

博士論文

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パイク技術について—

論文提出者： 橋 原 孝 博

1986年 10月8日

目 次

第1章	緒論	
	1. 本研究の意義	1
	2. 本研究の目的とその取り組み方	3
第2章	文献研究	
第1節	助走局面について	
	1. 実験室的方法によるもの	7
	2. フィールド実験的方法によるもの	12
第2節	踏切局面について	
	1. 実験室的方法によるもの	14
	2. フィールド実験的方法によるもの	25
第3節	スイング局面について	
	1. 実験室的方法によるもの	27
	2. フィールド実験的方法によるもの	33
第3章	問題	
第1節	研究課題と研究の進め方	35
第2節	用語の定義	37
第3節	作業仮説	39
第4節	研究の限界	40
第4章	研究方法	
第1節	DLT法の概説	41
第2節	撮影方法	
	1. 撮影対象	45
	2. 撮影	45
第3節	分析試技	
	1. 分析試技の決定	47
	2. 分析試技の特徴	47
	3. 被験者の特徴	48
第4節	データの解析	
	1. DLT法による3次元座標の算出	49
	2. DLT法による3次元座標の精度	51
	3. 各種力学量の算出	52
第5節	データの規格化・平均化と各種測定項目について	
	1. データの規格化と平均化について	57
	2. 各種測定項目とその算出法	59
第5章	スパイク助走局面における運動過程	
第1節	踏切1歩前の運動過程	
	1. 踏切1歩前における胴体の動き	63
	2. 踏切1歩前における右腕の動き	64
	3. 踏切1歩前における左腕の動き	64
	4. 踏切1歩前における右脚の動き	65

	5. 踏切1歩前における左脚の動き	66
	6. まとめ	66
第2節	踏切2歩前の運動過程	
	1. 踏切2歩前における胴体の動き	68
	2. 踏切2歩前における右腕の動き	69
	3. 踏切2歩前における左腕の動き	69
	4. 踏切2歩前における右脚の動き	70
	5. 踏切2歩前における左脚の動き	70
	6. まとめ	71
第3節	踏切3歩前の運動過程	
	1. 踏切3歩前における胴体の動き	73
	2. 踏切3歩前における右腕の動き	74
	3. 踏切3歩前における左腕の動き	74
	4. 踏切3歩前における右脚の動き	75
	5. 踏切3歩前における左脚の動き	75
	6. まとめ	76
第6章	スパイク踏切局面における運動過程	
	1. 踏切局面における胴体の動き	79
	2. 踏切局面における右腕の動き	79
	3. 踏切局面における左腕の動き	80
	4. 踏切局面における右脚の動き	81
	5. 踏切局面における左脚の動き	81
	6. まとめ	82
第7章	スパイクスイング局面における運動過程	
第1節	バックスイング期間における運動過程	
	1. バックスイングにおける胴体の動き	85
	2. バックスイングにおける右腕の動き	86
	3. バックスイングにおける左腕の動き	86
	4. バックスイングにおける右脚の動き	87
	5. バックスイングにおける左脚の動き	87
	6. まとめ	88
第2節	フォアスイング期間における運動過程	
	1. フォアスイングにおける胴体の動き	89
	2. フォアスイングにおける右腕の動き	89
	3. フォアスイングにおける左腕の動き	90
	4. フォアスイングにおける右脚の動き	90
	5. フォアスイングにおける左脚の動き	91
	6. まとめ	91
第3節	フォロースルー期間における運動過程	
	1. フォロースルーにおける胴体の動き	93
	2. フォロースルーにおける右腕の動き	93
	3. フォロースルーにおける左腕の動き	94

	4. フォロースルーにおける右脚の動き-----	94
	5. フォロースルーにおける左脚の動き-----	95
	6. まとめ-----	95
第4節	高い打点で強く打撃するためのスパイク技術と規格化・ 平均化の手法により処理されたスパイク運動過程の関係-----	97
第8章	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	
	1. 跳躍高と踏切に移行した瞬間の助走速度-----	99
	2. 助走速度と助走中の身体重心の動き-----	100
	3. 助走の歩幅-----	102
	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-----	103
	5. 重心低下距離-----	104
	6. まとめ-----	106
第9章	身体を空中に高く上げるための踏切動作として役立つ動き	
	1. 跳躍高-----	108
	2. 離地時重心上昇高と離地姿勢-----	109
	3. 離地時における身体重心の鉛直速度と足部離地姿勢-----	110
	4. 空中での重心上昇高と踏切局面における身体重心の鉛直変位-----	111
	5. 踏切局面における鉛直平均力と踏切脚の動き-----	114
	6. 跳躍角-----	115
	7. まとめ-----	118
第10章	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	
	1. 打点高-----	120
	2. 打点高とインパクト姿勢-----	121
	3. 打点高とスイング動作-----	122
	4. 打球の速度-----	124
	5. 打撃の強さとインパクト姿勢-----	124
	6. 打撃の強さとスイング動作-----	126
	7. 跳躍距離-----	128
	8. まとめ-----	129
第11章	要約	
	1. 研究目的および研究手順-----	132
	2. 結果および考察のまとめ-----	133
	3. 今後の課題-----	137
	謝辞-----	138
	引用及び参考文献-----	139
	図及び表-----	147
	資料A 規格化・平均化&スティックピクチャープログラム-----	309
	資料B 胴体および上肢関節角度と静的屈曲力・伸展力の関係-----	328

第1章 緒論

1. 本研究の意義

(1) 動作研究の必要性

バレーボールは6人からなる集団（日本では9人制の場合もある）がネットを境にして互いにボールをボレーし合い、1セット15点（9人制の場合は21点）の得点を競う集団競技である。

体育学の主たる任務がヒトの運動場面において生ずるさまざまな問題を明らかにして、体育やスポーツ界にその情報を提供することにあるならば、バレーボールにおけるトレーニング法を確立するための基礎的資料を得ることは、体育学の重要な研究課題の一つとなろう。

これまでにも、サーブやスパイクにおける打撃後のボール速度、スパイクやブロックにおける跳躍高などは報告されているが、これら運動成果（パフォーマンス）を生み出す原因となる動作そのものは明確にされていない。

技術を合目的・合理的運動過程とし、技能、体力、精神力などが組み合わされて可視的な形として発現する全体を示すものを動作とするならば、技術はそれを含んでいる動作からとらえることができようが、現状では動作そのものも究明されていないので、技術トレーニングはコーチの主観的観察に負うところが多い。

体力トレーニングに関しては、⁸⁰⁾豊田（1968）が「体力トレーニングは技術上の要求に沿ったものでなければならない」とし、バレーボールにおける技術的要素と体力的要素の関連（図1-1参照）を述べ、バレーボールにおいて必要とみられる体力要素をまとめ（図1-2参照）、重量物などを利用してのサーキット・トレーニング（⁷⁷⁾図1-3参照）を奨励してきた。これらのトレーニングは学生、実業団の選手達に取り入れられ、⁹⁷⁾「体力測定法」によりトレーニング効果が確かめられてきた。しかし、このトレーニング効果はまだ運動成果（例えば、打撃直後のボール速度や打点高など）^{14, 18, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86)}

との関連からは検討されていない。また、そのトレーニング方法は「技術上の要求に沿ったもの」であるとしながらも、バレーボールの動きを用いて行われているようにはみられない。

これらの原因としては、①ゲーム中の選手の動きが複雑で、それを定量的に分析する方法や精巧な測定装置がなかったこと、②体育学において実践の場と研究の場を結びつける研究があまりおこなわれていないことなどが考えられる。

このうち②に関しては、ともすれば他の諸科学の「応用学」⁴¹⁾であると呼ばれる体育学において、他の諸科学にはない体育学固有の成果が期待できる研究領域であり、その喚起が望まれるところである。金原(1970)³⁸⁾は実践の場と体育学とを関連づけた理論体系(図1-4参照)を示して、「実践の場と基礎体育学との橋渡しをする基礎運動技術学とも呼べる研究がもっと行われるべきである」と述べている。

(2) バレーボールの技術特性からみたスパイク研究とその必要性

元来トレーニングというものは、基礎的なものから身につけて、順次応用的なものに進むのが一般的な進め方であろう。それ故、基礎的なもの、究極的には基本と呼ばれるものの究明が必要となってくるが、松田(1981)⁴⁴⁾は「基本の運動の捉え方」として大きく二つに分けることができるとし、その一つは「運動の形態をそのままの形で捉え、しかも複合的な運動の構成単位になるような単純な運動を基本の運動とする捉え方」で、もう一つは「各種の運動に含まれる共通因子を抽出し、その因子を測定することのできるような運動(パフォーマンス)を基本の運動とする捉え方」であると述べている。

バレーボールでは、これまで前述の「基本」について書かれたものはないが、しいてあげるならばこの基本を含んでいると考えられる「基礎技術」あるいは「個人的技術」と呼ばれているものがあり、これは松田の言う前者の「捉え方」に従ったものであると考えられる。すなわち、バレーボールのゲームは2チームの攻撃法と守備法の「集団的技術」から成り、この「集団的技術」はサーブ、レシーブ、パス、トス、スパイク、ブロックの6つの「個人的技術」から構成されているとするものである。

従って、サーブ、レシーブ、パス、トス、スパイク、ブロックは、バレーボールの「集団的技術」に対して、より基礎的なものであり、まず最初にトレーニングされるべきものであると考えられる。

清水⁶⁴⁾(1976)は表1-1に示すように、日本リーグ男子5年間のゲームを分析し、1セット当りの得点内容をスパイク、ブロック、サーブ、相手のスパイクミス、その他のミスから検討した。その結果、1セット15点の得点においてスパイクによる得点が最も多く、また相手のスパイクミスによる得点も多いことから、スパイク・トレーニングの重要性を指摘している。

このように考えてくると、スパイク技術はバレーボールにおいて身に付けねばならない最も重要な基礎的技術の一つとして位置づけられるので、本研究ではスパイクに着目して研究を進めていくことにする。

2. 本研究の目的とその取り組み方

本研究の目的は「高い打点で、強く打撃するためのスパイク技術」を究明することである。

(1) フィールド実験的研究方法によるアプローチ

バレーボールをはじめ全てのスポーツ技術は一流選手の動作をとらえ、それを理論的に理解して改良を加えたり、あるいは独自のアイデアをもとに選手とコーチの試行錯誤の繰り返しなどにより開発されてきた歴史をもつ。そして現在一流と言われる選手の多くは、基礎的な技術はもとより応用技術に至るまで得点を得るための合理的なスパイク技術を身に付け、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。従って、ゲーム中の一流選手のスパイク動作を解析すれば、スパイク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。

このようなフィールド実験的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、ゲーム中の選手の動作を定量的に分析する方法や精巧な測定装置がなかったことなどの理由から、これまでフィールド実験的方法によるスポーツ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。しかしながら近年、コンピューターやフィルム分析装置の発達、また分析方法の開発などにより、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。そこで、本研究では主としてフィールド実験的方法を用い、スパイク技術の究明にアプローチしていくことにする。

(2) 3次元映画撮影法(DLT法)の採用

スパイク動作をとらえる方法としては、映画撮影法(Cinematography)がある。映画撮影法では、従来2次元映画撮影法(Two-Dimensional Cinematography)が多く用いられてきた。しかし2次元映画撮影法では、定量的に精度の高い情報を得るためには、運動面が撮影フィルム面に対して平行になっている必要があり、バレーボールのように選手がコート上で複雑に方向を変えたり、身体を回転させたりしてプレイする競技においては、そのような撮影法では定量的に分析することは不可能である。

複数のカメラを使用する3次元映画撮影法(Three-Dimensional Cinematography)は2次元映画撮影法のそのような欠点を補うものであるが、カメラの位置や方向などの厳密な撮影条件に制限を受けたり、内的カメラ定数(Internal Camera Parameter)を知るための特別な計測器を必要とするなど、撮影手順が非常に複雑で、公式試合における選手の動作をとらえるために用いるにはまだ数多くの制約が残されていた。

しかしながら、Abdel-Aziz and Karara(1971)⁶²⁾やWalton(1979)⁸⁸⁾らによって開発されてきたDirect Linear Transformation Method(DLT法)は、後で距離較正に用いられるコントロールポイントさえ撮影範囲全体に分布するように撮影しておれば、カメラの位置や方向などに関する情報は知る必要がなく、精度の良い3次元データが得られるとされている。⁶²⁾ Shapiro(1978)はDLT法を実験室的に検討し「DLT法は運動中の身体各部位などの3次元位置座標を得るために、高速度カメラによる映画撮影法(High Speed Cinematographic Technique)と組み合わせて使用することが可能で

ある」と報告している。

従って、DLT法を使用すれば選手がコート上を複雑に動き回るバレーボール競技において選手の動作をとらえ、それを分析・検討することが可能であろうと考えられる。

(3) 高い打点で、強く打撃するためのスパイク技術の究明

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、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ゆるされよう。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。ただ前述したように、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。

3次元映画撮影法(DLT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発見するためには、多和(1972)によれば「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。そしてそのためには、スパイクにおける運動成果と運動過程との関係を検討すること(すなわち、どの動きが高い打点で強く打撃するのに役立ち、その理由は何故かについて検討すること)が役立つ。

一方、各選手の運動時間を一定の割合で規格化し、規格化した時刻ごとにデータを加算して平均化すれば、複数のデータの一般的傾向を動きの全局面に互にって容易に示すことができるとされている(阿江, 1982)。すなわち、スパイク技術が発揮されている各選手の動作を規格化・平均化の手法を用いて処理すれば、そのスパイク技術を平均値により表わすことが可能である。

従って本研究では、DLT法によりとらえた各一流選手のスパイク動作を規格化・

平均化するとともに、スパイクにおける運動成果と運動過程との関係も検討することにより「高い打点で強く打撃するためのスパイク技術」を究明していくことにする。

第2章 文献研究

⁶⁰⁾
Samson & Roy (1976) は、スパイクは技術上、助走 (the approach)、踏切 (the take off)、バックスイング (the suspension)、フォアスイング (the hitting motion of the arm)、フォロースルー (the recovery)、の5つの局面から構成されると述べているが、スパイク後半の3つの局面 (バックスイング、フォアスイング、フォロースルー) は空中でのスイング局面としてまとめることができるので、ここでは助走、踏切、スイングの各局面ごとにスパイクに関してこれまで報告された研究をみていくことにする。またスパイク技術を明らかにしていくアプローチのしかたには、①実験室的方法と、②フィールド実験的方法があるので、各研究方法ごとに分けて見ていくことにする。

