

インステップキックの立ち脚関節運動

所属領域 スポーツ科学

著者 高橋 秀樹

論文指導教員 米田 継武

合格年月日 平成17年 3月 3日

論文審査委員

米田 継武

吉村 雅文

形本 静夫

第一章 緒言	3
第二章 関連文献の考証	5
第一節 キックパフォーマンスの評価	5
(一) ボールスピード	5
(二) キックの正確性	6
第二節 キック動作の計測方法	6
第三節 キックを構成する動作局面	7
第四節 キック時の蹴り脚動作についての研究	9
第五節 キック動作の立ち脚についての研究	10
(一) 立ち脚足部の着地に関する研究	11
(二) 立ち脚関節動作に関する研究	12
第三章 方法	14
第一節 被験者及び実験概要	14
第二節 キックパフォーマンスの計測	15
第三節 関節角度の記録	16
第四節 解析対象区間と算出パラメーター	17
(一) 解析対象区間	17
(二) ボールスピードと立ち脚動作の関係を検討するためのパラメーター	17
(三) キックの正確性と立ち脚動作を検討するためのパラメーター	19
第五節 統計学的解析	19
第四章 結果	21
第一節 ROMとボールスピードの関係	21
第二節 最大角速度とボールスピードの関係	22
第三節 インパクト時の関節角度の変動性とキックの正確性の関係	23
第五章 考察	24
第一節 助走を用いないキック試行における立ち脚関節動作とキックパフォーマンスの 関係の検討の意義	24
第二節 ボールスピードと立ち脚 ROM の変化	24
第三節 ボールスピードと立ち脚最大角速度の変化	26
第四節 インパクト時の関節角度の変動性とキックの正確性の関係における立ち脚関節動	

作の重要性	27
第六章 結論	30
第七章 要約	31
謝辞.....	33
英文要約.....	34
引用文献.....	35

Table 1, Figure 1~10

第一章 緒言

サッカーは、主に足でボールを扱い得点を競う競技である。したがって、足で巧みにボールを操る技術が要求される。特にボールを蹴り出すキックは、最も重要な技術の1つである。スピードの速いシュートや目標とした位置へ正確にパスをすることは、ゲーム展開を有利に進めて得点する可能性を高める。したがって、キック技術の高さは、キックしたボールのスピードや、狙った位置へボールを蹴るというパフォーマンスによって評価できる。本研究では、蹴りだされたボールのスピード、そして狙った位置への正確性をキックパフォーマンスとして定義した。

物体の移動は、物体に加わる力の大きさ、力の作用点、力の方向という三つの条件によって決まる。サッカーのボール移動に当てはめると、移動を決める要因は、蹴り脚足部からボールに加わる力の大きさ、作用点、そして方向ということになる。ボールを蹴り出す時には、意図したボール移動に適した力の伝達、すなわち蹴り脚足部で狙いに即したインパクトを行う為に合目的な脚動作が実行されている。

このように力を加える「蹴り脚」とキックパフォーマンスには因果関係があるので、キックパフォーマンスに関する研究は蹴り脚に注目が集まっていた(1)3)4)5)6)7)9)10)18)25)26)27)31)32)35)39)40)41)42)47)。そして、キックパフォーマンスに関係する蹴り脚動作が、その動作範囲(ROM: range of

motion)³⁾⁹⁾²⁵⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾、角速度¹⁾³⁾¹⁰⁾²⁵⁾³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾、関節モーメント²⁶⁾²⁷⁾³²⁾⁴⁷⁾、インパクト時における動作の変動性³⁵⁾から検討された。

しかし、キックは蹴り脚動作のみで行われているわけではなく、身体支持活動に支えられて達成されている。キックに限らず、立位姿勢から単純な動作を行うときにも、主動作以外の身体支持活動が見られる²³⁾⁴⁴⁾。もちろんキックにおいても、主動作に即した身体支持活動が生じていると考えられる。その中で地面に接して身体を支える「立ち脚」は、特に重要な役割を担っていると思われる。しかし、立ち脚が単に身体を支持するだけの役割であれば蹴り脚と異なり、その動作が必ずしもキックパフォーマンスの成否や強弱に関係しているとは限らない。実際キック動作時の立ち脚動作に関する報告¹¹⁾¹⁵⁾²⁸⁾²⁹⁾⁴²⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾において、立ち脚動作とキックパフォーマンスとの関係は未だ明確に示されていない。明確とならなかった一因として、助走条件の変化が挙げられており²⁹⁾³⁴⁾、研究の第一歩としてまず助走を用いないキックの単純化モデルを採用する必要性があるといえた。

本研究の目的は、蹴り脚動作とともにキックを構成する立ち脚動作とキックパフォーマンスの関係を検討することである。

第二章 関連文献の考証

サッカーの競技力向上のために、科学的研究によるサポートがますます期待される。これまでに様々な観点からサッカー競技について研究がなされてきた。その中でも、サッカー競技の基本であるキックに関する研究、特にキックパフォーマンスの評価と動作分析に着目して報告されている知見を考証する。

第一節 キックパフォーマンスの評価

研究を進める上で他の研究と比較するためには、測定方法、評価方法を先行研究に倣う必要がある。そこで、過去に報告されたキックパフォーマンスの評価について考証する。

先行研究におけるキックパフォーマンスの評価は、主に次の2種類に分類できる。それは、A)ボールスピード、B)狙った位置へのキックの正確性であった。本研究においても、「ボールスピード」、「キックの正確性」をキックパフォーマンスと定義した。

(一) ボールスピード

ボールスピードが速いことは、相手選手に対しパスやシュートに対応する時間を短く強いる。特に、シュートにおいてキーパーの対応時間を狭めるので、得点する上で重要な要素となる。このことは、速いボールを蹴りだせるイ

インステップキックがシュートで多く用いられていたという報告¹⁴⁾からも推察できる。そして、インステップキックによるボールスピードの研究は、これまでに最も多くの研究がなされてきたと総説されている²⁴⁾。これまでの研究で用いられているボールスピードの主な計測及び算出方法には、主に3種類がある。A)スピードガンによる計測²⁸⁾。B)ハイスピードカメラで撮影したインパクト後の画像を用いて算出²¹⁾²⁶⁾³²⁾。C)距離を時間で除すことでボールスピードを算出した⁷⁾¹³⁾³⁴⁾。インパクト時とある地点におけるボール通過の瞬間をフォトセルで記録して2点間の時間を算出した。ボールスピード測定方法としてC)は最も基本的な算出原理であり理解が容易である。

(二)キックの正確性

パスやシュートでは、ボールを狙った位置へ正確にキックすることが重要である。先行研究でキックの正確性は、設定した的への的中率²⁵⁾²⁸⁾や的の中心からボールが当たった位置までの距離⁸⁾¹³⁾によって評価された。習熟度に差のある利き脚と非利き脚では、利き脚において非利き脚より標的への的中率が高く、やはり習熟度とキックの正確性には相関があった²⁸⁾。これらの報告から、ボールスピードのみならず、キックの正確性についても注目されてきたことがわかる。

第二節 キック動作の計測方法

キック動作に限らず、動きを測る方法の1つとして、関節角度を計測する

ことが広く行われている。関節角度の計測にはビデオ撮影¹⁶⁾や電気角度計¹⁹⁾²⁰⁾による計測が普及している。関節角度を計測することによって、ROM や角速度、関節モーメントを算出することも可能になる。これらの指標は、条件間の動きの差異や特徴を評価するために有益である。

キック動作の先行研究における計測方法においても、ハイスピードカメラによる撮影²¹⁾³²⁾⁴⁰⁾や電気角度計¹⁷⁾³⁴⁾が用いられている。また、Anderson²⁾によると膝関節の角度を角度計で測定したところ、画像分析によって得られた結果と一致していた。これらの報告から、キック時の関節角度は、角度計による計測、ハイスピードカメラ撮影どちらでも正確に得ることができるとわかった。

第三節 キックを構成する動作局面

立ち脚や蹴り脚の動作を計測指標化するために、まずキックの動作局面を分解し、計測するポイントを見定める必要がある。

Wickstrom⁴³⁾は、キックの動作局面を「キックは、数歩の助走 (approach) から始まる。その最後のストライドが立ち脚足部の着地であり、その着地位置は、ボールの中心の側方かつやや後方である。蹴り脚の前方へのスイングは、立ち脚側の寛骨臼を軸とした骨盤の回転が初めに起こり、続いて蹴り脚股関節の屈曲、最後に膝関節が伸展を続けながらインパクトをする。インパクト後も股関節の屈曲、膝関節の伸展は続き、これはフォ

ロースルー(follow through)と呼ばれる。」と分解した。さらに、「キックの局面は4ステージに分かれる。蹴り脚の後方へのスイング、股関節の屈曲による脚の前方へのスイング、そして股関節の角速度が減速すると同時に膝関節の角速度が増加し、ボールインパクト、そしてフォロースルーにいたる。」と蹴り脚に注目した局面区分を述べた。多くの研究でこの前方へのスイング中に観察される蹴り脚関節のROM³⁾⁹⁾²⁵⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾や蹴り脚関節の角速度変化パターンが注目されてきた¹⁾³⁾¹⁰⁾²⁵⁾³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾。また、Levanonら²⁶⁾は3次元動作解析の結果、「キックは、助走から始まる。そして、その最後が立ち脚足部の着地である。着地は踵から接し、続いて足全体が接する。立ち脚足部全体で、身体を支えた後、インパクトにいたる。」と述べ、立ち脚足部の踵が接した時点からインパクトまでを“ground-support phase”と定義した。また、Kellisら²¹⁾も同一局面を“Support phase”と定義した。また、Levanonら²⁶⁾によると、蹴り脚股関節の屈曲は、立ち脚足部の着地より25msec前に開始していたことが報告された。

本研究では、Wickstrom⁴³⁾によって分割されたキックの動作局面のなかで、蹴り脚の前方スイング開始時点からインパクト時までの局面を“Forward Swing Period”と定義した。これは、Levanonら²⁶⁾の“ground-support phase”、Kellisら²¹⁾の“support phase”に類似した局面である。この局面で観察される蹴り脚関節動作範囲や最大角速度は、キックしたボールスピードとの相関が示唆された³⁾¹⁰⁾²⁵⁾。

第四節 キック時の蹴り脚動作についての研究

キックでインパクト時にボールへ力を加えるのは蹴り脚足部である。したがって、蹴り脚足部のスピードは、ボールに加わる力の「大きさ」と関係があり、実際にボールスピードと相関がある⁷⁾¹⁸⁾⁴⁷⁾。そして、速いボールスピードを生み出すキック動作に関する研究は、この蹴り脚足部スピードが、いかに高められるかという事に興味向けられている。

Robert ら³⁹⁾は、蹴り脚足部の前方移動を生み出す動作要素とその動作の順序について検討した。その結果、Forward Swing Period は、立ち脚側の寛骨臼を回転軸とした骨盤の回転から始まり、蹴り脚股関節の屈曲、そして膝関節の屈曲の順序で起こると結論した。

そして、この Forward Swing Period の骨盤の回転、股関節、膝関節の ROM とボールスピードの関係が検討された⁹⁾²⁵⁾⁴¹⁾。なかでも Lees ら²⁵⁾は、明確に示されていなかった ROM を定義し、ボールスピードとの相関を示唆した。その ROM の定義は、Forward Swing Period のピーク値からインパクト時の値の差とした。つまり、蹴り脚股関節については最大伸展時、膝関節については最大屈曲時とインパクト時の関節角度差をそれぞれの ROM とした。そしてボールスピードに差のある試行群間で速いボールを蹴ったときに Forward Swing Period の蹴り脚股関節と膝関節の ROM が大きかったと報告した。ボールスピード調節のひとつの手段として、ROM 調節がなされ

