

ボールキックにおけるSpeed meter法での下肢スイング動作速度の測定と推定ボール速度との関係

Relationship between lower limb movement velocity by Speed Meter technique and estimated kicked ball velocity in soccer ball kicking.

手島 貴範*, 田中 重陽**, 角田 直也*

Takanori TESHIMA*, Shigeharu TANAKA** and Naoya TSUNODA*

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the between Speed meter technique for lower limb movement velocity and estimated value with estimation formula by previous report (Zernicke and Roberts).

One hundred children aged from 10 to 17 years and seventeen over 20 years of old were served as subjects. Subjects were classified by four age groups (10~12, 13~15, 16~17 and 20~). Subjects were measured maximal kicked ball velocity (MBV) by Rader gun. Lower limb swing velocity (SV) of ball kicking movement was measured by Speed meter technique. And also, estimated ball velocity (EBV) was calculated by estimation formula ($BV = 1.23 \times SV + 2.72$) by Zernicke and Roberts. SV was closely related to the BV in all the subjects. A significantly correlation was obtained between BV and EBV. However, EBV was underestimated due to increase BV and age. Moreover, there were significant differences between 10~12 and 16~17 age groups in error of EBV.

From these results, it was indicated that EBV may be underestimated as compared with the MBV in this study.

1. 緒言

これまでヒトの蹴動作に関する研究は、主としてボールキック動作を対象としたものが多くおこなわれてきた。ボールキック動作時におけるスイング速度とボール速度との間には、有意な相関関

係が存在することが報告され、蹴り脚のスイング速度がボール速度を決定する主要因であることが明らかにされている^{1) 2) 5) 6) 8) 10)}。また、熟練した成人サッカー選手を用いてボールキック動作の画像解析を実施したZernicke and Roberts¹⁰⁾は、様々なボール速度条件におけるスイング速度とボ

* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport System)

** 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education)

ール速度の間の回帰方程式を報告している。この回帰方程式〔ボール速度=1.23×足関節速度+2.72〕は、ボールキック動作に関する多くの文献においてボール速度の推定式として引用されている。これらのキック動作の運動学的解析の多くは、高価で大規模な装置を必要とする画像の動作分析を用いたものであり、多人数の被検者に対して多項目の測定を実施するフィールドテストにおいては、より簡易的な測定方法を用いることが望まれる。

一方、投げる及び滑るといった諸動作の動作速度を比較的簡便に計測することが可能なSpeed meterを用いて計測した報告^{3) 9)}がある。このSpeed meterを用いて計測した動作速度は、競技パフォーマンスを反映することが報告されている^{3) 9)}。ヒトの身体運動において、その動作速度を計測し、その発揮された運動パフォーマンスに対する評価・改善をおこなうことは重要である。また、フィールドテストや一度に多人数の被検者を測定する場合に、簡易的な動作速度測定から運動パフォーマンスを予測できることは、被検者の拘束時間を減少させるだけでなく、特にサッカーの技術指導の現場に対して基礎資料の提供を可能にするものと考えられる。

そこで本研究では、ボール速度の推定式として多くの文献に引用されているZernicke and Roberts¹⁰⁾のボール速度推定式〔ボール速度=1.23×足関節速度+2.72〕をSpeed meterを用いた下肢のスイング速度測定法から評価し、実測されたボール速度との関連からその妥当性について検

討することを目的とした。また、成人のみならず、発育発達期の児童及び生徒に対してもこの推定式が適応できるのかについても検討した。

2. 方法

a. 被検者

被検者は、10歳から17歳までの定期的にサッカー競技を実施している児童・生徒100名及び成人サッカー経験者17名の計117名とした。これらの被検者を暦年齢別に10歳から12歳まで、13歳から15歳まで、16歳から17歳まで、20歳以上の4群に分類した。被検者の年齢及び身体的特性は、Table.1に示した。

b. ボール速度の計測

被検者が蹴ったボールの速度（ボール速度）の計測は、スピードガン（ミズノ社製）を用いて実施した。ボールの位置からスピードガンまでの距離は5 mとした。ボール速度の計測は、3回実施し、得られた速度のうち最大の値を測定値として採用した。各被検者には、全力によるインステップキックによりボールを蹴るように指示した。また、助走距離は、各被検者が最高のボール速度を発揮できる任意の距離とした。

c. スイング速度の計測

ボールキック動作時における下肢のスイング動作速度（スイング速度）の計測は、Speed meter

Table.1 Age and physical characteristics in each age group.