第1節 助走局面について

1. 実験室的方法によるもの

³⁷⁾
金原ら (1966) は助走歩数を1, 3, 5, 7歩と変える片脚踏切による跳躍を行わせたところ、助走速度は助走歩数の増加につれて2.4 ~ 6.1 m/sまで増加し、跳躍高 (空中での身体重心上昇高) も44~68cmまで増加したと報告している。

これは跳躍高を大きくするのに助走速度を大きくすることが役立つことを示すものであるが、バレーボールのスパイクは両脚踏切であるため、金原らの報告した助走速度と跳躍高の関係とは若干異なる。

¹⁵⁾
Enoka (1971) は最大跳躍時の手先の高さ¹⁵⁾と立位時に手を伸ばした高さとの差から跳躍高を求めるため (チョークジャンプ方式) ラバーマット製の板をバレーボールのネットから約30cm離し、最大の高さが3.66 mになるように取り付けた。そして助走歩数を0, 1, 3, 5歩と変えてスパイクジャンプをさせ、助走歩数と跳躍高との関係をみた。その結果、跳躍高の平均値は各助走歩数それぞれ55.3, 58.7, 61.9, 59.1cm

で、助走歩数3歩のときが跳躍高はもっとも大きくなったと報告している。

また橋原ら (1980)²³⁾ は大学男子バレーボール選手に1, 2, 3, 4, 5歩と異なる助走歩数のスパイクジャンプをさせ、それを側方より高速度カメラで撮影した。その結果、助走歩数の増加につれて踏切に入った瞬間の助走速度は増加し、助走速度が約4m/s (助走歩数約3歩に相当する) 付近が跳躍高は最も大きくなり、助走速度がそれ以上でも、それ以下でも跳躍高は小さくなると述べている。

バレーボールで使用される跳躍には、助走歩数が比較的大きいものにオープンスパイクジャンプ、小さいものにブロックジャンプ、その中間に位置するものとしてクイックスパイクジャンプがあるが、これらの跳躍高を比較した研究は3篇ある。

佐々木ら (1978)⁶¹⁾ は実業団バレーボール選手13名に、垂直跳、ブロックジャンプ、スパイクジャンプを行わせ、側方より高速度カメラで撮影したところ、跳躍高が最も大きかったのは助走歩数3歩のスパイクジャンプ、次いで助走歩数1歩のブロックジャンプで、助走のない垂直跳は跳躍高が最も小さかったと報告している。

小村ら (1981)⁴³⁾ は全日本男子バレーボール選手9名に、各選手が比較的得意とする跳躍をオープンスパイク、クイックスパイク、ブロックの中から1つ選択し、実際にボールを打撃させて、これを側方より高速度カメラで撮影した。その結果、跳躍高は全体的にみてオープンスパイクが最も大きく、次いでクイックスパイク、ブロックの順になった。また、ボールや相手選手との対応のないできるだけ上方に高く跳ばせる実験で得た値と比較してみたところ、実際にボールを打撃したスパイクジャンプの跳躍高が約10~15cm小さくなったことから、ゲーム場面にできるだけ近い環境下でのスパイク動作の分析の必要性を述べている。

島津ら (1980)⁶³⁾ は屋外バレーボールコートにネットを張り、補助者にボールをトスさせて、全日本男子バレーボール選手3名に垂直跳、選手固有の助走歩数によるオープンスパイク、クイックスパイク、ブロックを行わせた。映画分析の結果、跳躍高はオープンスパイク、クイックスパイク、ブロック、垂直跳それぞれ71.4, 63.6, 58.4, 58.6cmでオープンスパイクが最も大きかった。また踏切に移った瞬間の助走速度はオープンスパイク、クイックスパイク、ブロックそれぞれ4.04, 3.36, 1.52 m/s で、跳躍高の大きい順に大きくなったと報告している。

このように見てくると、バレーボールの助走では、助走歩数が約3歩、あるいは踏切に移る瞬間の助走速度が約4m/sのとき最も大きな跳躍高が得られそうである。被験者に助走歩数3歩でボールを打撃させ、その時の助走速度を報告しているものは以下の3篇がある。

73)

高橋、田中、川合（1972）は大学男子バレーボール選手11名と未経験者2名にセッターが床から約3~4mの高さにトスするボールを、ネットから約3~4m離れたところからスパイクさせ、これを側方より高速度カメラで撮影したところ、踏切に入った瞬間の助走速度は、大学男子バレーボール選手では平均4.247m/sで、未経験者は平均2.765m/sであったと報告している。

30)

また岩崎ら（1971）は大学女子バレーボール選手における熟練者3名と未熟練者3名に3歩助走でスパイクさせ、側方より高速度カメラで撮影した。その結果、熟練者の踏切1歩前から踏切に入る瞬間までの平均助走速度は2.199m/sであり、未熟練者は2.190m/sで大差がないと述べている。これは熟練者がレギュラー選手、未熟練者が大学1年生のバレーボール選手で、いずれの被験者もバレーボール経験者であったためかもしれない。また岩崎の報告した助走速度は高橋らのものと比べ小さいが、これは踏切1歩前の平均助走速度であるため、踏切に入った瞬間の助走速度をみれば値はもう少し大きくなるだろうと推測される。

25)

橋本（1968）は、体格、運動能力に大差のみられない大学男子バレーボール選手と未経験者を各1名被験者に用い、各被験者が無理なく打撃できる高さに吊るしたボールをネット越しにスパイクさせ、側方より8mm映画撮影した。助走歩数ごとに助走速度を求めたところ、「熟練者は次第に加速がつき、踏切に入る助走3歩目では5.61m/sと最高スピードに達した。一方、未経験者は助走2歩目においてやや加速しているが、3歩目では3.33m/sとかえって減速される」と報告し、続いて「助走はパスの方向などを即座に判断できるように、ボールをパスするプレイヤーの動きとボールのコースを注意深く観察することが必要であるので、助走のスタート（第1歩目）はゆっくりしたテンポで行い、次第に加速をつけ、踏切に入る時にはスピードは最高になっているのが望ましい」と述べている。

橋本の研究において、熟練者の助走3歩目の速度は5.61m/sと非常に大きな値を示

しているが、これまでの文献研究から見る限り、おそらくもう少し助走速度が小さい方がより大きな跳躍高が得られるものと推測される。なお、橋本は吊り上げたボールを打撃させたため、助走速度と跳躍高の関係については何も述べていない。

以上みてきた研究報告は、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が、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時や、クイックスパイクなどですばやく攻撃する時など、助走歩数が1歩あるいは半歩までも制限される場合があり、助走歩数が少ない（助走速度が小さい）場合でも大きな跳躍高が得られるような踏切への入り方を工夫する必要がある。

橋原ら²²⁾ (1981) は大学男子バレーボール選手4名を被験者として、助走局面では助走1歩で、①膝を伸ばして腰の位置を高く保った構えから落ち込むように踏切に入る (Highの試技)、②膝を中位に曲げた構えから腰をほぼ水平に移動して踏切に入る (Mediumの試技)、③膝を深く (大腿が床面と水平になるくらい) 曲げた構えから階段を駆け上るように踏切に入る (Lowの試技)、④1度ジャンプをして腰の位置を①よりも高くし、そのまま落ち込むように踏切に入る (Jumpの試技)、そして踏切局面では4試技とも膝関節角度を約80度まで曲げて全力で跳躍させ、これを側方より高速度カメラで撮影した。その結果、腰の位置が高い構えからのスパイクジャンプほど跳躍高は大きくなったと報告している。

またAsmussen & Bonde-Petersen⁶⁾ (1974) や Komi & Bosco⁴²⁾ (1978) は高さの異った台の上から跳び降りて、すぐまた跳躍を行う実験をしたところ、台の高さが約40～50cmまではその跳躍高は増加したと報告している。

橋原らの研究において、踏切1歩前の空中局面で身体重心高が最も大きくなった瞬間と、踏切に入った瞬間の身体重心高の差、言い換えれば跳び降りた高さは、Jumpが26、Highが17、Mediumが10、Lowが9cmであった。この場合AsmussenやKomiらに従えば、もう少し高くジャンプして踏切に入っても、まだ少し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入るのは時間が長くなり、利用の機会は少ないかもしれない。

なお一度ジャンプしてから踏切に入る方が大きな跳躍高が得られる理由として、金原、高松、³⁹⁾ 渋川 (1970) は、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、その時の強い収縮が踏切後半のconcentric contractionに引き継がれる。そこでeccentric contraction によって出し得る筋力は負荷刺激 (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くなり方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^{3, 9, 10, 42)} Asmussen, Komi, Margariaらは、収縮状態にある筋が外力によって一度伸展されるとき、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。

さて助走速度を生み出す原因となる助走のしかたについて検討したものはあまり多くない。

³⁵⁾ 木内と鈴木 (1967) はバレーボール経験年数3年以上の選手 (上級)、経験年数2年以内の選手 (中級)、そして未経験者 (初級) の各1名に、セッターがトスするボールをクイックスパイクさせた。これを側方より高速度カメラで撮影し、得られた分解写真を定性的に観察して「初心者では、助走のスタート姿勢は高く直立に近い状態から行われている。助走中もこの姿勢で走り踏切に入る。中級者では、スタート姿勢は脚を前後に開いて、前脚の膝を折り上体を前傾させている。踏切に入った時、腰と足首を結ぶ線はやや後に傾いている。そして上級者のスタート姿勢は中級者よりもわずかに前脚の膝を深く折り、肩の位置が前に出て前傾している。踏切に入る時は重心の位置を低くし、腰と足首を結ぶ線は中級者よりも後に傾いている。また上体の前傾も深い」と述べている。

⁸¹⁾ ¹⁹⁾ ⁴⁷⁾ 豊田ら (1968)、郷守ら (1969)、森田ら (1969) はバレーボール経験年数1年未満の高校・大学女子選手 (未熟練者) 12名、経験年数平均5年の高校・大学の女子選手 (熟練者) 16名をアタックライン (ネット後方3m) 上に構えさせ、セッターがネット上方約3mの高さに上げるトスをネットに直角に助走して打撃させた。助走開始から着地までのスパイク動作を側方から高速度カメラで撮影し、6ヶ所の時点

において腰、膝、足関節角度を求めたところ、助走開始時では、腰、膝、足関節角度の平均値は熟練者が189, 169, 84度で、未熟練者が186, 170, 92度であり熟練者、未熟練者とも大差なく、やや前傾した立位姿勢をとっていたと報告している。

橋本²⁵⁾(1968)はバレーボール経験者と未経験者に吊るしたボールをそれぞれ10回スパイクさせ、実測により各助走歩数ごとの歩幅を求めた。その結果、未経験者は助走歩数が1~5歩で、10試技の各歩幅の平均値は助走1, 2, 3歩目がそれぞれ106, 140, 147cmでありほぼ同じ歩幅で助走している。また試技の中には助走2歩目の方が3歩目より大きくなったり、同じ位置から助走を開始しても4歩助走や5歩助走になるものもあり、不安定な助走をしている。経験者は、助走歩数は3歩で、10試技の各歩幅の平均値は助走1, 2, 3歩目それぞれ84, 109, 196cmで踏切に移るにつれて歩幅は次第に大きくなっていると述べている。

また高橋ら^{27, 22)}(1970, 1971)や川合ら³²⁾(1970)も、助走の最後の1歩が他の歩幅に比べて極めて大きいことを報告している。

高橋、田中、川合²³⁾(1972)は大学男子バレーボール選手11名と未経験者2名にネットから3~4m離れた位置から、セッターがトスするボールをスパイクさせて側方より高速度カメラで撮影した。熟練者と未経験者の助走開始からスパイクを終了して着地するまでの腸骨稜の軌跡を示し、助走局面では熟練者は踏切に進むにつれ次第に腰の位置を低くするように助走していると述べている。

明石²⁾(1977)もスパイク中の腸骨稜の動きを示しているが、高橋らと同様、助走中の身体重心高など定量的データは示していない。

2. フィールド実験的方法によるもの

フィールド実験的方法により助走局面について検討された報告は知り得る限りでは見あたらない。

3. まとめ

以上みてきたように、バレーボールのスパイクにおいて助走は大きな跳躍高を得るために重要な準備局面であり、跳躍高を大きくするには踏切に入る瞬間の助走速度を約4m/sにする必要があると推測されるが、助走速度を生み出す原因となる助走のしかた、換言すれば助走局面における動きそのものに関して検討したものは、①助走開始時の腰、膝、足関節角度、②助走中の歩幅、③腸骨稜の動きであり、充分とは言えない。また、これらはいずれも実験室的方法における経験者・未経験者の比較により究明されてきたもので、これまでフィールド実験的方法により助走動作を検討した報告はない。従って、本研究では助走局面における課題として助走速度を取り上げ、助走速度を生み出す助走動作をフィールド実験的方法により明確にし、そして助走速度に影響を及ぼすいくつかの要因について検討することにする。

第2節 踏切局面について

1. 実験室的方法によるもの

60)

Samson & Roy (1976) はカナダ男子ナショナルチーム候補選手11名にスパイクジャンプを行わせ、これを側方より高速度カメラで撮影した。その結果、空中での最大重心高から立位時重心高を差し引いた値からみた跳躍高は、平均では71.5cmであったと報告している。

26)

Hayら(1976)は、垂直跳の理論モデル(図2-1参照)を示し、跳躍して到達することができる高さ(H)は、離地時重心高(H1)、空中での身体重心の上昇高(H2)、と手先の高さ²⁶⁾と最大重心高の差(H3)から成ると述べている。

従って、バレーボールの跳躍高は、Hayらを参考にすれば、立位時から離地時までの重心上昇高と、離地時から最大重心高に達するまでの空中での重心上昇高とに分けて考えられよう。

43)

小村ら(1981)は全日本男子バレーボール選手9名に、各被験者が比較的得意とする跳躍、つまりオープンスパイク、クイックスパイク、ブロックの中から1種目を選択して行わせ、側方から高速度カメラで撮影した。その結果、離地時から最大重心高に達するまでの身体重心上昇高は、クイックスパイクを行った被験者K.O.が最も大きく78.9cmであったと報告している。

63)

また島津ら(1980)は全日本男子バレーボール選手3名に、オープンスパイク、クイックスパイク、ブロック、垂直跳を行わせ、離地時における重心の鉛直速度をもとに、空中での身体重心上昇高を求めたところ、オープンスパイク、クイックスパイク、ブロック、垂直跳それぞれ71.4, 63.6, 58.4, 58.6cmであり、離地時重心上昇高を20cmと推定すれば、跳躍高はオープンスパイク、クイックスパイク、ブロックそれぞれ91, 84, 78cmになると述べている。

