標的に向かってキックさせた（図1）。全試技のうち、ゴールの中心2m四方の範囲にキックされたものを成功試技とし、各被験者から2試技ずつ抽出した。

### 2・3 測定方法

撮影は、赤外線カメラ10台（Vicon Motion Systems社製）を用いて、身体各部（図2）の3次元座標データを250 Hzで収集した。静止座標系は、試技開始時の水平キック方向に直交する方向をX軸、試技開始時の水平キック方向をY軸、鉛直上方向をZ軸とする右手座標系と定義した。また、フォースプラットフォーム（Kistler社製）をボール側方に設置し、支持脚接地中の地面反力をサンプリング周波数1000Hzで測定した。

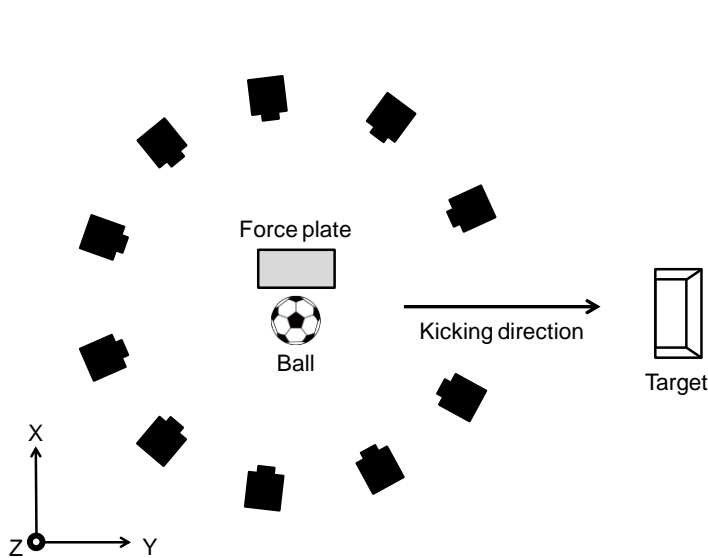


図1 実験設定

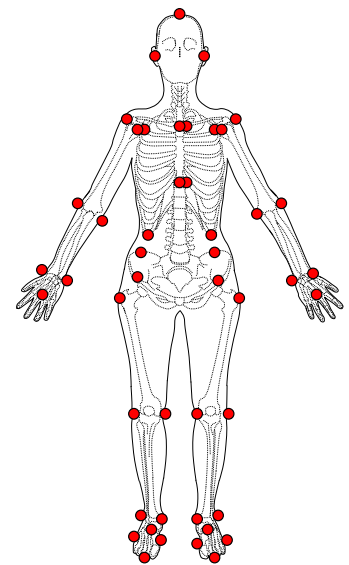


図2 マーカー貼付位置

### 2・4 算出項目および算出方法

本研究では、女子選手および男子選手のボール速度の違いを検討するため、ボール速度に影響及ぼすスイング動作に着目し、蹴り脚の足部重心速度<sup>(9)</sup>および各関節の水平方向速度、蹴り脚における膝関節および股関節のトルク<sup>(10)</sup>、蹴り脚の大腿および下腿エネルギーを算出した。

足部速度の力学的エネルギーは、位置エネルギー（式1）と運動エネルギー（式2）の総和とし（式3）、蹴り脚における大腿及び下腿のエネルギーを算出した。また、大腿から下腿へのエネルギー伝達を検討するため<sup>(11)(12)</sup>、大腿-下腿エネルギー比を算出した（式4）。軸脚接地時から蹴り脚のボール接触時において、支持脚接地時から

蹴り脚大腿エネルギーのピーク値までの期間を前期，蹴り脚大腿エネルギーのピーク値から蹴り脚のボール接触時までを後期とし，後期の下腿エネルギーの積分値を後期の大腿エネルギーの積分値で除すことにより，比率を算出した。

$$U = mgh \quad (1)$$

$U$ は位置エネルギー， $m$ はセグメントの質量， $g$ は重力加速度， $h$ は鉛直方向の座標値を表す。

$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (2)$$

$K$ は運動エネルギー， $v$ は速度， $I$ は慣性モーメント， $\omega$ は角速度を表す。

$$E = U + K \quad (3)$$

$E$ は力学的エネルギー， $U$ は位置エネルギー， $K$ は運動エネルギーを表す。

$$E_{st} = \frac{E_s}{E_t} \quad (4)$$

$E_{st}$ は大腿-下腿エネルギー比， $E_s$ は下腿エネルギー， $E_t$ は大腿エネルギーを表す。

## 2・5 分析範囲

本研究では，フォワードスイングを支持脚の接地から蹴り脚のボール接触時までとし，各被験者がスイング局面に要した時間を100%としてデータを規格化し，1%ごとに平均した。

