

2014 年度 修士論文

バレーボール女子選手における
スパイク動作分析
-A クイックに着目して-

Kinematic analysis of volleyball spiking
for female players
~Focus on the “quick-A” spike~

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 エリートコーチングコース
5014A326-2

多治見 麻子

研究指導教員：松井 泰二 准教授

目次

I . 諸言	1
II . 研究方法	5
1. 被験者	5
2. 実験方法	5
3. 撮影方法	6
4. 分析方法	7
(1)三次元座標の算出	7
(2)分析範囲	7
(3)分析項目	8
(4)統計処理	9
III . 結果	10
1. ボール速度と各変数の関係	10
(1) 重心水平速度について	10
(2) 跳躍高について	10
(3) 手先速度最大値について	11
(4) 肘速度最大値について	11
(5) 肩速度最大値について	12
(6) 体幹捻転角度最大値について	12
(7) 体幹傾斜角度最大値について	13
2. ウイングスパイカーとミドルブロッカーの比較	14
(1) ボール速度，跳躍高，および重心水平速度について	14
(2) 肩速度，肘速度，および手先速度について	14
(3) 体幹傾斜角度，体幹捻転角度の最大値について	15
3. 個人の比較	16

IV. 考察	20
1. ウイングスパイカーとミドルブロッカーの比較	20
(1)ボール速度，重心の移動に関する項目	20
(2)上肢の速度に関する項目	21
(3)体幹の捻転及び反りに関する項目	22
2. ボール速度と各変数の関係	22
(1)重心の移動に関する項目	22
(2)上肢の速度に関する項目	24
(3)体幹の捻転及び反りに関する項目	24
3. 個人の比較	25
(1)重心の移動に関する項目	25
(2)上肢の速度に関する項目	25
(3)体幹の捻転および傾斜角度に関する項目	26
V. 結論	28
謝辞	29
参考文献	30

I . 諸言

バレーボールは、1895 年米国マサチューセッツ州ホーリーヨーク市のウィリアム・G. モルガンがテニスやバドミントンを参考に、室内で気軽に安全にどんな年齢でも楽しめるスポーツとして考案した。YMCA を通じて米国をはじめとして世界各国に伝えられ（水谷，1995），現在では 220 を超える国が国際バレーボール連盟に加盟している（国際バレーボール連盟，2015）。日本にバレーボールを初めて紹介したのは、当時の国際 YMCA トレーニングスクールで学んで帰国した大森兵蔵である。また F. H. ブラウンによって日本に広められた。その後、16 人制から 12 人制へと改良を重ねながら 9 人制バレーボールが確立され、日本で発展していった。1951 年に国際バレーボール連盟に加盟したことにより、6 人制バレーボールの普及、強化が行われた。日本では、1953 年に 6 人制バレーボールが本格的に取り組まれはじめ、日本においても多くの人々に親しまれているスポーツのひとつである。

バレーボールは、1964 年に開催されたオリンピック東京大会で初めて正式種目となり、同大会で日本女子チームは回転レシーブなどの独自の技術により金メダルを獲得した。また、1972 年のオリンピックミュンヘン大会では、男子チームがコンビネーションバレーで金メダルを獲得した。このように、女子チームはオフェンス重視の戦術を主体とする男子チームとは異なり、拾って繋ぐディフェンス重視の戦術を主体としてはいるものの、戦術的にはディフェンスをオフェンスが打ち破る形で戦術が進化をしてきた。

1999 年には、従来のサイドアウト制から全てのラリーが得点につながるラリーポイント制へと移行し、サーブの権利がなくても得点ができるようになった。このルール変更により、サーブの権利に関係なく得点が可能となり、よりオフェンス重視の戦術へと変化することにより、バレーボールの競技内容自体が変化することとなった（篠村，1999）。ブラジ

ルの男子が 2004 年のオリンピックアテネ大会において金メダルを獲得した時に用いたアタックコンビネーションは、オフェンス重視の戦術であり、その典型的事例といえよう。アタックコンビネーションとは、コート内の 6 人全員が協力して 9m のネット幅とアタックエリアを最大限に生かしてオープンスペースを作り、セッターのトスの分散化と高速化により、アタッカーをフルに参加させてスピーディーに攻撃するスタイルの攻撃である。現在では、このアタックコンビネーションがトップレベルの主流となり(鈴木, 2013), スピードに男女差はある(真鍋, 2011; バレーボール学会, 2012)ものの、男女ともにその戦術が中心となったため、現在のバレーボールにおける攻撃は、セッターがトスを上げてからスパイカーが攻撃するまでに要する時間の短い、早い展開が求められる。また、松井ら(2012)も、現代のバレーボール男子トップレベルにおける主たる戦術では、相手側の攻撃に関する戦術の構築をいかに阻止するかが重要な事項の一つと述べており、吉田(2008)もオフェンスの戦術が高速化、大型化、パワー化するようになったと報告している。

バレーボールの技術は、サーブ、レシーブ、トス、スパイク、ブロックの 5 つの要素に大別されるが、攻撃の要となるスパイクはチーム努力のすべての結晶であり、他のどの技術よりも多くの得点をスパイクによって得ることができ(セリンジャーら, 1993), 試合の全得点の 60% の得点がスパイクによるものである(都澤ら, 1999)。また、スパイクによる得点が勝敗に最も影響を及ぼしている(吉田ら, 2001)ことから、スパイクが勝敗を左右する重要な技術といえる。

スパイクの基本的な技術は、大きく高い位置で打つためのジャンプ動作(助走から踏切まで)と、ボールを打つ動作(空中から着地まで)の 2 つの要素から、細分化すると助走、踏切、空中、打球、フォロースルー、そして着地の 6 局面から成り立っている(セリンジャーら, 1993)。また、攻撃時のセットアップ(トスを上げた時)からスパイク・インパク

ト(打球時)までの時間(テンポ)は、ファーストテンポ(速攻および平行トス)、セカンドテンポ(時間差攻撃)、そしてサードテンポ(オープン攻撃)の3段階に分けられる(日本バレーボール学会, 2012)。それらの攻撃はポジションにより使い分けられることが多く、速攻を中心に主にコート中央から攻撃する選手をミドルブロッカー、平行トスやオープントスを主に両サイドから攻撃する選手をウイングスパイカーと呼ぶ(日本バレーボール学会, 2012)。

上記のテンポに共通して、スパイクで得点を取るには、①正確に相手コートにボールを打球する、②高い位置でボールを打球する、③強くボールを打球する(ボール速度を高める)、④ボールの強弱、コース、遅速の変化に対応する(日本バレーボール協会, 2004)必要がある。ヒトの反応時間を考慮すると、高いボール速度で打球することは得点を得る大きな要素の1つとなるが、強くボールを打球する(ボール速度を高める)ためには、インパクト直前における指先の速度を高めること(橋原, 1988; 黒川ら, 2008)、フォワードスイングにおいて肩の速度を高めること(橋原, 1988; 和田ら, 2003)、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こと(増村ら, 2007a)といった様々な動きが求められる。また、スイングにおいて体幹を後方へ大きく捻った後、適切なタイミングへ前方捻り戻すこと(和田ら, 2003)も重要といえよう。

しかし、これまでに検討されてきたスパイクの研究の多くは男子選手を対象としたものであり、女子選手のスパイク動作を検討した研究は少ない。男子と女子では体格や身体組成に差があるため跳躍や腕のスイング速度などに差が生じると考えられる。したがって、女子選手のスパイク動作の特徴を検討することは、コーチングを行う際に男子選手と同様の指導が適切か、あるいは女子選手特有のスパイク動作に合わせた指導が適切かを明らかにすることになる。また攻撃の中心である速攻の、スパイク動作に関する指導に一貫した指導法が確立されているとはい

難い。速攻は「自身の最高到達点に供給されたボールをダイナミックなスイングで打球することが望ましい(バレーボール学会, 2012)」や、「スパイク動作は高いトスのボールを打つ動作と同一である必要がある(浜田, 2010)」など、高いトスを打つ時と同じように速攻を打つ指導法がある一方、速攻は「ブロッカーやレシーバーの準備が整わないうちに攻撃する(日本バレーボール協会, 2004)」や、「大振りをすることなく小さく速いスイングすること(日本バレーボール協会, 2005)」など、現場では、速攻のスパイク動作に対して、早く打球するために、コンパクトな動作をすることを主眼とした指導が行われていることが多く、体を大きく使えてないと考えられ、どちらの指導が、ボール速度を高める要因なのか明らかではない。

そこで本研究では、速攻である A クイックにおいて、ボール速度が高かった動作の特徴を検出するため、普段から速攻を中心とした、A クイックを打ち慣れているミドルブロッカーと、普段はサイドアタックを中心とする、A クイックを打ち慣れていないウイングスパイカーの、A クイックのスパイク動作を比較し、ボール速度を高める要因を検出し、コーチングに役立つ知見を得ることを目的とする。

