

# ポジション別にみた女子バレーボール選手のスパイク動作の特徴

## —女子選手のスパイク動作特性—

小林 海\*, 多治見 麻子\*\*, 黒川 貞生\*\*\*, 亀ヶ谷 純一\*\*\*, 松井 泰二\*\*\*\*

Kinematic characteristic differences of women's volleyball spikes between different positions

Kinematic characteristics of women's spikes

Kai KOBAYASHI\*, Asako TAJIMI\*\*, Sadao KUROKAWA\*\*\*, Jyunichi KAMEGAYA\*\*\*, Taiji MATSUI\*\*\*\*

### Abstract

The purpose of this investigation was to elucidate the kinematic characteristics differences of volleyball spikes between different positions in women players. Twelve women collegiate volleyball players (six side-spikers and six middle-blockers) were participated in this study as volunteered. All participants were equipped with 24 passive reflected markers on their body and spiked the ball. Two synchronized high-speed digital cameras (299.7 Hz) set out of the volleyball court were used to collect the 3D marker trajectories. Jumping height, swing speeds of upper limbs during the flight phase and the ball speed were determined by motion analysis software (Frame-DIAS V, DKH, Japan). The results demonstrated that the jumping height ( $p < 0.05$ ) and the ball speed ( $p < 0.05$ ) were significantly higher values in the side-spikers compared to those of the middle-blockers respectively, whereas there were no significant differences in the hand displacement between the positions. The swing speeds of the hand and the wrist revealed the significant differences, which was greater in the side-spikers than in the middle-blockers. In addition, the absolute values of the shoulder velocity and the trunk horizontal abduction angular velocity were also greater in the side-spikers. These observations suggest that the greater jumping height and the proximal swing motions might be important to increase the distal swing velocity and increase the ball speed.

Key Words: side-spikers, middle-blockers, jumping height, arm swing velocity

キーワード: サイドアタッカー, ミドルブロッカー, 跳躍高, スイング速度

## I. 緒 言

近年のルール改正に伴う戦術の変化は大きく、1999年にサイドアウト制からラリーポイント制にルールが改正されたことにより、ファーストトランジション (First Transition) からの攻撃における戦術が勝敗を大きく左右するようになった (篠村 1999, 米沢 2000)。特に、男子の試合においては攻撃側の戦術が高速化、大型化、またパワーアップするようになり (吉田 2008)、攻撃スピードに性差はあるものの、複数のアタッカーが同時にスパイク動作を行うコンビネーション攻撃が主流となっている (鈴木 2013)。換言すれば、ポジションによってスパイク技術による違いが明確化され、ミドルブロッカーはコート中央付近でセッターからトスされたボールをすぐに打球する速攻 (クイックスパイク) を多用する一方で、サイドアタッカーはフロントゾーンおよびバックゾーンからボールを打球するスパイクを多用するようになった。

バレーボールの技術の中で、スパイクは全得点の60%を占める重要な技術とされ (都澤ら 1999, Selinger and Ackermann-Blount 1986)、勝敗の決定に最も影響を及ぼす技術でもある (吉田ら 2001)。スパイク決定率には様々な要素が影響し、正確に相手コートにボールを打球することや、高い位置でボールを打球すること、強くボールを打球すること (ボール速度を高める) ことや、ボールの強弱・コース・遅速の変化させることが重要とされているが (日本バレーボール協会編, 2004)、ヒトの反応時間を考慮すると、打球後のボール速度を高めることは得点を得る上での重要な要素の1つといえよう。

ボールを打球するためのスパイク動作に関する先行研究では、インパクト直前における手先の速度を高めること (橋原 1988, 黒川ら 2008, 和田ら 2003) や、フォワードスイングにおいて肩の変位速度を高めること (都澤ら 1981, 橋原 1988, 和田ら 2003)、また、上腕を早くスイングしすぎないように右肩を先行させる (増村ら 2007) など、上肢の重要性が示唆されている。さらに、スイングにおいて体幹を後方へ大きく捻った後、適切なタイミングで前方捻り戻す (和田ら, 2003)、あるいはバックスイング (助走時に腕を後ろに振り上げる動作) 時の体幹捻転角度や肩関節水平外転角度を高める (Coleman et al. 1993, 増村ら 2007) といった、体幹部の重要性を示唆する研究も散見さ

