

[原 著]

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動き —

橋 原 孝 博 *
(昭和62年9月22日受付)

A kinematic study on the volleyball spiking motions in international players :
the effective hitting motion on the finger height at impact and on the ball
velocity just after impact

Yoshihiro HASHIHARA
(Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences)

Abstract

This study was designed to analyze the spiking motions of international players, and to provide these information with clarifying the effective hitting motion on the finger height at impact and on the ball velocity just after impact. Soviet, Cuban, Polish and Japanese male players who participated in the 1981 World Cup Volleyball Games held in Tokyo were filmed at 100 f.p.s. with two 16mm cinecameras during the games. 23 spikings performed successfully were selected for the analysis, and were digitized from the start of the approach run to the end of the swing in the air. 24 three dimensional coordinates for the segment endpoints and the ball were computed by the Direct Linear Transformation Method. The kinematic data were obtained from the 3D coordinates. The results and findings were summarized as follows ;

The finger height from the court floor at impact ranged from 2.93 to 3.33m. The average impact position of the ball was 23cm forward, 27cm right-side, and 54cm above from the center of the head. The heigher impact position seemed to result from the extension of the right arm joints during the forward swing of the spiking. The extension of the right arm joints almost synchronized with the flexion of the left arm joints and the extension of the knee joints. This suggested that swinging the left arm and shanks downward should be one of the important motions in increasing the impact position.

Peak velocities of the finger, elbow, and shoulder during the forward swing increased nearly twice as much in order of the shoulder, elbow, and finger. With the increase in the peak shoulder velocity, the finger velocity at impact increased. The larger peak shoulder velocity seemed to result from the increase in the trunk angular displacement. These results suggested that swinging the trunk forward should be one of the important motions in increasing the finger velocity at impact. On the other hand, the ball velocity

* 広島大学総合科学部

just after impact should be influenced by the flight length of the body in the air. The horizontal displacement of GG from the release to the landing ranged from 0.51 to 2.06m. The ratio of the GG velocity at impact to the ball velocity just after impact ranged from 3.9 to 13.7%.

I 緒 言

高い打点で強く打撃することは、バレーボールにおいて用いられるスパイク、時間差攻撃、移動攻撃などに共通に内在する運動過程であり、松田(1981)の「基本の運動の捉え方」に従えば、スパイクにおける基礎的技術の一つとみなすことができる。それ故、高い打点で強く打撃することは、実践場面においてスパイク技術を身につける際、最も重要なポイントの一つとして指摘され、また、これまでに報告されてきたスパイクに関する研究もこの点に関するものが多い。ただ、スパイクに関する従来の研究成果は跳躍高や打撃後のボール速度に関するものが多く、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術そのものについては明確にされているとは言えない。

現在一流とよばれている選手の多くは合目的・合理的運動過程(運動技術(金子, 1968))を身につけ、ゲームという競技の場で確実に発揮できるようトレーニングに励んでいると思われる。従って、ゲーム中の一流選手の運動動作を分析すれば運動技術を明らかにするための資料を得ることができると考えられる。そして、このようなフィールド実験的研究方法により得られた知見は実践の場から得られたものであることから、実験室的研究方法のように数多くの検証実験を積み重ねる必要がなく、一般に還元できるものであるが、ゲーム中の選手の運動動作を定量的に分析する方法や精巧な測定・分析装置がなかったことなどの理由により、これまでフィールド実験的方法による運動技術の解析はほとんど行われず、報告されてきた研究成果の大部分が実験室的方法によるものであった。しかしながら最近では、コンピューターやフィルム分析装置の発達、あるいは分析方法の開発(3次元映画撮影法)などにより、このフィールド実験的方法による研究も可能になってきている。

多和(1972)は「運動動作の中から運動技術を発見するためには、力学的・生理学的・解剖学的・形態学的な原理原則に適合するものの存在を確認することが必要である」と述べている。従って、3次元映画撮影法によりとらえた各一流選手のスパイク動作の中から運動技術を究明するためには、スパイクにおける運動成果(例えば、打点高や打球速度)と運動過程との関係をバイオメカニク的に検討することが役立つ。そこで本研究では、スパイク技術を身につけて、それが発揮されていると考えられる一流選手の競技中のスパイク動作を3次元映画撮影法によりとらえ、「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動き」を、打点高及び打球速度と空中でのスイング局面に関する各種測定項目との関係を検討することにより究明していくことにする。

