

## バレーボールのスパイク技術に関する運動学的研究

—大きな跳躍高を得るための踏切準備動作として役立つ動き—

橋原 孝博, 小村 堯, 宮原 満男

広島大学総合科学部保健体育講座

(1987.10.21 受理)

### **A kinematic study on the volleyball spiking motions in international players : the preparatory motion for effective takeoff on the jumping height**

Yoshihiro HASHIHARA, Takashi KOMURA and  
Mitsuo MIYAHARA

#### **Abstract**

This study was designed to analyze the spiking motions of international players, and to provide these information with clarifying the preparatory motion for effective takeoff on the jumping height. 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. 23 three dimensional coordinates for the segment endpoints 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 ;

In order to increase the jumping height, the approach velocity just before takeoff should be increased up to nearly 4m/s. The approach velocity at the end of each step phases was significantly related with the horizontal CG displacement in each step phases, while there was no significant correlation with the vertical CG displacement. The stride length of each steps increased nearly twice as much in order of 3, 2, 1 step phases before the takeoff. With the increase in the stride length, the horizontal CG displacement increased. These results suggested that increasing the stride length should be one of the important motions for increasing the jumping height. In particular, the phase just before takeoff might be important phase for increasing the jumping height, because the longest stride length seemed to result from the motions of swinging the arms backward and flexing the trunk forward during the flight period in the phase.

## 緒 言

高い打点で打撃することは、バレーボールにおいて用いられるスパイク、すなわちクイックスパイク、オープンスパイク、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<sup>13)</sup>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運動成果（例えば、跳躍高）に関するものが多く、高い打点で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。

現在一流と呼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)<sup>9)</sup>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ことと思われる。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<sup>10)</sup>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を確認していくことが必要である」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、跳躍高)と運動過程との関係をバイオメカニクスの観点から検討することが役立つ。

助走局面の課題の一つは、身体を空中に高く上げ、高い打点で打撃するための効果的な踏切動作が行えるように準備し、姿勢を作ることである。そして、身体を空中に高く上げるためには、これまでの文献をもとにすれば、踏切に移行する瞬間の助走速度を大きくすることが重要であると考えられる。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、「跳躍高を大きくするための踏切準備動作として役立つ動き」を助走速度と助走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。

## 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で示す位置に接地し、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IPL、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

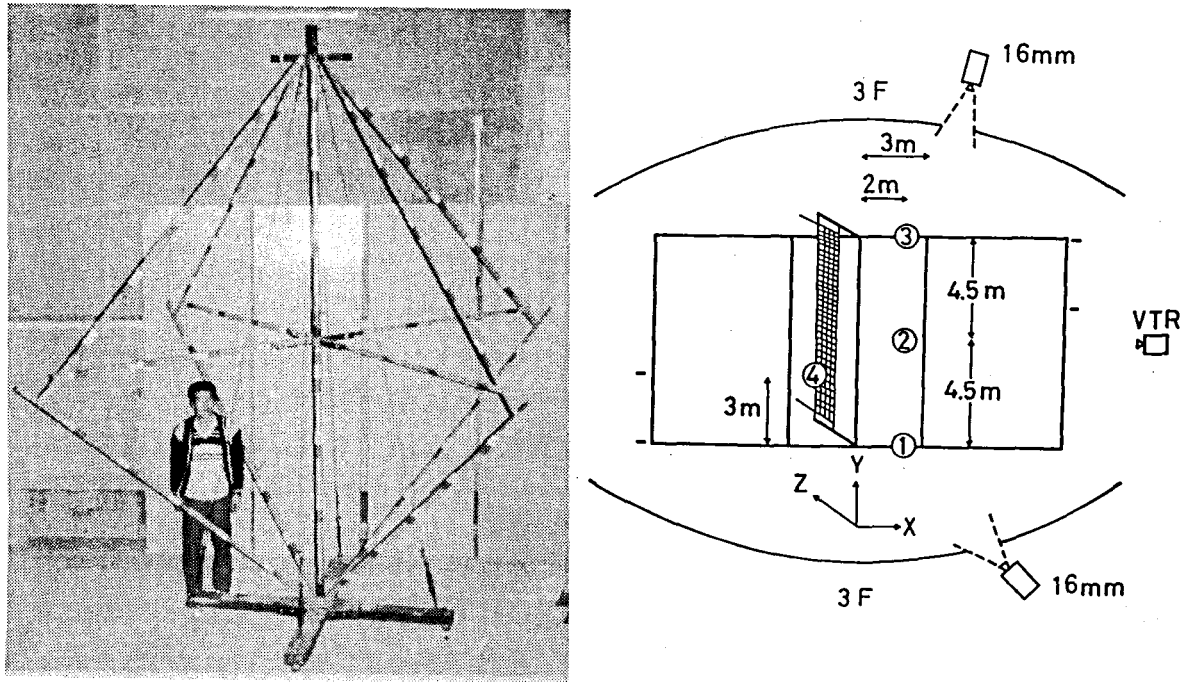


図1 左図：本研究で用いた較正器（自作，高さ4 m，横幅4 m）  
右図：撮影場面におけるカメラ位置と較正器の位置（'81ワールドカップ会場は代々木体育館）

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<sup>15), 19)</sup>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（100Hz）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MZ80B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ある各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、速度、各関節角度などの各種力学量を求めた。

### 結果と考察

#### 1) 跳躍高と踏切に移行した瞬間の助走速度

図2は一流選手の跳躍高と踏切に移行した瞬間の身体重心の水平速度からみた助走速度との関係図に、大学男子選手の跳躍高、助走速度<sup>7)</sup>(助走歩数を1～5歩と変えて助走することにより助走速度を変化させた。ただし空中でボールを打撃していない)を白丸で併記して示したものである。各一流選手の助走速度は最小2.61m/sから最大4.39m/sの範囲にあり、助走速度が大きくなるにつれ各選手の跳躍高は増加することがわかる。また、一流選手の跳躍高は空中でボールを打撃しているにもかかわらず、大学選手の跳躍高よりも大きい。そして全体的にみると、跳躍高は助走速度が約4m/s付近が最も大きく、助走速度が約4m/sより大きくても小さくても跳躍高は小さくなるのがわかる。従って、一流選手、大学選手と跳躍高の大きさに違いはあるにしても、大学選手の結果を参考にすれば、バレーボールのスパイクジャンプ