バレーボールの跳躍高において、実際に離地時重心上昇高と空中での重心上昇高を求め、それらを検討したものは次の1篇しかない。

阿江(1982)は大学男子バレーボール選手5名に、助走歩数が1, 2, 3, 4, 5歩と異なるスパイクジャンプを行わせ、これを側方より高速度カメラで撮影した。得られた結果を踏切に移る瞬間の助走速度をもとに、低速(約2.956m/s)、中速(約4.031m/s)、高速(約4.595m/s)の3群に分けて検討したところ、離地時重心上昇高が低、中、高速それぞれ、0.167, 0.169, 0.168m、空中での重心上昇高が0.576, 0.645, 0.598mであり、跳躍高は0.743, 0.814, 0.766mとなって離地時および空中での重心上昇高ともに中速の場合が最も大きくなったと報告している。

Hayら(1976)は離地時重心上昇高の大きさに影響を及ぼす要因は、①身体各部分の長さ、②離地時における身体各部分の配列のしかたであると述べている。このうち②の踏切離地姿勢について、これまで報告されたものは以下の4篇がある。

島津ら(1980)は全日本男子バレーボール選手のブロックジャンプおよびスパイクジャンプを撮影して、左右の膝関節角度を求めた。離地時では、この角度は右、左それぞれブロックが178, 174度、クイックスパイクでは176, 179度、オープンスパイクでは173, 175度であり、膝関節は左右とも充分伸展されているが、各試技の中では助走速度の大きいオープンスパイクの膝角度が最も小さかったと報告している。

豊田ら(1968)、郷守ら(1969)、森田ら(1969)は高校・大学の女子バレーボール選手のスパイク動作を撮影して、助走開始からスパイクを終了して着地するまでの6ヶ所の時点における腰、膝、足関節角度を求めた。離地時の腰、膝、足関節角度はそれぞれ、熟練者が196, 170, 129度、未熟練者が204, 166, 107度であり、熟練者は未熟練者に比べ腰角度が小さく、膝、足首の角度が大きくて、胴体および脚を上方に伸ばす姿勢をとっている。また未熟練者は胴体を大きく後方に反らせた姿勢をとっていると報告している。

これらは胴体および下肢の姿勢に関するものであったが、離地時における上肢の姿勢について報告したものは以下の2篇がある。

峯村(1975)は大学男子バレーボール選手14名に、セッターがトスするボールをレフト側からスパイクさせ、これを側方より高速度カメラで撮影した。垂直跳の跳躍高に対するスパイクジャンプの跳躍高の回帰直線を求め、これをもとに垂直跳が上手なもの(スパイクジャンプが下手なもの)とスパイクジャンプが上手なもの(垂直跳

が下手なもの)を各2名選択して、得られた結果を比較検討した。離地時の水平面に対する胴体、大腿、下腿の角度はそれぞれ、スパイクジャンプが上手なものが107,85度、下手なものが114,78,73度であり豊田、郷守、森田らの結果と同様、スパイクジャンプが下手なものの方が腰関節を中心に後方に反る姿勢をとっている。また水平面に対する上腕、前腕の角度はそれぞれ、スパイクジャンプが上手なものが74,64度、下手なものが67,90度であり、下手なものの方が右腕を上方にあげる姿勢をとっていると報告している。

また阿江¹⁾(1982)は大学男子バレーボール選手のスパイクジャンプを撮影して、肩角度(鉛直下向きの線に対する上腕の角度)を求めたところ、離地時では助走低速121.6度、中速126.8度、高速126.4度であり、助走速度の増大に伴ない腕は上方にあげられると述べている。

これら離地時の姿勢から跳躍する方向に関して検討した研究は4篇ある。

小村ら⁴³⁾(1981)は全日本男子バレーボール選手のスパイク動作を撮影して、離地時の身体重心と跳躍最高到達点の重心を結ぶ線が離地時の重心を通る上向き鉛直線となす角度を求めたところ、オープンスパイク、クイックスパイクとも約10~20度であり、前方(ネット側)への身体の移動を最小限に制御し、上方への有効な跳躍を行っていることがうかがえると述べている。

郷守ら¹⁹⁾(1969)は大学女子バレーボール選手のスパイク動作を撮影して、離地時から着地時までの腰の軌跡を描き、離地時と腰部が最も高くあがる時点を結ぶ線が水平面となす角度を求めたところ、約51~58度であった。この値は小村らの報告した値と比較し、小さい(郷守の被験者がより前方に跳躍している)が、このことについて郷守は、極端に上方に跳躍することは打球に威力を加えることに対して不利になると述べている。

Samson & Roy⁴⁰⁾(1976)はスパイクジャンプを撮影して、離地時における身体重心の水平および鉛直速度成分より跳躍角(Angle of Flight)を求めたところ、78.7度であったと報告している。

阿江¹⁾(1982)はSamsonらと同様の方法を用いて、大学男子バレーボール選手の跳躍角を求めたところ、助走速度低、中、高速それぞれ81.0,72.5,67.6度となり助走

速度が増加するにつれて跳躍角は小さくなったと報告している。

これまでみてきたバレーボールの跳躍の方向は、走高跳などの片脚踏切における跳躍角約40~58度¹⁾(阿江, 1982)と比べてかなり大きい。バレーボールのスパイク動作は他のプレイヤーやネットなどの場の制限を受けるので、跳躍高を大きくするとともに跳躍角も大きくすることが重要であろう。

大きな跳躍高を得るためには、これまでみてきたような離地時重心上昇高を大きく²⁶⁾するとともに、空中での重心上昇高も大きくする必要がある。Hayら(1976)は空中での重心上昇高の大きさは、離地時における身体重心の鉛直速度の大きさ、換言すれば踏切局面における鉛直方向の力積(力×時間)と被験者の質量の大きさによって決定されると述べている。

Samson & Roy⁶⁰⁾(1976)はスパイクジャンプを撮影して、踏切時間を求めたところ0.371秒であった。これを踏切に入ってから重心の鉛直速度が負を示している期間(踏切前半)と鉛直速度が正を示してから離地時までの期間(踏切後半)に分けてみると、踏切前半、後半の時間はそれぞれ0.142, 0.229秒であったと報告している。

阿江¹⁾(1982)もスパイクジャンプを撮影して踏切時間を求めている。それによれば助走低, 中, 高速それぞれ0.326, 0.299, 0.273秒であり、助走速度の増加につれて踏切時間は小さくなったと述べている。

バレーボールのスパイクジャンプは両脚跳であるが、両足が同時に接地することはほとんどなく、まず片方の足(第1足)が接地し、ついで他方の足(第2足)が第1足の前方に接地する。

阿江¹⁾(1982)は踏切に入ってから第2足が接地するまでの時間(第2足接地時間)を求め、この時間の助走速度の増加に伴う変化をみたところ、助走低, 中, 高速それぞれ0.101, 0.068, 0.055秒であり、第2足接地時間は助走速度の増加につれて小さくなるが、無くなることはなかったと述べている。

Coutts^{12, 13)}(1979, 1982)はバレーボール経験がある男子24名と女子62名に、力量台の上で片足を踏み込んで、次いでもう一方の足を引き付けて接地させるスパイクジャンプ(step-close style)と、両足をほとんど同時に接地させるスパイクジャンプ(hopping style)を遂行させ地面反力を測定した。得られた力・時間曲線から踏み切

り時間を求めたところ、step-close styleでは0.435秒、hopping styleでは0.355秒であり、第2足接地時間の短いhopping styleの方が踏切時間が短くなったと報告している。

すでに述べたように、大きな跳躍高を得るためには離地時の鉛直速度を大きくする必要がある。これまでみてきたように踏切時間は助走速度の増加につれて、また両足ほとんど同時に接地させるスパイクジャンプでは小さくなる傾向があるので、離地時の鉛直速度を大きくするためには、踏切中の重心移動距離が小さくならないように（大きくなるように）することが重要である。

³⁷⁾
金原ら（1966）は走高跳の踏切において、助走歩数（助走速度）の増加につれて踏み込んだ瞬間の後傾角が大きくなり、離地時の身体重心高が大きくなって、重心が大きな半径の円を描くように踏切距離は大きくなったことから、踏み込み姿勢の重要性を述べている。

踏み込み姿勢を身体各部分及び各関節角度から検討したものは以下の3篇がある。

⁴⁶⁾
峯村（1975）はスパイク動作を撮影し、水平面に対する胴体、大腿、下腿の角度と腰および膝関節角度を求めた。その結果、踏切に入る瞬間の胴体、大腿、下腿の角度はそれぞれ約88, 131, 118度で、腰および膝関節角度は約139, 166度であり、胴体をやや前傾し、脚は膝関節を大きく伸展して後傾し、踏切に入っていると報告している。

⁶³⁾
島津ら（1980）はスパイク動作を撮影して左右の膝関節角度を求めている。オープンスパイクでは右、左それぞれ152.5, 113.1度、クイックスパイクでは156.3, 95.5度であり、右膝はオープン、クイックとも大差なく、膝関節はかなり伸展されている。なお、左脚の膝関節角度に大きな差がみられるのは、いずれの選手もまず右足を接地し、続いて左足を接地する踏切への入り方を用いているためであると述べている。左膝がほぼ直角に屈曲されていることから、この角度は左足接地時のものではなく、右足接地時の角度であろうと思われる。

⁷⁾
阿江（1982）はスパイクジャンプ動作において、腰角度（鉛直線に対する胴体の角度）および左右の膝関節角度の助走速度の変化に対する影響をみたところ、腰角度は助走低、中、高速それぞれ18.1, 12.1, 8.5度でいずれも接地時には体幹を前傾し

て踏切に移っているが、その前傾の仕方は助走速度が大きくなるにつれ小さくなる。また膝角度は低、中、高速において右は154.9, 153.2, 155.8度、左は134.1, 140.5, 145.5度であり、全体的にみると膝関節は助走速度の増加に伴い伸展されると報告している。

右膝関節角度は左膝に比べて極めて大きいこと、また腰、膝関節とも助走速度の増加に伴い伸展されることに関して、金原ら(1975)は、踏切脚によって出し得る力は膝関節角度が大きくなるにつれて大きくなるが、脚で出し得る力には限界があり、大きな助走速度を利用して高く跳ぶためには、踏切に移った直後の大きな衝撃力を柔らげる踏切技術を工夫する必要があると述べている。

スパイクジャンプにおいてこれまで踏切接地の方向と踏み込み姿勢に関して検討したものは5篇ある。

接地の方向については、郷守ら(1969)がスパイク動作を撮影して、腰の軌跡を描き、踏切1歩前の時点と踏切局面で腰の高さが最小になる時点を結ぶ線が水平面となす角度を求めたところ、約23~26度であり沈み込むように踏み込んでいると報告している。

またSamson and Roy(1976)はスパイクジャンプ動作を撮影して、踏切に入る瞬間の重心の水平、鉛直速度成分より踏込角(Angle of Approach)を求めたところ、約7.5度であったと報告している。

接地時の後傾姿勢については、小村ら(1981)がスパイク動作を撮影して、第1脚の足首と大転子を結ぶ線が水平面となす角度を求めたところ約50~60度であり、かなり後傾して踏切に入っていると述べている。

そして接地の方向と後傾姿勢の関係について、阿江(1982)は踏込角と後傾角(接地時の足関節中心と身体重心を結ぶ線が、足関節中心を通る鉛直線となす角度)の助走速度変化に対する影響をみたところ、助走速度低、中、高速において踏込角は22.0, 18.6, 18.9度、後傾角は21.1, 26.1, 25.4度であり、最も大きな鉛直速度(跳躍高)を示した中速の場合が踏込角が小さく、後傾角が大きくなっていたと報告している。

また橋原ら(1980)は助走速度の大きい(助走歩数5歩)スパイクジャンプにお

いて、助走局面で①腰沈めと踏切に移る瞬間の後傾姿勢を強調した試技と、②被験者固有の試技を比較したところ、腰沈めと後傾姿勢を強調したスパイクジャンプでは踏切に移った瞬間の踏込角が小さくなり、後傾角を大きくすることができて被験者固有の試技と比べ跳躍高が大きくなったと報告している。

従って、バレーボールのスパイクジャンプにおいても、大きな跳躍高を得るには走高跳の場合と同様、後傾姿勢が重要であることがわかる。

阿江¹⁾(1982)は身体を一つの重心点としてとらえると、踏切における身体の動きは身体重心と接地点を結ぶ線分が前半では短縮しながら接地点を中心に回転し、後半では回転しながら伸展しているとみなすことができるとして踏切動作のモデル(図2-2参照)を示し、バレーボールのような両脚踏切では回転・伸展型踏切であるといえるが、走高跳のように自由脚が使用できないという制約があるため回転による要素は小さくなると述べている。

また、バレーボールのスパイクジャンプは両脚踏切であるため、片脚踏切の走高跳の場合と比べるとより大きな力が出せるので、重心の移動距離を大きくするのに走高跳よりもより大きな脚や腰の屈曲伸展を利用することができると考えられる。

豊田⁸⁾ら(1968)、郷守¹⁹⁾ら(1969)、森田⁴⁷⁾ら(1969)はスパイク動作を撮影し、踏切局面において腰の高さが最も小さくなった瞬間の腰、膝、足関節角度を求めた。その結果、各関節角度はそれぞれ、熟練者が131, 119, 102度、未熟練者が151, 141, 103度であり、熟練者は未熟練者に比べ上体の前傾と膝の曲げが深いと述べ、峯村⁴⁶⁾(1975)もほぼ同様の傾向を報告している。

島津⁶³⁾ら(1980)はスパイク動作を撮影し、左右の最大膝関節角度を求めたところ右、左それぞれオープンスパイクが100.8, 126.0度、クイックスパイクが105.6, 127.4度であり、いずれも右膝よりも左膝関節の方が伸展されていると報告している。これはすでに述べたように第1足の前方に第2足を接地し、右腰および右肩を斜め後方に引いた姿勢で踏切動作を行うためであると推測される。

踏切局面における胴体および脚の動きをより詳細に検討するためには、各部分の経時的变化を相対的に比較しながら観察することが役立つであろう。

Samson and Roy⁶⁰⁾(1976)はスパイクジャンプ動作を撮影し、腰、膝、足関節角度

変化を求めたところ、膝および足関節は踏切局面において一度大きく屈曲し、次いで伸展するほぼ類似したパターンを示すが、腰関節は踏切1歩前においてわずかに屈曲し、踏切局面では伸展しつづけると述べている。