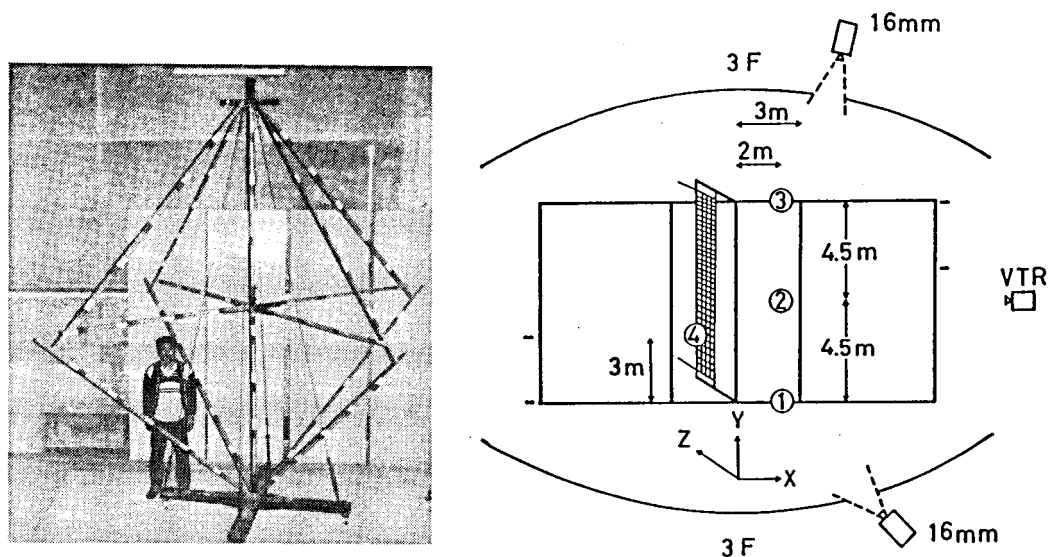


図1 左図：本研究で用いた較正器（自作，高さ4m，横幅4m）
 右図：撮影現場におけるカメラ位置と較正器の位置
 （ワールドカップ'81会場は代々木体育館）

II 方法

撮影対象はバレーボールワールドカップ'81東京大会のソ連対キューバ，ポーランド対日本戦における男子一流選手の試合であった。試合に先立って，図1左図で示す較正器を図1右図の①で示す位置に設置し，3階席に固定した2台の16mmシネカメラ（フォトソニックス社製1PL，交流電源駆動式）で撮影した。同時にセンターラインとレフトサイドラインの交点を原点として，較正点（較正器の各支柱に巻かれた色違いのテープで区切られた箇所）から吊した分銅が示すコート位置（サイドライン方向をx方向，センターライン方向をY方向とする原点からの距離）を実測した。なお，較正点の鉛直距離は分銅の床からの高さをノギスで実測し，後でこれに吊した糸の長さを加えた値とした。①の地点における撮影と実測が終了した後，較正器を撮影範囲全体に分布するよう，②，③，④の地点へと順次移動させ，撮影と較正点の3次元座標の実測を繰り返した。このようにして得られた較正点に関する2次元及び3次元座標から連立方程式を立て，最小二乗法を使用して正規方程式を求め，これを解くことにより各カメラごと11個のDLT係数（Direct Linear Transformation Parameters (Shapiro, 1979, Walton, 1979)）を算出した。

スパイク動作の撮影は相手側のサーブ開始時からスパイカーが打撃を終了して着地するまでを2台の16mmシネカメラにより同時に撮影した。撮影スピードは毎秒100コマで，露出時間は1/400秒であった。また，時間較正のためパルスジェネレーターより発する信号（100 Hz）をフィルムに同時記録した。分析試技はバレーボールを熟知したもの（バレーボール国際公認コーチインストラクター及びコーチ）が試合会場で撮影したVTR及び16mmフィルムを観察することにより，撮影した全試技を評価し，動作がスムーズであること，跳躍が高く打撃も強いこと，しかもサイドアウトを得ることに成功したスパイク動作を23試技選択した。

このようにして撮影・選択したスパイク動作のフィルムを各カメラごと分析装置（シャープ M Z80 B パーソナルコンピューターとビッドパットワン座標読み取り装置を RS232C I/O ボードを介して接続したフィルム分析システム）にかけ、助走開始10コマ前からスパイク終了の着地後10コマまで1コマごとに身体各部位23点及びボールの2次元座標を読み取った。そして同期フレーム（例えば、インパクトの瞬間）を基準にして、両カメラの2次元座標を同期調整した後、この同期調整した各カメラごとの2次元座標と既に算出している各DLT係数から連立方程式を立て、最小二乗法を使用して正規方程式を求め、これを解くことによりスパイク動作中の身体各部位23点及びボールの3次元座標を算出した。更にこれをもとに、スパイク動作中の身体各部位及び各部分の重心点の位置、各関節角度、ボールの位置、速度などの各種力学量を求めた。

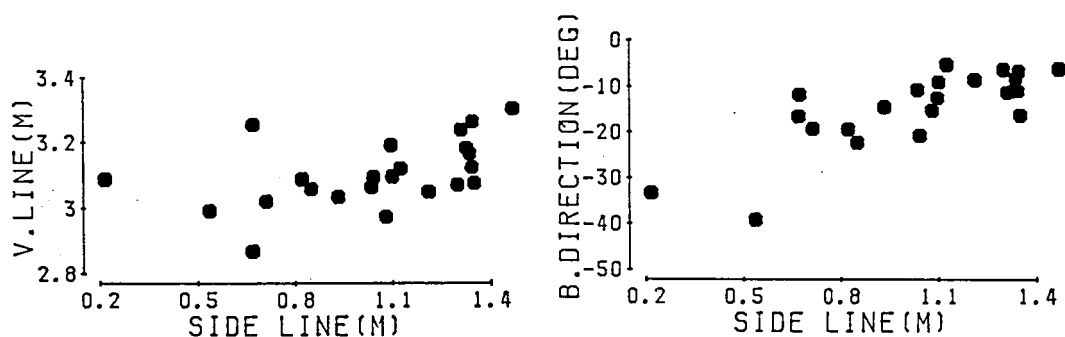


図2 左図：コート側方からみたインパクト時におけるボール位置
右図：ボール位置（ネットからの距離）とインパクト直後の打球方向（水平面に対する角度であり、負の記号は打球方向が水平以下を示す。）

