

一流選手のトーキック動作の特徴に関する研究

尾崎 宏樹¹⁾

I. 緒言

サッカーやフットサルなどで使われるキック技術には、インステップキック、インサイドキック、カーブキック、トーキック等がある。インステップキックに関する研究の歴史は古く、これまでに多くの研究成果 (Katis et al., 2007; 石井ら, 2007) が報告されている。また、インサイドキックやカーブキックといった、3次元的に複雑な動作を有するキック動作についても、近年の研究機器の発達によって、多くの研究 (Nunome et al., 2002; Ozaki et al., 2007) が見られるようになった。一方、つま先でインパクトするトーキックについては、Andersenら (2008) が、振子を用いた衝突実験を行って、接触面積との反発係数を計算した報告あるのみで、生体を用いた応用的研究等の報告されていない。近年、ビッグゲームでの決勝点がトーキックから生まれるなど、その重要性を再認識する動きがあるにも関わらず、そのメカニズムは解明されておらず、科学的知見に基づいた指導法も確立していない。そこで本研究では、サッカーよりもトーキックの使用頻度の高いフットサルの選手を被験者とし、インステップキックと比較することで、トーキックの運動学的特徴を明らかにし、指導法確立のための科学的知見を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

フットサルの全国リーグであるFリーグに所属し、週6日程度のトレーニングを行っているフットサル選手5名を被験者 (平均±SD: 身長177.2±5.3cm, 体重71.2±5.4kg, 年齢27±5.6歳) とした。5名のうち3名は日本代表選手であった。

2. 実験方法

実験は、国立スポーツ科学センター内にある屋内の陸上実験場を使用した。サーフェスには、Fリーグ公

認の敷設式コート (RESPONSE 6.0, スポーツコート株式会社) を使用し、実際の競技環境を再現した (日本サッカー協会, 2008)。敷設式コートの中央に、進行方向をy方向とする左手座標系を定義した。運動学的データの計測には、モーションキャプチャーシステム (VICON Nexsus, インターリハ社) による3次元動作解析手法を用いた。12台の動作分析用カメラをコートを囲むように配置した (図1)。カメラのサンプリング周波数は500Hzとした。動作分析用反射マーカを被験者の身体各部20ヶ所 (左右の踝, 内外果, 第五中足骨, 外側足部質量中心, 内外側上顆, 大転子, 上前腸骨棘, 肩峰) およびボール表面4ヶ所に貼り付けた。蹴り足に関しては、インパクト時の選手の違和感やマーカ破損等を考慮して、スポンジ製の反射マーカを用いた。十分な準備運動後、被験者には、インステップキックおよびトーキックにて、全力でボールを10m前方のネットに向かって蹴る試技を3回行わせた。なお、インステップキックとトーキックの順番はランダムとした。

3. データ処理

被験者が行ったそれぞれのキックでの各3試技のうち、最もボール初速度が高かった1試技を本研究の分



図1 実験風景

1) 国立スポーツ科学センター

析対象とした。また、分析区間は、身体データに関しては蹴り足つま先の離地からボールインパクトまで、ボールの速度のデータに関しては、蹴り脚足部がボールから離れた最初の5コマとした。

モーションキャプチャーシステムによる計測で得られた、身体およびボールに貼り付けたマーカーの各位置座標データには、双方向の4th-order Butterworth low-pass digital filterによる平滑化 (Winter, 1990) を行った。最適遮断周波数の決定には、Yuら (1999) の方法を用いた。最初に、式 (1) を用いて仮の遮断周波数 (Fc1) を算出し、ローデータをフィルタリングした。Fsはカメラのサンプリング周波数 (本研究では500Hz) を示す。

$$Fc1 = 0.071 \times Fs - 0.00003 \times (Fs)^2 \quad (1)$$

次に、式 (2), (3) を用いて、最終遮断周波数 (Fc2) を算出した。

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^n (xn - xn')^2}{\sum_{n=0}^n (xn - x)^2}} \times 100 \quad (2)$$

$$Fc2 = 0.06 \times Fs - 0.000022 \times (Fs)^2 + 5.95 \times 1/E \quad (3)$$

算出した最終遮断周波数を用いて、再度ローデータをフィルタリングし、得られた平滑化データを分析に用いた。

身体の3次元位置座標から、蹴り脚の股関節屈曲・伸展角度、膝関節屈曲・伸展角度、足関節底・背屈角度を算出した。また、ボールに貼り付けた4か所のマーカーの3次元位置座標からボール中心を求め、5コマの平均速度をボール初速度として算出した。更に、蹴り足つま先離地からインパクトまでの時間を算出した。

4. 統計処理

算出した測定項目について、トーキック群とインステップキック群における統計的な有意差を、繰り返しのあるt検定を用いて検討した。有意水準は5%未満とした。統計処理には、統計ソフト (SPSS 10.0) を用いた。