Age group	n	Age (yrs)	Body height (cm)	Body mass (kg)
10~12	38	11.2 ± 0.9	146.6 ± 8.1	38.8 ± 7.7
13~15	46	13.8 ± 0.8	163.2 ± 7.8	50.1 ± 8.5
16~17	16	16.5 ± 0.5	169.9 ± 3.7	60.5 ± 4.5
20~	17	21.6 ± 1.5	171.3 ± 6.4	65.1 ± 6.3

Values are mean ± S.D.

* : Significant difference values are set at p<0.05.

(VINE 社製) を用いて測定した (Fig.1)。本研究の下肢スイング動作速度の測定は、Speed meter に連結されたワイヤーに付属するフックに特製の固定ベルトを取り付け、そのベルトを蹴り足の足関節に固定し、3回のキック動作から検出した。計測したデータの分析には、専用の分析ソフト Speed Processor V (VINE社製) を用いて分析した。ボールキック時における下肢のスイング動作速度は、Speed meter により検出された最高速度出現時の値とし、得られた速度のうち最高の値を測定値とした。また、各被検者には、全力によるインステップキックによりボールを蹴るように指示し、助走距離は任意の距離とした。

d. 推定ボール速度の算出

推定ボール速度は、Zernicke and Robert¹⁰⁾ のボール速度推定式 [ボール速度 = 1.23 × 足関節速度 + 2.72] にSpeed meterを用いて計測したボールキック動作時の下肢スイング動作速度値を代入することにより算出した。

e. 統計処理

各測定項目の値は、すべて平均値 ± 標準偏差値で示した。全被検者における各項目間の相関係数は、年齢を除去することにより偏相関係数を求めた。また、各年齢群間の比較には、一元配置の分散分析を行ない、要因に有意な効果が認められた場合には、Scheffe's post hoc testを用いて有意差の検定を行った。いずれも有意水準は、5%未満 (p<0.05) とした。

3. 結果

a. スイング速度及びボール速度

Table.2には、スイング速度とボール速度を各年齢群別に比較したものを示した。スイング速度及びボール速度は、年齢が高くなるに従い高い値を示し、10~12歳群から16~17歳群の間の各年齢群間において有意な差が認められた。また、16~17歳群以降ではほぼ一定の値を示し、成人期との間には著しい差異は認められなかった。

全被検者におけるボールキック動作時のスイング速度とボール速度の関係をFig.2に示した。スイング速度はボール速度との間に有意な偏相関係数が認められた ($r_{xy,z} = 0.755$, $p < 0.05$)。

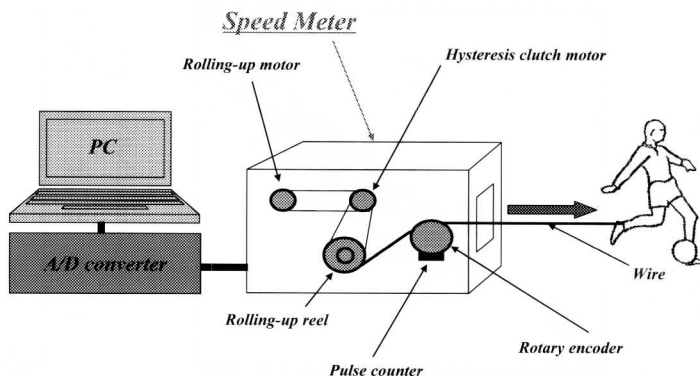


Fig.1 Schematic drawing of measurement in swing velocity using Speed Meter a custom-made movement velocity measurement system.