Ⅱ．研究方法

1. 被験者

被験者は、関東大学女子 1, 2 部リーグでプレーする女子バレーボール部に属する右利きのスパイカー12名とし、そのうち、ウイングスパイカー6名、ミドルブロッカー6名とした。各被験者の身体的特徴とバレーボール歴は、表1に示した。各被験者には実験に先立ち、実験の目的や内容を十分に説明し、書面による承諾を得てから実験を行った。

表1．各被験者の身体特性

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	競技歴(年)
A	21	170	62	13
B	21	175	66	9
C	20	178	75	8
D	20	180	74	8
E	18	166	55	10
F	19	170	58	11
G	20	175	58	11
H	18	178	60	10
I	19	171	62	11
J	19	173	67	11
K	22	180	69	15
L	19	171	64	7
平均値	19.7	173.9	64.2	10.3
標準偏差	1.2	4.5	6.3	2.2

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。ネットの高さは国際競技規則で規定されている一般女子の2.24mに設定した。実験では、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、レシーバーから供給されたパスでAクイック(セッターの手からボールが離れて0.5秒以内で打つスパイク)のトスを上げさせた。被験者はセッターからトスされたボールをセンターラインから3mの位置で2m×2mの正方形のターゲットエリア(ストレート方向)に全力で打球するよう

に指示をした（図 1）．本研究における成功試技は，打球したボールがターゲットエリアに落下した試技で，被験者がスパイク動作は普段通りであり，かつボールを正確に打球できた試技とした．加えて，バレーボールの熟練者 2 名が指示通りのスパイクが打てたと判断した試技を分析試技として採用した．

3. 撮影方法

試技は，同期させた 2 台の高速度デジタルカメラ（CASIO 社製，EXLIM-F1）を用い，フレームレート 300Hz，シャッター速度 1/1000 秒で撮影をした．また，撮影は運動する空間（3m×2m×3m）が十分に収まるようにし，実験前にキャリブレーションバーを撮影した．座標軸は，センターラインと平行な横の線を X，サイドラインと平行な縦の線を Y，コートから空間に伸びる鉛直方向の線を Z と定義した．基準となる点は自コートから見て左下とした（図 1）．

実験に際し，被験者の身体には合計 24 個の反射マーカー（頭頂，右耳珠点，左耳珠点，胸骨上縁，右肩，右肘，右手首，右手先，左肩，左肘，左手首，左手先，右大転子，右膝，右足首，右踵，右第五中足骨，右足先，左大転子，左膝，左足首，左踵，左第五中足骨，左足先）を粘着度の強い両面テープで貼付した．

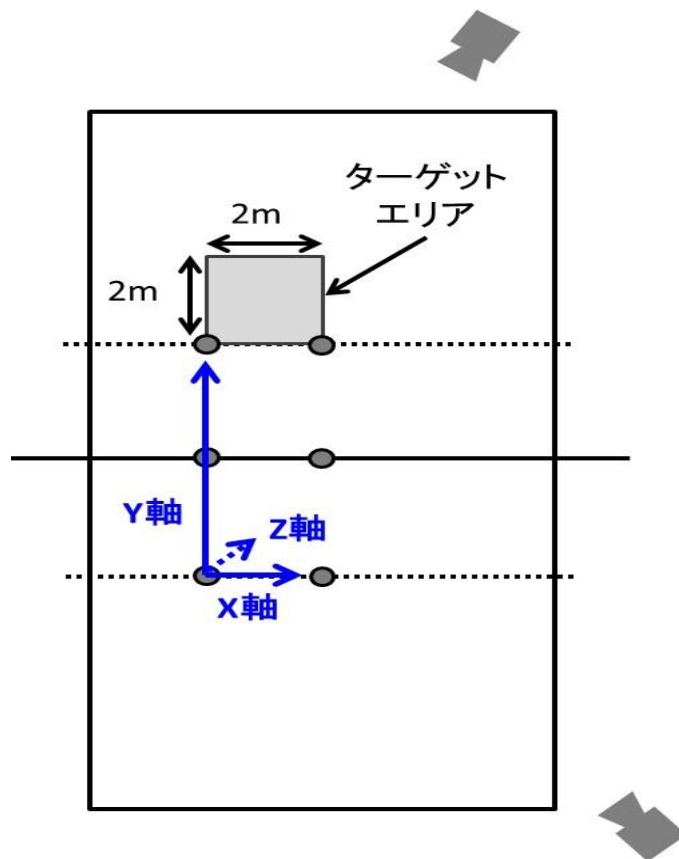


図 1 ターゲットエリアとキャリブレーション

4. 分析方法

(1) 三次元座標の算出

撮影した映像は、画像変換ソフト (QT converter, <http://www.vector.co.jp/soft/winnt/art/se378055.html>) を用いて AVI ファイルに変換した後、動作解析ソフト (Frame-DIAS V, ディケイエイチ社製) を用い、1 コマおき (150Hz) でデジタル化した。24 点の身体部分点とボールの計 25 点のデジタルポイントの三次元座標を DLT 法によって求めた。得られた三次元座標は計測点ごとに Well&Winter の方法によって、最適遮断波数を決定し (6-12Hz), Butterworth Digital Filter により平滑された。

(2) 分析範囲

本研究では、助走から腕を後ろに振り上げたところ (バックスイング)

からボールを打つ（インパクト）動作までを分析範囲とした（図 2）。

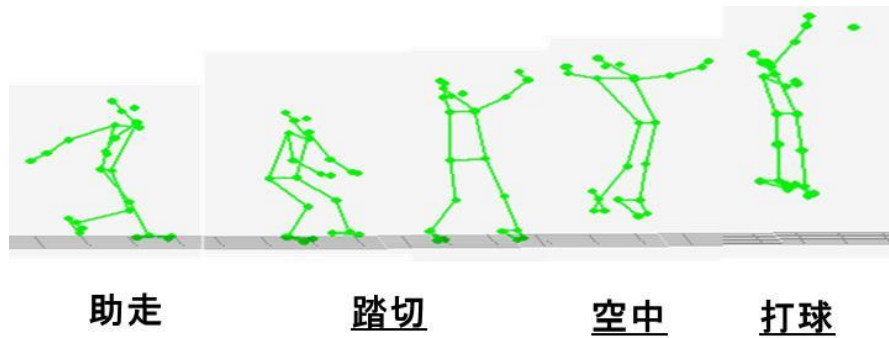


図 2 本研究における分析範囲

(3)分析項目

① ボール速度：

インパクトから 100ms までの，ボールの合成速度の平均値をボール速度とした．

② 重心水平速度：

離地からインパクトまでの Y 軸方向における重心速度の平均値を重心水平速度とした．

③ 跳躍高：

離地時の重心位置と最高到達点までの重心の鉛直変位（Z 軸）から跳躍高を算出した．

④ 手先速度最大値：

テイクバックからインパクトまでの右手先の合成速度の最大値を手先速度最大値とした．

⑤ 肘速度最大値：

テイクバックからインパクトまでの右肘の合成速度の最大値を肘速度最大値とした．

⑥ 肩速度最大値：

テイクバックからインパクトまでの右肩の合成速度の最大値を肩速度最大値とした．

⑦ 体幹捻転角度最大値：

X-Y 平面に投影した左右の肩峰を結ぶ線分と左右の大転子を結ぶ線分のなす角度の最大値とした(左右の肩を結ぶ線分と左右の大転子を結ぶ線分の平行がゼロ度とし，左回旋をマイナス，右回旋をプラスと定義した)。

⑧ 体幹傾斜角度最大値：

Z-X 平面に投影した X 軸に対する左右肩峰の中点と左右の大転子中点を結ぶ線分のなす角度の最大値とした (Z 軸をゼロ度とし，右傾斜をマイナス，左傾斜をプラスと定義した)。

(4)統計処理

ミドルブロッカーとウイングスパイカーの動作の違いを検討するために統計分析ソフト (SPSS) を用いて，対応のないノンパラメトリック検定 (マンホイットニー U 検定) を行った。また，ボール速度と各測定項目の相関係数を検討するためピアソンの相関係数を用いた。すべての項目は危険率 5%未満を有意とした。

Ⅲ．結果

1. ボール速度と各変数の関係

(1) 重心水平速度について

ボール速度と重心水平速度の関係について、ウイングスパイカーは、有意な相関関係が認められた ($r=0.782$)。ミドルブロッカーでは相関関係は認められなかった ($r=0.426$) (図 3)