\*: 東京経済大学 Tokyo Keizai University

\*\* : トヨタ車体クインシーズ Toyota Auto Body Queenseis

\*\*\* : 明治学院大学 Meiji Gakuin University

\*\*\*\* : 早稲田大学 Waseda University

(受付日: 2017年4月14日, 受理日: 2018年1月17日)

れる。さらに、跳躍中の重心併進速度を高める（黒川ら 2008）こともその要因の 1 つとして指摘されている。しかし、これらの研究の多くは男子選手を対象としたものであり、体格や身体組成に性差のみられる女子選手のスパイク動作について検討した研究は少なく、男子選手とは跳躍高や腕のスイング速度が低い女子選手について、上述の知見と同様の知見が得られるかは明らかではない。本来、速攻であっても、ボールの初速度を高めるためのスパイク動作は高いトスのボールの打球動作と同一であるべきと指摘されているが（浜田 2010）、早く打球するためにスイングをコンパクトにするように指導されることが多いミドルブロッカーは、サイドアタッカーと比較してよりボールの初速度を高めるためのスパイク動作が行えていない可能性も考えられる。これらのことを考慮すると、女子選手のスパイク動作をポジション別に検討することは、それぞれのポジションにおけるスパイク動作に対する指導を行う上で重要な知見になると考えられる。

そこで、本研究では、大学生の女子バレーボール選手を対象に、ミドルブロッカーとサイドアタッカーにおける同一条件下でのスパイク動作について検討し、ポジション別のスパイク動作の特徴を明らかにすることを目的とした。仮説として、サイドアタッカーはミドルブロッカーと比較して跳躍高が高く、体幹の捻転動作を用いるスパイクを打つことができるため、結果的にボール速度が高くなると考えた。

## Ⅱ. 方 法

### 1. 被験者

被験者は大学女子バレーボール部（関東大学 1 部および 2 部）で競技歴が 7 年以上あるレギュラー選手であり、現在、外傷や障害等がない右利きの選手 12 名（サイドアタッカー：6 名、ミドルブロッカー：6 名）であった。各群の被験者の年齢、身長、体重および競技歴を表 1 に示した。両群の身長について、ミドルブロッカーの方がサイドアタッカーの身長より有意に高い傾向にあったが、その他の項目に有意差はなかった。実験に先立ち、各被験者には実験の目的、内容、測定中に起こりうる危険性に関して十分な説明を行った後に、書面による同意を得た。本実験は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認を得た後に行った。

### 2. 実験方法

実験は屋内のバレーボールコートにて行った。ネットの高さは一般女子の試合で用いる 2.24 m に設定した。各被験者には実験開始前に十分なウォーミングアップを行わせた後に、身体各部位（24 点：頭頂、右耳珠点、左耳珠点、胸骨上縁、右肩峰、左肩峰、右肘関節中心 [外側部]、左肘関節中心 [外側部]、右手首 [尺側縁]、左手首 [尺側縁]、

右中指基部、左中指基部、右大転子、左大転子、右膝関節中心 [外側部]、左膝関節中心 [外側部]、右外果、左外果、右踵骨隆起、左踵骨隆起、右第 5 中足骨頭部、左第 5 中足骨頭部、右第 3 中足骨底部、左第 3 中足底部）に反射マーカーを貼付した状態でスパイク試技を行わせた。また、足部のマーカーについては、シューズの上から触診したうえで貼付位置を確認し、シューズの上にマーカーを貼付した。