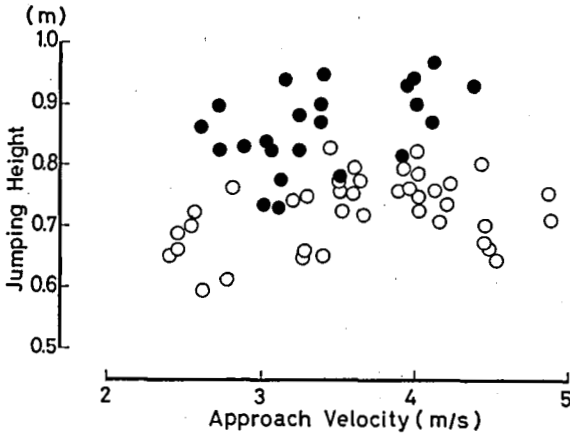


図2 一流選手及び大学選手(橋原ほか, 1983<sup>7)</sup>)による跳躍高と助走速度との関係(●は一流選手, ○は大学男子選手の結果を示す。なおここで、跳躍高とは空中での最大重心高と立位時重心高との差であり、助走速度とは踏切に移行した瞬間の身体重心の水平速度である)

プで大きな跳躍高を得るためには助走速度を約4m/sにする必要があると考えられる。

橋原ら<sup>7)</sup>は大学男子選手に助走歩数の異なるスパイクジャンプを行わせたときの助走歩数と助走速度との関係について「個人的には助走歩数が増加しても助走速度が大きくなる場合、例えば被験者MNの3歩と4歩の場合もあるが、全体的にみると助走歩数が増加するに連れて助走速度は大きくなる傾向がある」と述べている。従って、助走速度を大きくするには助走歩数を多くすることが役立つが、現在バレーボールのスパイクジャンプでは1～3歩の助走歩数が使用されており、その中でも2歩助走によるスパイクジャンプが最も多く(本研究では23試技中12試技が2歩助走である)使用されていることを考慮すれば、たとえ助走歩数は少なくとも、その中でできるだけ助走速度を大きくするにはどのような動きが役立つかを明らかにすることが重要であると考えられる。

#### 2) 助走速度と助走中の身体重心の動き

図3A, B, Cは各歩数ごとの助走速度変化を平均値と標準偏差により示したもので、D図はこれら助走速度の平均値を各歩数ごとに比較したものである。ここではD図を中心に助走速度変化を検討することにする。各助走歩数における助走開始時及び終了時の助走速度はそれぞれ踏切3歩前では1.14, 1.85m/s, 踏切2歩前では1.41, 2.44m/s, 踏切1歩前では2.32, 3.40m/sであり、踏切1, 2, 3歩前のいずれの期間においても助走速度は徐々に大きくなっていることがわかる。また各期間ごとの助走速度を比較すると、踏切3歩前よりも2歩前の方が、そして2歩前よりも1歩前の方が助走速度は大きくなっており、助走速度は踏切に近づくにつれて次第に