III 結果と考察

1. 打点高

図2は各選手のインパクト時におけるボール位置とインパクト直後の打球方向について示したものである。インパクト時における各選手のボール位置は、鉛直方向が2.87～3.30 mの範囲、サイドライン方向が0.22～1.47 mの範囲にあり、打撃位置がネットから離れるほど打点高が高くなる傾向がある ($r=0.47, p<0.02$)。そしてインパクト直後の打球方向は、 $-5\sim-39$ 度の範囲にあり、打撃位置がネットから離れるほど打球方向が0に近くなる傾向がある ($r=0.78, p<0.001$)。現在、バレーボール攻撃面においてフォワードプレイヤーによる時間差攻撃や移動攻撃に加え、バックプレイヤーによるバックアタックも重要視されるようになってきていることもあり、スパイクでは高い打点で打撃することのできるスパイク技術をこれまで以上に身につける必要があると言えよう。

打点高を大きくするためには、最大重心高（跳躍高）を大きくするとともに、打点高と最大重心高との差（H3 (Hay, 1976)）も大きくする必要がある。そしてH3を大きくするためには、これまでの垂直跳の研究によれば、形態的要因は別として、インパクト時における身体各部分の配列

とタイミングが重要であると言われている。なお、各選手の打点高、すなわちインパクト時における床面から手先までの鉛直距離やH3は表1に示す通りである。

表1 スイング局面における各種測定項目のまとめ

試技名	打撃時の手先の高さ(m)			最大重心高 出現時点(sec)	打撃時重心 高と最大重 心高の差(m)	打撃時のボール位置(m)		打撃時の頭部中心に 対するボール位置(m)			打撃直後の 打球方向(deg)	
	床面~手先	NET~手先	H3			SL方向	鉛直方向	前後	左右	上下	左右	上下
1 YU1	3.134	0.704	1.210	-0.020	-0.002	1.035	3.064	0.276	0.294	0.567	89	-11
2 SU2	3.182	0.752	1.227	0	0	1.349	3.075	0.159	0.284	0.578	94	-16
3 WA1	3.132	0.702	1.248	0	0	1.209	3.049	0.269	0.279	0.573	63	-9
4 NA3	3.097	0.667	1.111	0.010	-0.001	0.711	3.020	0.527	0.293	0.443	36	-19
5 FU2	3.206	0.776	1.229	0	0	1.335	3.164	0.226	0.292	0.656	66	-8
6 VI2	3.329	0.899	1.213	-0.031	-0.004	1.345	3.261	0.037	0.262	0.586	47	-7
7 KU1	3.159	0.729	1.275	-0.020	-0.002	1.298	3.070	-0.011	0.302	0.626	52	-7
8 KU2	3.200	0.770	1.275	-0.061	-0.019	1.126	3.119	0.026	0.306	0.655	53	-5
9 NA1	3.266	0.836	1.224	0	0	1.309	3.236	0.179	0.286	0.594	33	-11
10 TA1	3.259	0.829	1.169	-0.051	-0.011	1.098	3.190	0.120	0.210	0.573	24	-13
11 TA2	3.191	0.761	1.149	0	0	1.343	3.122	0.208	0.289	0.525	63	-11
12 FU1	3.116	0.666	1.110	0.082	-0.016	0.933	3.034	0.223	0.238	0.523	67	-15
13 SI1	3.225	0.795	1.229	0.010	-0.001	1.326	3.180	0.083	0.083	0.607	67	-11
14 SI2	3.294	0.864	1.259	-0.020	-0.002	1.467	3.301	0.128	0.167	0.673	62	-6
15 SU1	3.090	0.660	1.129	-0.010	-0.001	1.080	2.972	0.244	0.185	0.455	88	-15
16 SA1	3.180	0.730	1.050	-0.112	-0.038	0.216	3.088	0.516	0.478	0.400	76	-33
17 SA2	3.102	0.672	1.001	-0.020	-0.002	0.537	2.991	0.420	0.450	0.307	78	-39
18 YA2	2.932	0.502	0.906	-0.071	-0.026	0.669	2.868	0.341	0.543	0.321	73	-17
19 VI1	3.250	0.820	1.160	0	0	0.671	3.253	0.029	0.208	0.604	31	-12
20 ZI1	3.184	0.754	1.202	-0.061	-0.015	1.102	3.095	0.154	0.339	0.545	44	-9
21 NA2	3.218	0.788	1.164	0.020	-0.005	1.043	3.093	0.430	0.171	0.441	76	-21
22 NA4	3.159	0.729	1.163	0.010	-0.001	0.850	3.058	0.240	-0.008	0.490	61	-22
23 YA1	3.147	0.717	1.154	0.051	-0.021	0.823	3.087	0.342	0.285	0.579	69	-20
平均	3.175	0.745	1.168	-0.013	-0.007	1.038	3.104	0.225	0.270	0.536	61	-15
SD	(0.083)	(0.083)	(0.089)	(0.041)	(0.010)	(0.318)	(0.102)	(0.152)	(0.118)	(0.100)	(19)	(8)

分析試技1~6は3歩助走,7~18は2歩助走,19~23は1歩助走のスパイク試技であり,各試技の英文字は選手名を,そして数値は各選手のスパイク数を表わす。

H3:打撃時における手先の高さと最大重心高との差

最大重心高出現時点:打撃時を0時点として示したもので,負の記号は打撃前を,正は打撃後を意味する。
打撃時の頭部中心に対するボール位置:左肩から右肩に向かう水平ベクトルがなす方向を右方向として示したものの。