Table.2 Comparison of swing and ball velocities in each age group.

Age group	Swing velocity (m/sec)	Ball velocity (m/sec)
10~12	13.3 ± 1.3	20.6 ± 1.8
13~15	16.6 ± 1.9	24.5 ± 2.7
16~17	18.7 ± 1.4	28.9 ± 1.9
20~	19.2 ± 1.4	28.2 ± 1.9

Values are mean ± S.D.
* : Significant difference values are set at p<0.05.

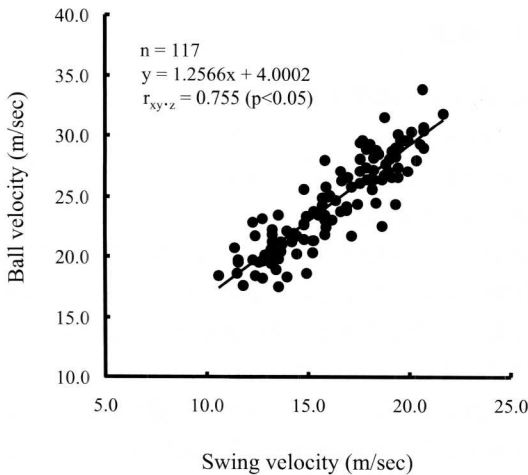


Fig.2 Relationship between swing and kicked ball velocities in all the subjects.

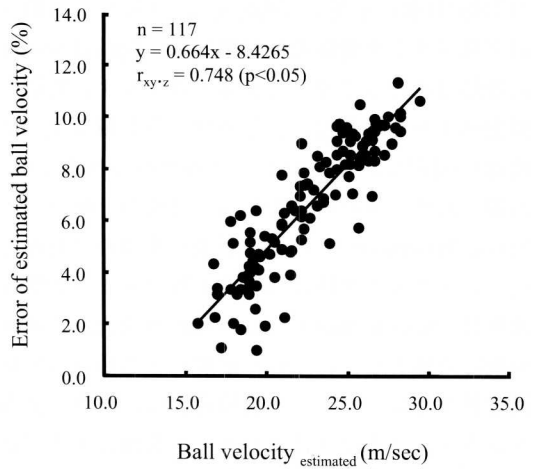


Fig.4 Relationship between estimated ball velocity and error of estimated ball velocity in all the subjects.

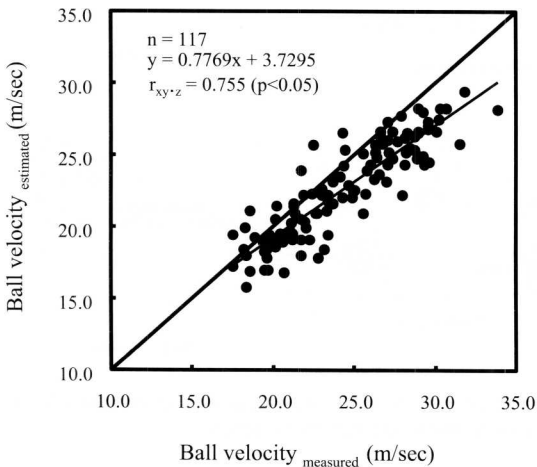


Fig.3 Relationship between measured and estimated kicked ball velocities in all the subjects.