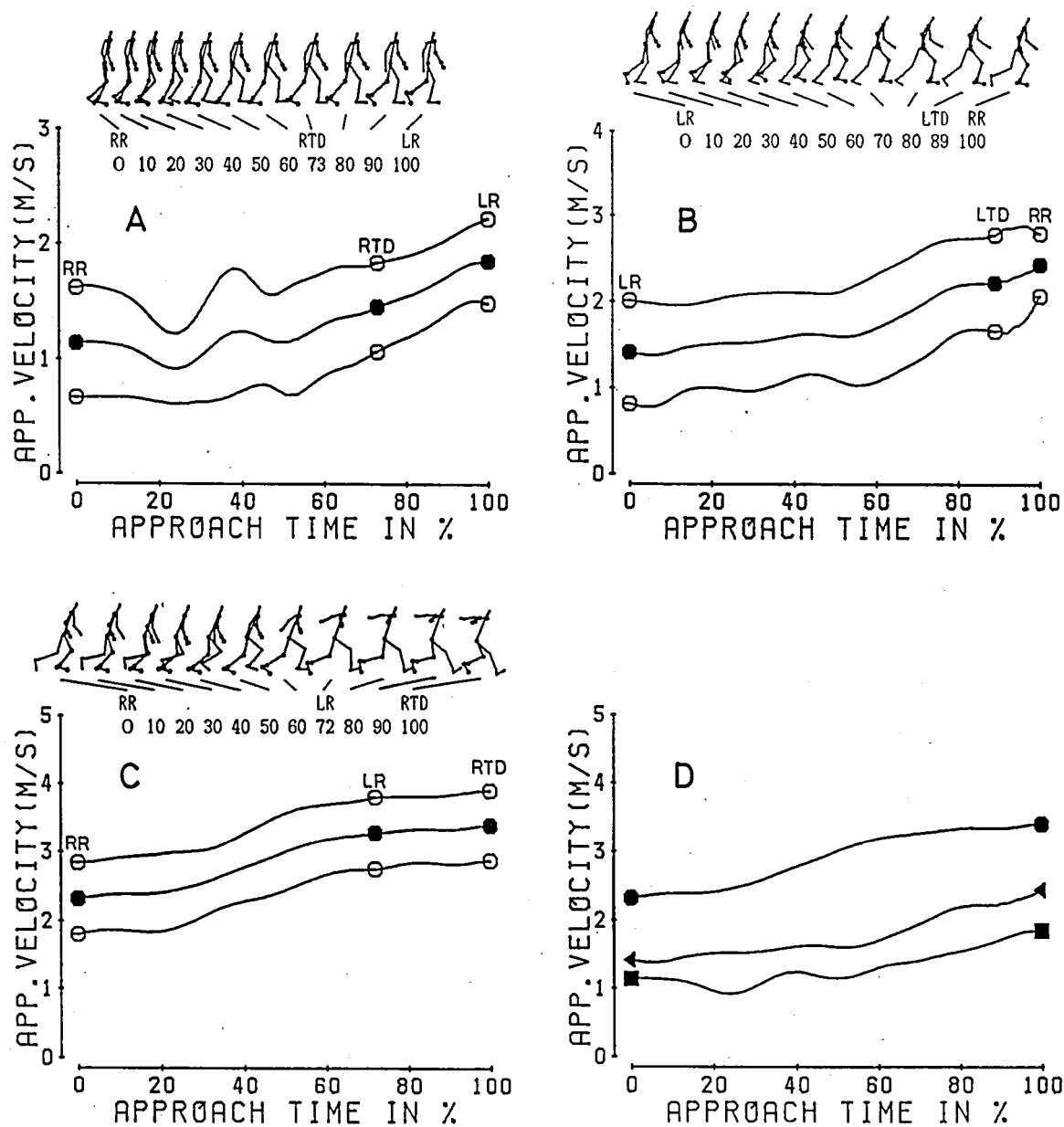


図3 助走速度変化 (A, B, C図はそれぞれ踏切3, 2, 1歩前の助走期間における身体重心の水平速度変化を平均値と±1標準偏差により示したもので、図上端のスティックピクチャーは一流選手の平均的な助走動作を経時的に示したものである。そして、D図は助走速度の平均値を各歩数ごとに比較したものであり、■, ▲, ●の線はそれぞれ踏切3, 2, 1歩前の助走速度変化である)

大きくなっていることがわかる。なおここで、踏切3歩前開始時の助走速度が0 m/sでないのは一つには本研究において助走開始時を踏み出し脚の足先が離地する瞬間としたためであり、足先が離地する以前に体幹の前傾動作が開始されていたからである。また、踏切3歩前終了時と2歩前開始時の助走速度、そして踏切2歩前終了時と1歩前開始時の助走速度の値が一致していないが、これは各助走歩数ごとの試技数が違うために生じたものである。

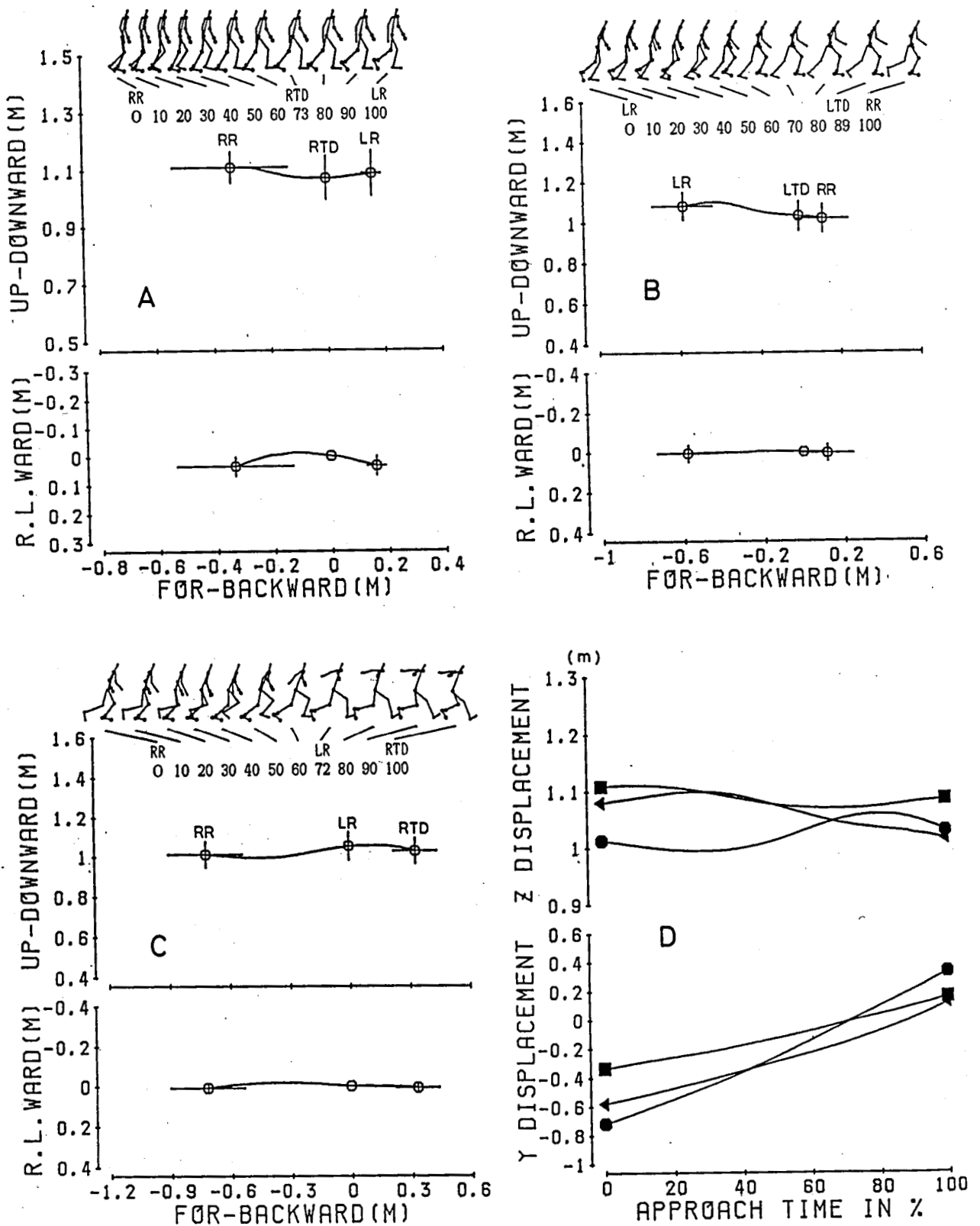


図4 助走中の身体重心の動き (A, B, C図はそれぞれ踏切3, 2, 1歩前の身体重心の位置変化を平均値により示したもので、上図が真横から、下図が真上からみたものである。なお各図中の十字の印は±1標準偏差を示している。D図は身体重心の鉛直成分と水平成分の経時的変化を助走歩数ごとに比較したものであり、■, ▲, ●の線はそれぞれ踏切3, 2, 1歩前の場合を示している)