5. 倫理的配慮

本研究は、国立スポーツ科学センターが設置する倫理審査委員会の承認を受けて実施したものである。また、被験者には十分なインフォームドコンセントを行い、実験参加への同意を得たものである。

III. 結果および考察

1. ボール初速度

図2に、それぞれの被験者のボール初速度の結果を示す。被験者BおよびCでは、トーキックとインステップキックにおいて有意な差は認められなかったが、その他の被験者に関しては、全てトーキックが有意に高い値を示した。サッカーのキック動作では、インパクト中の足部の変形が、足部の運動エネルギーをボールに伝える際、負の効果として働くことがこれまでの研究で示されている。また、インパクト時のエネルギーが大きく、これらの変形を能動的に抑制するのが難しいため、サッカー等の指導現場では、足部の変形が起きにくい足部質量中心付近でのインパクトを重要視する指導法が用いられている。トーキックの場合、インパクト位置がつま先であるため、足指の変形によるボール初速度の低下が予想されたが、全ての被験者においてインステップキックと同等もしくは上回る結果となった。先行研究でAndersenらは、インパクト面積が小さくなることでボールの大きな変形が生じ、その復元力によって大きな並進エネルギー得られると論じている。これらのことから、トーキックでは、つま先の変形による運動エネルギー伝達のロスよりも、インパクト面積が小さいことで得られる効果の方が上回ったことで、インステップキックよりも高いボール初速度を示した被験者が多かったと考えられる。

2. 膝関節角度の変化

図3に、分析区間中の膝関節角度の変化を示す。以下、グラフの横軸は、全分析区間を100%に正規化した時間を示すものとする。また、破線はSDを示す。

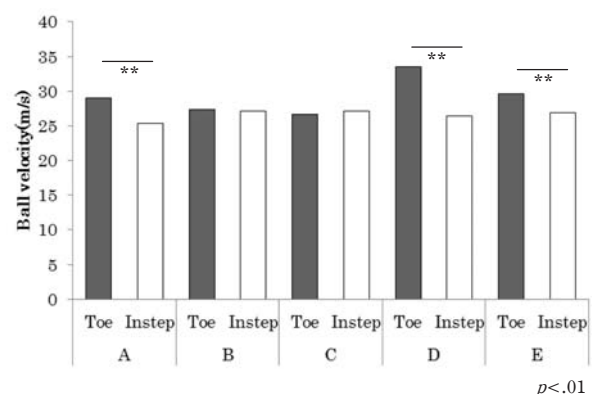


図2 トーキック (Toe) とインステップキック (Instep) のボール初速度

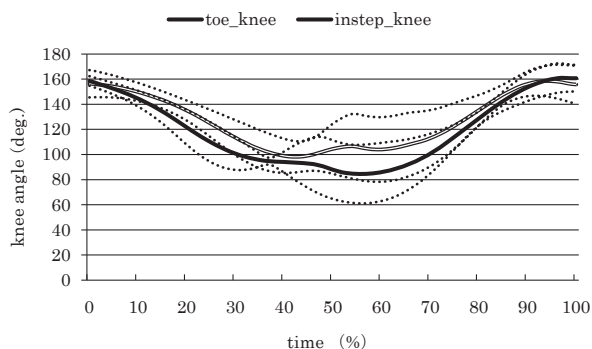


図3 蹴り脚膝関節角度変化

膝関節角度は、蹴り脚の外側上顆と大転子を作るベクトルと、外側上顆と外果が作るベクトルの内積によって算出した。どちらのキックにおいても、蹴り脚つま先が離地し、軸足が前方に向かってスイングされるフェーズで膝関節が伸展位にあることが分かる。その後、蹴り脚大腿が前方にスイングされるとともに膝関節角度が減少していた。キックの最終局面では、大腿のスイングが終わり下腿が前方に向かってスイングされることで、膝関節角度も再度増加し、160度前後でインパクトを迎えていた。キック動作の中盤で、インステップキックの方がやや高い増加傾向を示したが、キックの違いによる膝関節角度変化の顕著な違いは認められなかった。

3. 股関節角度の変化

図4に、股関節角度の変化の様子を示す。股関節角度は、蹴り脚の大転子と右肩峰が作るベクトルと、大転子と外側上顆が作るベクトルの内積によって算出した。

キック動作の最初から中盤にかけて、インステップキックの方が10度程度小さい値で推移していたが、インパクト時は、どちらのキックともおよそ130度付近でインパクトしており、膝関節角度と同様、大きな