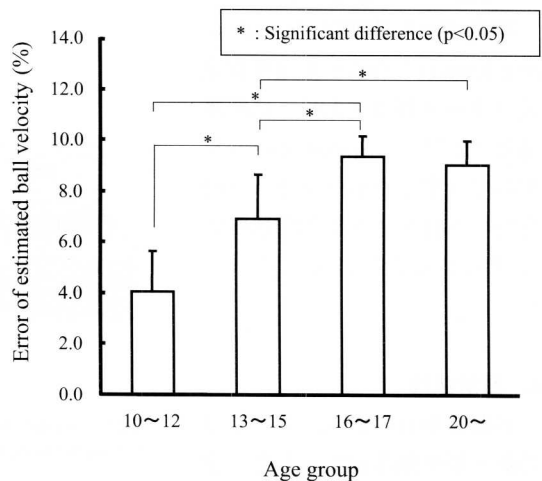


Fig.5 Comparison of error of estimated ball velocity in each age group.

b. 実測したボール速度と推定したボール速度の関係

Fig.3は、全被検者における実測ボール速度と推定ボール速度の関係について示したものである。両者の間には有意な相関関係が認められたものの ($r_{xy·z} = 0.755, p < 0.05$)、実測ボール速度の高い被検者ほど、推定ボール速度が過小評価される傾向がみられた。

c. ボール速度の推定誤差

ボール速度推定式を用いて推定したボール速度の実測ボール速度に対する誤差を明らかにするために、Fig.3で得られた回帰方程式にボール速度の実測値を代入することにより推定誤差を算出した。推定ボール速度の推定誤差は、推定ボール速度が高くなるに従って高値を示す傾向が認められ、推定ボール速度と推定誤差の間には有意な相関関係が認められた (Fig.4, $r_{xy·z} = 0.748, p < 0.05$)。

Fig.5には、推定ボール速度の推定誤差を年齢群別に比較したものを示した。推定ボール速度の推定誤差は、年齢が高くなるに従い高値を示し、10～12歳群から16～17歳群の間の各年齢群間において著しい差異が認められた。

4. 論議

a. スイング速度及びボール速度

ボールキック動作時のボール速度に影響を及ぼす主要な要因として、蹴り脚のスイング速度が挙げられ、スイング速度とボール速度との間には有意な相関関係が存在すること^{1) 2) 5) 6) 8) 10)}が明らかにされている。一方、ボールキック動作の発達過程について検討した三宅ら⁸⁾は、ボールキック動作時のスイング速度及びボール速度は、年齢が高くなるに従って高値を示すことを報告している。本研究の下肢のスイング速度及びボール速度は、年齢が高くなるに従って高値を示し、両者の間に有意な相関関係が認められたことから、年齢が高くなるに従って高値を示すスイング速度がボール速度に影響を及ぼしているものと考えられた。Lees and Nolan⁴⁾によると成人サッカー選手のスイング速度は、16～22m/secの間であり、ボール速度は24～30m/secの間であることが報告されている。本研究の成人期群における蹴り脚のスイング速度及びボール速度の平均値は、それぞれ19.2±1.4m/sec、28.2±1.9m/secであり、いずれもその範囲内であった。これは、Zernicke and Robertsの最大ボール速度の値(27.4m/sec)ともほぼ一致するものであった。これらのことから、Speed meterを用いて計測したボールキック動作時のスイング速度は、ボール速度を反映するものと考えられた。

b. 推定ボール速度の推定誤差

Zernicke and Roberts¹⁰⁾は、5名の熟練した成人サッカー選手を用いてボールキック動作の画像解析を実施し、様々なボール速度条件におけるス

イング速度とボール速度の間の回帰方程式を報告している。この式がボール速度の推定式として多くの文献に引用されていることから、本研究では、幅広い年齢層の被検者を対象として、このボール速度推定式にSpeed meterを用いて計測したスイング速度を代入し、推定ボール速度を算出した。その結果、推定ボール速度は、実測ボール速度と有意な相関関係を示すものの、実測ボール速度が高くなるにしたがってその値は過小評価され、さらにその推定誤差は高値を示す傾向にあった。さらに、この推定誤差は、年齢の高い群ほど有意に高い値を示す傾向が認められた。即ち、Zernicke and Roberts¹⁰⁾のボール速度推定式を用いて推定したボール速度の推定誤差は、ボール速度が高くなるにしたがって高まるだけではなく、身体発育のステージが高まる毎に有意に高まることが考えられた。