本研究では、セッターをライトのサイドラインから約 4m の位置でネット際に立たせ、レシーバーからアンダーハンドパスで供給されたボールをネットの中央付近にトス（直上トス：トスから打球までの時間が 0.8-1.2 s）させ、被験者にはセンターラインから 3 m のストレート方向に設置したターゲットエリア（2 m × 2 m）に全力で打球するように指示した（図 1）。すべての試技について、被験者とバレーボール指導経験が 10 年以上ある指導者 2 名が正確にスパイク動作を行え、強く打球できたと判断し、さらにターゲットエリアにボールが落下した試技を成功試技とし、成功試技が 2 試技になるまで試技を繰り返した。実験中の被験者の休息は任意としたが、各試技において 2 分以上の間隔を空けて試技を実施した。

### 3. 撮影方法

実験には 2 台のハイスピードデジタルカメラ（EXLIM F1, CASIO 社製）を用い、助走のアタックラインから打球までのスパイク動作が撮影できる位置にカメラを設置し（図 1）、299.7 Hz（シャッタースピード：1 / 1000）で撮影した。実験に際し、両カメラともに運動する空間（3 m × 2 m × 3 m）が十分に収まるように配慮した。また、2 台のカメラの撮影画角に収まる位置に LED ライトを設置し、各試技の直前にライトを点灯させることで両カメラの時間を同期した。

### 3. 分析方法

成功試技の内、先述の 2 名の指導者がより正確にスパイク動作が行われていると判断した 1 試技について、動作分析ソフト（Frame-DIAS V, ディケイエイチ社製）を用いて映像内の測定点における二次元座標と実際の三次元座標との関係を表すカメラ定数をカメラごとに求めた。その際の較正点の誤差は 3 軸それぞれが 0.05 m 以内であった。これらの定数をもとに貼付した 24 点の身体部分点とボールの中心の計 25 点のデジタルポイントを 1 コマおき（150 Hz）でデジタル化し、その後、前後のデジタルポイントの情報を基に線形補完することにより撮影時の時間軸（300 Hz）の二次元座標値を得た。その後、コントロールポイントの座標から得られた DLT パラメータを用い、DLT 法により計測点の三次座標を算出した。得られた三次元座標は 4 次のデジタルローパスフィルタにより、遮断

周波数 6-18 Hz で平滑化した (Winter 1990).

本研究では、バックイング終了時からボールを打球後 0.3 s までを分析対象区間とし、区間内の以下の項目について、特に上肢に関する変数を算出した。算出方法は以下の通りである。

- ・ボール速度：インパクト後 100 ms におけるボールの 3 次元速度の平均値をボール速度とした
- ・跳躍高：離地時と最高到達点との重心の鉛直変位の差分から算出した
- ・重心並進速度：離地から打球までの助走方向における重心速度の平均値とした
- ・手先最高到達点：スパイク動作中の右手先の鉛直変位の最高点とした
- ・打球側の上肢の各部位（肩、肘、手首、および手先）速度最大値：テイクバックから打球までの上肢各部位の 3 次元速度の最大値を求めた
- ・肩関節水平外転角度最大値：肩関節水平外転角度は水平面上に投影した左右両肩を結ぶ線分と右肩と右肘とを結ぶ線分のなす角度から水平内外転角度を求め、テイクバック時における肩関節水平外転角度の最大値を算出した (図 2 左)
- ・肩関節伸展および水平内転角速度最大値：テイクバックから打球まで、左右両肩を結ぶ線分を軸とした軸まわりの肩関節伸展および水平内転角速度の最大値を求めた

- ・体幹捻転角度最大値：跳躍中における、水平面上に投影した左右両肩を結ぶ線分と左右両大転子とを結ぶ線分のなす角度の最大値を求めた (両大転子を結ぶ線分に対して、両肩を結ぶ線分が平行の地点を 0 deg とし、左回旋をプラス、右回旋をマイナスと定義した) (図 2 右)
- ・体幹捻り戻し角速度最大値：体幹捻転角度と同様の定義で、テイクバックから打球までの体幹捻り戻し角速度の最大値を求めた