しかし、阿江⁷⁾(1982)は腰角度については、体幹を前傾して踏切に入り、腰関節は踏切前半においてやや屈曲し、その後徐々に伸展してわずかに後傾した状態で離地に至る。腰角度変化の傾向は助走速度が変化しても変わらないが、前傾や屈曲および動作範囲は助走速度が大きいほど小さく、逆に後傾は大きいと述べ、Samson and Royとは若干異なる結果を報告している。また膝角度変化については、第1脚は接地後徐々に屈曲し、踏切前半終了前あたりから徐々に伸展して離地に至る。第2脚は第1脚よりわずかに遅れて接地する。接地後わずかに屈曲したのち、第1脚より約0.03秒ほど遅れて伸展を開始し離地に至る。膝関節角度変化の傾向も、第2脚接地時までの第2脚の動きを除いて、助走速度の増加に関係なくほぼ同様であると述べ、踏切においては脚が大きな力を発揮することが重要で、踏切における脚の貢献度は他の部分に比べ著しく大きいと述べている。

豊田ら⁸⁾(1968)は全日本男子バレーボール選手と高校・大学の女子バレーボール選手における未熟練者および熟練者に、セッターがトスしたボールをネット越しにスパイクさせ、側方より高速度カメラで撮影した。その結果、踏切局面における腰、膝、足関節の最大屈曲角度は、未熟練者、熟練者、男子一流選手それぞれ腰が150, 131, 94度、膝が140, 119, 102度、足首が103, 102, 81度であり、一流選手の腰、膝、足関節の屈曲が大きいことを示している。次いで、女子選手は腰、膝、足首ともに各関節の最大筋力が発揮される条件に比べ浅いが、男子一流選手では各関節角度とも最大筋力発揮時の関節角度にほぼ一致していると述べている。しかし、豊田らのこの膝角度に対する膝伸展力の考え方では、①踏切に入った瞬間の膝角度が100度よりも大きくなること、②助走速度の増加につれて踏切に入った瞬間の膝角度が大きくなることなどについて説明ができない。

丹羽⁵⁶⁾(1970)は腰、膝、足関節について、それぞれ立位、座位、長座位姿勢で関節角度を変化させ、アイソメトリック最大筋力を測定したところ、筋力最大値が出現する角度は腰関節伸展が+90度、膝関節伸展が100度、足底屈曲が80度であり、その

角度を中心にしてこれより角度が大きくなっても小さくなっても筋力は小さくなると報告しているが、同時に発揮される筋力は測定姿勢や固定法などの差異によりかなり異なってくるものと考えられると述べている。

¹⁾
阿江(1982)は大学男子体育専攻学生14名について跳躍姿勢に近い立位姿勢で、全屈膝から170度までの各種の膝関節角度にわたって、片脚において出し得る静的膝伸展力(図2-3参照)を測定したところ、膝伸展力の最大値は体重の約4~5倍で膝角度が約140~150度で出現する。膝関節角度が150度を越えると膝伸展力はわずかに低下する。膝関節角度が約140度以下になると、約70度までの間は膝伸展力は膝関節角度の減少にともなって著しく低下する。膝伸展力の最小値は体重の約1~1.5倍で膝関節角度が約50~70度で出現する。膝関節角度が約50度以下になると膝伸展力はわずかに増大し、約20度では体重の約2~2.5倍になると述べ、丹羽のものとは大分違う傾向を報告している。

これらの報告をもとにして考えると、脚で発揮できる筋力には限界があり、一流選手のように体力的に優れているものでも、バレーボールのスパイクジャンプにおいて膝を屈曲できるのは約90~100度ぐらいまでであろう。また、体力的に劣っているものはその対応として大きな膝伸展力を発揮できるよう膝関節角度を大きくしたのであると考える方が妥当のようである。

これまでみてきたように、バレーボールのスパイクジャンプでは踏切脚が極めて重要な働きをするが、踏切脚の接地のタイミングの違いからみた各踏切脚の動きと跳躍高との関係についてみたものは以下の3篇がある。

¹⁶⁾
福原ら(1973)は実業団男子バレーボール選手11名を被験者にして2歩助走のスパイクジャンプをさせ、2台の力量計を用いて左右脚それぞれの地面反力を測定した。垂直跳に対するスパイクジャンプの跳躍高の大きさを被験者を2群に分けて検討したところ、片足を接地させてからもう一方の足を接地させるまでの時間はA,B群それぞれ0.1096, 0.066秒で左右脚接地のずれはスパイクジャンプに優れているA群のほうが大きかったと報告している。

^{12, 13)}
Coutts(1979,1982)はstep-close styleとhopping styleのスパイクジャンプを行わせ、地面反力を測定した。得られた力・時間曲線から15個の測定項目を算出し、

step-close styleとhopping styleを比較したところ、離地時鉛直速度はstep-close 2.68m/s, hopping 2.72m/sで両styleにおいてあまり大きな違いはなかった。Couttsはこの理由としてpropulsive impulse(離地時鉛直速度×質量)が各style 183, 186 N・Sとあまり変わらないことを取り上げている。そしてこのpropulsive impulseがほぼ同一であったのは、踏み込んだ瞬間の鉛直速度がhoppingの方が1.03m/sと、step-closeの0.49m/sに比べ大きいと、鉛直方向に筋が伸張される割合はhoppingの方が大きくなり、鉛直方向のabsorption impulse(forceplate impulse-propulsive impulse)はhoppingが68 N・Sとstep-closeの34 N・Sに比べ大きくなるが、水平方向の運動量に関してはstep-closeの方がhoppingに比べ大きいので、結果として全体のabsorption impulseは両styleにおいてほぼ等しくなるからだとしている。しかしながら、水平方向の助走速度もabsorption impulseもここでは示されていない。

渡辺(1976)⁹⁰⁾も大学女子バレーボール選手の中から片脚ずつ踏み込むものと、両脚ほぼ同時に踏み込むものを各2名ずつ選択し、ネット越しにストレートスパイクをさせ、踏切動作を高速度カメラで撮影した。同時に脚筋群のEMGおよび力量計により踏切動作中の地面反力を測定した。その結果、片脚ずつ踏み込むものは、踏切前半は主として片脚のみを屈曲することにより沈み込み、踏切後半は両脚を伸展することにより伸び上げる踏切動作をしているが、両脚ほぼ同時に踏み込むものは、踏切前半も後半も両脚により沈み込み・伸び上げるような踏切動作をしていることから、スパイクジャンプでは両脚ほぼ同時に踏み込む方が効果的であろうと述べている。ただし、渡辺は跳躍高の値については報告していない。

なお筋電図の結果については、渡辺をはじめ、朝比奈ら(1963)⁵⁾、椿(1964)⁸⁷⁾丹羽ら(1973)⁵⁵⁾も同様に、踏切局面において放電の顕著な筋群は、大殿筋、内側広筋などの大腿伸筋群、前脛骨筋であると述べているが、個々人のデータが羅列されており、実際、非常に解りづらい。個々のデータを、例えば最大筋力発揮時の放電量に対する割合にでもして規格化し、そして平均化して全体的な傾向を簡潔な形で提示できるよう工夫する必要があると思われる。

大きな跳躍高を得るためには、踏切中の鉛直力積を大きくする必要があることはすでに述べたが、踏切中の鉛直力積を大きくするには、これまでみてきた踏切脚や腰関

節の動きのほか、腕の振込動作も影響する。

金原，春山，三浦（³⁶⁾1964）は反動動作や振込動作を用いた垂直跳の研究において、振込動作を用いた垂直跳は用いない場合と比較して、踏切後半で大きな力を出すことができ、高く跳び上がるのに極めて有利であると報告している。

Alikhanov（³⁾1969）はソ連 sport masters を所有する男子バレーボール選手を被験者として用い、手の甲に加速度計を取り付けてネット越しにスパイクさせ、同時に側方より高速度カメラで撮影した。その結果、踏切局面における腕の振り下げが終わり、振り上げが開始された直後、求心性加速度（centripital acceleration）は最大値に達し、約30～40Gになる。そしてこの腕の蓄積されたエネルギーは肩関節を介して体幹に伝達され、大きな跳躍高を得るのに有益なものとなると述べている。

しかし、加速度計を使用する測定において、①大部分の運動では、加速度ベクトルは加速度計の面に対して直角に作用しないこと（Winter,1979⁹⁾）、②加速度計を身体部分に固定させることの困難さなど、測定上の問題点があり、加速度計は使用する上で最も扱いづらい測定装置の一つとされている。

腕の振込動作を肩角度変化からとらえたものは以下の2篇がある。

橋本（²⁵⁾1968）は吊るしたボールを打撃させ、毎秒32コマで8mm撮影をして上腕と胴体のなす角度を求めた。その結果、男子バレーボール選手の肩角度変化は、接地時が-15度で腕は身体の後方にあるが、接地後9コマ目で75度になり、以後右腕のバックスイングに入るため肩角度はあまり変化せず、離地時（接地後15コマ目）には90度になると報告している。

また阿江（¹⁾1982）はスパイクジャンプ動作を撮影して、肩関節を通る鉛直線と上腕となす角度を求め、助走速度の変化に対する影響をみたところ、助走速度が大きくなるにつれ、接地時における肩角度は約-101度から約-93度へと小さくなるが、離地時では逆に約122度から約126度へ増大するため、動作範囲にはほとんど差がみられなかったと報告している。

橋本の報告した接地時肩関節角度は-15度で、阿江の場合と比べて極めて小さい（腕が身体後方で充分引き上げられていない）。バレーボールのスパイクジャンプはすでに述べたように、第1足の前に第2足を接地させ、右肩および右腰をやや斜め後

方に引いて踏切動作を行うので、つまり撮影カメラに対して正面を向く格好になるので、両腕が身体後方で水平近く引き上げられていても、2次元映画分析法では求めた肩関節角度が極めて小さくなる危険性がある。

また阿江の報告している離地時の肩角度の値は橋本のそれと比べてやや大きいですが、これは阿江の研究ではボールを打撃しておらず離地時の時点で打撃準備がなかったことによるのかもしれない。なお、橋本、阿江の報告している値はいずれも右腕に関するものであり、左腕の動きについて検討した報告はみあたらない。

2. フィールド実験的方法によるもの

フィールド実験的方法により踏切局面について検討したものは2篇にすぎない。

砂本らは日・ソ対抗男子バレーボール大会(1979)⁶⁶⁾および日・キューバ対抗男子バレーボール大会(1980)⁶⁷⁾におけるゲーム中の一流選手のスパイク動作をサイドライン側から高速度カメラで撮影し、跳躍高を求めた。床面とかかとの距離から求めた跳躍高は、1セット当りの平均値でみると、日・ソ対抗では日本選手が約70.5~83.9cm、ソ連選手が約66.4~82.9cm、日・キューバ対抗では日本選手が約77.6~83.2cm、キューバ選手が約82.7~87.9cmであったと報告している。なお、一流選手の踏切動作については、砂本らは何も報告していない。

3. まとめ

以上みてきたように、踏切局面における主たる課題は大きな跳躍高を得ることであると言えよう。大きな跳躍高を得るためには、バレーボールの踏切動作では、①踏切接地時において踏込角を小さくし、後傾角を大きくすること、②脚や腰関節の屈曲・伸展を大きくする、しかし極端に大きくし過ぎると大きな力が発揮できないこと、③踏切局面を通じて大きな力を発揮するためには両脚を使用して屈曲・伸展を行えば有効であること、④踏切離地時では腰、膝、足関節を充分伸展することなどがわかったが、これらはいずれも実験室的方法により究明されてきたもので、これまでフィール

ド実験的方法により踏切動作を検討した報告はない。そこで本研究では、踏切局面における課題として跳躍高を取り上げ、跳躍高を生み出す原因となる踏切動作をフィールド実験的方法により明確にし、そして跳躍高に影響を及ぼす後傾角、腰や脚の関節角度などのいくつかの要因について検討することにする。

第3節 スイング局面について

1. 実験的方法によるもの

バレーボールのスパイクにおける打撃の強さはインパクト直後のボール速度からみることができよう。

⁷⁴⁾
多和 (1958) はストロボスコピック・マルチフラッシュ (ストロボ連続発光装置) を用いた写真撮影により, 各スポーツ種目におけるボール速度を求めたところ, バレーボールのスパイクでは, インパクト後のボール速度は19m/sであったと報告している。

⁴⁸⁾
また森田 (1976) は肘関節を伸展して腕を頭上から約30度前方へ傾けた位置に吊るしたボールを, 大学女子バレーボール選手7名にジャンプしないで打撃させた。打撃後のボール速度をボール初速測定器 (竹井製デジタルタイマー: 1/1000秒まで測定可能) を用いて求めたところ, 12.407m/sであったと報告している。

このように打撃後のボール速度はストロボ撮影やスピードガンによっても求められるが, 報告されている大部分はシネカメラ (主として16mm高速度カメラ) を用いた映画撮影法によるものである。

²⁵⁾
橋本 (1968) は大学男子バレーボール選手と未経験者に, 吊るしたボールをネット越しに打撃させ, 側方より8mm映画撮影した。打撃後のボール飛行距離とフィルムコマ数よりインパクト後のボール速度を求めたところ, 10回の試技の平均は, 熟練者が14.71m/s, 未経験者が12.09m/sであり, 熟練者の方がボール速度は大きかったと報告している。

⁵⁴⁾
二宮と佐々木 (1970) は大学女子バレーボール選手のスパイク動作を側方より16mm高速度カメラで撮影し, 打撃後のボール速度を求めたところ平均16.2m/sであったと報告している。

⁶⁵⁾
また砂本 (1972) は大学男子バレーボール選手5名, 女子選手6名, 全日本ジュニア選手 (高校生) 6名, 中学男子選手7名, 女子選手7名の計31名を被験者とし

て、吊るしたボールをネット越しに打撃させ、側方より高速度カメラで撮影した。ボールが手掌を離れた瞬間から着床までの平均速度を求めたところ、大学男子、女子選手、全日本ジュニア選手、中学男子、女子選手それぞれ19.8, 14.4, 18.0, 15.1, 12.7m/s であり、ボール速度は年令の高い選手の方が、また女性よりも男性の方が大きい傾向にあったと報告している。

このように報告されているボール速度の大部分は、インパクト後のかなり長い特定区間における平均速度であり、インパクト直後のボール速度を報告したものは3篇しかない。

93)

山本と守谷(1961)は大学男子バレーボール一部リーグの選手(A群)と二部リーグの選手(B群)各3名に、吊るしたボールをネット越しに打撃させたところ、打撃直後のボール速度はA群が23.02m/s, B群が19.69m/sであったと報告している。

52)

Nelson(1964)はアメリカ大学男子バレーボール選手による全国レベルの大会(1961年National Tournament)における優秀なスパイカー8名を被験者として選択し、セッターがトスしたボールをネットに対して直角にスパイクさせ、側方より高速度カメラで撮影して、ボール速度を算出した。その結果、被験者のうちインパクト直後のボール速度が最も大きかったのは30.266m/s, 最小が17.465m/sで、平均すると24.122m/sであったと報告している。