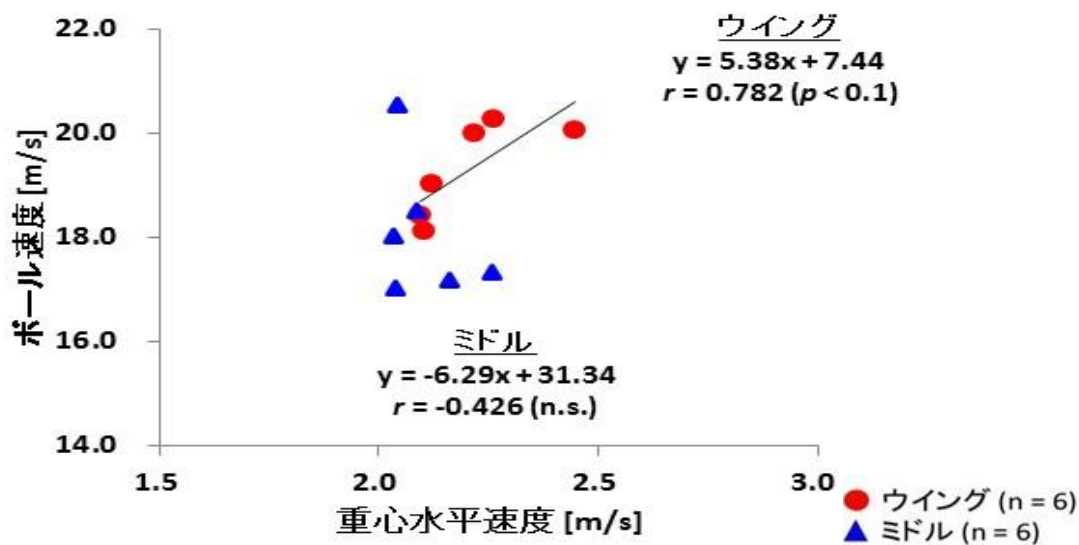


図 3 ボール速度と重心水平速度の関係

(2) 跳躍高について

ボール速度と跳躍高の関係について、ウイングスパイカー ($r=0.215$)、ミドルブロッカー ($r=0.047$) とともに、有意な相関関係は認められなかった (図 4)。

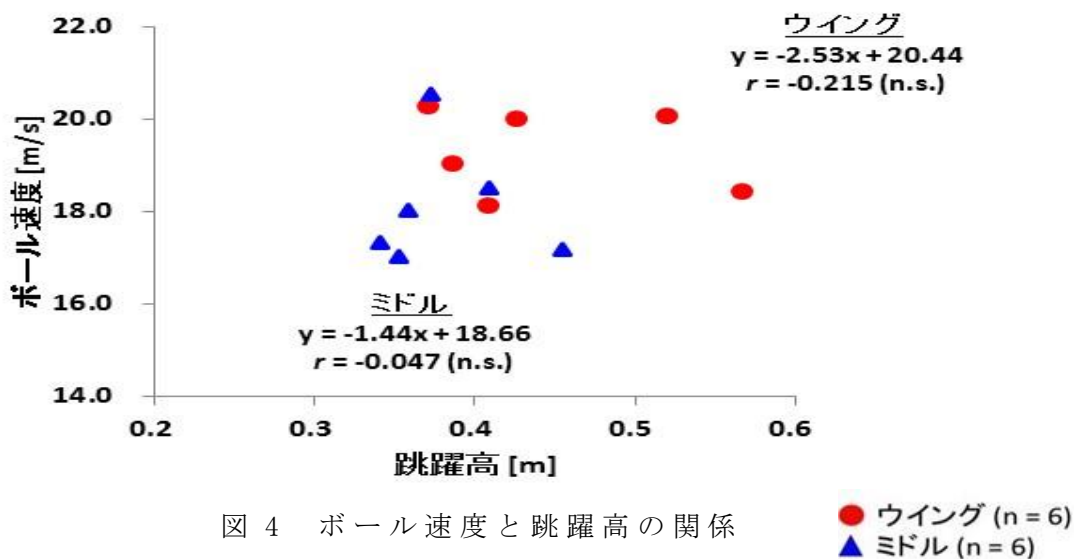


図 4 ボール速度と跳躍高の関係

(3) 手先速度最大値について

ボール速度と手先速度最大値の関係について、ウイングスパイカーは、有意な正の相関関係が認められ ($r=0.860$)、ミドルブロッカーでは、相関関係は認められなかった ($r=0.495$) (図 5)。

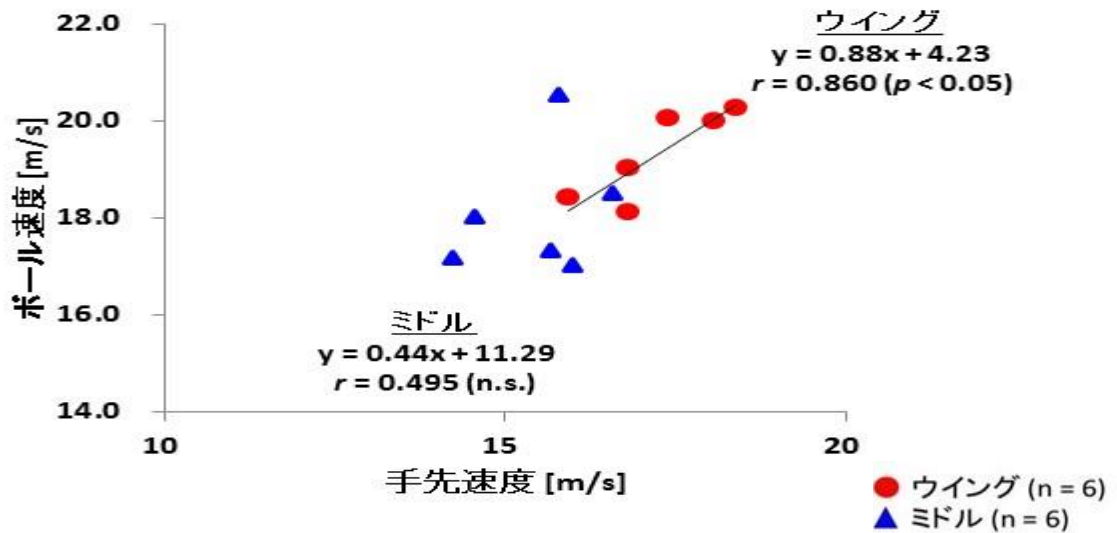


図 5 ボール速度と手先速度最大値の関係

(4) 肘速度最大値について

ボール速度と肘速度最大値の関係について、ウイングスパイカー ($r=0.532$)、ミドルブロッカー ($r=0.245$) とともに、有意な相関関係は認められなかった (図 6)。

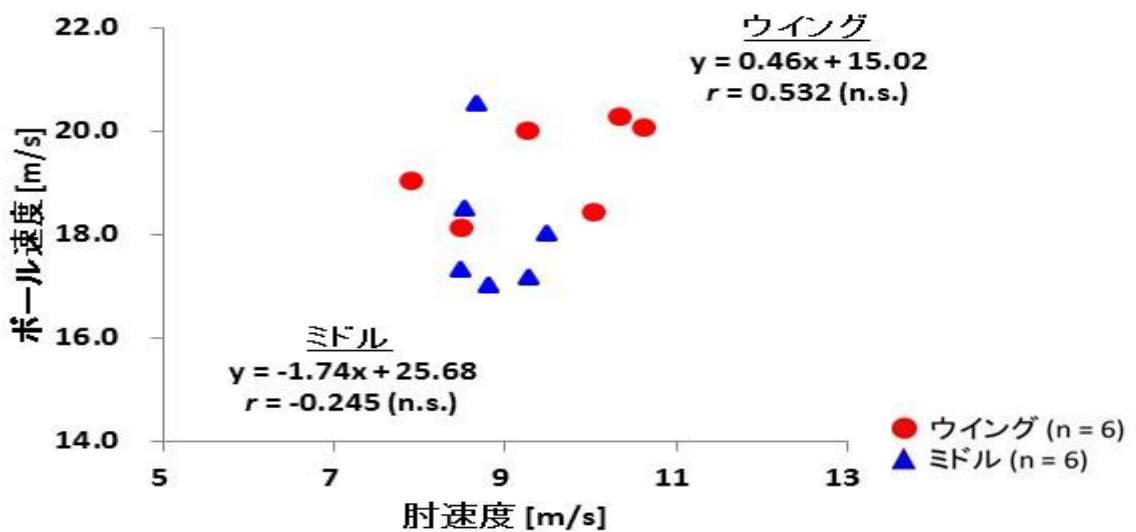


図 6 ボール速度と肘速度最大値の関係

(5) 肩速度最大値について

ボール速度と肩速度最大値の関係について、ウイングスパイカーは、有意な正の相関関係が認められ ($r=0.949$)、ミドルブロッカーでは、相関関係は認められなかった ($r=0.429$) (図 7)。