#### 4. 統計処理

本研究では、各測定値について F 検定の結果、等分散性が仮定できなかったため、両ポジションの比較には Welch の t 検定を用いた。すべての変数は危険率 5% 未満を有意とした。

### Ⅲ. 結果と考察

サイドアタッカーはミドルブロッカーと比較して有意に跳躍高が大きく ( $d=0.8$ )、ボール速度もサイドアタッカーの方が高い傾向にあった ( $d=0.8$ ) (図 3)。先行研究においても、競技レベルの高い選手ほど跳躍高が高いことが報告されており (Forthomme et al. 2005)、滞空中にボール速度を高めるための準備動作を行うためには高い跳躍高が必要であるといえる。また、重心の並進移動速度もサイドアタッカーの方がミドルブロッカーよりも高い傾向にあり

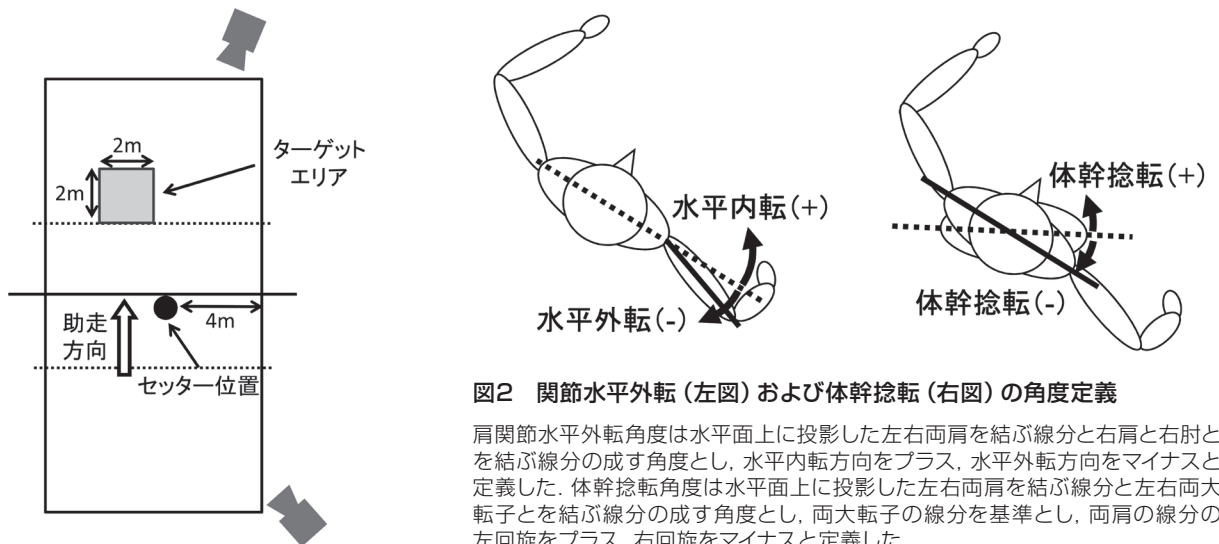


図1 本研究における実験デザインおよびカメラ配置

図2 関節水平外転(左図)および体幹捻転(右図)の角度定義

肩関節水平外転角度は水平面上に投影した左右両肩を結ぶ線分と右肩と右肘とを結ぶ線分の成す角度とし、水平内転方向をプラス、水平外転方向をマイナスと定義した。体幹捻転角度は水平面上に投影した左右両肩を結ぶ線分と左右両大転子とを結ぶ線分の成す角度とし、両大転子の線分を基準とし、両肩の線分の左回旋をプラス、右回旋をマイナスと定義した

表1 被験者の身体特性および競技歴

	年齢 [歳]	身長 [m]	体重 [kg]	競技歴 [年]
サイドアタッカー	19.3 ± 1.0	1.72 ± 0.05	63.0 ± 6.8	10.7 ± 1.6
ミドルブロッカー	20.0 ± 1.4	1.76 ± 0.03	65.3 ± 6.2	10.0 ± 2.8

†  $P < 0.1$

( $d=0.9$ ) (図 3), このことが強くボールを打球する (黒川ら 2008) ことを可能にした要因の 1 つだと考えられる. 換言すれば, 打球時のボール速度を高めるためには, 前上方に高く跳躍する必要がある, 基本的な跳躍動作に性差がないことが明らかになった.