図4 A, B, Cは助走中の身体重心の動きを示したものであり、D図はその鉛直成分と水平成分の経時的変化を助走歩数ごとに比較したものである。なお、原点は各図とも片足接地期終了時における身体重心のコート上の位置である。ここではD図を中心に助走中の身体重心の動きを検討することにする。上図についてみると、身体重心は踏切3歩前の助走開始時から踏切1歩前の片足接地期中頃(約30%付近)まで、多少の上下動はあるにせよ次第に重心高を低くしながら踏切に近づいている。そして踏切1歩前の空中期で一度重心高を高く上げた後、落ち込むようにして踏切に至っている。

助走速度を大きくするにはすばやく踏切に移ることが必要であり、そのためには重心高をあまり上下動させず、低い位置で水平に近く移動した方が移動に要する時間が短くなり、助走速度を大きくするのに役立つと思われる。それで各助走歩数ごとに最大重心高と最小重心高の差を求め(表1)、各助走歩数ごとの助走速度との関係(例えば、踏切3歩前における最大・最小重心高の差分と踏切3歩前終了時の助走速度との関係)を検討してみた。しかしながら、踏切1, 2, 3歩前のいずれの場合も、助走速度と重心の上下動の間には一義的な関係は認められなかった。

Muraseら<sup>14)</sup>はランニングスピードが違う4人の被験者(A:優秀なランナー, B:ランニングトレーニングの経験を持つが下手なランナー, C:トレーニング経験はないが上手なランナー, D:一般学生)を用い、100mランニング中の疾走フォームを側方より35mmシネカメラで撮影した。その結果、身体重心の鉛直変位はAが5.6~6.6cm, Bが6.1~8.1cm, Cが4.0~5.2cm, Dが5.8~7.0cmであり、100mランニングにおける加速, 最大, 減速の各局面を通じて被験者間に有意な差はみられなかったと報告している。Muraseらの研究はバレーボールの助走ではないけれども、重心の上下動と疾走速度との間に有意な関係がみられないという点では本研究結果と一致するものである。

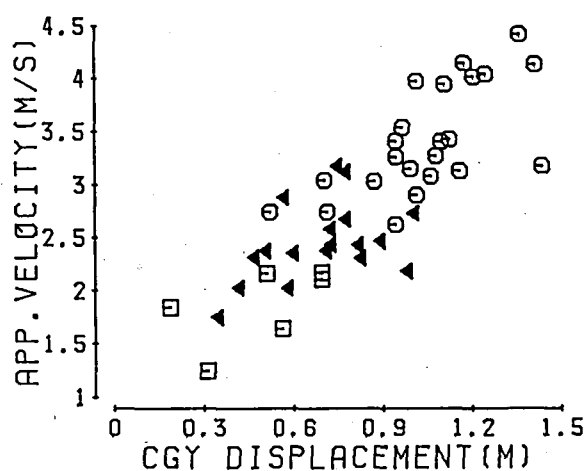


図5 各助走歩数ごとの身体重心の水平変位と助走速度との関係(○は踏切1歩前, ▲は踏切2歩前, □は踏切3歩前の場合を示し、ここで助走速度とは各助走期間終了時における身体重心の水平速度である)

下図についてみると、各助走歩数ごとの助走開始地点及び終了地点は踏切1歩前では-0.72, 0.33m, 踏切2歩前では-0.58, 0.12m, 踏切3歩前では-0.34, 0.16mであり、身体重心の軌跡は踏切1, 2, 3歩前の順番でより大きな傾斜を描いている。すなわち各助走歩数ごとの身体重心の水平変位は踏切1, 2, 3歩前それぞれ1.05, 0.70, 0.50mであり、身体重心は踏切に近づくとつれてより大きく水平移動していることがわかる。

図5は各選手の身体重心の水平変位と助走速度との関係を各助走歩数ごとに示したものである。各助走歩数ごとの助走速度は踏切3, 2, 1歩前のいずれの場合でも、身体重心の水平変位が大きくなるにつれ増加する傾向がある。また、各助走歩数ごとの助走速度及び身体重心の水平変位は踏切1, 2, 3歩前の順番で大きくなっていることがわかる。なお、助走速度と重心の水平変位との相関係数は0.82 ( $P < 0.001$ )であった。

従って、これまでみてきたことをもとにすれ

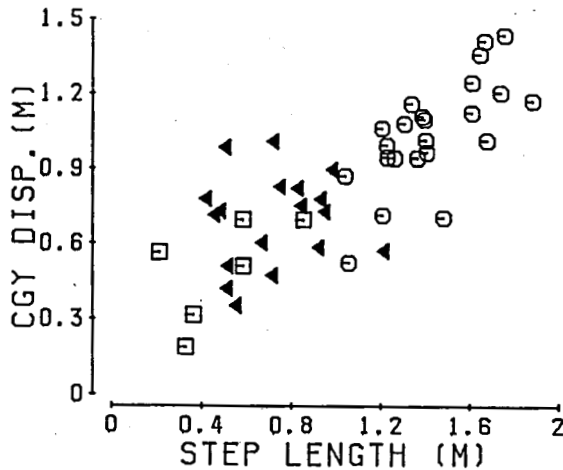


図6 各助走歩数ごとの歩幅と身体重心の水平変位との関係 (○は踏切1歩前, ▲は踏切2歩前, □は踏切3歩前の場合を示す)

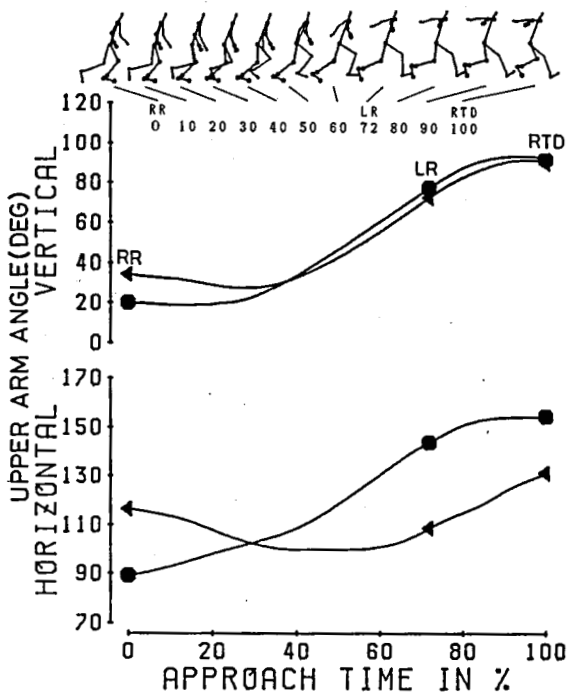


図7 踏切1歩前における上腕の角度変化 (上図は鉛直下向きのベクトルが上腕となす角度, 下図は水平前向きのベクトルが上腕となす角度を示し, ●の線は右, ▲は左上腕角度を示す)