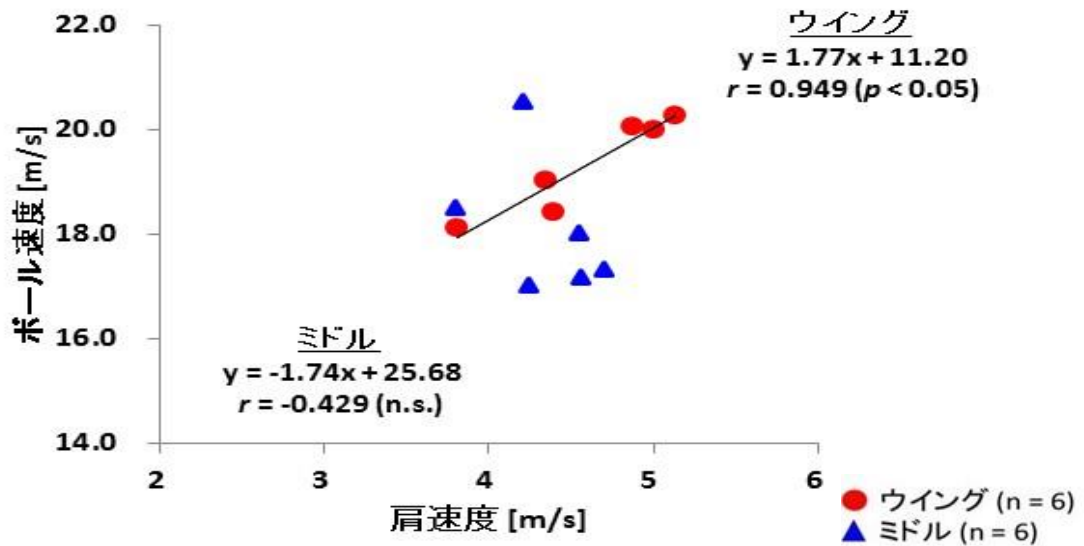


図 7 ボール速度と肩速度最大値の関係

(6) 体幹捻転角度最大値について

ボール速度と体幹捻転角度最大値の関係について、ウイングスパイカー ($r=0.398$)、ミドルブロッカー ($r = 0.543$) とともに、有意な相関関係は認められなかった (図 8)。

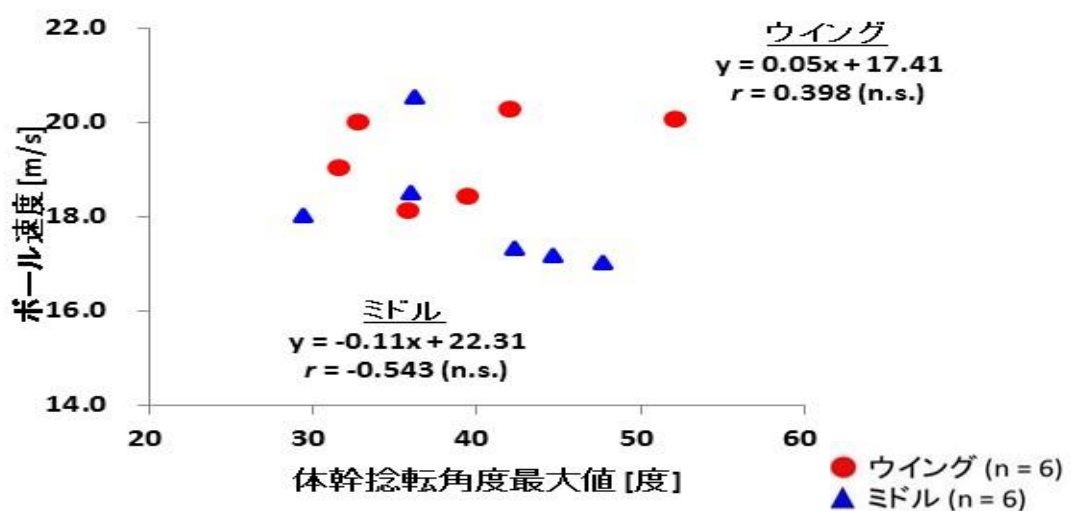


図 8 ボール速度と体幹捻転角度最大値の関係

(7) 体幹傾斜角度最大値について

ボール速度と体幹傾斜角度最大値の関係について、ウイングスパイカー ($r=0.039$)、ミドルブロッカー ($r = 0.668$) とともに、有意な相関関係は認められなかった (図 9)。

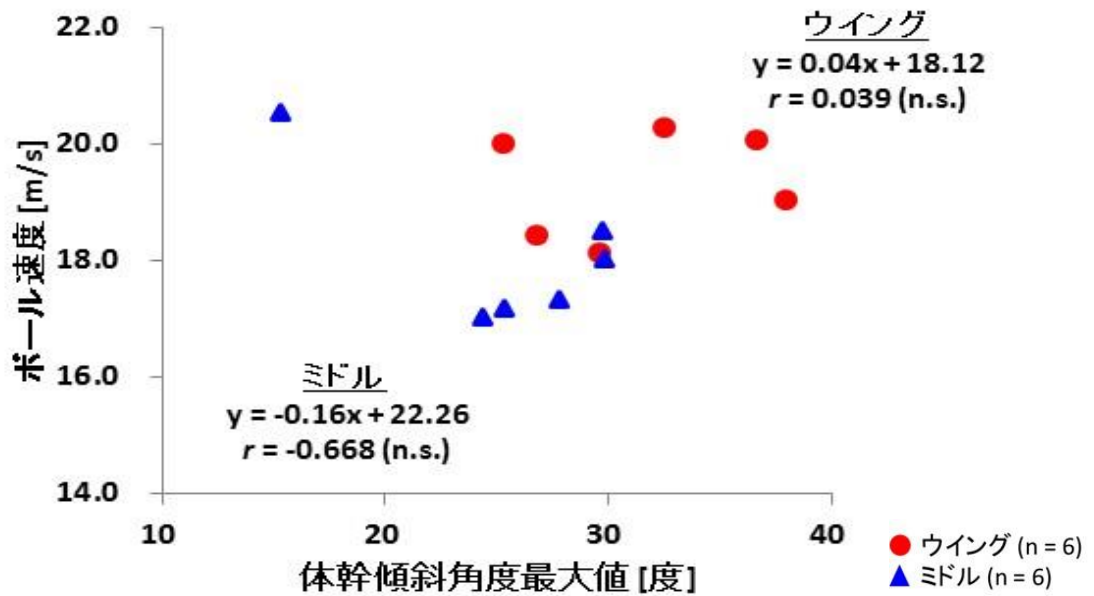


図 9 ボール速度と体幹傾斜角度最大値の関係

2. ウイングスパイカーとミドルブロッカーの比較

(1) ボール速度，跳躍高，および重心水平速度について

ウイングスパイカーとミドルブロッカーについて，それぞれボール速度，跳躍高および重心水平速度について比較したところ，ボール速度については，ウイングスパイカーが $19.3 \pm 0.9 \text{ m/s}$ であり，ミドルブロッカーでは $18.1 \pm 1.3 \text{ m/s}$ であった．跳躍高はウイングスパイカーが $17.2 \pm 0.9 \text{ m/s}$ であり，ミドルブロッカーでは $15.5 \pm 0.9 \text{ m/s}$ であった．また，重心水平速度はウイングスパイカーが $2.2 \pm 0.1 \text{ m/s}$ であり，ミドルブロッカーでは $2.1 \pm 0.1 \text{ m/s}$ であった．いずれの項目においても，両群の間に有意差は認められなかった（表 2）．

表 2 ボール速度，跳躍高，および重心水平速度について

	ボール速度 [m/s]	跳躍高 [m]	重心水平速度 [m/s]
ウイング	19.3 ± 0.9	0.45 ± 0.08	2.2 ± 0.1
ミドル	18.1 ± 1.3 n.s.	0.38 ± 0.04 n.s.	2.1 ± 0.1 n.s.