打球方向:上下方向は水平面に対する角度であり,負の記号は下向きを意味する。左右方向はネットに対する角度。

2. 打点高とインパクト姿勢

バレーボールのスパイクでは,相手ブロッカーとの対応を考慮して打撃しなければならず,そのために必ずしもスパイカーが最大重心高に達した時点で打撃できるとは限らない。しかし最大重心高出現時とインパクト時が一致しないということは,打点を高くする上では不利になる。本研究における各選手の最大重心高出現時点及びインパクト時重心高と最大重心高の差は表1に示す通りである。最大重心高出現時点とインパクト時が一致しているのは,最大重心高出現時点が0秒のスパイクであり,これにはSU2の他5試技のスパイクがある。しかし,これら6試技以外のスパイクでは最大重心高出現時点はインパクト時と一致しない。すなわちSA1の他10試技のスパイクでは最大重心高の出現がインパクト時に最大0.112秒先立ち,FU1の他5試技のスパイクでは最大重心高がインパクト時より最大0.082秒遅れて出現する。そしてインパクト時と最大重心高出現時の時間差が大きくなるにつれ,インパクト時重心高と最大重心高の差が大きくなる傾向がある。しかしながら,インパクト時重心高と最大重心高の差が0~0.04mと極めて小さいので,本研究のデータの範囲内では,打点高(床面から手先までの高さ)と,インパクト時重心高と最大重心高の差との間に統計的に有意な関係は認められなかった($r=0.33$, $p<0.1$)。

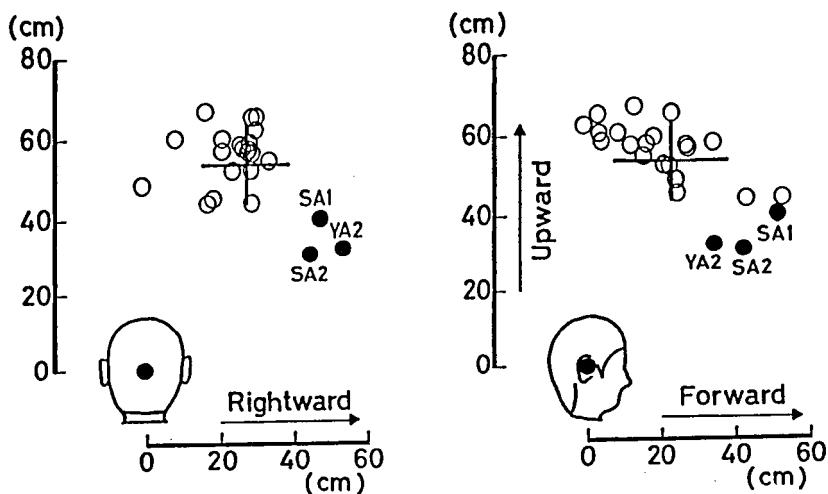


図3 打点位置（左図は後方から、右図は側方からみたもので、原点は頭部中心を示す。また、十字の印は平均値である）

図3は各選手の打点位置をインパクト時の頭部中心とボール中心との位置関係から示したものである。左図についてみると、打点位置が最も高いのは頭部中心の右側方約20cm付近である。打撃位置がこれよりも右側に移動すると打点位置は急激に低くなる。また、打撃位置がこれよりも左側に移動しても打点位置は低下する傾向がある。右図についてみると、打点位置が最も高いのは頭部中心の真上から前方約20cmの範囲である。打撃位置がこれよりも前方に移動すると打点位置は急激に低くなる。

打点位置はスパイカーの意志ばかりでなくトスされたボールの高さにも影響を受ける。例えば黒丸で記したSA1, SA2, YA2はBクイックのスパイスであり、このようなスパイクでは、打点位置はほとんどセッターが上げたトスの高さにより決定されると言ってもよい。しかし、ここでもし打点位置が最も低かったSA2が平均的な打点位置（頭上54cm）で打撃していたとすれば、彼の打点高は3.33mにもなり、被験者の中で最も大きい値となる。なお、打点位置（鉛直方向）とH3との相関係数は0.90 ($p < 0.001$)であった。従って、インパクト時において右肩の前上方でボールを捉えることは、打点高と最大重心高との差を大きくすることができ、大きな打点高を得るのに役立つと考えられる。

3. 打点高とスイング動作

図4は離地時からインパクト時までの右腕に関する角度変化を平均値により示したものである。なお、図上端に付したスティックピクチャーは一流選手の平均的なバックスイング及びフォアスイング動作を示したものである。フォアスイング局面に着目すると、上腕はTF時では肘を肩の後方に引き水平に倒された姿勢をとっている。TF時における上腕及び肩関節角度はそれぞれ92° 95度である。フォアスイングが開始されると、上腕は肩関節を伸展しながら身体の前上方へとスイング

されるため、上腕及び肩関節角度とも急激に大きくなる。FF時では上腕はほぼ肩の位置までスイングされ、以後、肩関節がもう少し伸展されて、上腕はやや前傾した状態でインパクトに至る。I時における上腕及び肩関節角度はそれぞれ152、148度である。