一方で、力学的な観点からボール速度決定に関与するその他の要因について、浅見とNolte¹⁾はインパクト時の足関節部の固定及びインパクト中の受動的な足底屈度合いを挙げている。発育期においては、ボールキック能力の発達過程でこれらのインパクトに関わる技術的要因の影響を受けることが推察される。さらに、9歳から18歳までの少年サッカー選手を対象にボールキック動作の運動学的解析を行なったLuhtanen, P⁷⁾は、年齢、身長及び体重とボール速度との間には有意な相関関係が認められることを報告している。このことから発育・発達に伴う身体形態の変化は、ボール速度に影響を及ぼすものと考えられる。この様に、Zernicke and Roberts¹⁰⁾のボール速度推定式を適用した場合には、ボール速度及び身体形態面の発育・発達段階が高まるにつれてその推定誤差が高まることから被検者の年齢及び発育・発達段階を考慮することのできるボール速度推定式の必要性が示唆された。

5. 要約

本研究では、10歳から成人までの117名を対象として、Speed meter法による下肢のスイング速度測定法からボールキック動作時のスイング速度を計測し、ボール速度推定式を用いて算出した推定ボール速度と実測されたボール速度との関連からその推定式の妥当性について検討することを目的とした。その結果以下のような知見が得られた。

- 1) Speed meter法により計測したボールキック動作時のスイング速度は、ボール速度との間に有意な相関関係が認められた。
- 2) 実測ボール速度は推定ボール速度との間に有意な相関関係が認められるものの、実測ボール速度の高い被検者ほど、推定ボール速度が過小評価される傾向がみられた。
- 3) 推定ボール速度の推定誤差は、推定ボール速度が高くなるに従って高値を示すだけでなく、年齢が高くなるに従い高値を示した。

以上のことから、Speed meter法により計測したボールキック動作時の下肢のスイング速度はボール速度を反映するものの、ボール速度推定式を用いて推定ボール速度を算出した場合には、推定したボール速度は実測したボール速度を過小評価する可能性があることが示唆された。

引用文献

- 1) 浅見俊雄, Nolte, V. : パワフルなインステップキックの力学的分析. *Jpn. J. Sports Sci.*, 1 (1) : 62-67, 1982.
- 2) Isokawa, M. and Lees, A. : Biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. In : *Science and Football*. (eds. Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W.J.) E&FN Spon, pp449-455, London, 1988.
- 3) 熊川大介, 田中重陽, 武石隆一, 角田直也 : スピードスケート選手におけるスライド速度と500m平均滑走速度との関係. *東京体育学研究2002年度報告* : 15-19, 2003.
- 4) Lees, A. and Nolan, L. The biomechanics of soccer : A review. *J.Sports Sci.*,16, 211-234, 1998.
- 5) Lees, A. : Biomechanics of applied to soccer skills. In : *Science and Soccer 2 nd edition* (eds. Reilly, T. and Williams, A.M.) Routledge, London, pp.109-113
- 6) Levanon, J. and Depaena, J. : Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer : *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30 (6) : 917-927, 1998.
- 7) Luhtanen, P. : Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. : In *Science and Football* (eds. Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W.J.) E&FN Spon, London, pp.441-448, 1988.
- 8) 三宅一郎, 宮丸凱史, 湯浅景元, 齊藤昌久, 西尾香織, 吉田泰成, 浅川正一 : 1歳から12歳の幼児および児童におけるボールキック能力の発達過程. *中京体育学研究*, 21 (1) : 122-133, 1981.
- 9) 田中重陽, 角田直也 : 野球選手の発育・発達に伴う投球能力. *子どもと発育発達*, 1 (6) : 432-435, 2003.
- 10) Zernicke, R. F. and Roberts, E. M. : Lower extremity forces and torques during systematic variation of non-weight bearing motion : *Med. Sci. in Sports*, 10 (1) : 21-26, 1978.

(推薦評議員 : 角田 直也)