跳躍高には有意差が認められたにも関わらず, 手先の最高到達点にはポジション間の有意差はなかった ( $d=0.7$ ) (図 3). 一方, 身長はミドルブロッカーの方が高かったことを考慮すると, サイドアタッカーは高く跳躍したことでミドルブロッカーと同等の打点で打球できていたことになる. 現代のバレーボールでは, ブロックのシステム化 (米山 2010) により, 常に 1 人以上の相手ブロッカーがスパイクを妨げることが多いため, 高い打点で打球することはスパイクを打つ範囲を広げる利点があり, ネットの高さが決められたバレーボールでは高い打点からのスパイクは重要な意味を持つ. 本研究において, ミドルブロッカーはサイドアタッカーと比較して跳躍高が低かった要因の 1 つとして, クイックスパイクの多用が挙げられる. ミドルブロッカーは普段からクイックスパイクに対応するためにすばやい踏切動作が求められ, このことが本研究の条件下のようなスパイク動作においても跳躍高が低かった要因につながったと推察される. 本研究の結果を考慮すると, ミドルブロッカーは十分な踏切動作により打点 (本研究における手先の最高到達点) を高めることで, ボール速度を高めるスパイク動作を行え, 結果的にスパイク決定率が向上すると考えられる.

上肢各関節のキネマティクスについて, サイドアタッカーはフォワードスイング時の手首と手先速度がミドルブロッカーよりも有意に高く (ともに  $d=0.7$ ), 肩速度も高い傾向にあった ( $d=0.8$ ) (表 2). 図 4 はサイドアタッカーとミドルブロッカーの跳躍からフォワードスイング終了まで上肢各部位の速度の典型例を示したものである. サイドアタッカーの方がミドルブロッカーよりも肩の速度が高く, それに応じて, 手先の速度も高かった. 男子選手を対象にしたスパイク動作に関する研究においても, 肩速度と手先速度の大きさが重要であることが報告されており (都沢ら 1981, 和田ら 2003), 本研究の結果は先行研究の結果と一致するものであった. 先行研究や本研究の結果を踏まえると, ボール速度を高めるためのスパイク動作として, 近位にある肩速度を高めることで, 遠位の手先速度を高めることが重要であり, 指導現場においては, 男女ともに近位からスパイク動作を行えるように指導することが望ましいといえる.

男子選手においては, 競技レベルが高い選手ほど体幹の捻転動作が大きいことが報告されているが (増村ら 2007), 本研究では最大体幹捻転角度 ( $d=0.7$ ) および体幹捻り戻し角速度 ( $d=0.6$ ) にはポジション間に有意差は

認められなかった (表 3, 表 4). 高いボール速度でのスパイクが可能な男子選手と比較して, 女子選手は跳躍高が低く, 滞空時間が短い分, 跳躍中の大きな体幹の捻転と捻り戻し動作が行えていなかった可能性が考えられる. 本研究の結果を考慮すると, 女子選手は体幹の捻転動作よりもフォワードスイング時における上肢の速度を高めることが重要であるといえる. 今後, 女子選手がボール速度を高めるためには, ポジションに関係なく, 高い跳躍高を獲得するための筋力と技術を向上させる必要がある (Sattler et al. 2014). その上で, 跳躍中に体幹の捻転と捻り戻し動作を行うことで, より高いボール速度での打球が可能になると考えられる.