ていることが示唆された。

また、ボールスピードに差のある試行群間で速いボールを蹴ったときに Forward Swing Period の蹴り脚股関節と膝関節の最大角速度が速かったこと²⁵⁾や、習熟が進むとボールスピードの増加とともに最大角速度も増加した³⁾。さらに、近位から遠位へのエネルギー伝達モデルに当てはめると、蹴り脚股及び膝関節間の角速度の時系列変化に効率的なパターンがあると推定されている²⁴⁾³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾。一方、キックのトレーニング実験において、非熟練者のキック動作が習熟と共に熟練者の動作パターンに近くなった³⁾。これらの研究結果は、キックにおける適切な動作パターンの存在を示唆している。

これらの研究より、ボールスピードと蹴り脚股関節、膝関節の ROM そして最大角速度とボールスピードに関係のあることがわかる。

第五節 キック動作の立ち脚についての研究

立ち脚は、助走の最後のストライドにおける立ち脚足部の着地位置、着地時の力のかけ方に注目したとき「立ち足³³⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾」「plant foot²⁸⁾」「support foot²⁴⁾」と呼ばれた。また、膝など関節動作を注目したとき「立ち脚¹⁵⁾⁴²⁾」、「支持脚²⁹⁾³⁴⁾」、「support limb¹¹⁾」「support leg²¹⁾²²⁾」と呼ばれた。

(一) 立ち脚足部の着地に関する研究

立ち脚に関する注目点としてまずその着地位置が挙げられる。吉田⁴⁵⁾⁴⁶⁾は、ボール中心から立ち脚足部つまり着地位置までの距離を計測し、習熟度に差のある被験者の比較から適切な着地位置について検討した。その結果、全力でインステップキックを行ったとき、習熟度の高い群ではボール中心より左右方向には幅があるが、前後方向では幅のない位置に着地した。一方で習熟度の低い群では左右方向では幅のない、前後方向に幅のある位置に着地する傾向があった。また着地前の一歩つまり助走の最後の一步を長いストライドで行うことが、蹴り脚の後方へのスイングを大きくすることに貢献していると述べた。また McLean ら²⁸⁾は、次のことを報告した。ボールを高く浮かせる chip kick では低い弾道の low drive より、左右、前後どちらの方向においてもボールの近くに立ち脚足部を着地させていた。そして、利き脚と非利き脚でのキックを比較すると、習熟度の高い利き脚でキックしたとき、low drive と chip kick というキックの種類に適した位置へ着地するという傾向が明確になった。大淵³³⁾は、着地についてその着地方法について検討した。そして、習熟度に差がある熟練者と未熟練者を比較すると、立ち脚足部の足裏の圧力分布とその部位で接地順序は異なっていたことを報告した。これらの研究は、立ち脚足部の着地位置やその着地順序に適切な方法があることを示している。そして、少なくとも着地という点で、キックパフォーマンスにおける立ち脚動作の重要性を意味しているだろう。

(二) 立ち脚関節動作に関する研究

奥ら³⁴⁾は、上下方向へのボールコントロールには、立ち脚足関節による調整が行われるとして、弾道が高いキックと低いキックをしたときのインパクト時の立ち脚膝及び足関節角度について検討した。その結果、上下方向へのボールコントロールの違いがインパクト時の立ち脚の膝、足関節角度へ影響しなかった。その原因の一つとして、立ち脚足部の着地位置による調節が行われていた結果、立ち脚関節角度との関係が見られなかったことを指摘した。

望月ら²⁹⁾は、サッカーの技術書には必ず立ち脚についてのことが記載されており、その基本的な役割を明確にする必要があるとして、熟練者と非熟練者の立ち脚膝関節角度の時系列変化を報告した。熟練者群の変化パターンは、非熟練者群より一定の傾向があった。そのなかで、インパクト直前では膝の角度が一定に保たれることが立ち脚の固定につながり腰の回転速度増加の要因となって蹴り脚足部のスピード増加に繋がっていると述べた。また、着地位置の違いがインパクト部位の変動要因になりえることを指摘した。

萩原ら¹⁵⁾は、一歩助走を用いたキック時と助走を用いないキック時の立ち脚膝関節角度について、習熟度の異なる3名の被験者から検討した。そして、Forward Swing Periodにおける立ち脚膝関節角度を助走ありとなし条件間比較をすると、助走を用いないキック時の膝関節角度のROMは、

用いたキックより小さかった。

また、ボールに対する助走角度を変化させたとき、股、膝、足関節角度²¹⁾に、また床反力¹⁸⁾に違いがみられたことが報告されている。また、深倉ら¹²⁾は、適切な速さまでは助走スピードの増加に伴ってボールスピードも増加することを報告した。

これらの報告をまとめると、助走条件 A)着地位置 B)助走スピード C)助走角度 によってキックパフォーマンスと立ち脚関節動作が変化することがわかる。キックパフォーマンスへの立ち脚関節動作が果たす意義を調べるためには、助走を用いないキックによる基本局面の研究を先ず行う必要がある。

第三章 方法

第一節 被験者及び実験概要

Table.1 に示したインステップキックを蹴ることのできる 7 名の被験者が実験に参加した。尚、本研究は受付番号院 16-26 号として本学倫理審査の承認を受けた。実験に先立って、被験者は口頭及び映像で説明を受け実験内容を十分に理解した上で実験参加に同意した。Fig.1A に実験時の模式図を示した。測定時の条件を一定にするために、実験は屋内で実施した。通常ボールキックでは、蹴り脚のスイングに先立ち数歩の助走から一連のキック動作が行われる。しかし、本研究では助走条件の変化が立ち脚動作へ影響を与えぬよう、立ち脚足部をあらかじめボールの側方に置き、蹴り脚を後方に引いた被験者任意の立位姿勢からのキック動作を分析した。立ち脚足部は、内果とボールの最後部がほぼ並ぶような位置に置かれた。これは、萩原ら¹⁵⁾に倣った位置で、また McLean ら²⁸⁾の低い弾道のキックの着地位置に近似している。

全ての試行は、被験者任意の一定姿勢から開始された。験者の合図の後、被験者は前方へボールをキックした。実験に先立ち、被験者は角度計を装着した状態に慣れるため、練習動作として 20 回程度キック練習を行った。またその際、前述した被験者任意の開始姿勢の決定も行った。そして練習後、休憩をはさんで実験課題を試行した。

実験課題は A)スピード課題、B)正確性課題 という 2 種類で構成された。

スピード課題は、ボールスピードと立ち脚関節動作の関連性を調べるために実施した。この課題ではボールスピードに差のある試行を得るため、「100%」「70%」「40%」という 3 段階のスピード条件を設けた。被験者は、教示にしたがってボールスピードを蹴り分けた。スピード課題 3 条件下での、全被験者平均ボールスピードは 3 条件間で有意に差があった(Fig.2)。

正確性課題は、キックの正確性と立ち脚関節動作の関連性を調べるために実施した。この課題では「的の中心に当てることのみを目的にキックしなさい。また、その際は最適のボールスピードで行いなさい。」と教示を与えた。的は、3m 前方に半径 25cm の円を記した(Fig.1B)。

試行回数は、1 教示につき各 24 試行、合計 96 試行のキックを行った。疲労の影響を減らすことを目的として、96 試行を分割した。4 教示が各 6 試行なされるよう構成した 24 試行を 1 セットとし、4 セット行った。各試行の間隔は約 30 秒で行い、各セット間に約 3 分間休憩させた。試行順序の効果を軽減するため、4 教示が休憩後に同順序で行われるよう設定した。

第二節 キックパフォーマンスの計測

キックパフォーマンスは、A)ボールスピード B)キックの正確性 で評価した。

ボールスピードは、先行研究⁷⁾¹³⁾³⁴⁾と同様に 2 点間の距離とその通過所要時間を計測し、距離を時間で除して算出した。ボールの当たった位置をビデオカメラ(DSR-PD100A : Sony 社)で記録し、それを実験後に確認することで距離を計測した。通過所要時間を計測するために、インパクト時とボールと的が当たった衝撃音をマイクロフォンで記録した。マイクロフォンで音を電氣的信号に変換し、この電氣信号を AD 変換器(PowerLab system : ADInstruments)でデジタル化してコンピューターに保存した。そして、電氣信号が変化した瞬間を衝撃音の発生時として考え、インパクト時とボールが的に当たった瞬間に相当する信号変化の時間間隔を算出した。

正確性は、設定した的に的中したか否かで評価した(Fig.1B)。そして、正確性課題 24 試行をキックの正確性評価のために、半径 25cm の的に当たった試行群(正確試行群)と的外の試行群(不正確試行群)の 2 群に分類した。

第三節 関節角度の記録

キック中の関節動作を記録するために、軽量のゴニオメーター(総重量 750g)を作成した。使用したゴニオメーターは、ポテンシオメーター(CP3F : 緑測器)を組み込んだ装具として被験者に装着させた。先行研究³⁾²⁵⁾で、蹴り脚の股・膝関節の伸展、屈曲の ROM が重要であると報告がされている。また、立ち脚の股、膝、足関節の

伸展屈曲の support phase (立ち脚足部の着地からインパクトまでの局面) における時系列角度変化と角速度変化について報告されている²¹⁾。そのため本研究も蹴り脚の股・膝関節の伸展、屈曲動作を記録し、立ち脚は股・膝・足関節を記録した。配線の制限によって被験者のキック動作が妨げられぬよう、角度データはテレメータシステム (WEB-5000: 日本光電社) を使って送受信された。受信されたデータは、AD 変換機 (PowerLab system: ADInstruments) でデジタル化してコンピューターに保存した。

第四節 解析対象区間と算出パラメーター

(一) 解析対象区間

キックの動作局面のなかで、蹴り脚の前方へのスイング開始時点からインパクト時までの期間である Forward Swing Period を解析対象区間とした。Forward Swing Period は本来骨盤の回転から開始されるが、骨盤の回転動作を正確に測定することが困難であるので、骨盤の回転に続いて起こる蹴り脚股関節の屈曲開始時からインパクトまでの期間を Forward Swing Period とした。

(二) ボールスピードと立ち脚動作の関係を検討するためのパラメーター

Fig.3A に Forward Swing Period における蹴り脚及び立ち脚各関節の ROM 定義を時系列角度変化の一例と共に示した。また Fig.3B に各関節

の角度の定義を示した。ボールスピードと蹴り脚及び立ち脚関節動作の関係は、Forward Swing Period の ROM、最大角速度の検討から行った。蹴り脚の股及び膝関節の ROM は、ボールスピードとの相関が示唆されている²⁵⁾。キックはその主動作である蹴り脚と、身体支持を担う立ち脚動作によって成立していると考えられるので、立ち脚関節についても Forward Swing Period における ROM を算出した。ROM は、Forward Swing Period 開始時と最小値の差、そしてその最小値からインパクト時までの差の和より算出した (Fig.3A)。Forward Swing Period における ROM、つまり角度変化の総量から、ボールスピードとの関係を検討した。さらにスピード課題の 3 条件で平均 ROM、そして ROM とボールスピードから算出した相関係数を蹴り脚と立ち脚関節のそれぞれで算出した。算出した相関係数を蹴り脚と立ち脚で比較することで、ボールに力を加える蹴り脚動作と身体を支持する立ち脚動作のキックパフォーマンスへの影響度を検討した。