(2) 肩速度，肘速度，および手先速度について

ウイングスパイカーとミドルブロッカーについて，それぞれボール肩，肘および手先速度の最大値を比較したところ，肩速度の最大値はウイングスパイカーが $4.6 \pm 5.2 \text{ m/s}$ ，ミドルブロッカーが $4.3 \pm 0.3 \text{ m/s}$ であり，肘速度の最大値はウイングスパイカーが $9.5 \pm 1.1 \text{ m/s}$ ，ミドルブロッカーが $8.9 \pm 0.4 \text{ m/s}$ であり，両変数において両群間に有意差は認められなかった（表 3）．一方，手先速度の最大値はウイングスパイカーが $17.2 \pm 0.9 \text{ m/s}$ であり，ミドルブロッカーが $15.5 \pm 0.9 \text{ m/s}$ であり，ウイングスパイカーの方が有意に高値を示した（表 3）．

表 3 肩速度，肘速度，および手先速度の最大値の両群比較

	肩速度最大値 [m/s]		肘速度最大値 [m/s]		手先速度最大値 [m/s]
ウイング	4.6 ± 0.5	n.s.	9.5 ± 1.1	n.s.	17.2 ± 0.9
ミドル	4.3 ± 0.3		8.9 ± 0.4		15.5 ± 0.9 *

(3) 体幹傾斜角度最大値，体幹捻転角度の最大値について

ウイングスパイカーとミドルブロッカーについて，それぞれボール体幹傾斜角度，体幹捻転角度最大値について比較したところ，体幹傾斜角度最大値については，ウイングスパイカーが 31.5 ± 5.2 度であり，ミドルブロッカーでは 25.4 ± 5.4 度であった．また体幹捻転角度最大値はウイングスパイカーが 39.0 ± 7.6 度であり，ミドルブロッカーでは 39.4 ± 6.8 度であった．体幹傾斜角度最大値および体幹捻転角度最大値にはいずれも両群間に有意差は認められなかった(表 4)．

表 4 体幹傾斜角度，体幹捻転角度最大値について

	体幹傾斜角度最大値 [度]		体幹捻転角度最大値 [度]
ウイング	31.5 ± 5.2	n.s.	39.0 ± 7.6
ミドル	25.4 ± 5.4		39.4 ± 6.8 n.s.

3. 個人の比較

ウイングスパイカーでボール速度が高かった選手(被験者 J)と、ミドルブロッカーでボール速度が最も低かった選手(被験者 G)の特徴について、両被験者の各変数を比較した。ボール速度は被験者 J が 20.3m/s 、被験者 G が 17.0m/s であり、被験者 J の方が高かった(図 10)。その結果、重心水平速度については被験者 J が 2.3m/s 、被験者 G が 2.0m/s であり(図 11)、跳躍高については、被験者 J が 0.37m であり、被験者 G が 0.35m であった(図 12)。

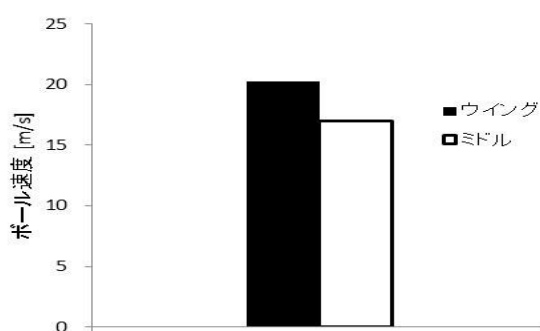


図 10 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の
ボール速度の比較

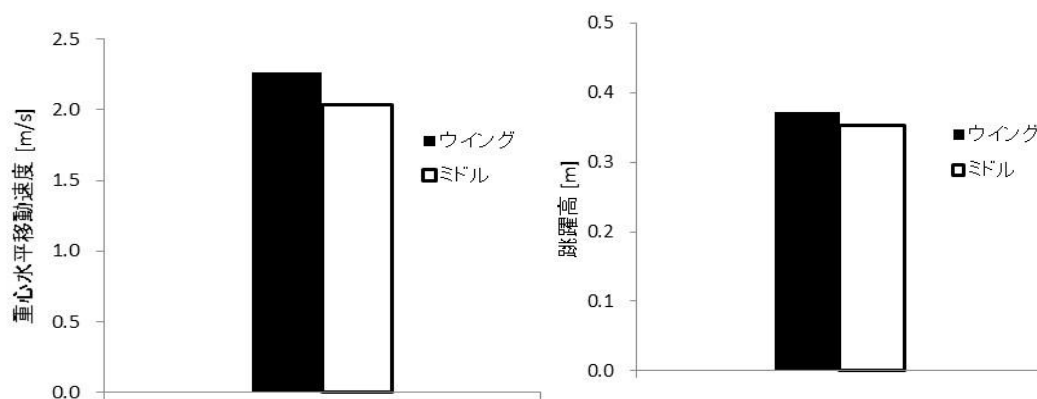


図 11 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の
重心水平速度の比較 (左図)

図 12 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の
跳躍高の比較 (右図)

肩速度の最大値は被験者 J が 5.1m/s であり，被験者 G が 4.2m/s であった(図 13)．肘速度の最大値については，被験者 J が 10.4m/s であり，被験者 G が 8.8m/s であった(図 14)．手先速度の最大値については，被験者 J が 18.4m/s であったのに対して，被験者 G は 16.0m/s であり(図 15)，腕部のいずれの速度においても被験者 J が被験者 G を上回っていた．

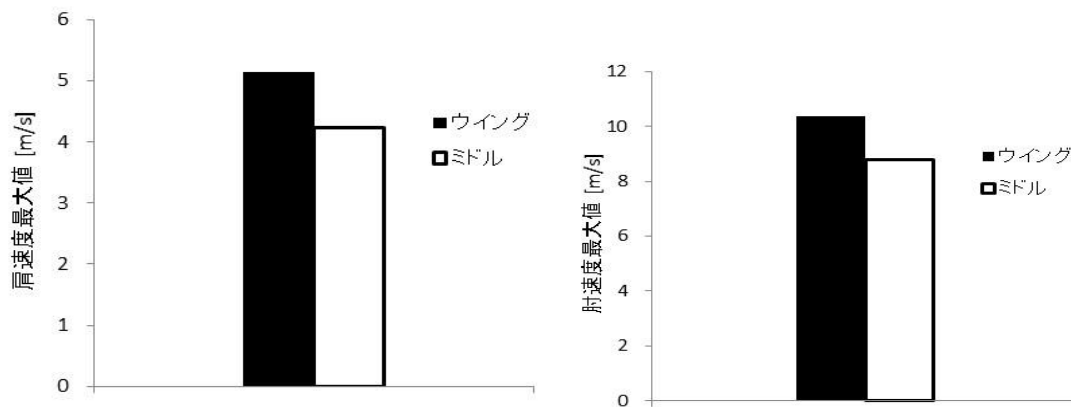


図 13，図 14 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の肩速度の最大値(左図)，肘速度最大値の比較(右図)

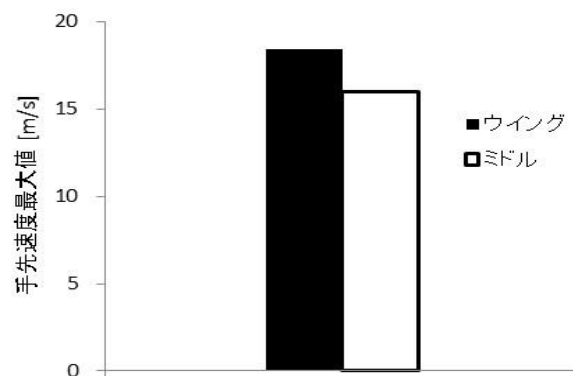


図 15 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の手先速度の最大値の比較

体幹捻転角度の最大値は被験者 J が 42.1 度であり，被験者 G が 47.8 度であり，被験者 G の方が体幹捻転角度は大きかった(図 16)．

一方，体幹傾斜角度の最大値は被験者 J が 32.5 度であったのに対して，被験者 G が 24.4 度であり，被験者 J の方が体幹傾斜角度は大きかった(図 17)．

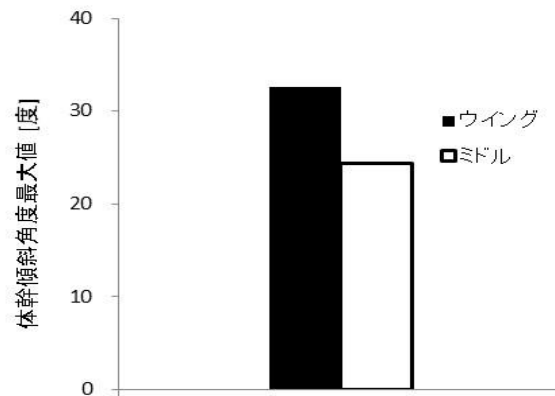


図 16 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の
体幹捻転角度の最大値の比較

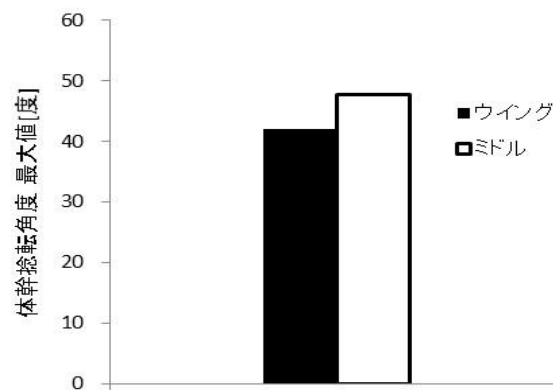


図 17 ウイングスパイカー(被験者 J)とミドルブロッカー(被験者 G)の
体幹傾斜角度の最大値の比較

図 18 と図 19 には，被験者 J と被験者 G の右腕各部位の速度の経時変化を示した（横軸ゼロ秒：打球時）．両被験者ともに肩，肘，手先の順に最高速度が発現していた．また，被験者 J の方が打球時までの最高速度が高く大きな曲線（大きな動き）をしていた．