本研究における最大肩関節伸展角速度はミドルブロッカーの方がサイドアタッカーよりも高い傾向にあった ( $d=0.7$ ) (表 4). この結果は, ミドルブロッカーのスパイク動作の特徴の 1 つとして, 肩関節伸展動作を意識したスイング動作の強調が挙げられ, 女子のミドルブロッカーは肩関節の伸展動作を高めることでボール速度を高める打球動作を行っていたと考えられる. Reeser et al. (2010) はスパイク動作時における肩関節のキネティクスの重要性を示唆していることを考慮すると, 肩関節の伸展動作を用いることは重要であるが, より速いスイング動作の遂行には体幹の捻転動作を伴う上肢のスイング動作が有用であるかもしれない. 一方, 最大肩関節水平外転角度はサイドアタッカーの方が高い傾向にあったにもかかわらず ( $d=0.8$ ) (表 3), 両群間の最大水平内転角速度に有意差はなかった ( $d=0.3$ ) (表 4). 男子選手を対象にした先行研究では, 腕の速度だけでなく, 水平外転角度の大きさの重要性が示唆されているが (増村ら 2007), 前述の通り, 女子選手は体幹の捻転動作が小さいため, 男子選手ほど跳躍中の肩関節水平内外転動作を用いることができていなかったと推察される. 体幹の捻転動作の結果も踏まえると, 両ポジションに共通して, 高い跳躍中に体幹の捻転動作を用いることで, 肩関節の水平内転角速度を高められると考えられる.

本研究では, 大学生の女子バレーボール選手におけるサイドアタッカーとミドルブロッカーの両ポジション間によるスパイク動作の違いについて検討を行った. 本研究における競技歴の長い大学生での両ポジション間のスパイク動作の違いが, 発育期 (中高生) における女子バレーボール選手にも当てはまるかについては今後検討する必要がある. また, スパイクにはストレートアーム, ボーアンドアローアーム, およびサーキュラーアームスイングなど様々なスイングが存在する. 今後, それらのスパイク動作の特性を考慮することで, より詳細なポジション別のスパイク動作を明らかにすることができよう.

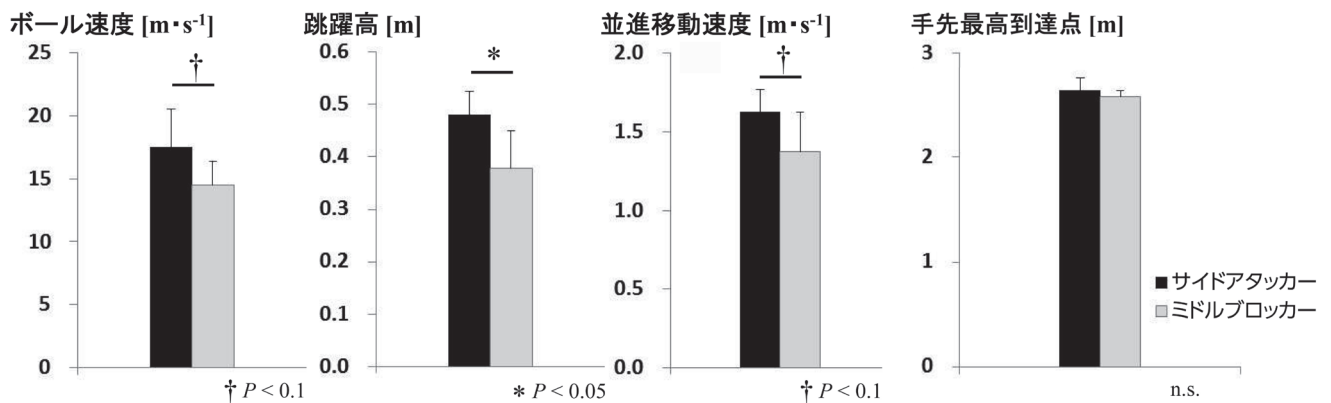


図3 両ポジションのボール速度, 跳躍高, 並進移動速度, および手先最高到達点の平均値

跳躍高はサイドアタッカーの方が有意に高く, ボール速度と並進移動速度もサイドアタッカーの方が有意に高い傾向にあったが, 手先最高到達点に有意なポジション間差はなかった