一方、前腕はTF時では肩の側方で手先を身体の前上方に上げた姿勢をとっている。フォアスイングが開始されても前腕はまだ前方スイングされず、手先を身体内側に向けて肩の後方へ引かれるため、肘関節角度がわずかに小さくなる。そしてUF時頃から、前腕は肩の後方で肘関節を伸展しながら手先が円を描くような動きをするので、前腕角度が急激に小さくなり、FF時で最小になる。FF時における前腕角度は114度である。その後、前腕は肘関節の伸展に伴って、身体の前上方へとスイングされ、ほとんど鉛直に近い状態でインパクトに至る。I時における前腕及び肘関節角度はそれぞれ164、155度である。

従って、打点高を大きくするには肩及び肘関節角度が大きくなるように、フォアスイング中、上腕そして前腕を鉛直に近く立てることが必要である。しかし上腕がやや前傾し、肘及び肩関節が若干屈曲した状態でインパクトしていた状況から、高い打点で打撃することばかりでなく強く打撃するという事も合わせて考えれば、何か相対的に至適な関節角度が存在しそうである(橋原, 1987)。

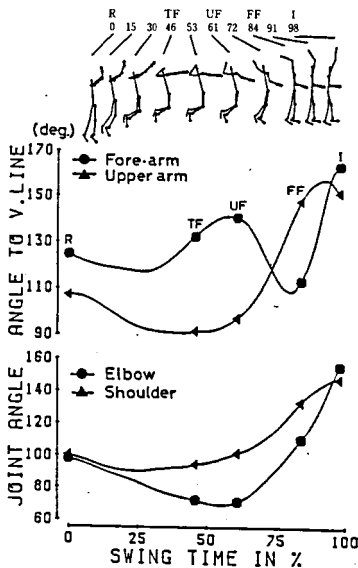


図4 離地時からインパクト時までの右上腕、前腕、肩関節、肘関節角度変化 (Rは離地時、TFは胴体スイング開始時、UFは上腕スイング開始時、FFは前腕スイング開始時、Iはインパクト時の各時点を示す)

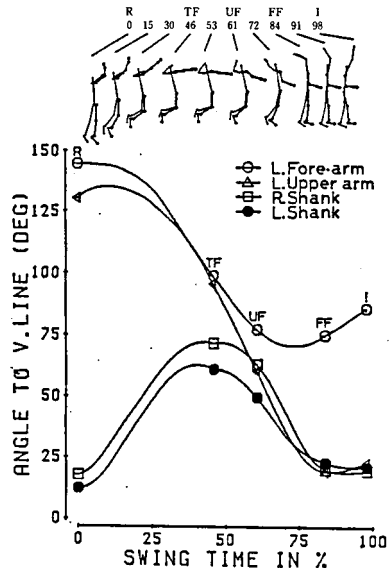


図5 離地時からインパクト時までの左腕及び下腿の角度変化

図5は離地時からインパクト時までの左腕及び下腿の角度変化を平均値で示したものである。左前腕及び上腕角度は、離地後わずかに大きくなった後、徐々に小さくなるが、TF時にはそれぞれ99、96度であり、左腕は水平付近に保たれている。フォアスイング開始と同時に左腕は肘関節を屈曲しながら急激に振り下ろされ、前腕及び上腕角度はFF時付近で最小となる。FF時における前

腕及び上腕角度はそれぞれ75, 19度である。以後、左腕は姿勢を大きく変化させずインパクトに至る。

下腿角度は離地後、急激に大きくなり、TF時付近で最大となる。TF時における下腿角度は右左それぞれ72, 61度である。フォアスイング開始と同時に下腿は膝関節の伸展により振り下ろされ、下腿角度はFF時付近まで急激に減少する。FF時における下腿角度は右左それぞれ20, 23度である。以後、下腿角度はほとんど変化せずインパクトに至る。

従って、バックスイング終了時まで下腿を身体後方に振り上げながら、左腕を身体前面で水平以上に保ち、フォアスイング開始と同時に左腕及び下腿を振り下ろすことは、右腕を高く上げた位置でインパクトするのに役立つと考えられる。これは、投射された身体重心の軌跡が空中では変えられないため、左腕及び下腿の重心を下げることは、他の身体部分の重心がその分だけ上がることになるからである。