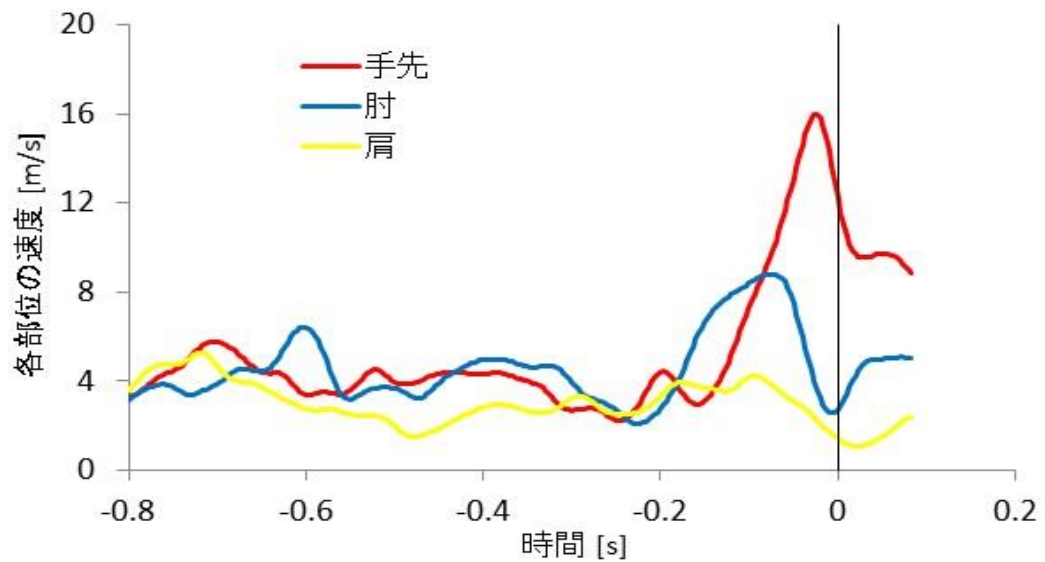


図 18 被験者 G の右腕各部位の速度の経時変化

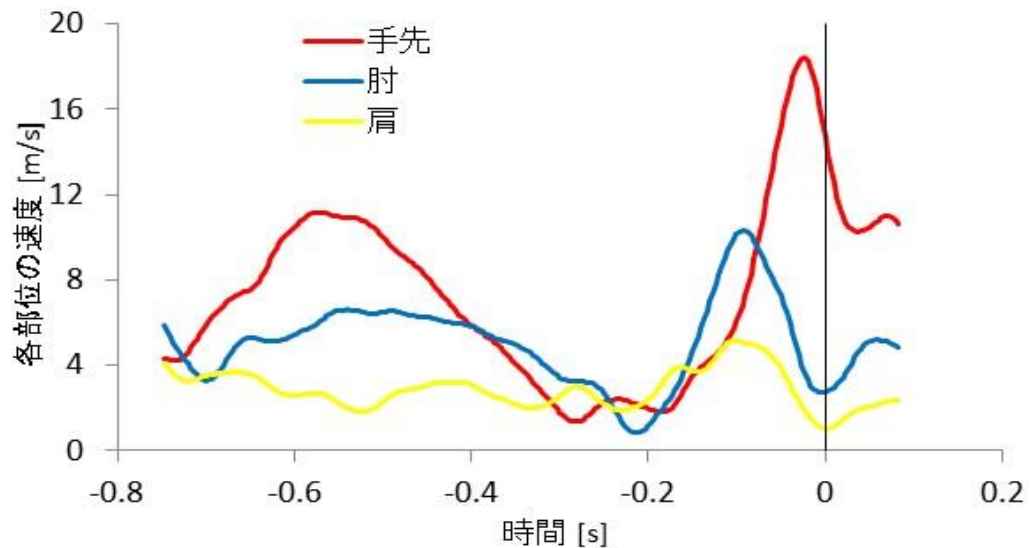


図 19 被験者 J の右腕各部位の速度の経時変化

IV. 考察

今日のバレーボールでは、速攻はブロッカーやレシーバーの準備が整わないうちに攻撃する(日本バレーボール協会, 2004)ため、大振りをすることなく小さく速いスイングすること(日本バレーボール協会, 2005)や、早いタイミングで打球するためにスイング全体を小さくするように指導されることが多い(バレーボール学会, 2012)。その一方で、自身の最高到達点に供給されたボールをダイナミックなスイングで打球することが望ましい(バレーボール学会, 2012)ことや、トスが上がってから打球までの短い時間内でスパイク動作を速くするのではなく、スパイク動作は高いトスのボールを打つ動作と同一である必要がある(浜田, 2010)など、高いトスを打つ時と同じように速攻も打つ指導法が存在し、速攻のスパイク動作に関する指導に一貫した指導法が確立されているとは言い難い。また、男子の国際大会出場選手のオープンスパイクやバックスパイク、クイックスパイクなどスパイクの種類によって踏切から打球までの動作時間には差がないことが報告されている(堀田, 2002)。

そこで普段から A クイックなどの速攻(ファーストテンポ)を中心としたスパイクを打つミドルブロッカーと、クイックよりもトスが上がってから打球まで時間に余裕のある時間差攻撃(セカンドテンポ)などを中心に打っているウイングスパイカーの A クイックにおけるスパイク動作を比較することで、ボール速度を高める要因として上肢の各変数とボール速度との関係を検討した。加えて、ボール速度が高かったウイングスパイカーと低かったミドルブロッカーの特徴を検討し、それらの結果について考察する、

1. ウイングスパイカーとミドルブロッカーの比較

(1)ボール速度, 重心の移動に関する項目

ウイングスパイカーとミドルブロッカーについて、それぞれボール

速度，跳躍高および，重心水平速度について比較したところ，有意差は認められなかった．中西ら(2007)は同一被験者が異なるトスを打球した際のボール速度には有意差はなかったことを報告しており，トスの種類がボール速度の高低を決定する要因にはならないと結論づけている．一方，都澤(2005)の研究では，試合中のスパイク時における跳躍高はウイングスパイカーの方がミドルブロッカーよりも高く，その要因としてウイングスパイカーの方が，助走距離が長いことが影響していると報告している．本研究の跳躍高および重心水平速度の結果を考慮すると，本研究で対象としたクイックであっても，一定の助走距離を確保し，高い跳躍高や重心水平速度でスパイク動作を行うことができれば，ボール速度の高いスパイクを打つことは可能であると考えられる．

(2)上肢の速度に関する項目

ウイングスパイカーとミドルブロッカーについて，それぞれボール肩，肘速度および，手先速度の最大値を比較したところ，手先速度の最大値はウイングスパイカーの方が有意に高値を示した．また，ウイングスパイカーは，手先速度の最大値とボール速度に相関関係があることや，有意差はなかったものの，ウイングスパイカーの方が，ボールの速度が全体に高かったことから，A クイックであってもウイングスパイカーの方がボール速度は高い傾向にあるといえる．また，肩速度と肘速度の最大値には両群間に有意差は認められなかった．和田ら(2003)は肩速度最大値を高めることができれば，ボール速度と手先速度が高まると報告している．このことから，両群の肩と肘の速度には有意差が認められると考えたが，いずれの分析項目においても両群間に有意差はなかった．スイング開始時に肩および肘を上方に引き上げる動作と，その動きを加速させるための体幹部の大きな回旋運動が手先速度の増加に間接的に影響

する(石川, 2008)が, 本研究の結果を考慮すると, 女子選手における A クイックのような速攻では, スイング動作に個人差があり, そのことがウイングスパイカーとミドルブロッカーとの間で肩と肘の速度に有意差がなかった要因の 1 つである.