ば, 助走中, 身体重心は多少上下動したとしても, その水平変位を踏切に近づくにつれて徐々に大きくすることにより, 踏切に移行する瞬間では助走速度を約 4 m/s まで大きくすることができると考えられる。

### 3) 助走の歩幅

図6は各選手における接地脚の足先と振り出し脚の踵との水平変位からみた歩幅 (例えば, 踏切3歩前では右脚を振り出し, 左脚を接地している) の場合, この場合は右踵と左足先との水平変位が踏切3歩前の歩幅) と, 身体重心の水平変位の関係を各助走歩数ごとに示したものである。助走の歩幅は踏切3歩前が平均0.49m, 2歩前が平均0.73m, 1歩前が平均1.43mであり, 踏切に近づくにつれて徐々に大きくなっている。そして助走中の歩幅が大きくなるほど身体重心の水平変位は大きくなる傾向がある ( $r = 0.79, p < 0.001$ )。

従って, 助走の歩幅を踏切に近づくにつれて徐々に大きくすれば, 重心の水平変位を大きくすることができ, 助走速度を大きくするのに役立つと考えられる。しかしながら, ①このように歩幅を徐々に大きくしなくても, 選手の中には1歩助走で大きな歩幅をとって踏み込んでいものがいる (例えば, V I 1では歩幅が1.74mで, これは23試技中3番目に大きい歩幅であり, 踏切に移行した瞬間の助走速度も3.99m/sとかなり大きい) こと, ②踏切2及び3歩前は片足接地期と両足接地期からなる歩行形態の助走を行っているが, 踏切1歩前では全試技とも一度, 両足が地面から離れる空中期が存在し, そのため1歩前では他の助走局面と比べてより大きな歩幅をとることができることなどから判断すると, 踏切1歩前では踏切2及び3歩前よりも助走速度を大きくする上で極めて重要な局面であると言えよう。

### 4) 踏切1歩前における腕の振り上げ動作と胴体の前屈動作

図7は踏切1歩前における腕の動きを上腕角度変化の平均値からみたものである。水平角度変化をみると, 片足接地中, 右上腕角度は徐々に大きく, また左上腕角度は徐々に小さくなっ



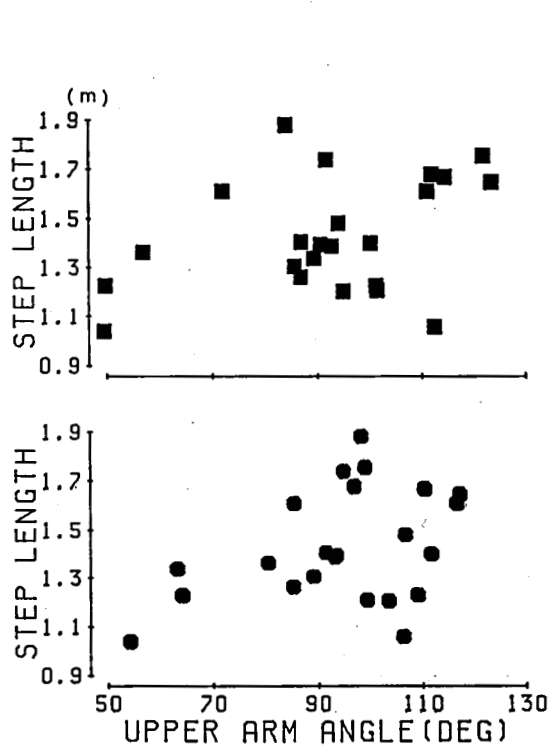


図8 踏切1歩前における上腕の最大振り上げ角度と歩幅の関係（上図は左上腕，下図は右上腕の場合を示す）

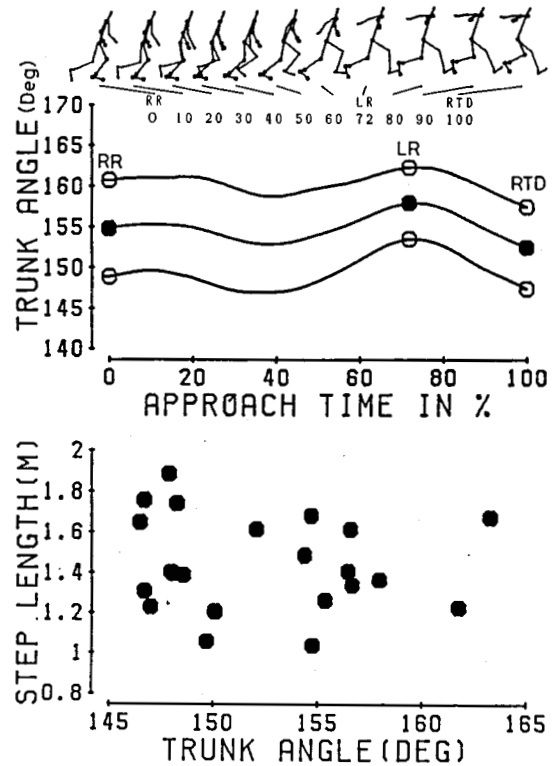


図9 上図：踏切1歩前における胴体の鉛直角度変化（●の線は平均値，○の線は±1標準偏差）  
下図：踏切1歩前における胴体の最大前屈角度と歩幅の関係

ていることから、この期間では左腕は前方に、右腕は後方に振られていることがわかる。そして空中期にはいると、上腕の水平角度は左右とも徐々に大きくなっていることから、この期間では両腕とも身体後方に振られていることがわかる。ただし、上腕の鉛直角度変化をみると、RTD時直前で左右の鉛直角度が最大となり、その後わずかに小さくなりながら踏切に至っていることから、踏切直前では左右の腕とも後方に引かれながら（内転されながら）身体下方に振り下ろされていることがわかる。