57)

また長尾(1975)は大学男子バレーボール選手の中から、調査・質問用紙により、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を2名選択し、スパイク動作を側方より高速度カメラで撮影した。その結果、インパクト直後のボール速度は、重い球を打つものが約21.1~22.7m/s, 軽い球を打つものが約16.8~17.6m/sであったことから、レシーバーが感覚的にとらえた重い球、軽い球は第一義的には球速が大きな要因であると述べている。

インパクト時におけるこれらボール速度と手の速度との関係について論じているものは、長尾の研究のみである。

51)

長尾(1975)は、手掌とボールの接触時間は重い球を打つものが約12.7~10.7 msec, 軽い球を打つものが約9.4~9.3msecであったこと、インパクト直前と直後の

手首の速度低下率は、重い球を打つものが約80.3～97.2%，軽い球を打つものが約66.4～82.0%であったことから、重い球をスパイクするにはインパクト中に手をできるだけ長くボールに接触させ、インパクト前に有する手掌の運動エネルギーを充分ボールに与えることが重要であると述べている。

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への手の当て方やインパクト姿勢が重要であると考えられる。

49)

森屋（1965）は大学男子バレーボール選手8名を被験者に用い、スパイクの開掌打法について自作の打叩力計（棒天秤にヒントを得て、ボールを打叩することにより圧縮コイルバネを圧縮させ、その圧縮長によって打叩力を測定した：大阪清水スプリング鋼業製）により各種の打法による打叩力を測定した。立位で、打叩力計に取り付けてあるボールを肩の高さに保ち、①手の中心で打撃する（第1法）、②母指根線で打撃する（第2法）、③手根関節線（手首）で打撃する（第3法）を行わせたところ、打叩力は第1、2、3法それぞれ13.72、14.64、16.63kgであり、打撃接点の手根関節線に近づくにつれ打叩力が大きかったことから、森屋は実際のスパイクでは手根関節線にできるだけ近い母指根線付近で打撃するのが強い打撃をするのに効果的であろうと述べている。

69, 70)

高橋ら（1966,1967）は自作の歪測定板を壁面に固定し、壁から1m離れた場所より、大学バレーボール選手にジャンプしないで吊るしたボールを打撃させ、力・時間曲線を測定した。打点の位置が、①頭の真上に位置する（上方90度）、②腕を頭上から前方に45度傾けた位置（上方45度）、③腕を頭上から前方および側方に45度傾けた位置（前-側方45度）になるようボール位置を調節した後、打撃させたところ、力の最大値は上方45度が約80.36～93.21kgで最も大きく、次いで上方90度が約68.68～72.83kg、前-側方45度は約58.5kgで最も小さくなったと報告している。

これらはいずれも実験的に適切な打点位置を究明しようとした研究であるが、実際にスパイクを行わせてインパクト時のボールの捉え方を検討したものは1篇ある。

89)

渡辺（1975）は大学バレーボール選手の中から、身体の上方でボールをとらえるもの（A型）と身体より前方でとらえるもの（B型）を各1名選択し、ネット越しにスパイクさせて、側方より毎秒1000コマで16mm撮影した。その結果、A型の打点位置

は肩のほぼ真上にあり，ボールを打つ手の部位は，まず手関節（手首）付近がボールに接触し，つづいてスナップを効かせるため，手のひら，そして指先がボールに接触するようなどらえ方をしている。またB型の打点位置は身体の前方向約20度にあり，手掌全体が同時にボールへ接触するようなどらえ方をしていることから，渡辺は，A型のようなボールのとらえ方は，打点を高くするにはよいが，スナップのかけ方次第では，ボールが鋭角的に落下しない場合やボールにスピードがつかない場合がある。そしてB型のようなボールのとらえ方は，スナップのいかんにかかわらず，ボールの落下角度は大きくなり，ボールのスピードも大きくなると述べている。

強い打撃をするためには，これまでみてきた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必要であると考えられる。

橋本（1968）²⁵⁾はスパイク動作を8mm撮影して，バックスイング終了時からインパクト時までの手首の平均速度と，打撃後のボール速度を求めたところ，手首とボールの速度はそれぞれ熟練者が7.28，14.71m/s，未経験者が5.57，12.09m/sで，手首の速度の大きい熟練者の方がボール速度も大きくなったと報告している。

フォアスイング中の腕の速度変化について検討したものには山本らの報告がある。

山本ら（1964）²⁵⁾は大学男子バレーボール選手3名に吊るしたボールを打撃させ，腕のスイング動作を側方より高速度カメラで撮影した。フォアスイング中の肩を中心とした肘，および肘を中心とした手首の速度を求めたところ，上腕は等速運動を行う前半と動きがほとんど停止する後半とから成るスイングを行い，前腕は等速運動から速さが漸増するようなスイングを行い，両者の関係は上腕の前半から後半へスイングが移るころから前腕の速さが漸増していると述べている。

これらスイング速度を生み出す原因となるスイング動作について検討したものはあまり多くない。

橋本（1968）²⁵⁾はスイング動作を8mm撮影して，フォアスイング中の腰および膝関節角度を求め，熟練者と未経験者のスイング動作を比較した。その結果，バックスイング時の腰角度は熟練者，未経験者それぞれ220，210度，膝角度は110，176度であり，熟練者は未経験者に比べ，胴体を後方に大きく後傾し，脚を後方に大きくかい込

んだバックスイング姿勢をとっている。また、バックスイング終了時からインパクト時までの胴体の角度変位を求めたところ、熟練者、未経験者それぞれ56、40度であったことから、熟練者は充分後方に反ったバックスイングから、膝関節伸展とともに腰関節を大きく前方屈曲させるフォアスイングをしていると述べている。

長尾⁵¹⁾(1975)はトランクス⁵¹⁾の切れ目によってスパイク直前、直後の上体、腰のひねりの度合を比較して、重い球の場合にはインパクト0.019~0.020秒前において腰および上体は右に大きくひねられ、以後身体を左にひねりもどしながらスパイクしており、インパクト後も左への上体のひねりもどしが続いており、スパイクには体のひねりを大きく用いているが、軽い球の場合には、いずれも腰、上体のひねりは重い球の場合ほど大きくないと述べている。

また山本と古谷⁹⁴⁾(1963)、山本、田口、田村⁹⁶⁾(1968)らも熟練者と未熟練者のスイング動作を比較して、熟練者は腰を中心とした上体のひねりを巧みに利用していると述べている。

しかし、長尾、山本らの研究はいずれもスパイク動作の分解写真を定性的に観察したものであり、今後定量的に精度の高い情報を得て再検討してみる必要がある。

なお、長尾⁵¹⁾(1975)は踏込の位置が重い球の場合には軽い球の場合に比べ、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ことから、強い打撃をするためには、空中での身体のひねりに加え、跳躍距離を大きくすることも有効であると述べている。

打点の高さは、インパクト時の手先の高さや床面からボール中心までの高さなどからとらえることができよう。

小村ら⁴³⁾(1981)は全日本男子9名を被験者にしてオーブンスパイク、クイックスパイク、ブロックをさせ、これを側方より高速度カメラで撮影してインパクト時の床面からボール中心までの高さからみた打点高を求めている。打点高はオーブンスパイクが約3.02~3.12m、クイックスパイクが約2.92~3.12m、ブロックが約2.75~2.95mで、オーブンスパイク、クイックスパイク、ブロックの順で大きかったと報告し、ここでの打点高の差はこれら3種類の跳躍が持つスキル上の特徴の表出と考えられる

と述べている。

しかし、ここで比較をしている各跳躍は、被験者がそれぞれ最も得意とする跳躍を一種目選択して行ったものであり、各跳躍ごとに被験者は違っている。小村らの報告は実験室的な研究において一流選手の打点の高さを測定した唯一の報告であり、この点に関しては貴重な資料であると言えるが、上述した各種の跳躍を比較するには、同一の被験者を用いたものか、あるいは個人差による要因を消却するためにもう少し分析試技数が多いものを用いる必要があるだろう。

Hay ら (1976)²⁶⁾ は垂直跳において手先の到達する高さは、最大重心高 ($H_1 + H_2$) と、到達点と最大重心高の差 (H_3) から成ると述べ、打点の高さを大きくするには跳躍高を大きくすることに加え、空中でのボールのとらえ方も重要であることを示唆している。そして、Hay らはこの H_3 の大きさは身体各部分の長さ、到達時における身体各部分の配列とタイミングによって決定されると述べている。

川合ら (1979)³³⁾、川合と小林 (1980)³⁴⁾ は大学男子バレーボール選手の中から熟練者と未熟練者を選択し、オープントスをストレートコースへ打撃させた。これを側方より高速度カメラで撮影し、肩を中心とした肘、手首の軌跡と、腰を中心とした膝、足首の軌跡を描いて、熟練者と未熟練者の動きを比較したところ、インパクト時には、熟練者は未熟練者に比べ腰、膝、足関節とも十分に伸展されている。また上肢の動きでも、熟練者の肘の位置は肩のほぼ真上にあり、肘関節も充分伸展されていると述べている。

高橋、田中、川合 (1970, 1972)^{37, 38)} もスパイク動作を撮影してインパクト時のスティックピクチャーを描いたところ、熟練者は身体のほぼ真上でボールにインパクトし、インパクト時のフォームは熟練者ほど身体を直線的にしていると述べ、打点を高くするには身体の各関節を伸展してボールを捉えることが役立つことを示唆している。

スパイクにおけるフォアスイング局面は、一つには高い打点でボールをとらえることができるインパクト姿勢を作るための重要な局面であるが、これまでフォアスイング動作を打点高を大きくするという観点から検討したものは報告されていない。

Bishop and Hay (1979)³⁹⁾ は 8 名のバスケットボール選手を被験者にして、シュート時の空中動作を検討した。空中局面において、膝を曲げ、腕を伸ばす動作を強調して

行かせたところ、身体重心の変位は予想どおり放物線状の軌跡を描いたが、頭頂および腰の midpoint の変位は空中局面の初期と後期では重心とほぼ平行した軌跡を描き、中間の最大重心高に達する付近では、その軌跡は著しく偏平化されていたと述べ、空中局面において身体各部分の重心位置は他の部分の重心位置によって影響を受けることを報告している。

Bishop and Hayの研究は、バレーボールの空中でのスイング動作に関するものではないけれども、バレーボールのスパイクにおいて打点を高くするのに役立つスイング動作を明らかにしていく上での参考として研究を進めるべきであろう。

なお²⁰⁾ 杉堀と郷守 (1980) はスパイクには踏切離地時に両腕を身体上方に高く上げ、そのまま振りかぶるようにしてバックスイングを終了するもの (ヨーロッパ式) と、肘関節をやや屈曲し、身体側面を通して肘を後方に引きバックスイングを終了するもの (日本式) ^{57, 58)} があると述べ、熊本ら (1974, 1976) はスパイクスイング動作を筋電図により分析したところ、上腕をほぼ肩の高さで後方に引くバックスイング (elevation style) と、肩よりも下で後方に引くバックスイング (backswing style) があると述べ、バックスイング動作を類別しているが、打点高や打撃の強さなどに及ぼす影響について検討されたものはみあたらない。

2. フィールド実験的方法によるもの

フィールド実験的方法によりスイング局面について検討したものは砂本らの報告があるのみである。

^{66, 67)} 砂本ら (1979, 1980) は一流選手のゲーム中のスパイク動作を撮影して、インパクト時の打点の高さとボール速度を算出している。インパクト時の手先の高さからみた打点高は1セットごとの平均値でみると、日・キューバ対抗 (1980) ⁶⁷⁾ では、日本選手が約3.11~3.12m、キューバ選手が約3.17~3.23mであった。

ボール速度をスパイク直前のボールの直径 (21cm) を距離較正に用い、インパクト直後の2コマ間のボール移動距離とコマ・インタバル時間から求めたところ、日・ソ⁶⁶⁾ 対抗 (1979) では日本選手が約11.9~24.4m/s、ソ連選手が約13.6~24.6m/sであ

り、日・キューバ対抗(1980)では日本選手が約19.3~24.5m/s, キューバ選手が約21.5~29.3m/sであったと報告している。

なお、これらボール速度や打点の高さを生み出す原因となる動きそのものについては、砂本らは何も報告していない。

3. まとめ

以上みてきたように、スイング局面における主たる課題は、打点を高くするとともに、インパクト後のボール速度を大きくすることであると言えよう。ボール速度を大きくするには、①バックスイング終了時に膝関節を屈曲し、胴体を充分後傾させること、②フォアスイングにおいて胴体のひねりや屈曲を大きくし、前半は上腕の振り、後半は前腕の振りを強調すること、③インパクト時においては、打点位置を身体の前上方に置き、手根関節付近でボールにインパクトすること、また打点を高くするには、インパクト時において身体各部の関節を充分伸展させることなどがわかったが、打点高を大きくすることに関する情報が少ないこと、フィールド実験的方法によりスイング動作が検討されていないことなどから、これまでみてきた資料のみでは、ボール速度を大きくし、打点を高くするのに役立つスイング動作が充分検討されているとは言えない。そこで本研究では、スイング局面における課題として、打点高およびインパクト直後のボール速度を取り上げ、これらを生み出す原因となるスイング動作をフィールド実験的方法により明確にし、そして打点高およびボール速度に影響を及ぼすいくつかの要因について検討することにする。

第3章 問題

ここでは本研究において取り扱う研究課題と研究の進め方、用語の定義、作業仮説および研究の限界について述べる。

第1節 研究課題と研究の進め方

本研究の目的を達成するには、文献研究により明らかになった諸課題のうち、次に述べる研究課題を究明する必要がある。

研究課題1 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程の記述

ゲーム中の各一流選手の動作は、バイオメカニクス的手法によれば、3次元映画撮影法(DLT法)による身体各部位の位置変化および各部分の角度変化からとらえることができよう。しかしながら、これらの資料は各選手の身体的諸能力によって条件づけられた実施法としての資料であり、この段階ではまだ高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程が明確にされているとは言えず、文献研究から明らかかなように、課題1に関してこれまで報告された例も見られない。

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程を明らかにするためには、撮影・分析された各一流選手の動作に共通に内在する運動過程を抽出し、それを経時的に記述することにより可能になると考えられる。

規格化・平均化の手法は、各一流選手のスパイク動作における身体各部位の位置の平均値および各部分の角度の平均値を経時的に示すことができ、これらの平均値は各選手の動作に共通に内在する運動過程の代表値であると考えられるので、規格化・平均化の手法は運動技術を抽出するための一つの優れた方法であると考えられる。従って、本研究では、この規格化・平均化の手法を用いて、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程を究明していくことにする。