(3)体幹の捻転及び反りに関する項目

体幹傾斜角度最大値および体幹捻転角度最大値には, いずれも両群間に有意差は認められなかった. 速攻は体幹の動きを抑えながらボールインパクトするまでの速いスイングがでは求められる(日本バレーボール協会, 2004)ことから, 両群ともに体幹の捻転動作が小さかったと考えられる. しかし, 増村ら(2007b)は空中での打動作は体幹の捻転動作を用いて肩の速度を高めることが有効であると報告している. また, 捻転角度が大きいと捻り戻し角速度が大きくなる傾向にあり, 結果的に手先速度を高めることにつながる(和田, 2003). また, 海外の女子ミドルブロッカーは, 体幹の側屈および捻転角度が大きく, そのことが手先速度の高さに影響している(布村, 2011)ことから, 女子選手の A クイックにおいても, 体幹の捻転角度を大きくし, 体幹の捻り戻し速度を高めることが, ボール速度を高めることにつながると考えられる.

2. ボール速度と各変数の関係

(1)重心の移動に関する項目

本研究では, ウイングスパイカーは, ボール速度と重心水平速度の間に有意な相関関係は認められたが, ミドルブロッカーでは相関関係は認められなかった. 先行研究でも, ボール速度は跳躍中の重心水平速度の増加に伴い高まる傾向にある(黒川ら, 2008)と報告されており, ウイングスパイカーは重心水平速度の増加に伴いボール速度を高めていたと考えられる. しかし, フロントスパイクでは打点を高くするために, バ

ックスパイクと比較して前方への動きが小さくなり、重心水平速度も低下する(増村ら, 2007b). 本研究はフロントスパイクの A クイックスパイクを対象としており、このことがミドルブロッカーでは、ボール速度と重心水平速度との間には相関関係が認められなかった要因の 1 つだと考えられる. しかし、ウイングスパイカーはフロントスパイクの A クイックであっても、重心水平速度の増加に伴いボール速度を高めていたことから、ミドルブロッカーでも A クイックにおいて前方へ跳躍し、重心水平速度を高めることが、ボール速度を増加させることにつながるかもしれない.

ボール速度と跳躍高との関係性について、ウイングスパイカー、ミドルブロッカーともに有意な相関関係が認められなかった. スパイクに関する指導書では、速攻はブロッカーやレシーバーの準備が整わないうちに攻撃する手段とされている(日本バレーボール協会, 2004). このことから、速攻はトスから打球までの時間が早ければ早いほど良いと考えられ、ジャンプしてから素早く打つことが望ましいと考えられる. 一方、速攻はトスから打球までの時間が短い、ジャンプをするタイミングが早いだけで、実際にボールを打つ動作は高いトスのボールを打つのと変わらないとする指導書もある(浜田, 2010). 本実験においても、被験者のタイミングは一定でなく、離地してからインパクトまでの時間が異なっていたことから、このことが跳躍高に影響したと推察される. また、A クイックはオープントスよりも高い位置でボールを打球することができる(積山ら, 1987)ことも考慮すると、セッターから供給されるボールとのタイミングを計り、高い打点で打球することが重要である. 本研究では、扱わなかったが、助走距離を長く取る事も大事であり、そのための準備動作(助走距離をとるための、ネットからの離れる動作)を早くする事も今後の指導での課題といえよう.

(2)上肢の速度に関する項目

ボール速度を高めるには、インパクト直前に手先の速度を高め(橋原, 1998), 手先の速度を高めることがボール速度を増加させるために必要な条件である(黒川ら, 2008)と報告されている. 本研究においても, ウイングスパイカーは, ボール速度と手先速度の間には有意な相関関係が認められたことから, A クイックであっても, ボール速度を高めるにはインパクト時に高い手先速度が必要であるといえる.

また, ウイングスパイカーは、ボール速度と肩速度の最大値との間にも正の相関関係が認められた. インパクト時の手先速度を高めるには, 肩の速度を高めることが重要であり(橋原, 1998), 打動作は体幹部に近い股関節(上腕)の動きが先行し, これを末端部の動きがフォローする形で行われる必要がある(金子, 2006). しかし, ミドルブロッカーでは, ボール速度と手先速度, 肩速度の最大値との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった. ミドルブロッカーは, トスされたボールを早く打球しなくてはならないために, 肩や肘を大きくすることなくスイング動作を行っていた可能性が考えられる. 今後, 今回対象とした被験者が手先速度をより高めるためには, 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, 2007a)など, 肘よりも肩を先行させ, 両関節の速度を高めることが必要であろう.

(3)体幹の捻転及び反りに関する項目

和田ら(2003)は, 捻転角度を大きくし, 捻り戻しの角速度を大きくすることにより, インパクト時に手先速度を高まると報告している. また, 遠位端の速度やエネルギーを大きくするには, 大きな筋群がある身体の中心部や下肢で生み出されたエネルギーを, 関節を介してねらいとする部分へ流すことが重要であるとされている(阿江ら, 2002). これらのことから, 手先速度を高めるためには, 体幹の捻転動作を大きくすること

が重要であると考えられる。しかし，本研究ではウイングスパイカー，ミドルブロッカーとも，ボール速度と捻転角度最大値には有意な相関関係は認められなかった。和田ら(2003)によると，体幹の捻転角度や捻り戻しの角速度を大きくするだけではなく，捻り戻しを適切なタイミングで行うことの重要性が示唆されており，A クイックのような限られた時間で打球しなくてはならないスパイクでは，跳躍高や体幹の捻転角度および打球までのタイミングに個人差があることから，結果的に体幹捻転角度最大値とボール速度との間に有意な相関関係が認められなかったと考えられる。

3. 個人の比較

ウイングスパイカーでボール速度が高かった選手(被験者 J)と，ミドルブロッカーでボール速度が低かった選手(被験者 G)の特徴について，両被験者の各変数を比較した。

(1)重心の移動に関する項目

ボール速度が高かった被験者 J は重心水平速度および跳躍高においても被験者 G より高かった(図 11，図 12)。しかし，跳躍高，重心水平速度ともにその差はわずかであったことを考慮すると，被験者 J と被験者 G の間において，跳躍高および重心水平速度が A クイックにおけるボール速度を高める大きな要因ではないと考えられる。

(2)上肢の速度に関する項目

ボール速度が高かった被験者 J は肩，肘，および手先速度の最大値が被験者 G よりも高かった。ボール速度を高めるためには，インパクト直前に手先の速度を高める必要があり(橋原，1998；黒川ら，2008)，本研究の結果からもボール速度は手先の速度の影響を受けていることが考えられた。また，右腕各部位の速度の最大値が発現した地点は両被験者

ともに肩，肘，手先の順であった(図 18，図 19)．肩速度の増加に伴い，手先速度が高まる(橋原，1998)ことから，両被験者ともに運動連鎖(阿江，2002)が円滑に行われていたといえる．特に，ボール速度の高かった被験者 J は被検者 G と比較して打球までの腕の動作が大きく，肩速度の最大値が発現した後に肘，手先速度の最大値が発現していたことから，先に述べた運動連鎖が被験者 G よりも円滑に行われていたと考えられる．肩速度を増加させるためには，大きな筋群がある身体の中心部や下肢で大きなエネルギーを産生することが重要である(金子，2007)ことを考慮すると，両被験者ともに，体幹で大きなエネルギーを作り，それを適切なタイミングで手先まで伝える動作を習得することが大切である．特にミドルブロッカーである被験者 G においては，今後腕速度を大きくすることでボール速度を高めると考えられることから，指導においてジャンプなしで，ボール速度を高める動作を習得や，高いトスを打球できる動作を習得した後，それらを低いトスでも打球できるように，打球前の準備動作から改善することも大事になるといえよう．

(3)体幹の捻転および傾斜角度に関する項目

スパイク動作において手部速度を高めるには，体幹捻転角度を大きくし，捻り戻し角速度を高めることが重要である(和田，2007)．しかし，本研究では，体幹捻転はボール速度の低かった被験者 G の方が大きかった(図 16)．黒川ら(2008)は体幹捻転角度と捻り戻しの角速度は早すぎても遅すぎてもより遠位のセグメントへ力学的エネルギーが効率よく伝達しないと報告している．この先行研究の結果を考慮すると，ボール速度の高かった被験者 J は体幹捻転角度が小さくても，捻り戻し動作のタイミングが適切であったと推察される．また，オープンスパイクとは異なり，トスが上がってから打球までの時間が短い A クイックは，ボールに力を有効に伝えられること(積山ら，1987)や，手先速度を間接的に高める動きとして，肘および肩を上方に引き上げる動作と，その動きを加

速させるための体幹部の回旋運動が大きいこと(石川ら, 2008)を考慮すると, A クイックにおいても体幹の捻転角度を大きくし, 適切なタイミングで捻り戻すことができれば, 手先速度は高まり, ボール速度を高めることが可能になると考えられる.