表2 両ポジションにおけるスイング中の右肩, 右肘, 右手首, および右手先の最高速度の平均値

	肩速度最大値 [m/s]	肘速度最大値 [m/s]	手首速度最大値 [m/s]	手先速度最大値 [m/s]
サイドアタッカー	4.8 ± 0.9 †	9.0 ± 1.2	11.8 ± 1.0 *	14.2 ± 1.4 *
ミドルブロッカー	4.0 ± 0.4	8.2 ± 0.5	9.8 ± 0.8	11.9 ± 0.7

\* P < 0.05

† P < 0.1

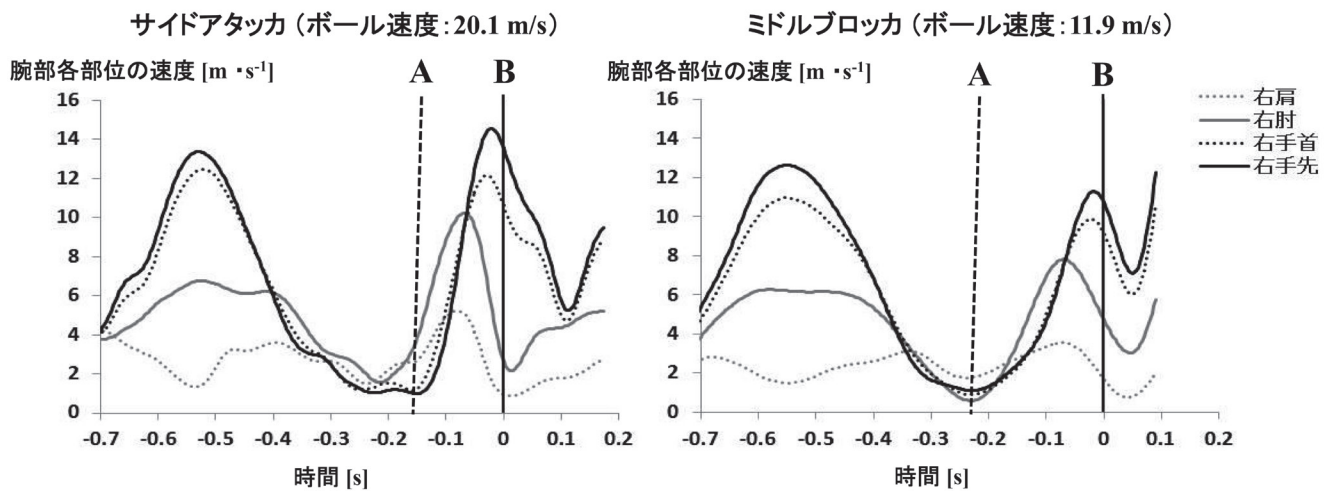


図4 サイドアタッカーおよびミドルブロッカーの上肢各部位速度の経時変化の典型例

スイング中の手先速度の高いサイドアタッカーは肩速度も高く, 手先速度の低いミドルブロッカーは肩速度も低かった時間軸 (横軸) の0秒はボールを打球した地点を示す (A: フォワードスイング開始時, B: ボール打球時)

表3 両ポジションにおけるスイング中の最大水平外転および最大体幹捻転角度の平均値

最大水平外転角度はサイドアタッカーの方が有意に大きい傾向を示したが, 最大体幹捻転角度にはポジション間差はなかった

	最大水平外転角度 [deg]	最大体幹捻転角度 [deg]
サイドアタッカー	-36.4 ± 9.9 †	-49.1 ± 4.6
ミドルブロッカー	-21.8 ± 15.7	-41.7 ± 9.3