## 2・6 統計処理

各測定項目は平均値及び標準偏差で示した。本研究では女子選手と男子選手の平均値の差を検定するために対応のないt検定を用いた。なお，有意性は危険率を5%未満で判定し，10%未満を有意傾向として扱った。

# 3. 結果及び考察

## 3・1 ボール速度平均および足部重心速度平均

女子選手のボール速度の平均値 ( $22.0 \pm 1.4\text{m/s}$ ) は，先行研究<sup>(7)</sup>の女子選手の平均値 ( $21.9 \pm 3.5\text{ m/s}$ ) とほぼ同様の値を示した。また，男子選手のボール速度の平均値は ( $26.4 \pm 2.0\text{m/s}$ )，先行研究<sup>(7)</sup>の男子選手の平均値 ( $22.7 \pm 3.1\text{ m/s}$ ) よりも高い値を示した。

女子選手のボール速度の平均値は，男子選手の平均値よりも小さい値を示した ( $p < 0.05$ )。

ボール速度に影響を及ぼす要因として，足部速度，インパクト位置，インパクト時の足部のスティフネス，蹴り脚の質量等，様々な要素が関係している。とりわけ，足部速度は，ボール速度に最も影響を及ぼす要因であると考えられている。ボール速度を高めるためには，インパクト前のスイング速度を高める技術が重要であると考えられる。

女子選手の足部速度の平均値 ( $17.2 \pm 0.9$  m/s) は、先行研究<sup>6)</sup>の女子選手の平均値 ( $16.2 \pm 2.3$  m/s) よりも高い値を示した。男子選手の足部重心速度の平均値 ( $19.7 \pm 1.2$  m/s) は、先行研究<sup>6)</sup>の男子選手の平均値 ( $22.7 \pm 3.1$  m/s) よりも高い値を示した。

女子選手の足部速度の平均値は、男子選手の平均値よりも小さい値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、男女におけるボール速度に影響を及ぼす要素 (インパクト位置、インパクト時の足部のステイフネス、蹴り脚の質量等) の違いによるものと考えられる。とりわけ、足部速度は、ボール速度に最も影響を及ぼす要因であり、インパクト前のスイング速度の違いについて検討することが重要であると考えられる。

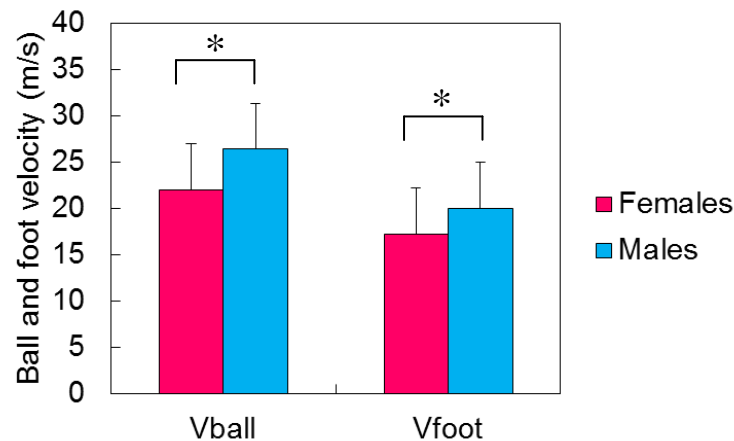


図3 女子選手及び男子選手におけるボール速度と足部重心速度の平均値

### 3・2 蹴り脚におけるフォワードスイング時の股関節、膝関節、足関節水平方向速度

フォワードスイング時の股関節、膝関節、足関節水平方向速度は、男女ともに、はじめに股関節速度がピークを迎え、次に膝関節速度、最後に足関節速度の順にピーク値を示した (図4)。男女ともに近位部のエネルギーを遠位部に伝達するメカニズムが働いていると考えられ、本研究の足部水平方向速度変化カーブは、先行研究<sup>13)</sup>の足部水平方向速度カーブと類似しており、男女共に同様のメカニズムでキック動作が行われていたと思われる。