研究課題2 運動成果を大きくするための動きの究明

24)

運動技術（合目的かつ経済的な方法）を発見するためには，多和（1972）によれば「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。本研究でもこのような考え方に従って高い位置で強く打撃するためのスパイク技術を究明していくことにするが，文献研究で述べたように，スパイクは技術上，助走，踏切，スイングの3局面から構成され，各局面ごとに達成すべき課題が違っているので，本研究では各局面ごとに分けて検討することにする。

（1） 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の究明

これまで報告された文献をもとにすれば，スパイク助走局面における課題の一つは大きな跳躍高を得るために助走速度を大きくすることであると言える。ここでは助走速度を踏切に入った瞬間の重心の水平速度からとらえ，大きな助走速度を得るために重要な動きとの関連をみていくことにする。

（2） 身体を空中に高く上げるための踏切動作として役立つ動きの究明

これまで報告された文献をもとにすれば，スパイク踏切局面における課題の一つは身体を空中に高く上げるために跳躍高を大きくすることであると言える。ここでは跳躍高を空中での最大重心高と立位時重心高との差からとらえ，跳躍高を離地時重心上昇高と空中での重心上昇高に分けて，各々大きな重心上昇高を得るために重要な動きとの関連をみていくことにする。

（3） 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の究明

これまで報告された文献をもとにすれば，スパイクスイング局面における課題の一つは，ゲームにおいて得点を得るために，高い打点で強く打撃することであると言える。ここでは打撃の強さをインパクト直後のボール速度から，そして打点の高さをインパクト時の手先の高さからとらえ，高い打点で強く打撃するために重要な動きとの関連をみていくことにする。

第2節 用語の定義

ここでは本研究において使用する用語および定義した用語の主なものについて説明する。

- 1) トレーニング：²⁸⁾ 狭義には、体力の向上にトレーニングが、技術の向上に練習という用語が用いられるが、ここでは広義にとらえ、²⁸⁾ 競技を行うために身体的、技術的、精神的に必要とされる準備のこととして取り扱った。
- 2) 動きと動作：動きには、①物体が位置を変えること、②心（世、相場）の状態が変化すること、③組織、機械、からだなどの働きの意味があるが、本研究では①の意味としてとらえた。そして動きを動作と区別して使用する場合には、動作は主としてヒト（その他、サル、ロボットを含む）の身体各部分の動きであるとして取り扱った。
- 3) 技術と技能：³¹⁾ 技術（運動技術）は合目的的・合理的運動過程を、そして技能はヒトが技術あるいは技術の一部を身に付けている状態を表わす用語として取り扱った。
- 4) スパイク技術：得点を得ることをねらいとして相手側に攻撃をしかけるときに用いられる合理的運動過程。³¹⁾
- 5) オープンスパイク：コート¹⁷⁾の端（レフト側やライト側）から、主として高くトスしたボール（人によっては平行トスのスパイクもオープンスパイクに加えることがある）を相手側に打ち込むスパイク。
- 6) クイックスパイク：トスの開始から打撃の瞬間までの時間が短いスパイクの総称で、セッター（トスする人）の位置を基準にA、B、C、Dの4種類に分類されている（図3-1参照）。⁵³⁾
- 7) 時間差攻撃：トスの開始から打撃の瞬間までの時間が異なる（例えばトスの高さを変える）⁵³⁾ 2～3種類のスパイクを同時に使用する攻撃（図3-2参照）。
- 8) 移動攻撃：プレイが開始される前のポジションから別のポジションに移動して打

撃をする攻撃。

- 9) 助走局面：助走開始の瞬間から両足のどちらかの足が踏切のため接地する瞬間までの期間。
- 10) 片足接地期：スパイク助走局面において、片足のみが地面に接触している期間。
- 11) 両足接地期：スパイク助走局面において、両足とも地面に接触している期間。
- 12) 空中期：スパイク助走局面において、両足とも空中にある期間。
- 13) 踏切局面：踏切のため両足のうちどちらかの足が接地した瞬間から両足とも離地するまでの期間。
- 14) 踏切前半：スパイク踏切局面において身体重心の鉛直速度が下向きにある期間。
- 15) 踏切後半：スパイク踏切局面において身体重心の鉛直速度が上向きにある期間。
- 16) スイング局面：踏切を終了して離地した直後から両足のうちどちらかの足が着地するまでの期間。
- 17) バックスイング：スパイクスイング局面において、離地時から重心に対する打撃側の肩水平速度が前向きになるまでの期間。
- 18) フォアスイング：スパイクスイング局面において、バックスイング終了時からボールにインパクトするまでの期間。
- 19) フォロースルー：スパイクスイング局面において、インパクト時から着地するまでの期間。
- 20) 胴体スイング開始時：フォアスイングにおいて、重心に対する打撃側の肩水平速度が前向きになる時点。
- 21) 上腕スイング開始時：フォアスイングにおいて、打撃側の肩に対する肘水平速度が前向きになる時点。
- 22) 前腕スイング開始時：フォアスイングにおいて、打撃側の肘に対する手先の水平速度が前向きになる時点。

第3節 作業仮説

先に示した研究課題を究明するためには、次にあげる作業仮説が必要である。

- 1) 本研究で用いる被験者は、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術を身につけており、ワールドカップ'81においてその技術を発揮していた。
- 2) ゲーム中のスパイク動作をとらえ、その定量的解析を行うためにDirect Linear Transformation Method が適用できる。
- 3) 本研究における動作分析のために選択された試技は、バレーボールにおける代表的なスパイク動作であり、これらを検討することにより高い打点で強く打撃するためのスパイク技術を究明することができる。

第4節 研究の限界

本研究には、次にあげる方法、結果の解釈および得られた知見の一般化に関する限界が存在するとみられる。

- 1) 本研究で分析した身体各部位の位置は、各関節中心あるいは身体各部分の端点であるため、上肢および下肢における長軸まわりの回転動作（ひねり）に関しては言及できない。
- 2) 被験者には成人男子一流バレーボール選手を用いた。従って、得られた知見をそのまま一般成人、さらに発育発達段階にある児童・生徒に適用するには限界があるろう。

第4章 研究方法

第1節 DLT法の概説

1. 実空間座標とフィルム面上の座標との関係について

実際の空間（実空間）における3次元位置座標を写真分析により求めるためには、カメラの位置（厳密にはレンズの中心の実空間座標）、方向余弦、レンズの焦点距離（あるいはレンズとフィルム面との距離）を実際に測定したり、また逆にこれらの定数があらかじめ定められた値になるようにカメラを設置することにより求められるとされている。^{8,62)}

池上²⁹⁾（1983）は実空間の3次元座標とフィルム面上の像の2次元座標との関係を模式図（図4-1参照）で示し説明している。それによれば、フィルム面上のU軸およびV軸にX軸およびY軸が平行で、Z軸方向が光軸に一致するような座標系（X'-Y'-Z'系）を考えると、P点を表わす位置ベクトル \vec{OP} はX'-Y'-Z'系で、

$$\vec{OP} = M \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

となる。ここでMの成分 m_{ij} ($i, j=1, 3$) は実空間座標の座標軸と光軸の向きの関係により定まる。同様にP点の像Qの位置を表わすベクトル \vec{OQ} はX'-Y'-Z'系で、

$$\vec{OQ} = \begin{bmatrix} U - U_0 \\ V - V_0 \\ -F \end{bmatrix}$$

となる。ここでベクトル \vec{OP} と \vec{OQ} は互いに方向が反対で同一線上にあり、その長さの比が F/L であるから

$$\vec{OQ} = -F/L \cdot \vec{OP}$$

が成り立つ。従って、 \vec{OP} 、 \vec{OQ} をそれぞれの成分で表わせば、

$$\begin{bmatrix} U - U_0 \\ V - V_0 \\ -F \end{bmatrix} = \frac{F}{L} \cdot M \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{--- (1)}$$

となる。式(1)を各成分に分けて書けば、

$$U - U_0 = -F/L \{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)\} \quad \text{--- (2)}$$

$$V - V_0 = -F/L \{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)\} \quad \text{--- (3)}$$

$$-F = -F/L \{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)\} \quad \text{--- (4)}$$

となる。式(4)をLについて解けば、

$$L = m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)$$

となり、これを式(2)、(3)に代入すれば、

$$U - U_0 = -F \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \quad \text{--- (5)}$$

$$V - V_0 = -F \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \quad \text{--- (6)}$$

が得られる。ここで式(5)、(6)は実空間座標とフィルム面上の座標との関係を表わしており、方向余弦(m_{ij} , $i, j=1, 2, 3$)、フィルム面とレンズ中心との距離(F)および2台のカメラより得られたフィルム面上の2次元座標が得られれば、 X 、 Y 、 Z に関する4つの方程式を得ることができ、このうちの3つを3元の連立方程式として解けば実空間の座標が求められると述べている。

しかし、上述したカメラに関する定数を知るためには特別な測定装置を必要とするばかりでなく、測定および分析手順が極めて複雑(特に方向余弦を知ることは最も困難なこと)であり、これまで3次元映画撮影法はあまり用いられていなかった。

2. カメラ定数の算出について

Walton (1979) は図4-2に示すような実空間における3次元座標とフィルム面上の2次元座標の関係を表わす関係式を示している。池上の報告における式(5), (6)も定数をまとめて整理すれば, この関係式と同じ形の式を得ることができ, Waltonによるこの関係式のA~Lまでの係数が, すでに述べたカメラに関する定数により決定されることがわかる。DLT法では, このカメラに関する定数を直接測定するかわりに, あらかじめ実空間での座標が知られているいくつかの点(コントロールポイント)を撮影し, この点の3次元座標とフィルム面上における2次元座標から, 代数的に求め, これまでの3次元映画撮影法における測定および分析上の問題点を解消している。

つまり図4-2に示す関係式をA~Lまでの係数について解けば,

$$AX + BY + CZ + D - EXU - FYU - GZU = U \quad \text{--- (7)}$$

$$HX + JY + KZ + L - EXV - Fyv - GZV = V \quad \text{--- (8)}$$

となり, 式(7), (8)はAからLまでの11個の未知数に対する連立方程式とみなすことができる。従って, すでに述べたコントロールポイント6個の2次元および3次元座標がわかれば, U, Vあわせて12組の連立1次方程式が得られ(図4-3参照), この内の11個の方程式を解けばA~Lまでのカメラ定数が求められる。

3. 3次元座標の算出について

このようにしてA~Lまでの11個の係数が求めれば, 未知の実空間座標を持つ点のフィルム面上での像の座標を測定することにより, その実空間座標を求めることができる。つまり式(7), (8)をX, Y, Zに関して整理すれば,

$$(A - EU)X + (B - FU)Y + (C - GU)Z = U - D \quad \text{--- (9)}$$

$$(H - EV)X + (J - FV)Y + (K - GV)Z = V - L \quad \text{--- (10)}$$

となる。ここでU, Vの2次元座標が2台のカメラにより2組得られれば式(9), (10)のX, Y, Zに関する方程式が, カメラ2台あわせて4組得られることになり(図4-4参照), この内の3組を連立1次方程式として解けば, 実空間座標X, Y, Zが得られる。

以上述べてきた3次元映画撮影法はDirect Linear Transformation Method (DLT法)と呼ばれ、距離較正に用いるコントロールポイント(本研究では以後、較正点と称する)さえ撮影範囲全体に分布するように撮影しておれば、方向余弦やレンズ焦点距離などに関する情報は知る必要がなく、これまでの3次元映画撮影法と比べ、測定が極めて容易な解析法であるとされている。

第2節 撮影方法

1. 撮影対象

昭和56年11月26日，東京代々木体育館にて行われたワールドカップ'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を撮影対象とした。なお，試合結果は以下の通りであった。

$$\text{ソ連} \quad 3 \quad \left[\begin{array}{ccc} 15 & - & 3 \\ 17 & - & 15 \\ 15 & - & 11 \end{array} \right] \quad 0 \quad \text{キューバ}$$

$$\text{ポーランド} \quad 3 \quad \left[\begin{array}{ccc} 15 & - & 13 \\ 2 & - & 15 \\ 8 & - & 15 \\ 15 & - & 8 \\ 15 & - & 13 \end{array} \right] \quad 2 \quad \text{日本}$$

2. 撮影

図4-5は本研究の撮影場面におけるカメラ位置（16mm,VTR）と較正器の位置を示したものである。図に示す位置に固定した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）とも，高さが約4mで，相手コートのアタックラインより前（ネットの方向）の部分と味方コートの約前半分がフィルム面上に映るように撮影範囲を決め，相手側のサーブ開始時からスパイカーがスパイクを終了して着地するまでを撮影した。なお，一つの試技を2台のカメラで同時に撮影するため，連絡用にトランシーバー，手旗などを用いて指示者の合図（相手側のサーブ開始時）によって

撮影を開始した。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)をフィルムの片側に同時記録した。

第3節 分析試技

1. 分析試技の決定

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およびコーチ）が試合会場で撮影したVTR および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、このうち跳躍高が大きく、打撃も強くて、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23試技を分析試技として選択した。

2. 分析試技の特徴

表4-1はこのようにして選択された23の分析試技を、スパイクの種類別に分類して、また同種類のスパイクにおいては助走歩数の多い順に整理して、その特徴を示したものである。

スパイクの種類では、オープンスパイクが最も多く16試技、次いでAクイックが4試技、Bクイックは3試技であった。

助走歩数には1～3歩が用いられていた。そのうち2歩助走が最も多く12試技、次いで3歩助走が6試技、1歩助走が5試技であったが、オープンスパイク、Bクイック、Aクイックの順でより大きな助走歩数が用いられているようである。

スパイクに要した時間およびスパイクにおける助走、踏切、空中でのスイングの各時間は表に示した通りである。スパイク時間、助走時間の標準偏差が大きいのは、本研究で用いられた助走歩数が1～3歩と変化しているためで、各助走歩数ごとのスパイク時間、助走時間を示せば、1歩助走ではそれぞれ1.403(±0.063)秒、0.323(±0.037)秒、2歩助走では1.89(±0.182)秒、0.802(±0.143)秒、3歩助走では2.226(±0.088)秒、1.189(±0.109)秒であり、助走歩数が1歩から3歩まで増加するにつれスパイク時間も助走時間も長くなっている。

3. 被験者の特徴

表4-2は本研究における被験者の特徴をチーム別にまとめて示したものである。表4-1で示した分析試技の中には同一の被験者によるものも含まれているので、本研究において用いた被験者の数は合計12名である。形態的特徴は、極めて大きく、身長が平均1.95m、体重が平均85kgであった。ポジションは大部分の選手がスパイカーであるが、中にはセッターのものも含まれている。しかし、Silie, Klos, Drzyzgaはいずれもそのチームがツーセッターシステムを採用しているため、フォワードポジションにいる場合はスパイカーとしてプレイしている。これら3名は身長も高く、打撃もできるセッターとして国際的に有名な選手である。