図8は踏切1歩前における上腕の振り上げ最大角度（鉛直角度）と歩幅の関係を示したものである。上、下図とも選手の中には上腕角度が大きいても歩幅の小さいものがあるが、全体的にみれば、上腕角度が大きいものの方が歩幅が大きくなっているように見える。

図9上図は踏切1歩前における胴体の鉛直角度変化を平均値と標準偏差により示したものである。胴体の鉛直角度は片足接地期中頃（約40%付近）から徐々に大きくなり、LR時付近で最大になる。しかし空中期では、胴体の鉛直角度は徐々に小さくなりながらRTD時に至っていることから、胴体は片足接地期後半では上方に起こされるような動きをし、空中期では前屈しながら踏切に至っていることがわかる。図9下図は踏切1歩前における胴体の最大前屈角度と歩幅の関係を示したものである。胴体の最大前屈角度が同じ程度のもので、その歩幅の大きさにはかなり個人差がある。しかし、全体的にみれば胴体を大きく前傾しているもの（胴角度が小さいもの）の方が歩幅は大きくなっているように見える。

踏切1歩前の空中局面において、両腕を身体後方に振り上げるとともに胴体を大きく前屈させることは、換言すれば腰関節を中心にして上半身を前方回転することは、右脚（踏切局面で初めに接地する脚）を前上方に振り出し、踏切1歩前の歩幅を大きくするのに役立つと考えられる。しかしながら、上腕及び胴角度と歩幅の関係は相関係数が各々0.39, 0.1と小さく、本研究のデータの範囲内では統計的に有意な関係は認められなかった。この原因としては、一つには本研究の分析試技が上腕の振り上げ最大角度では80~110度、胴体の前屈角度では147~157度の範囲に含まれるものが多く、各選手ともほぼ類似した助走動作を行っていたためであると考えられる。

5) 重心低下距離

これまでみてきた助走動作は助走速度を利用して高く跳躍することに関するものであった。しかしバレーボールでは、トスがスパイカーの助走開始位置付近に上げられたときや、ダイレクトスパイクなどですばやく攻撃するときなど助走が利用できない場合があり、助走が制限される場合でも大きな跳躍高が得られるように踏切への入り方を工夫する必要がある。助走を利用しないで跳躍高を大きくする踏切準備の方法としては、これまでの研究報告をもとにすれば、踏切動作に移る前に一度ジャンプなどをして重心高を高くし、そのまま落ち込むように踏切に入る方法がある。

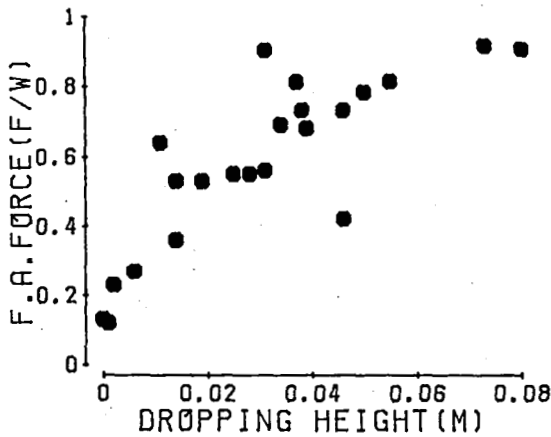


図10 重心低下距離と踏切前半の鉛直平均力との関係（重心低下距離とは踏切1歩前空中局面における最大重心高と踏切に移行した瞬間の重心高の差である。また、踏切前半の鉛直平均力とは踏切前半開始時と終了時の重心の鉛直速度の差に各被験者の質量を乗じて、鉛直運動量の差、換言すれば力積を求め、それを前半時間で除して求めたものである）

踏切1歩前空中期における最大重心高と踏切移行時における重心高の差（重心低下距離）は表1に示す通りである。各選手の重心低下距離は、最大SU1の8cmから最小WA1の0cmの範囲にあるが、本研究では、この重心低下距離と跳躍高の間には一義的な関係は認められなかった。これは本研究の試技が極論すれば助走速度を利用しないで高く跳躍しようとしたものではなく、助走歩数を最低でも1歩用いたスパイクジャンプであり、そのために重心低下距離が従来報告されている Asmussen<sup>2)</sup>, Komi<sup>12)</sup>, あるいは橋原ら<sup>6)</sup>の実験値と比べて極めて小さかったからであると推測される。すなわち Asmussen らに従えば、もう少し高くジャンプして踏切に移れば助走を用いなくても跳躍高を大きくすることができた可能性はあるが、バレーボール攻撃面でコンビネーションプレイが重要視されるようになって以来、バレーボールでは攻守ともスピードアップされているので、跳躍高を大きくするのに高くジャンプして踏切に移ることは時間が長くなり、利用の機会は少

ないかもしれない。

図10は重心低下距離と踏切前半の鉛直平均力との関係を示したものであり、ここで鉛直平均力は各選手の体重当りの割合で示してある。踏切前半の鉛直平均力は、重心低下距離が増加するにつれて大きくなる傾向がある ( $r=0.81, p<0.001$ )。このことは踏切準備として一度ジャンプして踏切に移ることが踏切中の鉛直方向の力を大きくし、ひいては跳躍高を大きくするのに役立つことを示唆するものであろう。

金原ら<sup>11)</sup>は一度ジャンプしてから踏切に移る方が大きな跳躍高を得られる理由として「踏切局面で脚の主働筋は踏切前半では eccentric contraction をし、脚屈曲を止める時大きな力を出して、そのときの強い収縮が踏切後半の concentric contraction に引き継がれる。ここで、eccentric contraction によって出し得る力は負荷刺激（筋が引っ張られる速度）が大きくなるにつれて大きくなるが、その大きさは次第に減少してゆき、やがて限界に達する」と述べている。また Asmussen<sup>2)</sup>、Komi<sup>12)</sup>、Cavagna ら<sup>3),4)</sup>は収縮状態にある筋が外力によって一度伸展される時、その筋にエネルギーが吸収され、一部分（例えば筋収縮要素と直列になっている弾性要素の弾性エネルギーとして）が貯えられるかもしれない。そしてたぶんこのエネルギーは次の筋収縮局面で放出され、エネルギー出力を増加させるのに役立つかもしれないという弾性エネルギー説から説明している。