† P < 0.1

表4 両ポジションにおけるスイング中の最大肩関節伸展, 最大肩関節水平内転, および最大体幹捻り戻し角速度の平均値

最大肩関節伸展角速度はミドルブロッカーの方が有意に大きい傾向を示したが, 最大肩関節水平内転と最大体幹捻り戻し角速度にはポジション間差はなかった

	最大肩関節伸展角速度 [deg/s]	最大肩関節水平内転角速度 [deg/s]	最大捻り戻し角速度 [deg/s]
サイドアタッカー	952.2 ± 210.5	912.0 ± 488.3	541.5 ± 122.0
ミドルブロッカー	1185.5 ± 247.6 †	741.9 ± 191.4	420.5 ± 167.1

†  $P < 0.1$

#### IV. ま と め

本研究は大学生の女子バレーボール選手を対象に, ミドルブロッカーとサイドアタッカーとのスパイク動作時のキネマティクスの違いについて検討した。その結果, サイドアタッカーは長い跳躍時間の中で腕全体の速度を高めることで, 速いボールを打つためのスパイク動作が遂行できていたことから, ボール速度を高めるためには, 男子選手と同様に打球側の上肢全体の速度の高さが重要であることが明らかになった。ミドルブロッカーは跳躍高を増加させ, フォワードスイング時における上肢の速度を高めることで, 高いボール速度を獲得するためのスパイク動作が可能になるといえる。サイドアタッカーは跳躍高を高め, 体幹の捻転動作を用いることで, より高いボール速度でのスパイク動作を遂行できると考えられる。

#### V. 参考文献

- 1) 阿江通良: スポーツにおける運動計測, BME, 5 (1), pp.25-32, 1991
- 2) Alcock, A., Hunter, A., & Brown, N.: Determination of football pitch locations from video footage and official pitch markings, Sports Biomech., 8 (2), pp.129-140, 2009
- 3) Battikh, T., & Jabri, I.: Camera calibration using court models for real-time augmenting soccer scenes, Multimedia Tools and Applications, 51 (3), pp.997-1011, 2011
- 4) Farin, D., Krabbe, S., de With, P. H. N., et al.: Robust camera calibration for sport videos using court models, Storage and Retrieval Methods and Applications for Multimedia 2004 Proc. SPIE 5307, p.80, 2003
- 5) 橋原孝博・小村堯・宮原満男: 3次元映画撮影法の導入に伴う 16 mm 動作解析システムの確立に関する研究, 広島大学総合科学部紀要 VI 保健体育学研究, 6, pp.33-41, 1988
- 6) 池上康男: 写真撮影による運動の 3 次元的解析法, Jpn. J. Sports Sci., 2 (3), pp.163-170, 1983
- 7) 公益財団法人日本バレーボール協会審判規則委員会: バレーボール 6 人制競技規則, 公益財団法人日本バレーボール協会, 2016, pp.18-26
- 8) 小笠原一生・古賀英之・中前敦雄ほか: ビデオ解析による非接触型前十字靭帯および内側側副靭帯損傷時の膝モーメント推定と受傷メカニズムの物理的考察, 日本臨床スポーツ医学会誌, 21 (1), pp.131-142, 2013
- 9) Ogasawara, I., & Koyanagi, Y.: Sports court-based camera calibration technique for three-dimensional reconstruction of knee joint kinematics, Mukogawa J. Health Exerc. Sci., 5 (1), pp.1-11, 2015
- 10) 高見涼太郎・高戸仁郎・田内雅規: DLT 法を用いた動作計測・解析システムの応用と評価, 岡山県立大学保健福祉学部紀要, 6 (1), pp.45-50, 1999
- 11) Walton, J. S.: Close-range cine-photogrammetry: Another approach to motion analysis, Science in Biomechanics Cinematography, Academic Publishers, 1979, pp.69-97
- 12) Wood, G. A., & Marshall, R. N.: The accuracy of DLT extrapolation in three-dimensional film analysis, J. Biomech., 19 (9), pp.781-785, 1986
- 13) Yamada, A., Shirai, Y., & Miura, J.: Tracking players and a ball in video image sequence and estimating camera parameters for 3D interpretation of soccer games, Proc. 16th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp.303-306, 2002