表2 スイング局面における各種測定項目のまとめ

試技名	打球速度(m/s)			打球速度と打撃時の手先速度との差(m/s)	右腕各部位の最大速度(m/s)			肩-腰角度(deg)		打撃時の打球速度に対する割合(%)	跳躍距離(m)	
	水平	鉛直	合成		肩	肘	手先	後打時	打撃時			角度位
1 YU1	20.176	-3.891	20.548	3.145	4.628	8.563	18.858	117	73	44	11.4	1.320
2 SU2	22.918	-6.798	23.905	5.842	4.749	9.032	18.756	119	79	40	5.2	0.672
3 WA1	23.270	-3.631	23.552	6.750	4.451	8.220	18.466	114	81	33	8.2	1.158
4 NA3	18.934	-8.185	20.080	3.280	5.268	9.509	17.434	110	72	38	11.2	1.585
5 FU2	21.257	-3.207	21.498	4.928	3.891	8.896	17.936	119	89	30	3.9	0.597
6 VI2	24.242	-2.965	24.422	9.326	3.367	6.770	15.730	118	81	37	5.0	0.807
7 KU1	27.701	-3.198	27.885	9.951	4.786	10.262	20.157	120	82	38	7.9	1.324
8 KU2	25.704	-2.474	25.823	9.029	3.540	9.358	17.689	119	88	31	6.3	1.087
9 NA1	21.334	-4.338	21.770	6.201	5.263	9.175	16.656	121	79	42	6.1	0.876
10 TA1	17.854	-4.045	18.306	0.919	4.410	8.364	17.583	121	84	37	10.6	1.281
11 TA2	24.997	-4.945	25.482	8.764	4.912	9.088	17.084	117	74	43	7.5	1.338
12 FU1	22.803	-5.986	23.578	6.485	5.773	11.561	17.368	121	79	42	8.3	1.183
13 SI1	27.867	-5.505	28.406	13.106	5.650	8.636	16.436	110	82	28	5.6	1.417
14 SI2	26.518	-2.991	26.687	9.025	6.015	8.912	18.277	114	84	30	5.1	1.216
15 SU1	18.049	-4.993	18.727	4.777	3.615	9.070	14.972	121	93	28	5.7	0.746
16 SA1	13.965	-9.230	16.739	2.211	3.504	8.127	16.235	115	91	24	6.4	0.510
17 SA2	17.066	-13.972	22.056	5.247	4.752	9.162	19.655	116	93	23	4.9	0.564
18 YA2	20.262	-6.107	21.162	3.611	6.515	10.462	20.560	118	67	51	13.7	2.064
19 VI1	20.642	-4.374	21.101	4.413	5.618	10.416	19.228	116	75	41	8.2	1.434
20 ZI1	19.848	-3.257	20.113	4.168	4.079	7.196	18.318	116	76	40	7.7	1.057
21 NA2	21.146	-8.067	22.632	5.987	4.280	9.300	17.714	118	78	40	7.1	0.863
22 NA4	17.908	-7.412	19.382	6.041	3.374	9.171	13.590	123	101	22	7.1	0.707
23 YA1	19.547	-6.984	20.758	4.087	4.833	8.997	17.159	125	92	33	7.0	1.012
平均	21.479	-5.502	22.374	5.969	4.664	9.054	17.646	118	82	35	7.4	1.079
SD	(3.570)	(2.667)	(3.072)	(2.846)	(0.891)	(1.026)	(1.624)	(4)	(8)	(8)	(2.4)	(0.377)

分析試技1~6は3歩助走, 7~18は2歩助走, 19~23は1歩助走のスパイク試技であり, 各試技の英文字は選手名を, そして数値は各選手のスバイク数を表わす。

肩-腰角度: 腰中点から右肩に向かうベクトルが水平前向きのベクトルとなす角度。

腰角度変位: 胴体の最大後傾時から打撃時までの角度変位。

跳躍距離: 離地時から着地時までの身体重心の水平変位。

4. 打球速度

本研究におけるインパクト直後のボール速度は表2に示すように, 最大S I 1の28.4 m/sから最小S A 1の16.7 m/sの範囲にあり, 平均では22.4 m/sであった。得点を得るための効果的な打撃をするには, これまでみてきたような打点の高いスパイクをするばかりでなく, 打球の速度が大きいスパイクをすることも重要である。朝比奈ら(1963)は男子一流選手の打球速度は最大27 m/s, 女子では18 m/sに達し, これは単純計算によればバレーボールコートのネットからバックラインまでを男子では0.3秒, 女子では0.5秒で飛び去ることになる。これに比べ, ヒトの反応時間

(全身反応時間)は0.33秒かかるので、特に男子の場合、全力で打撃されたボールは反射的に手を出すのみで、移動してレシーブすることは不可能に近いと述べ、強く打撃することが得点を得るために効果的であることを示唆している。

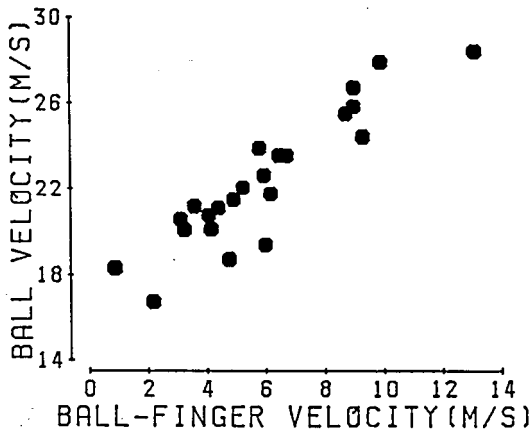


図6 インパクト直後のボール速度からインパクト時の手先の速度を差し引いた値と、インパクト直後のボール速度との関係

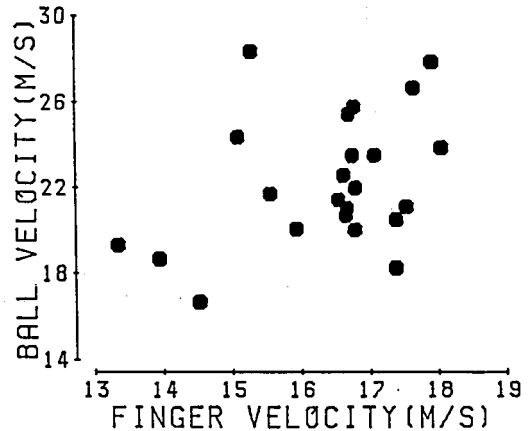


図7 インパクト時における手先の速度と、インパクト直後のボール速度との関係

5. 打撃の強さとスイング動作

図6はインパクト直後のボール速度からインパクト時の手先の速度を差し引いた値とインパクト直後のボール速度との関係を示したものである。各選手のインパクト直後のボール速度からインパクト時の手先の速度を引いた値は最大13.1 m/s から最小0.9 m/s の範囲にあり、この値が大きいものほどボール速度が大きくなっている ($r=0.91, p<0.001$)。従って、強い打撃をするためにはインパクト時におけるボールの捉え方 (手掌のボールへの当て方や身体各部分のインパクト姿勢) が重要であると考えられる。