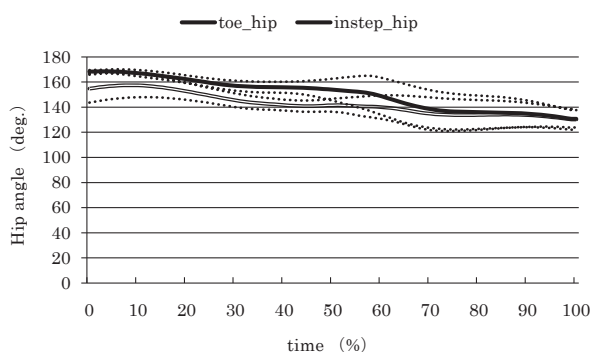


図4 蹴り脚股関節角度変化

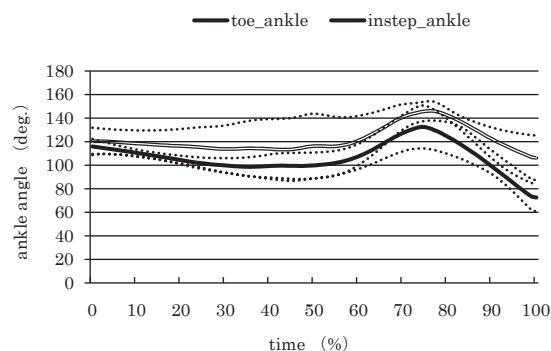


図5 蹴り脚足関節角度変位

違いは認められなかった。

4. 足関節角度の変化

図5に、足関節角度の変化の様子を示す。足関節角度は、つま先と外果が作るベクトルと、外果と外側上顆が作るベクトルとの内積によって求めた。足関節角度では、キック開始からトーキックがインステップキックに比べ低く推移し、終盤にかけてその差が大きくなっていることが分かった。インステップキックでの足関節角度が110度程度であったのに対し、トーキックの場合は80度程度となっていた。このことから、被験者はトーキックを蹴る際、立位姿勢よりも更に背屈位でインパクトしていたことが分かった。フットサル選手は、トーキックをシュートシーンで用いることが多い。またその際、ゴレイロ（キーパー）にセービングされるのを防ぐため、ゴールの上側のネット目がけて蹴る習慣がある。トーキック時に大きな背屈位となった要因として、被験者がボール中心よりも下を蹴ることで上向きのキックを行おうとしたために起きた可能性が考えられる。なお、実験終了後の選手への聞き取り調査において、本仮説を支持する回答した選手が複数いた。

5. 動作時間

それぞれのキック動作について、蹴り脚の離地からインパクトまでの動作時間を測定したところ、トーキックでは $203.6 \pm 15\text{m/s}$ であったのに対し、インステップキックでは $222.0 \pm 23\text{m/s}$ であった。統計的な有意差は認められなかったものの、トーキックの動作時間がやや短い結果となった。インステップキックは、足の甲でインパクトするために、ボールを軸足からやや離れた場所におき、体を傾けるようにしてキックしなければならない。それに比べ、つま先でボールをインパクトするトーキックは、コンパクトな動作が

可能であると考えられる。本研究では、自由な助走速度によってキック動作を行わせたが、“それぞれのキックを最短時間で完了するよう指示した”場合、キック動作に要する時間には更に大きな差が生まれる可能性があり、今後検討していく必要がある。

IV. まとめ

本研究では、モーションキャプチャーシステムを用いて、トーキック動作の運動学的特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、下記のことが分かった。

1. ボール初速度では、インステップキックよりもトーキックの方が有意に高い値を示す被験者が多く見られた。
2. 膝・股関節の角度変化は、どちらのキックにも違いがなかった。
3. 足関節角度の変化では、トーキックがインステップキックよりも低く推移し、インパクト時はおおよそ80度と、立位姿勢時よりも背屈位であったことが分かった。

本研究によって、蹴り脚の姿勢に関して、トーキックは、インステップキックのキック動作のうち、足関節角度の調整のみで実施可能であること、トーキックで蹴られたボールは、インステップキックと同等かそれ以上のボール初速度であることが明らかとなった。

サッカーやフットサルでは、これらの点に留意して選手への指導をすべきであると考えられる。今後は、得られたデータの解析を進め、運動力学的な解析を行っていく必要がある。

文献

- Andersen, T.B., et al. (2008) Biomechanical Differences Between Toe and Instep Kicking - Influence of Contact Area on the Coefficient of Restitution. *Science Football*, 5 : 45-50.
- 石井秀幸・磯川正教・丸山剛生 (2007) インステップキックにおけるインパクト位置がボール速度に及ぼす影響とインパクト中の衝撃力の解析. *バイオメカニクス研究*, 11 (3) : 170-181.
- Katis, E., and Kellia, A. (2007) Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6:154-165.
- 日本サッカー協会 (2008) サッカー&フットサル競技規則 2008/2009. 財団法人日本サッカー協会.
- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., and Sakurai, S. (2002) Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Med Csi Sports Exerc.* 34(12):2028-2036.
- Ozaki, H. and Aoki, K. (2007) Kinematic and Electromyographic Analysis of Infront Curve Soccer Kick, *Science Football*. 5:26-36.
- Winter, A.D. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, pp.41-43.
- Yu, B., Gabriel, D., Noble, L., and An, K.N. (1999) Estimate of the Optimum Cutoff Frequency for the Butterworth Low-Pass Digital Filter. *JOURNAL OF APPLIED BIOMECHANICS*, 15:318-329.