## 結 語

スパイク助走局面に関する先行研究は極めて少ない。しかもこれらはバレーボール経験者と未経験者の助走動作を比較し、経験者の動きの特徴（例えば、助走の歩幅）を記述することにより助走技術を説明しようとしたものであり、運動成果と動作に関する各種測定項目との関連を検討した研究報告はない。従って、厳密に言えば「跳躍高を大きくするための踏切準備動作として役立つ動き」を究明した先行研究はないと言えるが、ここではこれら若干の先行研究も参考にして本研究で得られた知見を要約すると以下ようになる。

- ① 跳躍高は踏切に移行した瞬間の助走速度が約 4 m/s で最も大きくなり、助走速度がこれ以上でも、これ以下でも跳躍高は小さくなった。本研究におけるこの助走速度と跳躍高の関係は、助走速度 4 m/s が助走歩数 3 歩に相当するとするならば、Enoka<sup>5)</sup> の助走歩数と跳躍高との関係と一致する。しかしながら本研究の選手の中には 1 歩助走でも約 4 m/s の助走速度を発揮したものがいることから、スパイクジャンプにおいて大きな跳躍高を得るためには、助走歩数は少なくとも（3 歩以下の歩数でも）踏切に移行する瞬間の助走速度を約 4 m/s にする必要があると考えられた。
- ② 高橋ら<sup>13)</sup>、そして明石<sup>14)</sup>は助走中の腸骨稜の動きを示し、バレーボール経験者は未経験者と比べて踏切に近づくにつれ腰の位置を低くするように助走していると報告している。本研究における身体重心は踏切 3 歩前助走開始時から踏切 1 歩前片足接地期中頃まで次第に重心高を低くしながら踏切に近づいており、この時点までの結果は高橋らの結果と一致する。しかしながら本研究では、重心はこれ以後、すなわち踏切 1 歩前空中期で一度重心高を高く上げた後、落ち込むようにして踏切に移行していた。また、各助走歩数ごとの助走速度と重心の鉛直変位との間には一義的な関係は認められなかった。
- ③ 助走速度と身体重心の水平変位との関係は、踏切 1, 2, 3 歩前のいずれの場合でも重心の水平変位が増加するにつれて助走速度が大きくなっていること、そして水平変位も助走速度も踏切 1, 2, 3 歩前の順で大きくなっていることから、助走中、身体重心は多少上下動したとしても、その水平変位を踏切に近づくにつれて次第に大きくすることにより、踏切に移行する瞬間では助走速度を約 4 m/s まで大きくすることができると考えられた。
- ④ 助走の歩幅が踏切 1, 2, 3 歩前の順で大きくなっていたことは橋本<sup>9)</sup>の研究と、踏切 1 歩前の歩幅が 2 及び 3 歩前と比べて極めて大きかったことは高橋ら<sup>10)</sup>、川合ら<sup>10)</sup>の研究結果と一致する。しかし更に本研究では、助走中の歩幅が大きくなるほど身体重心の水平変位が大きくなっていたことから、助走の歩幅を踏切に近づくにつれて徐々に大きくすれば、重心の水平変位を大きくすることができ、助走速度を増加するのに役立つと考えられた。

表1 助走局面における各種測定項目のまとめ

試技名	助走速度 (m/s)			重心の上下動 (m)			助走の歩幅 (m)			踏切1歩前における上腕角度最大値(deg)		上腕最大角度出現時点(sec)		踏切1歩前胸角度最小値(deg)		胴体前屈開始時点(sec)		CG低下距離(m)
	3歩前終了時	2歩前終了時	1歩前終了時	3歩前	2歩前	1歩前	3歩前	2歩前	1歩前	右	左	右	左	右	左	右	左	
1 Y U1	2.152	2.659	3.517	0.095	0.062	0.060	0.584	0.425	1.405	92	87	-0.020	-0.031	157	-0.133	0.025		
2 S U2	1.834	2.570	3.065	0.104	0.047	0.060	0.331	0.954	1.202	104	95	-0.031	0	150	-0.092	0.031		
3 W A1	2.165	2.295	3.115	0.054	0.053	0.155	0.855	0.753	1.336	63	90	-0.020	-0.041	157	-0.051	0		
4 N A3	1.235	2.367	3.917	0.017	0.157	0.096	0.366	0.465	1.386	93	93	-0.061	-0.031	149	-0.071	0.031		
5 F U2	2.100	3.109	4.105	0.063	0.093	0.050	0.585	0.936	1.666	111	115	-0.020	-0.010	163	-0.102	0.050		
6 V I 2	1.639	2.454	4.118	0.042	0.231	0.073	0.215	0.988	1.879	98	84	0	-0.010	148	-0.092	0.014		
7 K U1		2.419	3.018		0.190	0.099		0.833	1.038	54	50	-0.051	-0.051	155	-0.102	0.011		
8 K U2		2.716	3.135		0.137	0.082		0.723	1.225	64	50	-0.071	-0.071	162	-0.092	0.037		
9 N A1		2.342	3.387		0.126	0.099		0.672	1.394	94	91	-0.020	-0.010	148	-0.133	0.028		
10 T A1		2.175	3.410		0.203	0.070		0.510	1.608	85	72	0	-0.041	152	-0.071	0.034		
11 T A2		2.304	3.391		0.133	0.041		0.720	1.362	80	57	0	0	158	-0.020	0.014		
12 F U1		3.160	4.014		0.200	0.084		0.847	1.609	117	111	-0.010	0	157	-0.092	0.019		
13 S I 1		2.422	3.255		0.175	0.138		0.488	1.304	89	86	-0.061	-0.051	147	-0.235	0.073		
14 S I 2		1.745	2.613		0.216	0.152		0.558	1.260	85	87	0	-0.020	155	-0.123	0.046		
15 S U1		2.016	2.888		0.047	0.094		0.517	1.401	112	100	-0.061	-0.031	148	-0.184	0.080		
16 S A1		2.016	3.161		0.051	0.080		0.927	1.754	99	122	-0.020	-0.020	147	-0.082	0.055		
17 S A2		2.363	3.947		0.041	0.043		0.521	1.676	97	112	0	0	155	-0.061	0.039		
18 Y A2		2.867	4.394		0.079	0.094		1.221	1.645	117	124	0	0	147	-0.092	0.002		
19 V I 1			3.990		0.104			1.737		95	92	0	-0.031	148	-0.123	0.038		
20 Z I 1			3.029		0.099			1.481		107	94	-0.031	-0.010	154	-0.010	0.001		
21 N A2			3.250		0.072			1.227		109	101	-0.020	-0.020	147	-0.112	0.046		
22 N A4			2.732		0.100			1.207		99	102	-0.041	-0.041	150	-0.102	0.037		
23 Y A1			2.730		0.039			1.056		106	113	0	0	150	-0.051	0.006		
平均	1.854	2.444	3.399	0.063	0.125	0.086	0.489	0.725	1.429	94	93	-0.023	-0.023	152	-0.097	0.031		
SD	(0.368)	(0.365)	(0.510)	(0.033)	(0.067)	(0.032)	(0.231)	(0.224)	(0.231)	(17)	(20)	(0.024)	(0.020)	(5)	(0.048)	(0.022)		