以上みてきたように、本研究で分析するスパイク動作の試技数は被験者数と一致しないが、たとえ同一被験者による試技であっても、スパイクの種類、助走歩数、あるいはスパイク時間などが違っており、同一のスパイク動作ではない。しかしながら、いずれの試技も世界で一流の白人、黒人、黄色人種の選手たちによるバレーボールの代表的なスパイク動作である。従って、これらの試技を分析することにより「高い打点で強く打撃するためのスパイク技術」を究明することができると考えられる。

第4節 データの解析

1. DLT法による3次元座標の算出

図4-6は、本研究における分析試技として選択した23試技の撮影フィルムから、上述したDLT法によりスパイク動作中の身体各部位23点およびボールの3次元座標を算出するための手順を示したものである。以下この手順に従って説明することにする。

(1) 較正点の3次元座標の実測

図4-7は本研究で用いた自作の較正器（高さ4m，横幅4m）を示したものである。この較正器を図4-5の①で示すバレーボールコートのレフトサイドライン上の位置に設置し，3階席に固定した2台のシネカメラで撮影した。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(0,0,0)として較正点（較正器の各支柱に巻かれた青と白のテープで区切られた箇所）から吊るした分銅が示すコート位置（レフト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，後でこれに吊るした糸の長さを加えた値とした。①の地点における実測と撮影が終了した後，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。

(2) 較正点のフィルム分析

図4-8は本研究で用いた自作のフィルム分析台（高さ約2.3m，横約2.2×0.9m）と，フィルム分析装置を示したものである。格子を撮影したフィルムを分析台後部にある16mm映写機（Nac社製）にかけ，画像を分析台前部にある座標読み取り装置（

Bit Pad One:Summagraphics 社製)に投影した。画像中央部の格子の大きさと四すみの格子の大きさが相対誤差にして最大2%以下になるよう、フィルム分析装置を調整した後、2台のカメラで撮影した各較正点の位置および基準マーク(レフトサイドラインとアタックラインの交点)のX、Y座標をグラフペンシステム(シャープMZ80Bマイクロコンピュータと、ビッドパットワン座標読み取り装置をRS232CI/Oボードを介して接続したフィルム分析システム)を用いて読み取った。なお、フィルム分析装置はまたあとで、スパイク動作の分析に用いるため、動かないように分析台の固定具とゴムチューブで分析台に固定した。

(3) カメラ定数の算出

このようにして得られた較正点の2次元および3次元座標をカードにパンチし、筑波大学学術情報処理センターの大型電算機(FACOM M-200)に入力した。そして、これらのデータから図4-3に示す連立方程式をたて、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カメラ定数を各カメラごとに算出した。

しかし、較正点の3次元座標を実測する際の測定ミスのため、求めたカメラ定数がスパイク動作中の身体各部位の3次元座標を推定するのに充分適切でない場合が生じる可能性がある。実測による較正点の3次元座標と、得られたカメラ定数により推定した較正点の3次元座標との誤差を各較正点ごとに求めて検討した。ここで、もし大きな誤差(約10cm)を持つ較正点がある場合には、その較正点の2次元および3次元データを取り除き、もう一度各カメラ定数を求めなおした。

(4) スパイク動作のフィルム分析

2台のカメラで撮影したスパイク動作のフィルムを上述したフィルム分析装置にかけ、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コマ毎に、図4-9に示した身体各部位23点およびボールのX、Y座標を読み取り、ミニフロッピーディスクにセーブした。このようにして得られた身体各部位およびボールのX、Y座標をマ

マイクロコンピュータから、音響カプラー（EPSON 社製）を介して電話回線により筑波大学学術情報処理センターの大型電算機に転送した。そして情報処理センター一般端末室にあるカードパンチ機を使用して、転送したデータを各カメラごとデータカードにパンチした。なお、この座標読み取り作業が約2ヶ月という長期に及んだため、途中、分析装置が動いている可能性があるので、分析試技数の約1/3が終了するたび、合計3回、格子の撮影フィルムを分析装置にかけて点検し、またそのつどカメラ定数も求めなおした。

（5） 各カメラの2次元座標の同期調整

カードにパンチした身体各部位のX、Y座標をデータチェックした後、分析コマ数の少ないカメラ（N0.1カメラ）のデータから大型電算機に入力した。そして同期フレーム（例えばインパクトの瞬間）を基準にして各カメラの分析コマに時刻をつけ、2台のカメラの時間軸を規格化した。このとき、N0.1カメラの時刻に一致するN0.2カメラのデータがない場合には、ラグランジェの1次補間公式によりN0.2カメラのデータを補間して求め、両カメラの2次元座標を同期調整した。そして同期調整したデータを大型電算機にセーブした。

（6） スパイク動作中の身体各部位およびボールの3次元座標の算出

同期調整された各カメラごとの2次元座標と、すでに算出されている各カメラ定数から、図4-4に示す連立1次方程式をたて、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の3次元座標を算出した。なお、ボールの3次元座標は（4）のスパイク動作のフィルム分析から得られたボールの2次元座標をマイコンで処理して求めた。

2. DLT法による3次元座標の精度

Shapiro(1978)は直径2.3cmの較正点を48個吊るした四角錐型の較正器(高さ約2m,横約1m)を較正器の基盤の中心から6.7mの位置に固定した2台の高速カメラ(両カメラ間の距離は2.3mで,両カメラでカバーしている撮影範囲は約3m)で撮影し,ボールの自由落下などのテストを行って,実験室的にDLT法が高速カメラによる映画撮影法と組み合わせて使用できることを確かめているが,本研究のように撮影範囲が広いもの(バレーボールのコート約2/3で,高さが約4m)について,DLT法が適用できるか否を検討した報告はない。従って,バレーボール一流選手のゲーム中のスパイク動作を3次元映画撮影法(DLT法)によりとらえるには,本研究において用いたDLT法の精度を確かめておく必要がある。

表4-3は較正点に対して実測による3次元座標とDLT法により算出した3次元座標との標準誤差(Standard error)を示したものである。本研究では,フィルム分析が長期(約2ヶ月)に及んだため,分析を3回に分けて行った。従って,実測値と推定値の標準誤差も各分析ごと(分析1~分析3)に求めた。その結果,本分析で用いた較正点数は約24~29個であり,それらの標準誤差はX方向(サイドライン方向)が約0.034~0.046m,Y方向(ネット方向)が約0.024~0.039m,Z方向(鉛直方向)が約0.013~0.017mであった。

以上の結果から,DLT法を使用すれば,一流選手のゲーム中のスパイク動作を3次元的に定量分析することが可能であり,しかも比較的高い精度での解析が可能であると考えられる。

3. 各種力学量の算出

このようにして得られた3次元座標をもとに,スパイク動作中の身体各部位およ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。

(1) データの平滑化

得られた3次元変位データをそのまま使用して速度を求めると,かなりのノイズと

誤差が生じる。これらは変位データに含まれるノイズが微分処理により増加されたものと考えられる。従って、ノイズが少なく、より正確な結果を得るには、変位データに含まれるノイズを取り除く（平滑化する）必要がある。これまで変位データの平滑化には、移動加重平均法、スプライン関数平滑法、デジタルフィルターなどが用いられてきたが、本研究ではこのうちWinterら⁹¹⁾が考案し、その後波川らが改良したButterworth low-pass digital filter を用いて変位データを平滑化した。式(11)はデジタルフィルターの形式を示したものである。

$$Y_n = C_0 \cdot X_n + 2C_0 \cdot X_{n-1} + C_0 \cdot X_{n-2} + C_1 \cdot Y_{n-1} + C_2 \cdot Y_{n-2} \quad \text{----- (11)}$$

n : フィルムのコマ番号

Y_n, Y_{n-1}, Y_{n-2} : 平滑化データ

X_n, X_{n-1}, X_{n-2} : 未平滑化データ

$$W = \sqrt{\sqrt{\sqrt{2+1} \cdot \tan(\pi \cdot CF/SF)}}$$

$$C = 1 + \sqrt{2} \cdot W + W^2$$

$$C_0 = W^2 / C$$

$$C_1 = 2(1 - W^2) / C$$

$$C_2 = (W \cdot \sqrt{2} - 1 - W^2) / C$$

π : 円周率

CF : 遮断周波数 (Hz)

SF : サンプリング周波数 (Hz)

である。

⁹¹⁾

Winter(1979)はフィルムから得られたデータにはシネカメラやプロジェクターの振動、分析時に生じるさまざまな人為的誤差などに原因するノイズが含まれており、これは通常高周波を示すが、歩行などのヒトの運動における周波数成分はその99.7%⁹⁾が6Hz以下の低周波領域に含まれていると述べている。また阿江(1982)も、スパイクジャンプにおける変位データの周波数分析を行ったところ、10Hz以上の周波数はつま先あるいは足首を除くと極めて少なかったと述べている。そして斎藤ら⁵⁹⁾(1982)

は遮断周波数には、経験上、映画撮影速度の 1/5~1/10程度の値を用いると良いようであると報告している。

従って、本研究では遮断周波数として撮影速度の約1/10に相当する周波数を用いることにした。すなわち遮断周波数は約10Hzであった。

(2) 身体部分係数と重心位置

身体運動を力学的方法により定量的に研究するには、身体部位の位置に加え、各部の質量、重心位置などを知る必要があり、これまで各種の身体部分係数 (Body segment parameter) が報告されている。本研究ではChandlerら (1975) による係数を用いることにした。部分重心位置は、平滑化された各身体部位の座標を式 (12) に代入して求め、また同様に式 (13) を各部分重心間に順次適用して全身の重心 (身体重心) 位置を求めた。

$$x_{CG_n} = A_n \cdot x_n + (1 - A_n) \cdot x_{n+1} \quad \text{----- (12)}$$

$$x_{CG_n} = \frac{B_n \cdot x_{CG_n} + B_{n+1} \cdot x_{CG_{n+1}}}{B_n + B_{n+1}} \quad \text{----- (13)}$$

ここで

x_{CG_n} : 部分重心位置座標

X_{CG_n} : 合成重心位置座標

A_n : 身体部分 n の重心係数

B_n, B_{n+1} : 身体部分 n, n + 1 の質量

x_n, x_{n+1} : 身体部分 n の両端の座標

である。

(3) 身体各部位および重心点の速度

身体各部位および部分の重心点の速度は、平滑化された身体各部位および各部分の

重心点の変位データを，式(14)を用いて数値微分することにより求めた。

$$\dot{X}_n = \frac{-2X_{n-2} - X_{n-1} + X_{n+1} + 2X_{n+2}}{10t} \quad \text{--- (14)}$$

ここで

n : フィルムコマ番号

\dot{X}_n : 速度

$X_{n-2} \sim X_{n+2}$: 変位

t : サンプルング間隔

である。

(4) ボール速度

図4-10はインパクト前後のボール位置変化を，インパクト時を0時点としてX方向（サイドライン方向），Y方向（ネット方向），Z方向（鉛直方向）に分けて示したものである。図中，白丸のついている箇所はインパクト中（手がボールに接触している期間）のボール位置であり，ボールはこれを境にして急激に位置を変化させている。従って，この変位データを式(14)に代入してボール速度を求めると，インパクト直前の値は実際よりもやや大きく，またインパクト直後の値はやや小さくなる。それ故，この場合，インパクト前，インパクト中，インパクト後の3期間に分けて，それぞれボール速度を求めるのが良いと考えられるが，撮影スピードが毎秒100コマであったためインパクト中のデータが少なく，インパクト中のボール速度を求めることは不可能である。従って，本研究ではインパクト前および後のボールが空中にある2期間について，それぞれボール速度を求めることにした。

図4-10からも明らかなように，水平方向（XとY方向）では，インパクト前，後ともボールは直線的に移動し，鉛直方向ではやや曲線的に移動するので，水平方向は時間の1次式に近似し，鉛直方向は2次式に近似することにした。そして各時刻のデータと位置のデータから数個の1次および2次方程式をたて，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1次および2次近似式の係数を求めた。なお鉛直方向の近似式については、空中でボールに作用する力を重力のみと考え、2次の項の係数をあらかじめ $1/2g$ (g は重力の加速度)として連立方程式をたて、定数項と1次の項における係数を求めた。

図4-11はこのようにして求めたインパクト前、後の各近似曲線を図4-10におけるボール位置変化とともに示したものである。この図からみる限り、これらの近似式(水平方向が1次式で、鉛直方向が重力の作用を考慮した2次式)を用いることにより、かなり精度良くボール速度が求められるようにみられる。

(5) 身体各部分および各関節の角度

身体各部分および各関節の角度 (Segment angle and joint angle) は、2つのベクトル \vec{a} と \vec{b} (例えば、肘関節中心から手関節中心に向うベクトル \vec{a} と、肘関節中心から肩関節中心に向うベクトル \vec{b}) のなす角度を以下に示す式 (15) により、各コマごとに求めた。

$$\theta = \arccos \frac{X_a \cdot X_b + Y_a \cdot Y_b + Z_a \cdot Z_b}{\sqrt{(X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2)(X_b^2 + Y_b^2 + Z_b^2)}}$$

ここで

θ : \vec{a} と \vec{b} のなす角度

X_a, Y_a, Z_a : \vec{a} の各成分

X_b, Y_b, Z_b : \vec{b} の各成分

である。

第5節 データの規格化・平均化と各種測定項目について

1. データの規格化と平均化について

これまで多くのバイオメカニクス的研究では、たとえ複数の被験者を用いた場合でも、全被験者の時系列データを動きの全局面に亘って示すことはほとんど行われず、一般的には、いくつかの典型的な例を示すという方法が用いられてきた。しかし最近では、データ処理装置などの進歩も手伝って、各被験者のデータに基準をもうけ、データを規格化・平均化することにより、複数の被験者のデータをより簡略な方法で示し、より信頼性のある結果を得ることなどが試みられている。

図4-12はレフトサイドラインとセンターラインの交点を原点として、各選手の助走開始時から打撃を終了して着地するまでの身体重心の位置変化を示したもので、上図はこれらの位置変化をバレーボールコートの側方から、また下図は上方から見たものである。そして各線上の○および□印はそれぞれ各選手の踏切移行時および離地時の重心位置を表わしている。

本研究で分析した試技は公式試合におけるスパイク動作であり、図から明らかなようにスパイクを行った地点が各選手とも違っている。従って本研究の場合、DLT法により得られた身体各部位の変位データを直接加算、平均化するには無理がある。そこで本研究では、助走（踏切1, 2, 3歩前）、踏切、スイングの各局面ごとに各局面開始地点から終了地点に向かう身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度をもとに、身体各部位の変位データを座標変換し、各選手のスパイク運動面を統一した。