また、ボールスピードと Forward Swing Period の最大角速度の関係を調べた。Forward Swing Period の蹴り脚股・膝関節の角速度は、末端部である蹴り脚足部スピードの要因であり、実際ボールスピードと最大角速度の相関が示唆されている³⁾¹⁰⁾²⁵⁾。そこで、立ち脚動作についても速度という面での身体支持の評価として、立ち脚関節における最大角速度を算出し、スピード課題の 3 条件下での平均、さらに最大角速度とボールスピードとの相関を蹴り脚関節と比較することで立ち脚関節動作とボールスピードの関

係を検討した。

(三)キックの正確性と立ち脚動作を検討するためのパラメーター

狙った位置へ何度もボールをキックするためには、インパクト時の力の加え方(力の作用点と方向)を一定にする必要がある。試行間で同じ力の加え方をするためには、試行間で同じ動作を行うことが要求されるだろう。ボールに力を加えるインパクト時にいて、蹴り脚とともに立ち脚もまた繰り返し同じ状態を再現できることが望ましいと考えられる。そこで、関節角度の変動性という観点から立ち脚動作とキックの正確性について検討した。変動性は、被験者間、関節間によってインパクト時の関節角度が異なるため、変動係数(CV : Coefficient of Variation)によって標準化して評価した。CVは標準偏差を平均値で除すことで算出される。本研究では、各関節でインパクト時の関節角度の試行平均値とその標準偏差からCVを算出した。

各被験者の正確性課題 24 試行で、設定した的的中した正確試行群と的から外れた不正確試行群の2群それぞれの蹴り脚及び立ち脚関節CVを算出した。各被験者より算出されたCV平均値から、キックの正確性と立ち脚動作の関係を検討した。

第五節 統計学的解析

全被験者平均 ROM、最大角速度のスピード課題 3 条件間の差は、一元配置分散分析及び下位検定で各関節について検定した。次に、全被

験者平均 CV の正確性課題 2 群間の差は、1 標本 t 検定で各関節について検定した。さらに、全被験者平均 CV の蹴り脚 2 関節、立ち脚 3 関節の正確性課題 2 群間の差は、等分散を仮定した 2 標本 t 検定で検定した。本研究で有意水準は 5%以下とした。

第四章 結果

第一節 ROM とボールスピードの関係

スピード課題「100%」「70%」「40%」の3条件での平均ROMの比較をFig.4に示した。一元配置分散分析及び下位検定の結果、ボールスピードの増加に伴う有意なROMの増加が、以下の条件間で観察された。A) 蹴り脚股関節「100%」-「40%」間 ($P<0.05$)、B) 立ち脚股関節「100%」-「40%」間 ($P<0.05$)、「100%」-「70%」間 ($P<0.005$)、C) 立ち脚股関節「100%」-「40%」間 ($P<0.05$)。有意ではないものの、蹴り脚膝関節「70%」-「40%」間を除いて、全ての関節でボールスピードの増加に伴ってROMが増加する傾向にあった。

Fig.5に、スピード課題「100%」「70%」「40%」の3条件での全被験者の全試行からROMとボールスピードの散布図を示した。各関節ROMとボールスピードの相関係数は、A) 蹴り脚股関節 ($r=0.56$)、B) 蹴り脚膝関節 ($r=0.25$)、C) 立ち脚股関節 ($r=0.74$)、D) 立ち脚膝関節 ($r=0.37$)、E) 立ち脚足関節 ($r=0.45$)であり、立ち脚股関節ROMがボールスピードと最も高い相関を示した。ROMにおいて蹴り脚以上に立ち脚関節ROMにおいてボールスピードとの相関がみられた。

第二節 最大角速度とボールスピードの関係

Fig.6 に角速度の一例を示した。全被験者の最大角速度の平均値についてスピード課題「100%」「70%」「40%」の3条件間比較をFig.7に示した。ボールスピードの増加に伴う有意な最大角速度の増加は、一元配置分散分析及び下位検定の結果、以下の関節の条件間で観察された。A) 蹴り脚股関節「100%」-「40%」間 ($P<0.005$)、「100%」-「70%」間 ($P<0.05$)、B) 蹴り脚膝関節「100%」-「40%」間 ($P<0.05$)、C) 立ち脚股関節「100%」-「40%」間 ($P<0.005$)、「100%」-「70%」間 ($P<0.05$)、D) 立ち脚膝関節「100%」-「40%」間 ($P<0.005$)、「100%」-「70%」間 ($P<0.05$)、E) 立ち脚足関節「100%」-「40%」間 ($P<0.05$)。有意ではないものの、全ての関節でボールスピードの増加に伴って最大角速度が増加する傾向にあった。

Fig.8 に、スピード課題「100%」「70%」「40%」の3条件での全被験者の全試行から最大角速度とボールスピードの散布図を示した。各関節最大角速度とボールスピードの相関係数は、A) 蹴り脚股関節 ($r=-0.72$)、B) 蹴り脚膝関節 ($r=0.65$)、C) 立ち脚股関節 ($r=0.74$)、D) 立ち脚膝関節 ($r=0.60$)、E) 立ち脚足関節 ($r=0.60$)であり、蹴り脚と立ち脚関節どちらもボールスピードと高い相関を示した。最大角速度において蹴り脚関節と同様、立ち脚関節においてもボールスピードとの相関がみられた。

第三節 インパクト時の関節角度の変動性とキックの正確性の関係

正確性課題の 24 試行を、3m 前方に記した的中心から半径 25cm 以内にボールが当たった試行群(以下、正確試行群)と、それ以外に当たった試行群(以下、不正確試行群)に分類した(Fig.9A)。そして、正確試行群と不正確試行群のそれぞれで、蹴り脚及び立ち脚の計測した全ての関節について、インパクト時の関節角度変動係数(CV)が算出された。

Fig.9B に、各関節の全被験者平均 CV について正確試行群と不正確試行群間比較を示した。正確試行群と不正確試行群間の差を 1 標本 t 検定で各関節を検定した。その結果、A)蹴り脚股関節($P=0.09$)、B)蹴り脚膝関節($P=0.06$)、C)立ち脚股関節($P=0.15$)、D)立ち脚膝関節($P=0.26$)、E)立ち脚足関節($r=0.15$)と有意な差は観察されなかったが、全関節で正確試行群が不正確試行群より低かった。

次に正確なキックとならなかった原因が、主に蹴り脚と立ち脚のどちらに起因するのかを検討するために、蹴り脚と立ち脚のそれぞれで計測した全関節から平均 CV を算出して比較を試みた(Fig.10)。等分散を仮定した 2 標本 t 検定の結果、正確試行群間($P<0.43$)、不正確試行群間($P<0.17$)のどちらにおいても、優位な差は観察されなかったが、蹴り脚以上に立ち脚の CV は低かった。

インパクト時の関節角度 CV からみると、ボールを正確にキックするとき、立ち脚は蹴り脚以上に同じ状態を繰り返していたことがわかった。

第五章 考察

第一節 助走を用いないキック試行における立ち脚関節動作とキックパフォーマンスの関係の検討の意義

通常のカック動作研究では実際のサッカー競技を想定して、助走を含めたカック動作の測定がなされてきた。これまでに助走条件の変化が立ち脚関節及びカックパフォーマンスに影響を与えることが報告されている¹²⁾²¹⁾²⁸⁾²⁹⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾。したがって生み出すカックパフォーマンスによって立ち脚動作の変化様相を分析するためには、一端助走を除いた単純化モデルから検証する必要があった。そこで本研究では、助走を用いず立ち脚足部を一定位置に置いた状態からのカック動作を実験試行で採用し、このカックの単純化モデルからカックパフォーマンスと立ち脚動作の関係を分析した。このような条件での実験結果だけでは、実際のカック動作と直接に比較できないが、助走を用いないカック動作の分析結果は、トレーニングによるスキル獲得のヒントや今後のカックパフォーマンス研究の基礎データとして大いに意義があるだろう。

第二節 ボールスピードと立ち脚 ROM の変化

蹴り脚の ROM に関して、カックの習熟度が高まるとボールスピードの増加に伴って股関節、膝関節 ROM も増加すると報告されている³⁾。また、ボー

ルスピード差のあるキック試行群間では、ボールスピードが速いときに股関節、膝関節 ROM が有意に増加した²⁵⁾ことが報告されている。助走を用いない本研究においても、スピード課題 3 条件間の ROM 比較 (Fig.4) から、ボールスピードの増加に伴って、蹴り脚股関節の ROM が増加する傾向にあった (Fig.4)。この傾向は、ボールスピードを高めるためには、蹴り脚の後方へのスイングが大きくなされる⁴⁾⁵⁾⁴²⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾ことを反映している。しかし、蹴り脚膝関節に関しては、ボールスピードの増加に伴って、ROM が増加する傾向は十分に認められなかった。これは、先行研究と本研究の相違点である助走の有無に起因する可能性がある。萩原ら¹⁵⁾の報告において、助走ありと無し条件間の蹴り脚膝関節 ROM は、助走無し条件で ROM が小さくなる傾向がみられた。したがって、助走を用いないときのキックでは蹴り脚の ROM が狭くなるという特徴があると考えられた。本研究では、その影響が蹴り脚膝関節 ROM とボールスピードの関係を弱めたものとする。

次に立ち脚関節 ROM に関して、スピード課題 3 条件間の ROM 比較 (Fig.4) からボールスピードの増加に伴って、ROM は股関節と膝関節では有意に、足関節も有意ではないが増加する傾向だった。足関節 ROM において増加傾向があったものの条件間で有意差が見られなかったことから、足関節角度変化は身体重心位置変化に大きな影響を与えるので、足関節の ROM を小さくすることによって、身体支持の安定性を保っていたと考えられた。

ボールスピードと蹴り脚、立ち脚関節 ROM の相関において、それぞれの相関係数 r の値で蹴り脚と立ち脚の股関節間、膝関節間の比較をすると、蹴り脚以上に立ち脚で高い相関を示した。蹴り脚と比較して ROM の狭い立ち脚関節動作にも注目する必要がある。これまで、骨盤の回転をする上で、立ち脚の膝関節の固定が貢献するという報告¹¹⁾²⁹⁾があり、ボールスピード増加には、立ち脚関節 ROM の少ないことが重要であると考えられた。しかしながら、本研究で、ボールスピードの増加に伴って立ち脚 ROM が増加する傾向が見られた。ボールスピードを増すために、蹴り脚のみでなく立ち脚においても ROM を増加させ多く力学的エネルギーを産生していた可能性が示唆された。

第三節 ボールスピードと立ち脚最大角速度の変化

蹴り脚の最大角速度に関して、練習によってキックの習熟度が高まるとボールスピードの増加に伴って股関節、膝関節最大角速度も増加したこと³⁾や、ボールスピード差のあるキック試行群間では、ボールスピードが速いときに股関節、膝関節最大角速度が増加した²⁵⁾ことが報告されている。また、利き脚と非利き脚の動作比較研究において、速いボールスピードを生み出した利き脚において股関節、膝関節最大角速度が高かったこと¹⁰⁾が報告されている。本研究においても、スピード課題 3 条件間の最大角速度比較 (Fig.7) から、ボールスピードの増加に伴って、蹴り脚股関節、膝関節の最