上腕および胴角度：上腕および胴体が下向き鉛直線となす角度

上腕最大角度出現時点および胴体の前屈開始時点：踏切開始時点を0時点として示したもので、負の記号は踏切開始前を意味する。

CG低下距離：踏切1歩前空中期における最大重心高と踏切開始時重心高との差

- ⑤ 踏切1歩前の助走局面は助走速度を大きくする上で極めて重要な局面であり、踏切1歩前空中期において両腕を身体後方に大きく振り上げるとともに、胴体を大きく前屈させることは踏切1歩前の歩幅を大きくすることができ、大きな助走速度を得るのに役立つと考えられた。しかし本研究のデータの範囲内では、上腕及び胴角度と歩幅との間に統計的に有意な関係が見られず、今後更に分析数を増し、上腕及び胴角度の偏差が大きい試技も含めて検討する必要があると考えられる。
- ⑥ 各選手の重心低下距離は0～8 cmの範囲にあり、本研究のデータの範囲内では重心低下距離と跳躍高との間に一義的な関係は認められなかった。しかしスパイクジャンプでは、助走速度を利用して高く跳躍する方法ばかりでなく、助走が無くても高く跳躍できる方法を開発していくことも重要であり、今後の課題として研究を進めていくべきであると考えられる。

#### 引用・参考文献

- 1) 明石正和：“バレーボールにおけるスパイクの研究”，城西大学教養関係紀要，1—1：101—13，1977.
- 2) Asmussen, E. and Petersen, F. B.：“Storage of elastic energy in skeletal muscles in man”，Acta Physiol. Scand., 91—3：385—92，1974.
- 3) Cavagna, G. A., Saibene, F. P. and Margaria, R.：“Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscles”，Journal of Applied Physiology, 20：157—58，1965.
- 4) Cavagna, G. A., Dusman, B. and Margaria, R.：“Positive work done by a previously stretched muscles”，Journal of Applied Physiology, 24—1：21—32，1968.
- 5) Enoka, M. R.：“The effect of different lengths of run-up on the height to which a spiker in volleyball can reach”，New-Zealand Journal of Health Physical Education and Recreation, 4—3：5—15，1971.
- 6) 橋原孝博，古藤高良，都沢凡夫，多田繁，阿江通良：“遅い助走速度のバレーボールオープンスパイクジャンプの踏切への入り方の違いが踏切動作に及ぼす影響”，日本体育学会第32回大会号抄録，595，1981.
- 7) 橋原孝博，渋谷侃二，阿江通良，石島繁：“バレーボールのオープンスパイクジャンプに関するバイオメカニクス的研究”，日本バイオメカニクス学会（編），スポーツ・バイオメカニクスへの挑戦，杏林書院，1983，pp.175—81.
- 8) 橋本基：“バレーボールのスパイクの分析的研究”，岡山大学教育学部研究集録，26：95—107，1968.
- 9) 金子明友：“運動技術論”，岸野雄三，松田岩男，宇土正彦（編），序説運動学，大修館書店，1968，pp.89—116.
- 10) 川合武司，高橋亮三：“バレーボールのフットワークに関する研究（その1）—スパイクの踏込動作について—”，体育学研究，14—5：291，1970.
- 11) 金原勇，高松薫，渋谷侃二：“筋の力の出し方に関する基礎的研究（その1）—技術やトレーニングからみた Eccentric な筋の特性について—”，東京教育大学体育学部スポーツ研究所報，8：26—52，1970.
- 12) Komi, P. V. and Bosco, C.：“Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles of men and women”，Medicine and Science in Sports, 10—4：261—65，1978.
- 13) 松田岩男：“子供にとって「基本の運動」とは何か”，体育の科学，31—6：392—95，1981.
- 14) Murase, Y., Hoshikawa, T., Yasuda, N., Ikegami, Y. and Matsui, H.：“Analysis of the changes in progressive speed during 100-meter dash”，in Komi, P. V. (edt.), Biomechanics V—B, University Park Press, 1976, pp. 200—7.
- 15) Shapiro, R.：“Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography”，Research Quarterly, 49—2：197—205，1978.
- 16) 高橋亮三，川合武司，田中純二：“バレーボールの基礎技能に関する力学的研究—スパイクの踏み込み

動作に関する考察一”，順天堂大学保健体育紀要，13：38—43,1970.

- 17) Takahashi, R. and Tanaka, J. : "An analytical study of basic skills in volleyball—motion analysis of under-hand pass, toss and step—in motion in spiking", *Research Journal of Physical Education*, 16-6 : 335-55, 1972.
- 18) 多和健雄：“運動技術学とは”，前川峯雄，猪飼道夫，笠井恵雄，菅原礼，藤田厚，宮下充正（編），現代体育学研究法，大修館書店，1972, pp.403—10.
- 19) Walton, J. S. : "Close-range cine-photogrammetry : another approach to motion analysis", in Terauds, J. (edt.), *Science in Biomechanics Cinematography*, Academic Publishers, 1979, pp. 69-97.