体幹傾斜角度はボール速度が高かった被験者 J が高かった. 海外の右打ちの女子選手のスパイク動作では, 空中で左方向への体幹の捻り戻しや左方向への体幹の傾斜が行われ(バレーボール学会, 2012), 反対側の腕は打球側の腕と効率よくバランスをとる(セリンジャー, 1993)動きとなり, 限られた滞空時間で胴体の反りと捻転動作の複合動作が求められる. 一方, 空中で打球するためには, 視界を変化させずにバランスをとることが大切であり(都澤, 2005), 特に, センターからネットに対して直角に入ることの多い A クイックでは, 打球方向がサイドから打球するスパイクよりも広いため, 普段から A クイックを打つミドルブロッカーの被験者 J は, サイドアタッカーである被験者 G と比較して体幹の傾斜角度が小さかったと推察される.

V. 結論

本研究は、バレーボール女子選手の A クイックのスパイク動作について、ウイングスパイカーとミドルブロッカーの比較から、ボール速度を高める要因を検討した結果、以下のことが明らかになった。

1. ウイングスパイカーではボール速度と手先速度との間に有意な正の相関関係が認められたが、ミドルブロッカーでは有意な相関関係はなく、ウイングスパイカーの方がミドルブロッカーよりも有意に手先速度が高値を示した。
2. ボール速度と重心水平速度、肩速度およびの手先速度の間にはウイングスパイカーにのみ有意な相関関係が認められた。
3. ウイングスパイカー、ミドルブロッカーともに、ボール速度と跳躍高、肘速度、最大体幹傾斜角度、および最大体幹捻転角度の間に有意な相関関係はなく、両群間にも有意差は認められなかった。

これらのことから、A クイックスパイクにおいて、ボール速度を高めるためには、手先速度を高めることが重要であるといえる。ミドルブロッカーは全被験者に共通してスパイク動作が小さく、これまでの指導書にあるコンパクトなスパイク動作にはなっていたが、ボール速度がウイングスパイカーと比較して低い値を示していたことから、A クイックを指導する際に、ミドルブロッカーでも大きなスパイク動作を習得することで、ボール速度を高めることが可能になると考えられる。具体的には、腕全体の動作を大きくするために、A クイックだけでなく、高いトスを打球する練習を行い、その後、早いタイミングで打球するための、準備動作を早くする事が大切であると結論づけられた。

謝 辞

本研究を行うにあたり，指導教員である，早稲田大学スポーツ科学学術院松井泰二准教授には多大なるご指導をいただきました．バレーボール競技の世界で選手として経験してきたことを研究という形で新たに多くのことを学ぶ事ができ，松井泰二准教授に心から感謝の意を申し上げます．

早稲田大学スポーツ科学学術院土屋純教授には，バイオメカニクスの見地から貴重な助言や示唆をいただき，誠にありがとうございました．同様に，快く副査をお引き受けくださった磯繁雄教授はじめ，コーチング科学領域の諸先生方には，日頃よりご指導ご助言をいただいたことを厚く御礼申し上げます．

本研究は，目白大学講師小林海先生のご支援なくしては進めることはできませんでした．実験だけでなく研究計画やデータ分析，論文推敲と多岐にわたりご尽力いただき心より感謝ならびに御礼申し上げます．

また，松井研究室修士課程 1 年生である塚田圭裕さん，森裕紀さん，内田研究室修士課程 2 年生の篠沙織さんにおかれましても，実験やデータ分析をご協力いただき深く感謝いたします．また，土屋研究室の皆様にもご助言を賜り感謝いたします．

本研究にあたり，被験者として協力してくれた，早稲田大学女子バレーボール部の部員の皆様，嘉悦大学女子バレーボール部の皆様にも心より感謝の意を申し上げます．

そしてこの一年間，ともに励まし協力し合いながら研究をすすめてきたエリートコーチングコースの脇田寿雄さん，古賀哲也さんにも心より感謝いたします．

参考文献

- 阿江通良 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店: 東京, p.126.
- 石川優希・小池関也 (2008) バレーボール・スパイク動作に関する順動力学的分析—空中局面における体幹部の動きが手部速さ生成に及ぼす効果—, ジョイント・シンポジウム講演論文集, 2008: 341-346
- 金子公宥 (2006) スポーツ・バイオメカニクス入門 第3版—絵で見る講義ノート—. 安林書院: 東京, pp.71-79.
- 黒川貞生・森田恭光・亀ヶ谷純一・加藤浩人・松井泰二・鈴木陽一・矢島忠明 (2008) 世界トップレベル・バレーボール選手のスパイク動作特性. 明治学院大学教養教育センター紀要, 2(1): 23-29.
- 国際バレーボール連盟 (編). (豊田博 (訳)) (2011) FIVB COACHES MANUAL. バレーボール・アンリミテッド: 神奈川, p.96.
- 国際バレーボール連盟 (2015). <http://www.fivb.org/> 2015 年 1 月 9 日現在
- 篠村朋樹・栃堀申二・都沢凡夫・福原祐三 (1999) バレーボールにおけるラリーエンドパターンと競技成績の関係. バレーボール研究, 1(1): 21-25.
- 鈴木淳平 (2013) ロンドン五輪におけるバレーボールのゲーム分析—得接点経緯が勝敗に及ぼす影響について—. 駒澤大学総合教育研究部紀要, 7: 651-664.
- セリンジャー. A・アッカーマンブルント. J, (都沢凡夫 (訳)) (1993) セリンジャーのパワーバレーボール. ベースボールマガジン社: 東京, pp.23-25, pp.113-207.
- 積山和明・酒井順子・斎藤勝 (1987) バレーボールのスパイク指導に関する研究—A クイックスパイクとオープンスパイクの比較—. 東海大学紀要体育学部, 17: 63-70.
- 中西康己・都沢凡夫 (2007) バレーボールのスパイクスピードと体幹屈曲

- 力との関係．バレーボール研究，9(1)：5-9.
- 日本バレーボール学会(編)(2005) 最新バレーボールコーチ教本．大修館書店：東京，pp.36-38.
- 日本バレーボール学会(編)(2012) Volleypedia バレーボール百科事典．日本文化出版：東京，pp.9-38.
- 日本バレーボール協会(編)(2004) バレーボール指導教本．大修館書店：東京，pp.60-67.
- 布村忠弘(2011) The world's best technique. 月刊バレーボール，65(3)，日本文化出版：東京，pp.52-63.
- 橋原孝博(1988) バレーボールのスパイク技術に関する運動学的研究—高い打点で強く打撃するためのスイング動作として役立つ働き—．広島体育学研究，14：11-22.
- 浜田勝彦(2010) クイック・アタック．Best of coaching & praying volleyball, 1, バレーボール・アンリミテッド：神奈川，pp.83-89.
- 堀田朋基(2003) スパイクジャンプのタイプとジャンプ動作のバイオメカニクス．バレーボール研究，5(1)：33-35.
- 増村雅尚・Walter, M・阿江通良(2007a) スイング速度の異なるバレーボール選手のスパイク動作に関する研究，スポーツ方法学研究．20(1)：85-97.
- 増村雅尚・阿江通良(2007b) 空中でボールを強く打つための身体の動き—バレーボールにおける打動作の分析—．バイオメカニクス研究，11(3)：213-219.
- 松井泰二・矢島忠明・都沢凡夫(2012) 男子バレーボールのブロックパフォーマンス改善に関する実践研究—遂行課程におけるゲーム局面および攻撃テンポに着目して—．体育学研究，57(2)：699-720.
- 真鍋政義(2011) 精密力—日本再生のヒント—．主婦の友社：東京，pp.106-107.

- 水谷 豊（1995）バレーボールその起源と発展．平凡社：東京， pp. 40-65,
pp. 174-175.
- 都沢凡夫・朽堀申二・福原祐三・川田公仁・藤原道生・今村好一郎・三屋
裕子・重永貴博・白海波・宮本佐知子（1995）バレーボールのサイドア
ウトに関する研究(5)．筑波大学運動学研究， 11:63-78.
- 都沢凡夫・塚本正仁（1999）スパイク理論に関する研究—フォアスイング
について—．バレーボール研究， 1(1)：9-15.
- 都沢凡夫（2005）Thinking Volleyball 100Q 入魂．日本文化出版：東京，
pp. 10-17.
- 吉田清司(2008) トップアナリストが観る「北京オリンピック世界の戦術」.
月刊バレーボール， 68（18），日本文化出版：東京， pp. 46-49.
- 吉田敏明・箕面憲吾（2001）25点ラリーポイント制のバレーボールゲーム
におけるゲーム結果と得点に直接関連する技術との関係．スポーツ方法
学研究， 14(1)：13-21.
- 和田尚・阿江通良・遠藤俊郎・田中幹保（2003）バレーボールのスパイク
動作における体幹のひねりに関するバイオメカニクス的研究．バレーボ
ール研究， 5(1)：1-5.