大角速度が増加する傾向にあり、従来の報告と一致する。

次に、立ち脚関節の最大角速度において、スピード課題3条件間の最大角速度比較 (Fig.7) から、ボールスピードの増加に伴って立ち脚股・膝・足関節の最大角速度が増加する傾向だった。さらに蹴り脚、立ち脚の最大角速度とボールスピードとの相関係数 r の値の比較 (Fig.8) から、速さという観点において蹴り脚のみならず立ち脚もボールスピードとの相関があることが明らかになった。

第四節 インパクト時の関節角度の変動性とキックの正確性の関係における立ち脚関節動作の重要性

本実験のように静止したボールを一定位置にある `target` へ正確にキックするには、インパクト時の力の加え方(力の方向と作用点)を一定にする必要がある。そのひとつである力の作用点は、ボールと蹴り脚足部の接触面であり、その位置はキックが正確となったとき一定であったことが考えられる。その接触面位置は、体分節長が一定であるので蹴り脚と立ち脚の関節角度によって定まる。

正確性課題において蹴り脚のみならず立ち脚の全関節においてもキックが正確な場合にインパクト時の関節角度の変動性が低い傾向であった (Fig.9)。キックが正確な場合に変動性が低くなった原因は、接触面位置を一定にするために、同じ状態が何度も繰り返されたか

らであろう。キックが正確とならない原因は蹴り脚動作だけでなく、立ち脚動作にも存在することが示された。このことは立ち脚動作がキックの正確性と何の関係もない手の指の動作とは違い、蹴り脚同様にインパクト時に適切な動作を成すように制御を受けている可能性を示唆した。

一定の位置に何度もボールを投げることで高得点に繋がるボーリングの投球動作においてリリースまでのボールの軌跡の変動性は、得点の高い者つまり習熟度の高い者ほど低い傾向であった³⁰⁾。このようにパフォーマンス及び習熟度の上昇と共にボールに力を加える身体部位の位置制御の変動性が低下することが知られている。またサッカーにおいて、キックの習熟度が高いとボールと蹴り脚足部の接触面の変動性が低く³⁵⁾、インパクト時という一瞬においても、力の作用点となる身体部位の位置制御と習熟度の関係が示されている。本研究の結果から力を加える身体位置を直接的に変化させない動作も含めて、習熟度の上昇と共に再現性の高い動作が行われる可能性が示唆された。

次に、蹴り脚は2関節、立ち脚は3関節と計測した全関節の平均CVで、蹴り脚と立ち脚動作の変動性を比較すると、キックの正確性に関係なく蹴り脚以上に立ち脚の変動性が低かった(Fig.10)。この結果は、接触面の位置制御を担う蹴り脚の位置変化を少なくするために、まず安定した

立位を保つという立ち脚の役割を示唆した。

第六章 結論

助走を用いないキック動作時の Forward Swing Period において、ボールスピードの増加に伴って蹴り脚だけでなく立ち脚関節の ROM 及び最大角速度にも増加の傾向が確認された。また、正確性課題では、蹴り脚より立ち脚関節角度のインパクト時の変動性が低かった。これらの結果から、立ち脚動作もキックパフォーマンスを決定する重要な要因である可能性が示された。

第七章 要約

これまでサッカーのインステップキックの研究では、ボールに力を加える蹴り脚の動作に着目して研究がなされてきた。しかし、蹴り脚スイング中に身体を支える立ち脚動作とキックパフォーマンスの関係は未だ明確とはいえない。そこで、本研究ではボールスピード、キックの正確性というキックパフォーマンスの指標を用いて、キック動作における立ち脚の重要性を検討した。

7名の被験者が実験に参加した。立ち脚動作とキックパフォーマンスの関係を検討する上で、助走が立ち脚動作とキックパフォーマンスへ与える影響を排除する必要があった。そこで、助走を用いないインステップキックを行わせた。キック時の蹴り脚と立ち脚動作を観察、記録する為に被験者は軽量の電気角度計を装着していた。スピード課題ではボールスピードに差がつくように最大努力を100%として、70%、および40%の強度で蹴るように指示を与えた。また、正確性課題では半径25cmの的目掛けて蹴るように指示を与えた。これらの課題でのキックパフォーマンスと立ち脚動作の関係が、キックパフォーマンスと蹴り脚動作の関係と比較された。

その結果、スピード課題においてボールスピード増加に伴って蹴り脚のみならず立ち脚の動作範囲も大きく、そして最大角速度も速くなった。次に正確性課題において、立ち脚関節においてもキックが正確であった場合にインパクト時の動作の変動性が低かった。さらに立ち脚動作の変動性は蹴

り脚動作の変動性以下だった。

これらの結果からボールスピードとキックの正確性というキックパフォーマンスにおいて、これまで最重要視されてこなかった立ち脚は蹴り脚動作と同じ傾向で動作変化が起こっていることが明らかになった。このことは、キックパフォーマンスがボールに力を加える蹴り脚動作のみで決定するわけではなく、蹴り脚スイング中に身体支持の役割を担う立ち脚動作の結果も反映することを示唆する。またインパクト時の動作の変動性が蹴り脚よりも立ち脚で低かったことは、安定した立位を保つ立ち脚の役割を示唆した。

謝 辞

本実験の被験者としてご協力いただいた本学大学院生および学部生に深く御礼申し上げます。本稿を結ぶにあたり、数々の御助言、御示唆および御校閲を賜りました本学スポーツ科学研究科生理学研究室所属大学院生のみなさまに深く感謝の意を表します。

英文要約

A Kinematic Analysis of Support Leg Movement During Instep Kick.

Hideki TAKAHASHI

Summary

The purpose of this study was to examine the relationship between kick performance and support leg action. The actions of kick and support leg were measured by Goniometers. These data were collected on 7 subjects. The instep kick without approaches was adopted as kick trials. Kick trials were composed of 2 tasks, Speed Task and Accuracy Task. The trials under Accuracy Task were classified into "on target" and "out of target".

Under Speed Task, there was a tendency. As ball speed increased, range of motion and maximum angular velocity of kick and support leg joints increased. Under Accuracy Task, Coefficient of Variation (CV) of each joint angle at impact was lower in "on target". And CV of support leg action was lower than kick leg action.

From these results, it is suggested that support leg action is the important factor like kick leg action.

引用文献

- 1) Aitcheson, I, Lees, A: A biomechanical analysis of place kicking in Rugby Union Football. *J. Sports Sci.*, 1, 136-137, (1993)
- 2) Anderson, C.C.: A method of data collection and processing for cinematographic analysis of human movement in three dimensions. *M. S. thesis, University of Wisconsin*, (1971),
—磯川 正教: キックの動作解析. 計測と制御, 38(4), 242-248, (1999)より引用
- 3) Anderson, D.I., Sidaway, B.: Coordination changes associated with practice of a soccer kick. *Res. Q.*, 65, 93-99, (1994)
- 4) 浅井 武: サッカーのインステップキックにおける圧力分布. 山形大学紀要, 10(2), 111-120, (1991)
- 5) 浅井 武: サッカーにおけるインステップキックとカーブキックの比較. バイオメカニクス研究, 3, 111-118, (1999)
- 6) 浅見 俊雄, 戸荻 晴彦: サッカーのキック力に関する研究. 体育学研究, 12(4), 267-272, (1968)
- 7) Asami, T. Nolte, V.: Analysis of powerful ball kicking. In H. Matsui, K. Kobayashi ed. *Biomechanics*, 8th-B ed. 695-700, Human Kinetics: Champaign, IL (1983)
- 8) Asami, T. Togari, H. Kikuchi, T.: Energy efficiency of ball kicking. In P.V. Komi ed. *Biomechanics*, 5th-B ed. 135-140, University Park Press: Baltimore, MD (1976)
- 9) Browder, K.D., Tant, C.L., Wilkerson J.D. : A three dimensional kinematic analysis of three kicking techniques in female players. In C.L. Tant, P.E. Patterson, S.L. York ed. *Biomechanics in Sport*, 6th ed. 95-100, Iowa State University Press: Ames, IA (1991)
- 10) Dorge, H.C., Anderson, T.B., Sorensen, H., Simonsen, E.B.: Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *J. Sports Sci.*, 20, 293-299, (2002)
- 11) Elliott, B.C., Bloomfield, J., Davies, C.M.: Development of the punt kick: A cinematographical analysis. *J. Human Movement Studies*, 6, 142-150, (1980)
- 12) 深倉 和明: 助走スピードがインステップキックのフォーム及びボールスピードに及ぼす影響. 福島大学教育学部論集, 30(3), 教育心理, 37-43, (1978)
- 13) 後藤 幸弘, 辻野 昭, 田中 譲: インステップキックにおけるボール速度と正確性の発達について. 大阪市立大学保健体育学研究紀要, 10, 67-75, (1975)
- 14) Grant, A., Reilly, T., Williams, M., Borrie, A.: Analysis of the goal scored in the 1998 world cup. *F. A. Coach. Assoc. J.*, 2, 18-20, (1998)
- 15) 萩原 武久, 徳山 廣: サッカーの基本運動に関する一考察 -インステップキックにおけるキネシオロジー的研究-. 筑波大学体育科学系紀要, 6, 101-111, (1983)
- 16) 池上 康男, 桜井 伸二, 矢部京之助: DLT 法. *J. J. Sports Sci.*, 10(3), 191-195, (1991)
- 17) 磯川 正教: キックの動作解析. 計測と制御, 38(4), 242-248, (1999)
- 18) Isokawa, M., Lees, A.: A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W.J. Murphy ed. *Science and Football*, First ed. 449-455, E & FN Spon: London (1988)