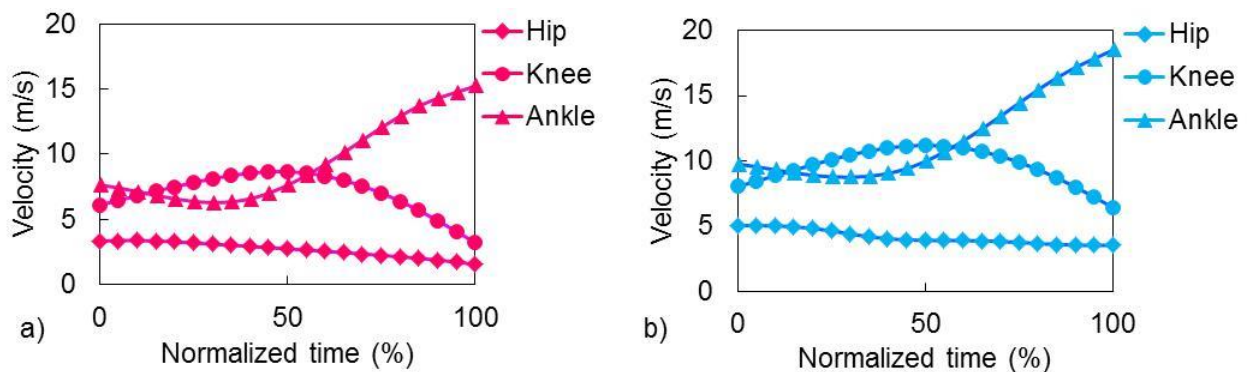


図4 フォワードスイング時の股関節、膝関節、足関節水平方向速度 (a= 女子選手, b= 男子選手)

### 3・3 蹴り脚における膝関節および股関節トルク

女子選手と男子選手の足部速度の違いに影響を及ぼす要因の一つに、蹴り脚の関節トルクが考えられる。

女子選手のフォワードスイング時における膝関節屈曲伸展トルクおよび内外転トルクのピーク値平均は、男子選手のピーク値平均よりも小さい値を示した ( $p < 0.05$ )。また、男女ともに股関節屈曲伸展トルクが他のトルクに比べ、最も大きい値を示した (図 5a)。

女子選手のフォワードスイング時における股関節屈曲伸展トルク、内外転トルク、内外旋トルクのピーク値平均は、男子選手のピーク値平均よりも小さい値を示した ( $p < 0.05$ ) (図 5b)。

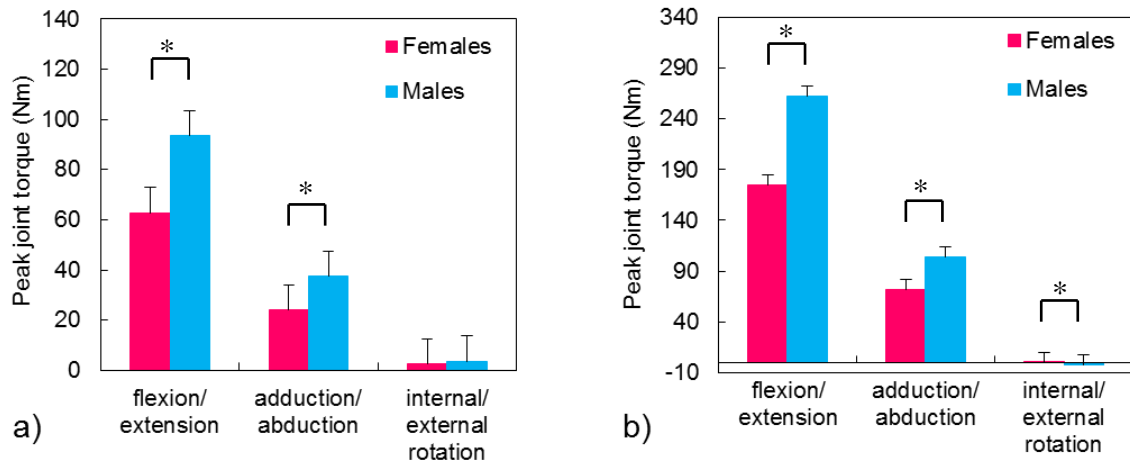


図 5 蹴り脚における膝関節および股関節トルクのピーク値平均 (a = 膝関節トルク, b = 股関節トルク)

### 3・4 蹴り脚における大腿および下腿のエネルギー

女子選手および男子選手における大腿および下腿のエネルギーは、全体的に女子選手の値が小さかった。また、大腿のエネルギーは、支持脚接地時から 50% 付近まで増加し、ピークに達すると、ボールインパクト時まで減少していく傾向を示した (図 6a)。一方、下腿のエネルギーは、支持脚接地時からボールインパクト時まで増加する傾向がみられた (図 6b)。

大腿から下腿へのエネルギー伝達を検討するため、大腿-下腿エネルギー比の平均値を示した (図 7)。女子選手の大腿-下腿エネルギー比の平均値は、男子選手に比べ有意に小さい値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、女子選手の大腿から下腿へのエネルギー伝達技術が男子選手よりも低い可能性があると考えられる。