強い打撃をするためには、このようにボールへの手の当て方やインパクト姿勢が重要であるが、インパクト直前にできるだけ手の速度を大きくすることも重要である。図7はインパクト時における手先の速度とインパクト直後のボール速度との関係を示したものである。各選手のインパクト時における手先の速度は最大18.1 m/s から最小13.3 m/s の範囲にあるが、このうち約15~18 m/s の範囲に含まれているものが多く、統計的にみれば手先の速度とボール速度との間に有意な関係が認められない ($r=0.38, p<0.05$)。しかし、手先の速度が約15 m/s 以下のスパイク試技を尊重して図全体を見れば、インパクト時における手先の速度が増加するにつれ、インパクト直後のボール速度は大きくなる傾向が認められることから、今後さらに分析数を増し、ボールや手先速度の偏差の大きいものも含めて再検討する必要があると考えられる。

図8はフォアスイングにおける右腕各部位の速度変化を平均値で示したものである。フォアスイングが開始されると、胴体の前方屈曲に続いて上腕が前方にスイングされるため、肩や肘の速度は増加し、F F時直前で最大になる。最大になるタイミングは肩の方が肘よりもわずかに早く、最大

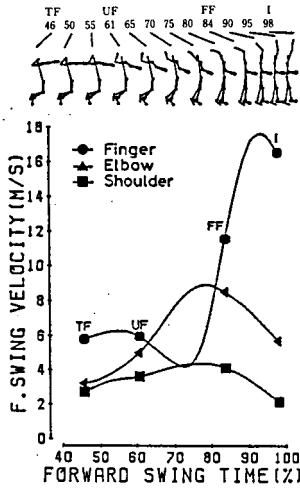


図8 フォアスイングにおける右腕各部位の速度変化

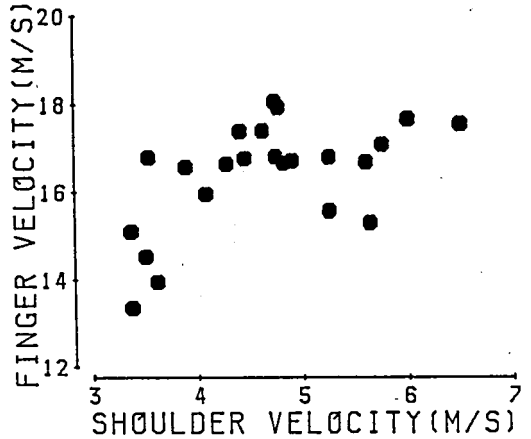


図9 肩の最大速度とインパクト時の手先速度との関係

値は肩が4.4 m/s、肘が8.8 m/sである。以後、肩及び肘の速度は減少するが、肘関節伸展による前腕の前方へのスイングが開始され、手先の速度が急激に増加する。手先の速度はI時直前で最大になり、最大値は17.4 m/sである。その後、手先の速度はわずかに減少してインパクトに至る。従って、平均的にみれば肩、肘、手先の順に最大速度が出現し、また、最大速度も順に約2倍ずつ大きくなっていることがわかる。なお、各選手の肩、肘、手先の最大速度は表2に示す通りである。

図9は肩の最大速度とインパクト時の手先の速度との関係を見たものである。各選手の肩の最大速度は3.4~6.5 m/sの範囲にあり、肩の最大速度が大きくなるにつれ、インパクト時の手先の速度は大きくなる傾向がある ($r=0.56, p<0.001$)。従って、これまでの結果をもとにすれば、インパクト時の手先の速度を大きくするためには、一つには肩の速度を大きくすることが重要であると考えられる。

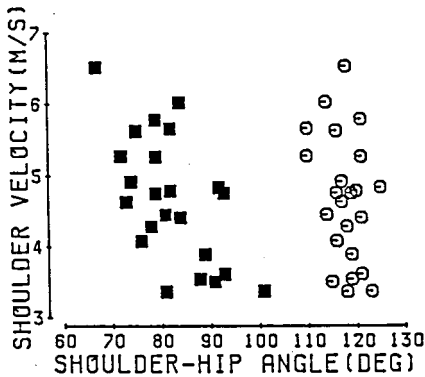


図10 胴体の最大後傾時 (○) 及びインパクト時 (■) における肩-腰角度と肩の最大速度との関係
(肩-腰角度とは左右の腰の midpoint から右肩へ向かうベクトルが腰 midpoint を通る水平前向きのベクトルとなす角度である)