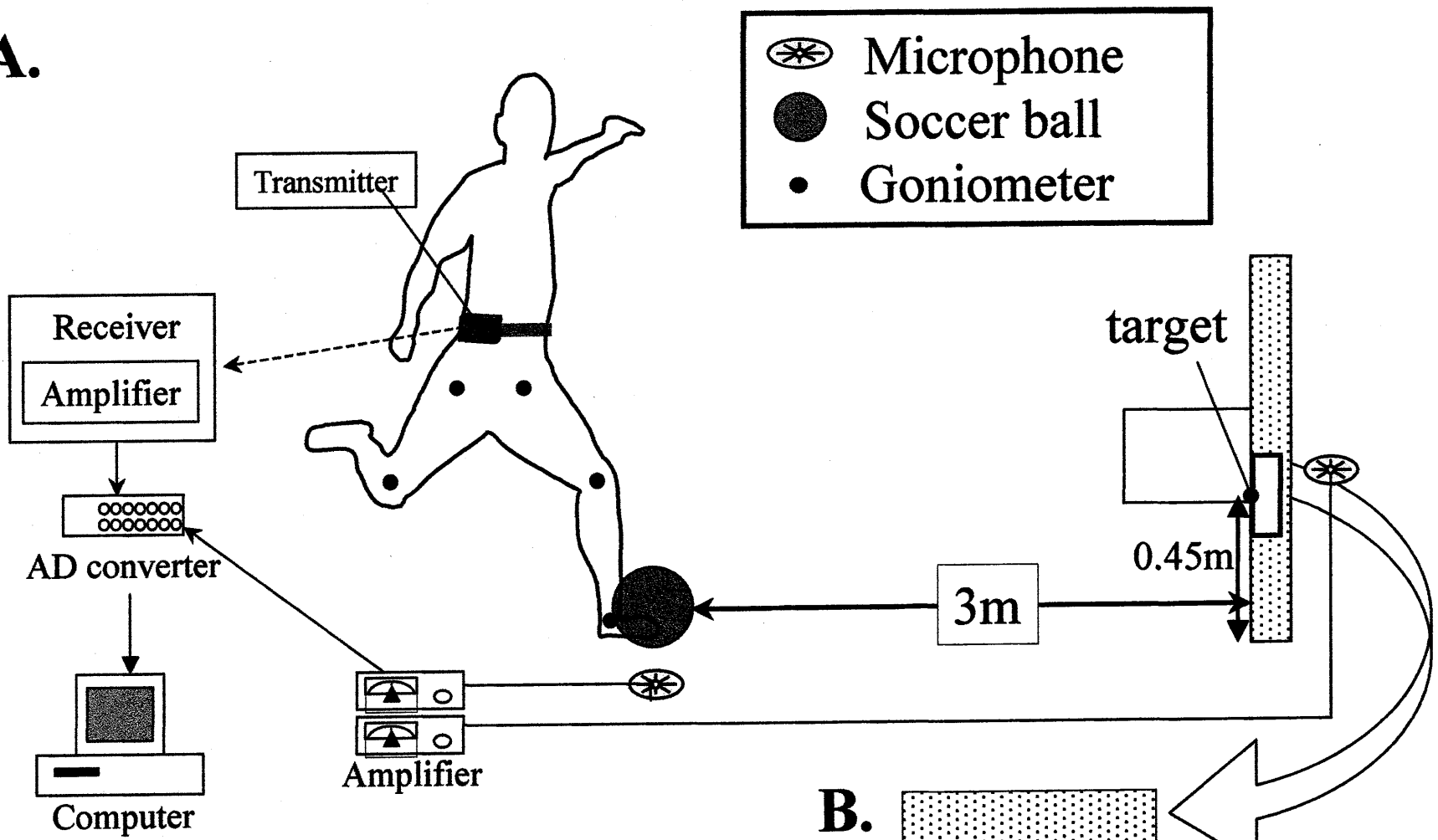
- 19) Johnston, R.C., Smidt, G.L.: Measurement of hip joint motion during walking., J. Bone Joint Surg., 51, 775-790, (1969) — Isacson, J., Gransberg, L., Knutsson, E.: Three-dimensional electrogoniometric gait recording. J. Biomech., 19(8), 627-635, (1986) より引用
- 20) Karpovich, P.V., Herden, E.L., Asa, M.M.: Electrogoniometric study of joints. U.S. arm. Forces Med. J., 11, 424-450, (1960) — Isacson, J., Gransberg, L., Knutsson, E.: Three-dimensional electrogoniometric gait recording. J. Biomech., 19(8), 627-635, (1986) より引用
- 21) Kellis, E., Katis, A., Gissis, I.: Knee biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach. Med. Sci. Sports Exerc., 36(6), 1017-1028, (2004)
- 22) Kermond, J., Konz, S.: Support leg loading in punt kicking. Res. Q., 49, 71-79, (1978)
- 23) Latash, M.L., Aruin, A.S., Neyman, I., Nicholas, J.J.: Anticipatory postural adjustments during self-inflicted and predictable perturbations in Parkinson's disease. J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry, 58, 326-334, (1995)
- 24) Lees, A., Nolan, L.: The biomechanics of soccer: A review. J. Sports Sci., 16, 211-234, (1998)
- 25) Lees, A., Nolan, L.: Three-dimensional kinematic analysis of the instep kick under speed and accuracy. In W. Spinks, T. Reilly, A. Murphy ed. Science and Football ,4th ed. 16-21, E & FN Spon: London (2002)
- 26) Levanon, J., Dapena, J.: Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. Med. Sci. Sports Exerc., 30, 917-927, (1998)
- 27) Luhtanen, P.: Kinematics and kinetics of maximum instep kicking in junior soccer players. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W.J. Murphy ed. Science and Football, First ed. 441-448, E & FN Spon: London (1988)
- 28) McLean, B.D., Tumilty, D.: Left-right asymmetry in two types of soccer kick. Br. J. Sports Med., 27, 260-262, (1993)
- 29) 望月 知徳, 神事 努, 湯浅 景元: サッカーのインステップキックにおけるボール速度と支持脚との関係とその基本的役割. 中京大学体育学論叢, 43(1), 31-38, (2001)
- 30) 村瀬 豊, 宮下 充正: ボーリングのキネシオロジー. 体育の科学, 23, 654-659 (1973)
- 31) Narici, M.V., Sirtori, M.D., Morgan, P.: Maximal ball velocity and peak torques of hip and knee extensor muscles. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W.J. Murphy ed. Science and Football, First ed. 429-433, E & FN Spon: London (1988)
- 32) Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., Sakurai, S.: Three-dimensional kinetic analysis of the side-foot and instep soccer kicks. Med. Sci. Sports Exerc., 34, 2028-2036, (2002)
- 33) 大淵 正雄: サッカーのキック時における立ち足の足蹠の圧力変化. 岐阜大学教養部研究報告, 11, 169-182, (1975)
- 34) 奥 保宏, 飯干 明, 徳田 修司, 末永 政治, 長岡 良治: サッカーのキックにおける支持脚について. 鹿児島大学体育科報告, 12, 1-24, (1974)
- 35) 太田 茂秋, 服部 恒明: サッカーキック時におけるボールと足の接触点に関する研究. 体育学研究, 32(1), 37-42, (1987)

- 36) Putnam, C.A.: A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. Med. Sci. Sports Exerc., 23, 130-144, (1991)
- 37) Putnam, C.A.: Sequential motions of body segments in striking and throwing skills -descriptions and explanations-. J. Biomech., 26, 125-135, (1993)
- 38) Putnam, C.A.: Interaction between segments during a kicking motion. In H. Matsui, K. Kobayashi ed. *Biomechanics in Sport*, 8th-B ed. 688-694, Human Kinetics: Champaign, IL (1983)
- 39) Roberts, E.M., Metcalf, A.: Mechanical analysis of kicking. In J. Wartenweiller, E. Jokl, M. Hebbelink ed. *Biomechanics*, First ed. 315-319, Karger: Basel (1968)
- 40) Rodano, R., Tavana, R.: Three dimensional analysis of the instep kick in professional soccer players. In T. Reilly, J. Clarys, A. Stibbe ed. *Science and Football*, Second ed. 357-361, E & FN Spon: London (1993)
- 41) Tant, C.L., Browder, K.D., Wilkerson, J.D.: A three dimensional kinematic comparison of kicking techniques between male and female soccer players. In C.L. Tant, P.E. Patterson, S.L. York ed. *Biomechanics in Sport*, 9th ed. 101-105, Iowa State University Press: Ames, IA (1991)
- 42) 戸苅 晴彦: キックのスピードとフォームについての研究. 東京大学教養学部体育学紀要, 5, 5-12, (1970)
- 43) Wickstrom, R.L.: Developmental kinesiology. Exercise and Sports Science Reviews, 3, 163-192, (1975)
- 44) Woollacott, M.H., Bonnet, M., Yabe, K.: Preparatory process for Anticipatory postural adjustments: Modulation of leg reflex pathways during preparation for arm movements in standing man. Exp. Brain Res., 55, 263-271, (1984)
- 45) 吉田 勝志: サッカーの基礎技術に関する研究 I -プレースキックの踏み込みについて-. 中部工業大学紀要, 6, 185-192, (1970)
- 46) 吉田 勝志: インステップキックの指導について. 三浦学園体育研究会, 体育研究会誌 IV, 7-15, (1971)
- 47) Zernike, R., Roberts, E.M.: Lower extremity forces and torques during systematic variation of non-weight bearing motion. Med. Sci. Sports Exerc., 10, 21-26, (1978)

Table1. Subject characteristics

Subject	Career (years)	age (years)
A	14	22
B	12	21
C	11	23
D	11	21
E	3	26
F	3	27
G	0	22
Mean	7.7	23.4
Max	14	28
Min	0	21
SD	5.5	2.9

A.



B.

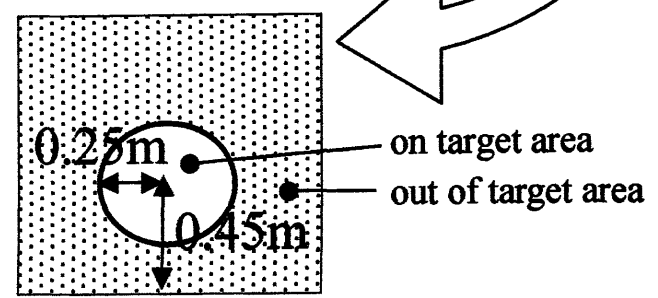


Figure 1 A. Experimental apparatus. **B.** Accuracy Task target.

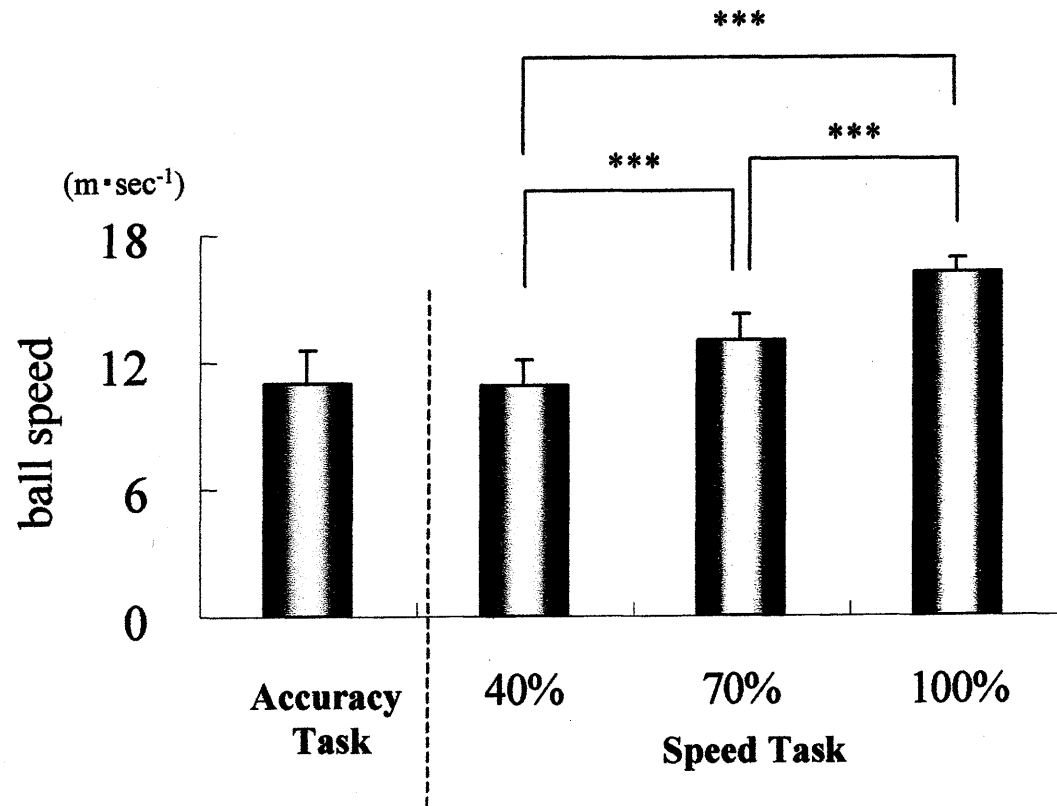


Figure 2. Averaged ball speed under 4 conditions. Each column (N=7) was composed of all subjects. *** $P<0.005$