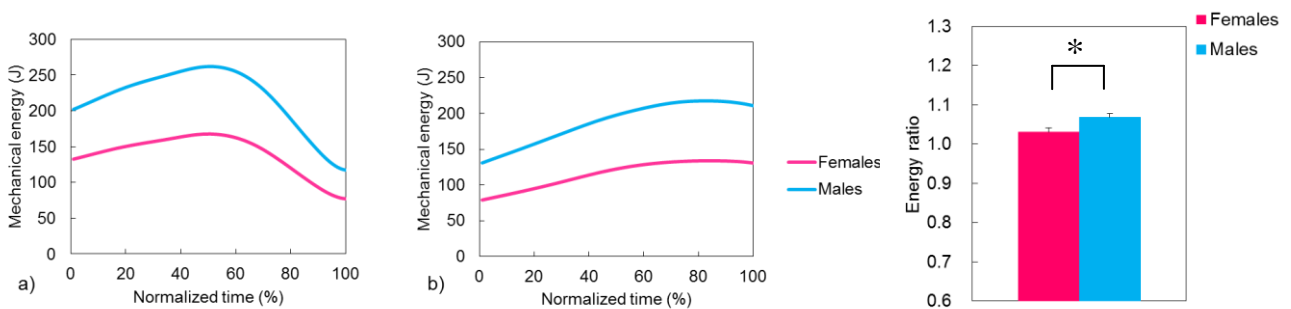


図 6 蹴り脚エネルギー (a = 大腿エネルギー, b = 下腿エネルギー)

図 7 大腿-下腿エネルギー比

## 7. まとめ

本研究では、女子選手と男子選手におけるステップキックのボール速度の違いについて検討した。その結果、女子選手のボール速度および足部速度の平均値は、男子選手の平均値よりも有意に小さい値を示した ( $p < 0.05$ )。また、女子選手の膝関節および股関節のピーク値平均は、男子選手の平均値よりも小さかった ( $p < 0.05$ )。さら

に、女子選手の大腿および下腿のエネルギーは、全体的に男子選手よりも小さかった。女子選手の大腿一下腿エネルギー比の平均値は、男子選手よりも有意に小さく、女子選手は大腿から下腿へのエネルギー伝達技術が、男子選手に比べ低い可能性が示唆された。今後、女子選手において、蹴り脚の足部速度を高めるためには、大腿から下腿への伝達技術を高める要因を検討していくことが重要であると考えられる。また、下腿の加速には股関節も大きく寄与していることから、膝関節のみならず股関節の動作の検討も必要であると考えられる。

## 文 献

- (1) Lees, A., Asai, T., Andersen, T.B., Nunome, H. and Sterzing, T., The Biomechanics of Kicking in Soccer: A Review, *Journal of Sports Sciences*, (2010), 28(8), 805-817.
- (2) Nunome, H., Lake, M., Georgakis, A. and Stergioulas, L.K., Impact phase kinematics of instep kicking in soccer, *Journal of Sports Sciences*, (2006), 24(1), 11-22.
- (3) Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., and Wisløff, U., Physiology of soccer, *Sports Medicine*, (2005), 25(6), 501-536.
- (4) 石田良恵・金久博昭・福永哲夫, “日本人一流競技選手の筋厚における性差”, 体力科学, (1992), 41, 233-240.
- (5) Nigg, B. M., Fisher, V., Allinger, T. L., Ronsky, J. R., Engsborg, J. R., Range of motion of the foot as a function of age, *Foot Ankle*, (1992), 13, 336-343.
- (6) Barfield, W.R., Kirkendall, D.T. and Yu, B., Kinematics Instep Kicking Differences between Elite Female and Male Soccer Players, *Journal of Sports Science and Medicine*, (2002), 1, 72-79.
- (7) Orloff, H., Sumida, B., Chow, J., Habibi, L., Fujino, A. and Kramer, B., Ground Reaction Forces and Kinematics of Plant Leg Position During Instep Kicking in Male and Female Collegiate Soccer Players, *Sports Biomechanics*, (2008), 7(2), 238-247.
- (8) Clagg, S. E., Warnock, A., and Thomas, J. S. Kinetic analyses of maximal effort soccer kicks in female collegiate athletes, *Sports Biomechanics*, (2009), 8(2), 141-153.
- (9) 阿江通良, “日本人幼少年およびアスリーートの身体部分慣性係数”, *Jpn. J. Sports. Science* 15, (1996), pp155-162.
- (10) 小池関也・森 洋人・阿江通良, “多体系の運動方程式に基づく跳躍動作の動力学的分析：身体重心鉛直速度に対する下肢関節トルクの貢献度”, ジョイント・シンポジウム講演論文集, (2006), pp17-22.
- (11) Hof, A. L. The force resulting from the action of mono- and biarticular muscles in a limb, *J Biomech*, (2001), 34, 1085-1089.
- (12) Kellis, E. and Katis, A., Biomechanical Characteristics and Determinants of Instep Soccer Kick, *Journal of Sports Science and Medicine*, (2007), 6, 154-165.
- (13) Dörge, H.C., Bull-Andersen, T.B., Sørensen, H. and Simonsen, E.B., Biomechanical Differences in Soccer Kicking with the Preferred and the Non-preferred Leg, *Journal of Sports Sciences*, (2002), 20, 293-299.