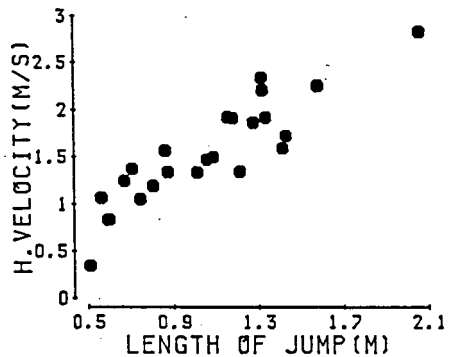


図11 離地時から着地時までの身体重心の水平変位からみた跳躍距離と、インパクト時における身体重心の水平速度成分との関係

図10は胴体の最大後傾時及びインパクト時における肩-腰角度と肩の最大速度との関係を示したものである。最大後傾時の肩-腰角度は肩の最大速度が変化しても変化せず、平均118度でほとんど一定の値を示す。しかしながら、インパクト時における肩-腰角度は角度が小さくなるほど（胴体の前傾が大きいくほど）肩の最大速度が大きくなる傾向があり（ $r=-0.59, p<0.001$ ），最大後傾時からインパクト時までの肩-腰角度変位（表2）が大きいものほど、肩の最大速度は大きくなる傾向がある（ $r=0.51, p<0.001$ ）。従って、フォアスイング中、胴体をひねるようにして腰関節を前方屈曲させることは、肩-腰角度変位を大きくすることができ、同時に肩そして手先の速度を大きくすることもできて、強い打撃をするのに役立つと考えられる。

6. 打撃の強さと跳躍距離

インパクト直後のボール速度は、インパクト姿勢やフォアスイング動作など身体各部分の動きによって生み出されたものと、身体全体が空中移動することによって生じたものとに分けて考えることができよう。長尾（1975）はレシーバーが打撃後のボールを「重い」と感じるスパイクを行うものと、「軽い」と感じるスパイクを行うものの動作を比較し、「重い球を打つものは、踏込位置が打点位置より後方で着地は逆に大きく前進しており、身体重心の打球方向への移動量が大きいので、強い打撃をするためには空中での身体のみねりに加え、跳躍距離を大きくすることも有効である」と述べている。

図11は跳躍距離とインパクト時における身体重心の水平速度成分との関係をみたものである。各選手の跳躍距離は最大2.06 m から最小0.51 m の範囲内にあり、平均では1.08 m であった。そして跳躍距離が長いものほど、インパクト時における重心速度の水平成分は大きくなっている（ $r=0.89, p<0.001$ ）。従って、跳躍距離が長いスパイクジャンプをすれば、インパクト時における身体重心の速度を大きくすることができ、強い打撃をするのに役立つと考えられる。しかしながら、インパクト直後のボール速度に対するインパクト時の重心速度の割合、換言すれば打球速度に対する貢献は、表2に示す通り最大13.7%から最小3.9%の範囲にあり、かなり小さい。そのため本研究のデータの範囲では、跳躍距離と打球速度との間に統計的に有意な関係は認められなかった（ $r=0.24, p<0.2$ ）。

IV まとめ

本研究では、スパイク技術を身につけて、それが発揮されていると考えられる一流選手の国際大会におけるスパイク動作を3次元映画撮影法によりとらえ、打点高及び打球速度と空中でのスイング局面に関する各種測定項目との関係をバイオメカニクスの観点から検討することにより「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動き」を究明しようとした。

打点高を高くするためには、①右の肩及び肘関節を伸展させ、ボールを右肩の前上方でとらえること、②バックスイング終了時まで下腿を身体後方に振り上げながら、左腕を身体前面で水平以上に保ち、フォアスイング開始と同時に左腕及び下腿を振り下ろすことが役立つと考えられた。なお、

打点高を高くするためには重大重心高とインパクト時のタイミングを一致させることも重要であると考えられるが、本研究では最大重心高出現時はインパクト時付近にあった。

インパクト直後のボール速度を大きくするためには、フォアスイング中、胴体をあおるようにして肩-腰関節角度変位を大きくし、肩そして手先の速度を大きくすることが役立つと考えられた。なお、強い打撃をするためにはこれらスイング動作に加え、跳躍距離を長くすることも有効である。しかしながら本研究では、この跳躍距離が打球速度に及ぼす貢献は極めて小さかった。

〈引用・参考文献〉

- 1) 朝比奈一男ほか (1963) 「1962年度バレーボール強化選手の体力測定結果, 日本体育協会スポーツ科学研究委員会, 10. (豊田博 (1968) 「バレーボールのトレーニング」 種目別現代トレーニング法, 大修館書店, 395-512.)
- 2) 橋原孝博 (1987) 「胴体および上肢関節の静的屈曲力・伸展力からみたバレーボールスパイク技術の検討」 広島体育学研究, 13: 1-9.
- 3) Hay, J. G., Wilson, B.D. and Dapena, J.D. (1976) Identification of the limiting factors in the performance of a basic human movement, Biomechanics V-B, University Park Press, 13-19.
- 4) 金子明友 (1968) 「運動技術論」 序説運動学, 大修館書店, 89-116.
- 5) 松田岩男 (1981) 「子供にとって「基本の運動」とは何か」 体育の科学, 31-6: 329-95.
- 6) 長尾愛彦 (1975) 「球技における球質に関する解析学的・体質学的研究 (第一報バレーボールにおけるいわゆる“重い球” “軽い球” についての解析学的・体質学的研究)」 体質医研報, 25-3・4: 14-32.
- 7) Shapiro, R. (1978) Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography, Research Quarterly, 49-2: 197-205.
- 8) 多和健雄 (1972) 「運動技術学とは」 現代体育学研究法, 大修館書店, 403-10.
- 9) Walton, J. S. (1979) Close-range cine-photogrammetry: another approach to motion analysis, Science in biomechanics cinematography, Academic Publishers, 66-97.