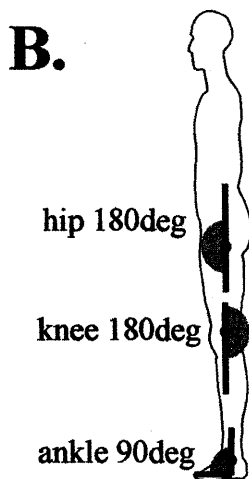
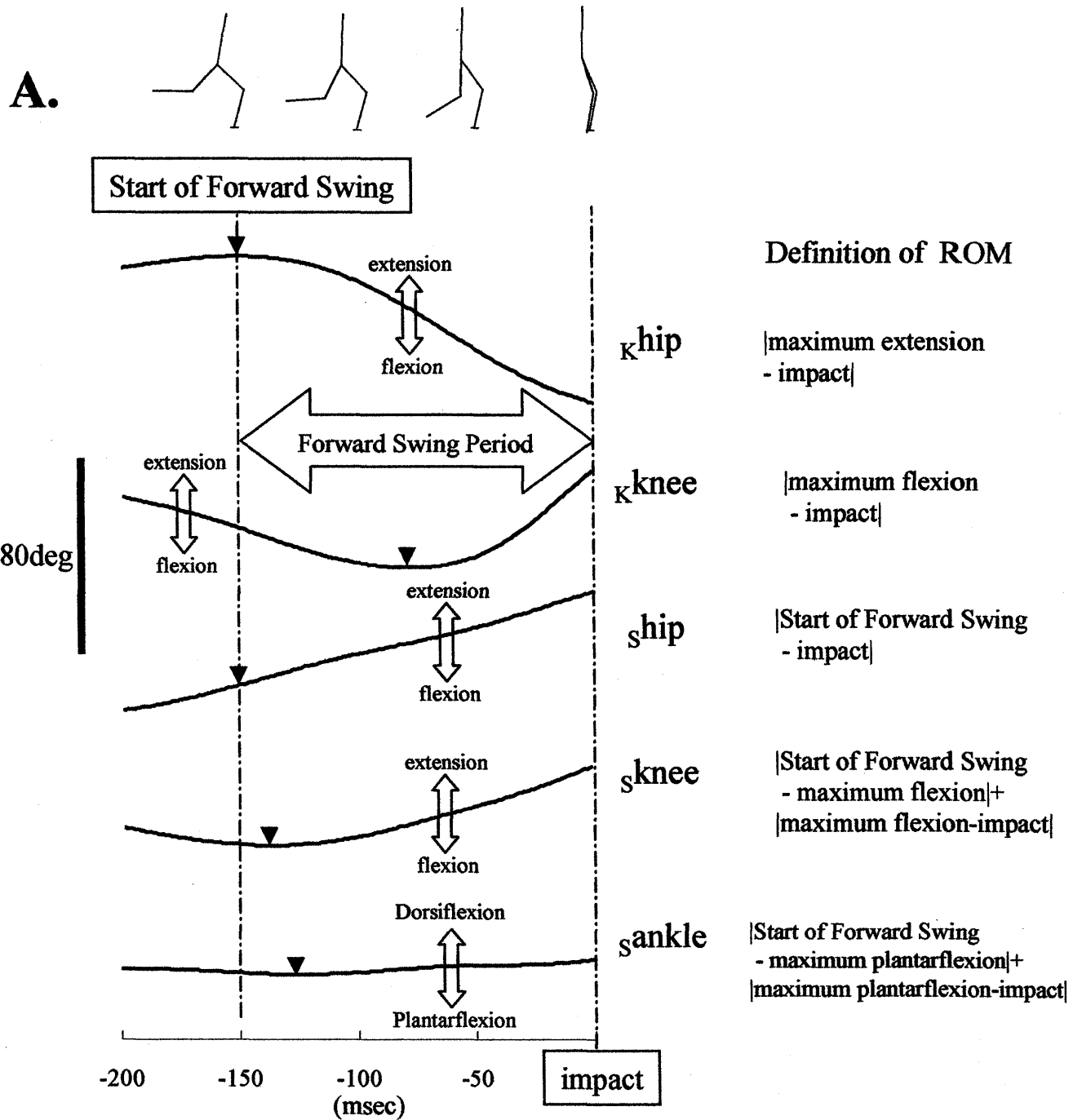


Figure 3A. A typical example of kick movement (Sub.D, trial 55). "Forward Swing Period" was defined as the period from the maximum extension of κ_{hip} to impact. The arrows indicate the point of maximum extension or flexion of each joint during "Forward Swing Period" except s_{hip} . **B.** The angle of hip, knee and ankle at the straight standing posture was defined as 180, 180 and 90 respectively.

Abbreviations.

κ_{hip} : kick hip; κ_{knee} : kick knee; s_{hip} : support hip; s_{knee} : support knee; s_{ankle} : support ankle.

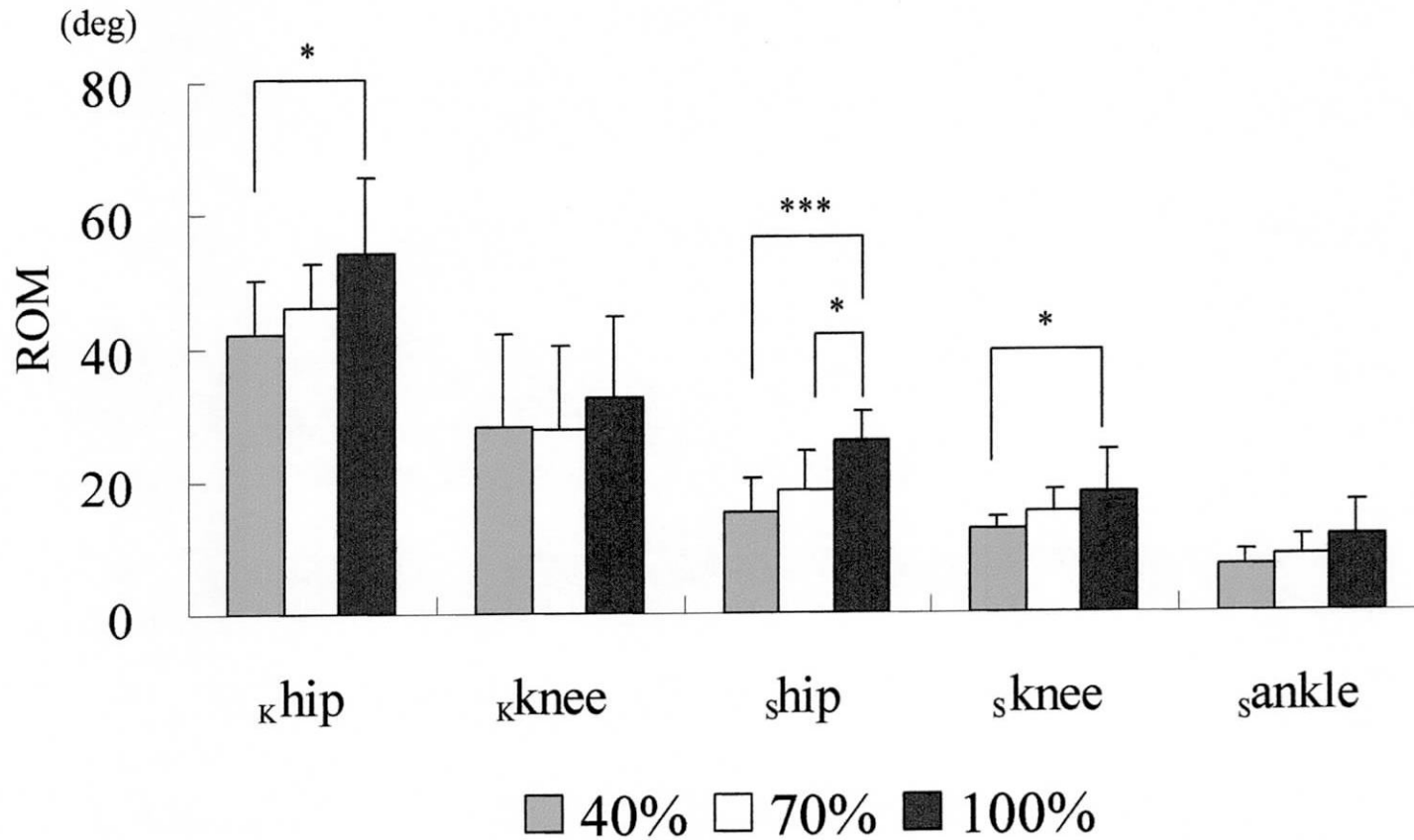


Figure 4. Comparison of range of motion (ROM) under 3 conditions of Speed Task. Each column (N=7) was composed of all subjects. The violet, white and black color of columns indicate the kick condition of 40%, 70%, 100% respectively. *P<0.05, ***P<0.005

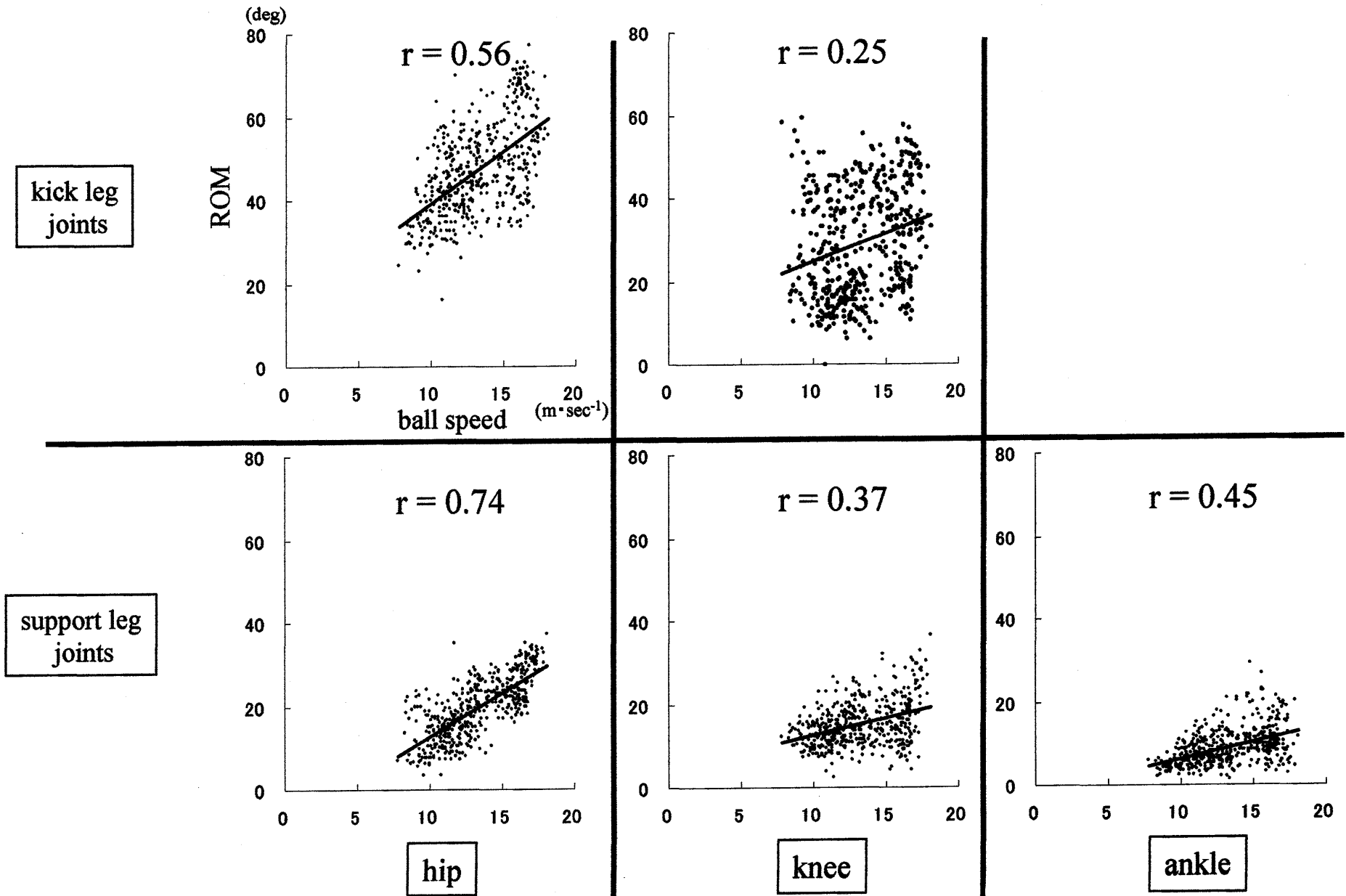


Figure 5. Relationship between ball speed and range of motion (ROM) of all trials in Speed Task (N=475).

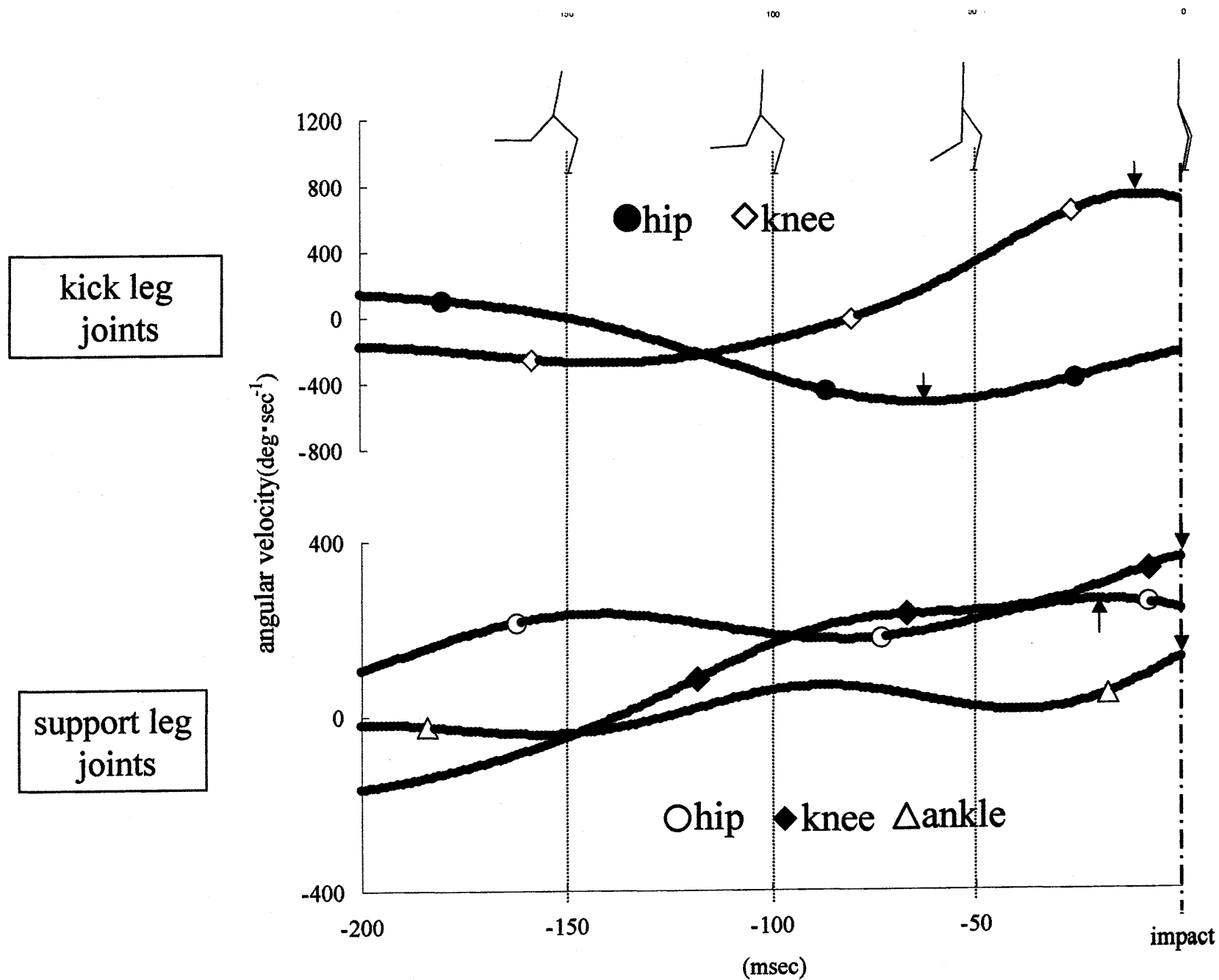


Figure 6. A typical example of angular velocity during kick movement(Sub.D, trial 55). The red arrows indicate maximum angular velocity of each joint.

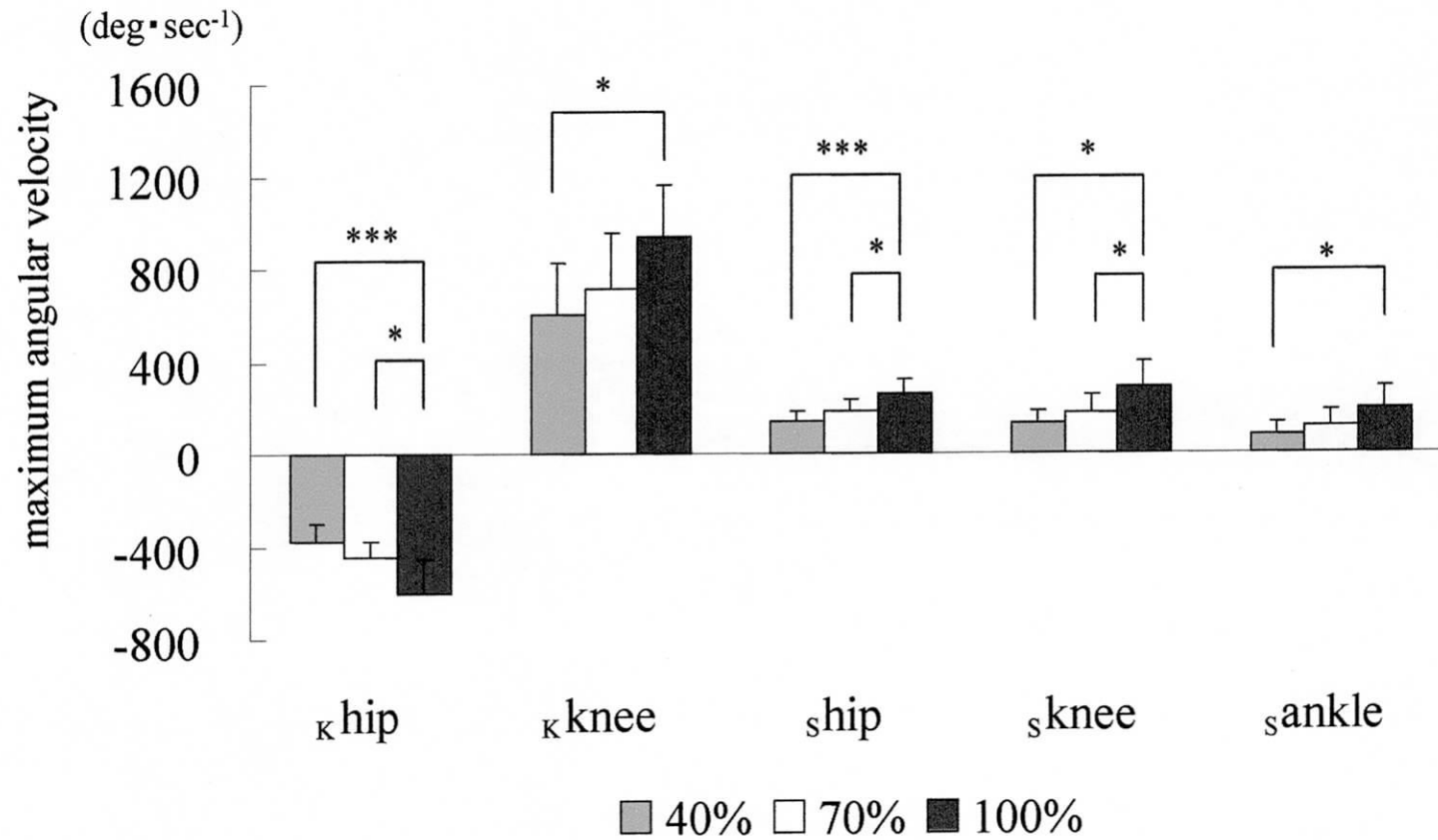


Figure 7. Comparison of maximum angular velocity under 3 conditions of Speed Task. Each column (N=7) was composed of all subjects. The violet, white and black color of columns indicate the kick condition of 40%, 70%, 100% respectively. * $P < 0.05$, *** $P < 0.005$

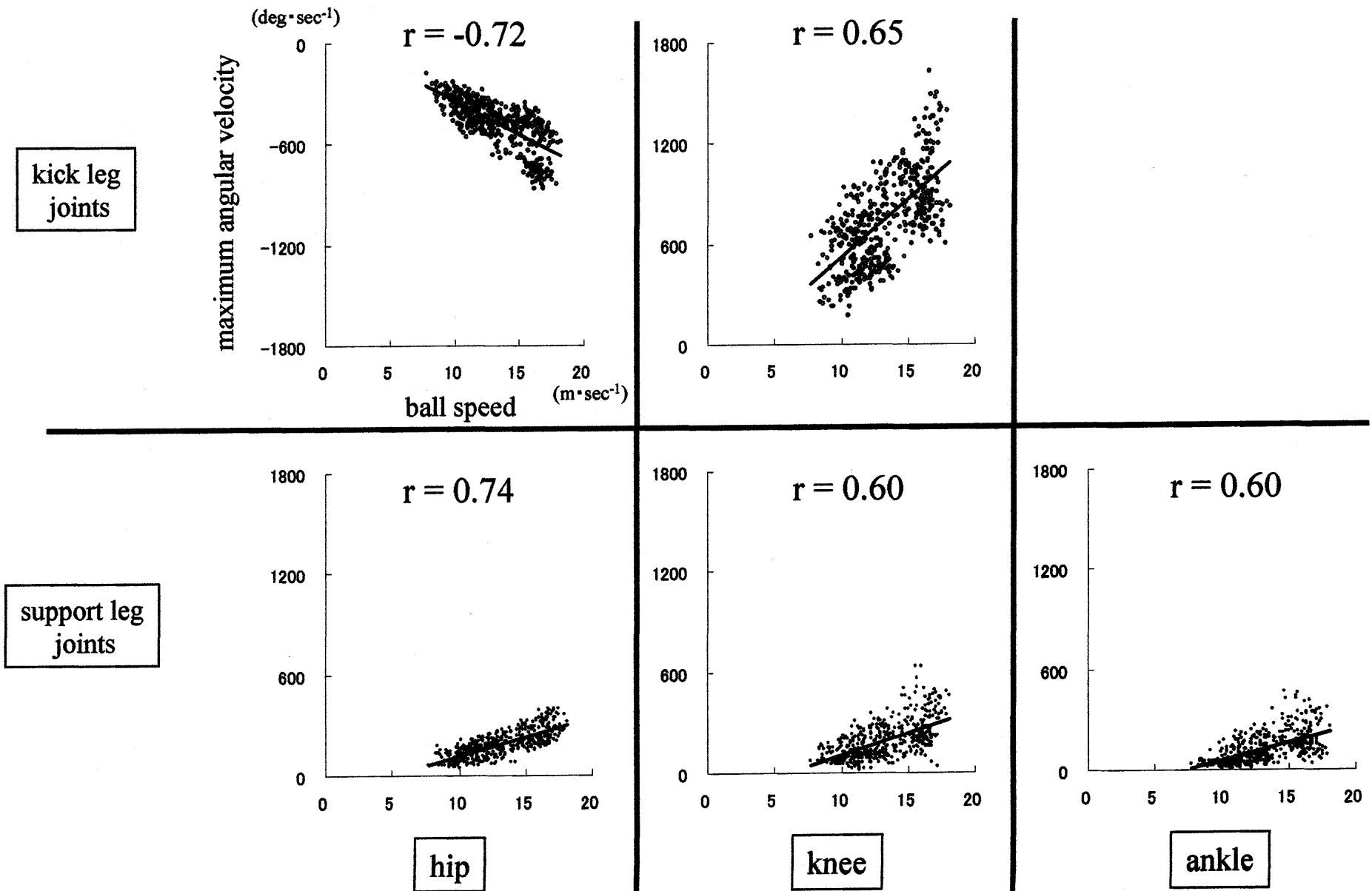


Figure 8. Relationship between ball speed and maximum angular velocity of all trials in Speed Task(N=475).

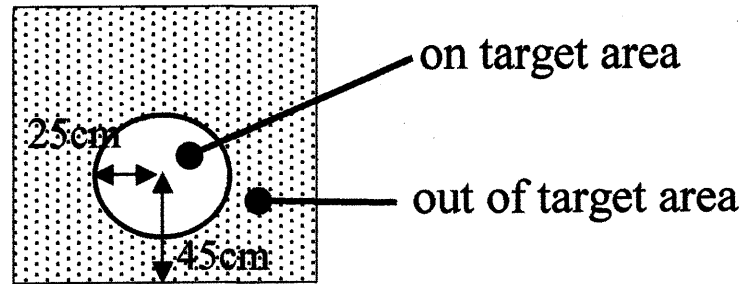
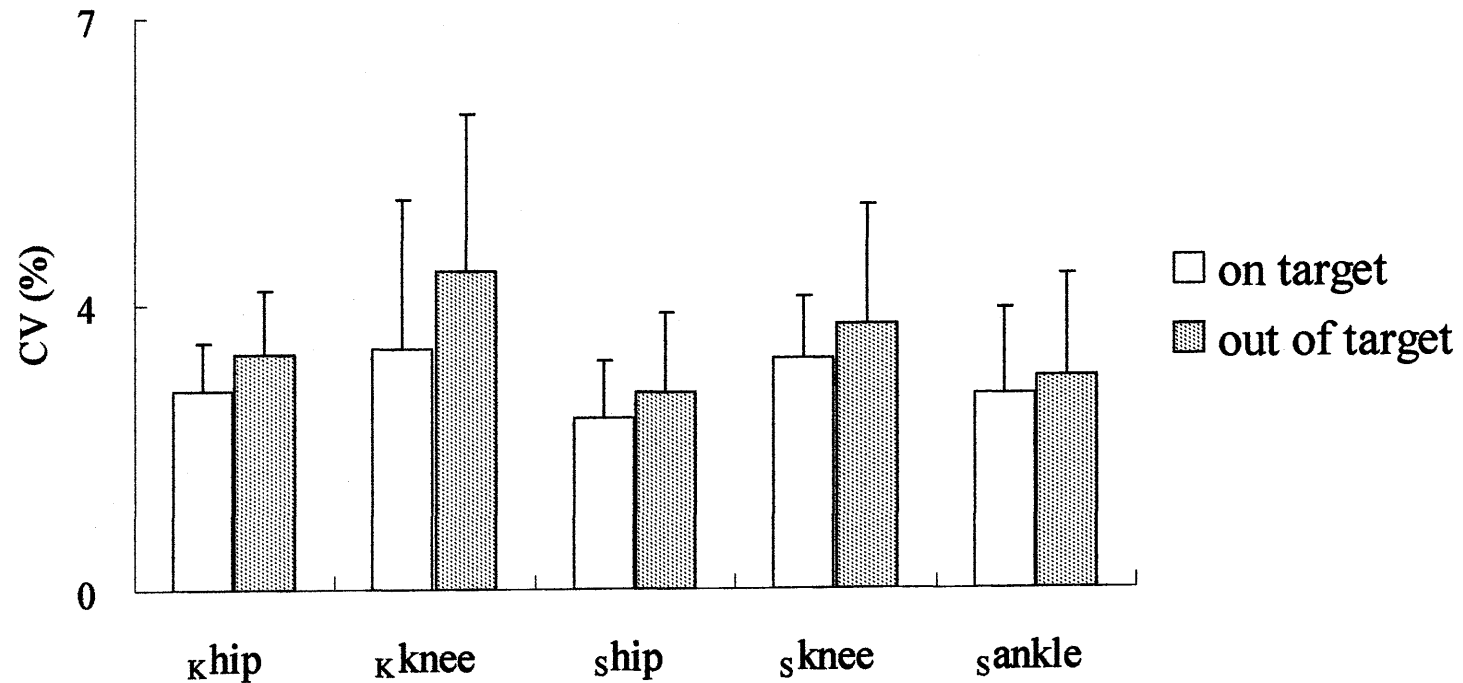
A.**B.**

Figure 9 A. Range of target area for classification trials under Accuracy Task into "on target" trials and "out of target" trials. The trials hit the target area (radius of 25 cm) were estimated as the trial of "on target". B. Comparison of coefficient of variation (CV) of each joint angle at impact between "on target" and "out of target". Each column (N=7) was composed of all subjects and means Variation of joint angle at impact. See Method for calculation.

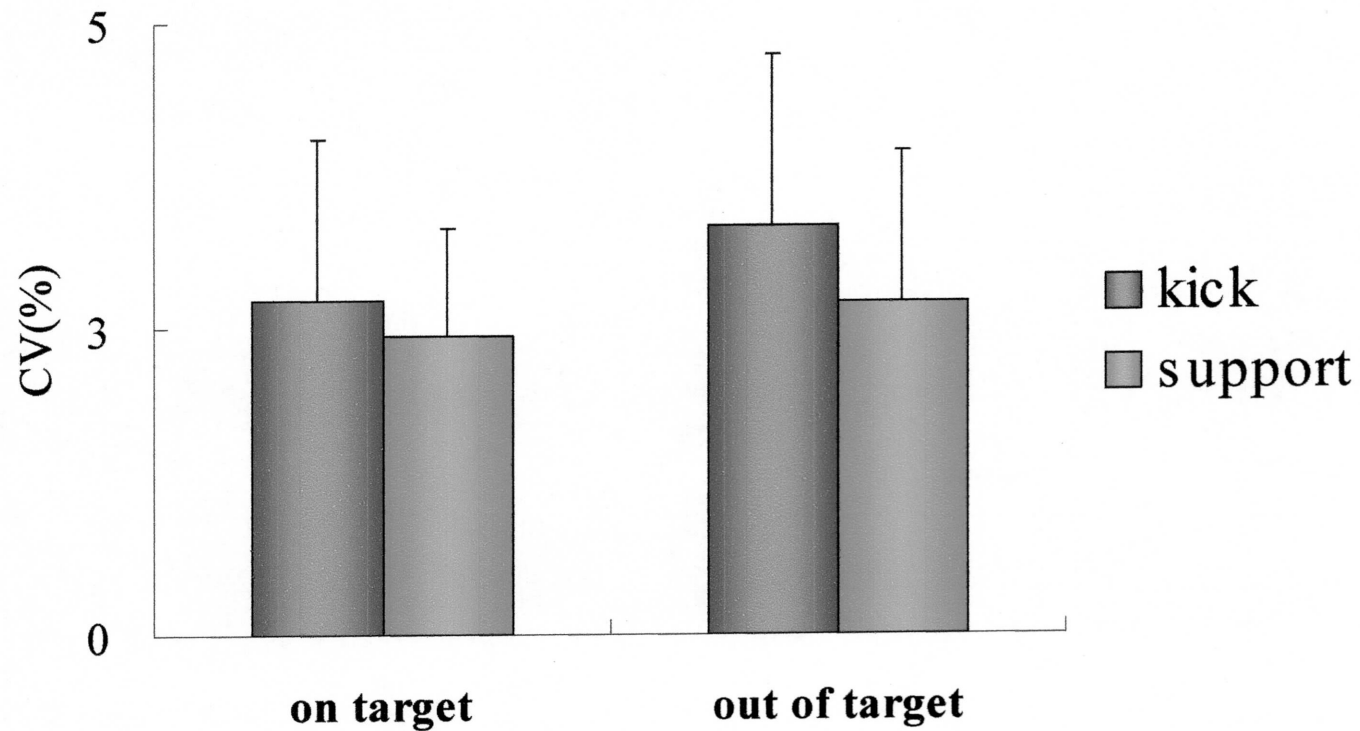


Figure 10. Comparison of the movement variation at impact between kick and support leg. The movement variation was estimated from averaged values of coefficient of variation (CV). For kick leg, the movement variation was estimated as averaged value of CV of hip and knee joint angle. For supporting leg, it was estimated as averaged value of CV of hip, knee and ankle joint angle. First, in each subject, the averaged value of CV of kicking and supporting leg was calculated. And next, mean CV of all subjects was calculated in each leg.

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科
スポーツ科学領域 高橋 秀樹
指導教員 米田 継武

被験者のお願い

1. 実験の目的

サッカーの基本動作として注目されるキックにおける「立ち脚関節動作」について、キックパフォーマンスとの関係を検討する。

2. 実験の内容

助走を用いず、あらかじめ足をボールの側方に接地した状態からインステップキックを行う。その際、次の4種類の指示にしたがって試行を行う。1)全力で 2)70%の力で 3)40%の力で 4)的の中心を狙って。1)2)3)については、主観的な力感覚で行ってよい。

試行回数 全 96 回－上記 4 指示について各 24 回

実験の流れ 1).角度計の装着 2).キック練習試行 約 20 回 3).休憩約 3 分
4).実験試行 24 回 5).休憩約 3 分
6).実験試行 24 回 7).休憩約 3 分
8).実験試行 24 回 9).休憩約 3 分
10).実験試行 24 回

3. その他

96 回のキックを指示にしたがって集中して試行するゆえに、被験者には疲労感を伴うものとなる。実験に際しては、安全に留意し、被験者の苦痛を最小限にするよう努力する。従って、被験者の耐え難い苦痛の申し出に対しては即座に実験を中止するものとする。

承諾書

私は、上記実験趣旨ならびに内容を理解し、被験者となることを承諾いたします。

年 月 日

氏名 _____