図4-13は前述した要領で座標変換した各選手の踏切局面における右膝の位置変化を、上図は真横から、そして下図は真上から見たものである。ここで、原点(0,0,0)は前半終了地点における身体重心のコート上の位置を示し、YおよびX軸における負の記号はそれぞれ膝が原点より後方および左側方に位置することを表わしている。また各線上の○、△、□印はそれぞれ踏切移行時、前半終了時、そして離地時における各選手の膝位置を示している。

図4-14は図4-13で示した右膝の変位データを、各成分ごとに分けて経時的に示し、上図は鉛直方向、中図は前後方向、下図は左右方向について見たものである。なおここで0時は前半終了時の時点を示している。

各選手とも踏切時間（踏切移行時および離地時）は違っているが、いずれの図でもほぼ類似した運動過程を示しているようにみられる。そこで本研究では、各選手の踏切移行時、前半終了時、離地時の各時点を合わせ、各選手の動作局面を一致させることにした。

図4-15は各選手の踏切移行時、前半終了時、離地時の時点を合わせ、踏切時間を100%（前半が39%で後半が61%）として各選手の動作局面を一致させたものである。このとき、相当する時刻のデータがない場合にはラグランジェの一次補間公式によりデータを補間して求めた。また、踏切前半および後半の時間的割合は各選手の踏切時間全体に対する前半および後半時間の割合を23試技で平均することにより求めた。

図4-16は規格化した右膝の位置データについて、規格化した時刻ごと（すなわち1%ずつ）各選手の膝の位置データを加算し、23試技の平均値と標準偏差を求めたものである。そして図4-17はこの規格化・平均化の処理を行った右膝の位置変化を、上図は真横から、また下図は真上から見たものである。

本研究では、以上述べた右膝の場合と同様に、身体各部位21点、すなわち腕では左右の肩、肘、手関節中心と手先、脚では左右の腰、膝、足関節中心と踵および足先、そして頭部中心と左右の肩および腰の midpoint の位置の平均値を、助走開始からスパイク終了の着地まで求めた。また本研究では得られた結果の解釈を助けるために図4-17上端に付すようなスティックピクチャーも作製した。

なお本研究における分析試技には、左利き選手による試技が3試技含まれている。図4-18はスイング局面における各試技の肘（インパクトする側の肘）の左右位置変化を、重心位置を0として示したものである。○、△、□印のついた曲線が左利き選手の試技で、その他の曲線が右利き選手によるものである。左利き選手の左肘と右利き選手の右肘は、重心位置を中心にしてほぼ対称的な動きをしているようにみられるが、左利き選手の位置データに-1を乗じてみると、図4-19に示すとおり、左利き選手の肘の位置変化は右利き選手の位置変化の中に含まれ、その動きもほぼ同様の傾

向を示すことがわかる。それ故、本研究では左利き選手の身体各部位の変位データは-1を乗じることにより、また角度データは右利き選手の反対側の upper limbあるいはlower limbのデータを用いることにより、右利き選手の各データとともに規格化・平均化することにした。

従ってこのような示し方をすると、多量のデータの全体的な傾向を容易にとらえることができるとともに定量的にも示すことができるので、本研究ではこの規格化・平均化の手法を用いて、一流選手の動きに共通に内在する「高い打点で、強く打撃するためのスパイク技術」を究明することにした。

2. 各種測定項目とその算出法

これまで述べたような手順を経て算出された各種力学量をもとにして、スパイクの助走、踏切、スイングの各局面に関する各測定項目の値を求めた。本研究で用いる主な測定項目とその算出法は次の通りである。

(1) 助走局面に関する主な測定項目

- ① 助走方向：助走開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度
- ② 助走速度：助走における身体重心の水平方向の速度
- ③ 重心の上下動：助走1歩ごとの重心高の最大値と最小値との差
- ④ 助走の歩幅：助走開始時における支持脚の足先から、踏み出し脚接地時の踵までの水平変位を助走1歩ごとに求めたもの
- ⑤ 重心低下距離：踏切1歩前空中局面における最大重心高と踏切に移った瞬間の重心高の差

(2) 踏切局面に関する主な測定項目

- ① 踏切方向：踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度
- ② 立位時の身体重心高（SH）：各被験者の身長にChandlerらによる身体重心の係数（0.5856）を乗ずることによって求めたもの
- ③ 跳躍高（JH）：スイング局面における最大重心高と立位時の身体重心高との差
- ④ 離地時重心上昇高（Hw）：踏切足が離地する瞬間の身体重心高と立位時の身体重心高との差
- ⑤ 空中での重心上昇高（H2）：スイング局面での最大重心高と離地時身体重心高との差
- ⑥ 空中での重心上昇高（推定値）：以下の式より求めた

$$H2 = V^2 / 2g$$

ここで H2：空中での重心上昇高

V：離地時における身体重心の鉛直速度

g：重力加速度（9.8m/s²）である。

- ⑦ Hw 指数：離地時重心上昇高を身長に対する割合で示したもの
- ⑧ 身体重心の鉛直変位：離地時重心高から踏切前半終了時の重心高を差し引いた値
- ⑨ 腰，膝，および足関節角度変位：各関節の最大屈曲時から離地時までの角度変位であり，それぞれ左右の平均値で示したもの
- ⑩ 後傾角：踏み込んだ瞬間の接地足の踵を通る鉛直上向きのベクトルが，接地足の踵から身体重心へ向かうベクトルとなす角度
- ⑪ 鉛直平均力：踏切前半あるいは後半の各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，それを踏切前半あるいは後半の時間で除して求めたもの
- ⑫ 踏切角：身体重心の踏切前半終了地点と離地地点を結ぶ線が水平面となす角度
- ⑬ 跳躍角：離地時における身体重心の速度ベクトルが水平面となす角度
- ⑭ スタンス：足部接地時における両足踵間の水平変位
- ⑮ 片足接地時間（RTD-LTD TIME）：右足接地時から左足接地時までの時間のこと

であり、踏切時間全体に対する割合で示したもの

(3) スイング局面に関する主な測定項目

- ① スイング方向：スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度
- ② 打球方向：インパクト前後のボール位置変化（近似したもの）において、各コマごとのボール位置を結ぶ線が水平面となす角度（上下方向）およびネットとなす角度（左右方向）
- ③ 打点高と最大重心高との差(H3)：インパクト時における各選手の床面から手先までの高さとの差
- ④ 打点位置：インパクト時の頭部中心に対するボール中心の位置。上下方向は鉛直方向、左右方向は両肩を結ぶ線の方向で、前後方向はこれに直角をなす水平方向を示す
- ⑤ 手および前腕のインパクト姿勢：インパクト時のボール中心に対する手先、手首、肘の相対位置を示すものであり、ここで前後方向はインパクト直後の打球の方向に一致する
- ⑥ 肩・腰角度：左右の腰の midpoint から右肩へ向うベクトルが腰 midpoint を通る水平前向きのベクトルとなす角度
- ⑦ 跳躍距離：踏切離地時から着地時までの身体重心の水平変位

なお、本研究では助走、踏切、スイングの各局面を通じて規格化・平均化した身体各部位の変位データをもとに、スティックピクチャーを描いた。スティックピクチャーを描くための身体各部位は、腕では左右の肩、肘、手関節中心と手先、脚では左右の腰、膝、足関節中心と踵および足先、そして頭部中心と左右の肩、腰の各 midpoint である。

第5章 スパイク助走局面における運動過程

本研究で分析した助走動作は助走歩数が1, 2, 3歩の助走動作であり, このうち3歩助走の助走開始3歩目, 2歩助走の助走開始2歩目, そして1歩助走の助走動作が類似した動作パターンを示すことから, 本研究では助走局面における運動過程は踏切1, 2, 3歩前の各期間に分けて検討していくことにする。

第1節 踏切1歩前の運動過程

図5-1上図は踏切1歩前における各選手の助走時間を助走歩数別に分類して示したものである。助走時間は最大0.49秒から最小0.286秒の範囲にあり, 平均では0.363秒であった。この期間では, 各選手とも右足を離地させ左足で接地する片足接地期と, 両足とも離地する空中期から成る助走動作をしており, 図中横棒グラフの白抜き部分はこの片足接地時間を, また縦線部分は空中時間を示している。各選手の片足接地時間は0.184~0.459秒, 空中時間は0.031~0.174秒であった。

このように各選手とも同一の動作パターンを示すが, 助走時間が選手各々違うため動作データを直接加算・平均することは無意味である。そこで本研究では, 各選手の踏切1歩前助走時間を100% (片足接地期が72%で空中期が28%) として時間軸を規格化し, 各選手の動作局面を一致させた。なお, 上述した片足接地期および空中期の割合は, 各選手の踏切1歩前助走時間に対する片足接地時間と空中時間の割合を平均することにより求めたものである。

本研究で分析した試技は公式試合におけるスパイク動作であり, スパイクを行った地点や運動方向が各選手とも違っている。そこで本研究では, 各局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがなす方向をその局面における進行方向として各選手のスパイク運動面を統一した。表5はこの座標変換に用いた各選手のスパイク運動方向を助走歩数の多い順に分類し, また同一歩数の試技においてはスパイクの種類別に整理して示したものである。そして図5-1下図のスティックピクチャーは,

各選手の踏切1歩前助走方向をもとに座標変換した身体各部位の位置変化を、上述した時間的割合で規格化し、23試技で平均化したものを約10%間隔で経時的に示したものである。ここでRRは右足離地時、LRは左足離地時、RTDは右足接地時の各時点を示している。そしてRRからLRまでの期間が片足接地期、LRからRTDまでの期間が空中期である。

従って、ここでは身体各部位の位置、各部分および各関節の角度変化を上述した要領で規格化・平均化し、身体各部分ごとに検討していくことにする。

1. 踏切1歩前における胴体の動き

図5-1-1は踏切1歩前における胴体の位置変化を示したもので、上図は真横から、下図は真上からみたものである。○の線は右肩、△は左肩、□は右腰、●は左腰の位置変化を表わしている。なお原点(0,0,0)は左足離地時における身体重心のコート上の位置である。図上端のスティックピクチャーは胴体の位置変化を約10%間隔で経時的に示したもので、上部は真横から、下部は真上からみたものである。ここで黒丸の付いた身体部位は左の肩と腰である。また、表5-1-1は胴体に関する角度変化を約10%間隔で示したものであり、これらの各時点はスティックピクチャーのそれと対応している。

上図についてみると、右足離地後、胴体は前傾した状態で水平移動するが、LR時直前から胴体が上方へ起されるため、肩の位置が高くなりLR時付近で最大となる。その後、胴体は前屈され、肩の位置が徐々に低くなりながら踏切に至っている。

下図についてみると、RR時では、胴体は前傾した状態で、右腰および左肩をそれぞれ左腰および右肩の部位よりも身体後方に引いた姿勢をとっている。右足が離地されると、胴体は肩を身体右側に、腰を身体左側に回転させながら前方移動する。そしてLR時では腰は両腰がほぼ横一線に並ぶが、肩は左の部位が右よりも約10cm前方に位置している。その後、胴体は前傾した状態で前方移動するように見えるが、肩および腰の水平角度変化をみると、肩角度は小さく、また腰角度は大きくなっていることから、肩は身体左側に、そして腰は右側に若干回転されているようである。

2. 踏切1歩前における右腕の動き

図5-1-2は踏切1歩前における右腕の位置変化を図5-1-1と同様にして示したものである。○の付いた線が手先、△が肘、□が肩の位置変化であり、スティックピクチャーにおける黒丸の部位は右肩である。そして表5-1-2は右腕に関する角度変化を図5-1-2に付したスティックピクチャーの時点と一致させて示したものである。

上図についてみると、RR時では上腕は肩の位置で真下に下げられているが、前腕は肘関節を屈曲させ、手先を身体前方に出す姿勢をとっている。右足が離地すると、肘関節が伸展されるため手先は肩の下方で一度円を描くような動きをした後、上方に引き上げられる。そしてLR時では右腕は身体後方に高く振り上げられている。その後、右腕はさらに高く振り上げられるが、前腕および上腕角度変化をみると、RTD時直前から小さくなっており、右腕が踏切直前で振り込み動作を開始していることがわかる。

下図についてみると、RR時では上腕は肩の位置で真下に下げられているが、前腕は肘関節を屈曲させ、手先が身体の内前方を向く姿勢をとっている。右足離地後、右腕は肘関節を伸展しながら身体右側へ外転されるため、手先は右肩前方に円弧を描きながら横移動する。そしてLR時では右腕は肩の右後方で肘関節を伸展させた姿勢をとっている。その後、右腕は重心の進行方向と平行になるように身体後方で内転されながら踏切に至る。

3. 踏切1歩前における左腕の動き

図5-1-3は踏切1歩前の左腕に関する位置変化を、また表5-1-3は左腕に関する角度変化を右腕の場合と同様にして示したものである。

上図についてみると、RR時では左腕は肘関節をやや屈曲しているが、手先が肩のほぼ真下に位置するよう腕を下げた姿勢をとっている。右足離地後、左腕は右脚の踏

み出しに伴って前方に振られる。上腕および前腕の水平角度変化をみると、LR時直前（40～50%付近）まで角度が徐々に小さくなっていることから、左腕はこの時点までは前方に振られていることがわかる。しかしその後、左腕は身体左側に外転されるので、手先および肘が大きく上方移動し、LR時では手先と肘および肘と肩の相対距離が短くなったように見える。LR時後、左腕は身体後方に振り上げられるが、踏切直前から左腕も右腕の場合と同様に振り込み動作を開始しているようである。

下図についてみると、RR時後、左腕は手先および肘が肩の左側で同一線上を移動するように前方に振られる。LR時直前から左腕は外転されるため、手先は肘よりも左側の位置に移動し、LR時では手先、肘、肩は重心位置でほぼ横一線に並ぶ。LR時後、左腕は身体後方へ振られるが、身体自体が前方移動しているため、肩、肘、手先の順で水平変位が大きくなっている。

4. 踏切1歩前における右脚の動き

図5-1-4は踏切1歩前における右脚の位置変化を示したもので、●の付いた線が足先、△が踵、□が膝、○が腰の位置変化である。なおスティックピクチャーにおける黒丸の部位は右腰である。そして表5-1-4は右脚に関する角度変化をこのスティックピクチャーの時点と一致させて示したものである。

上図についてみると、RR時では右脚は膝関節をやや屈曲させた状態で大腿および下腿を右腰後方に大きく引いた姿勢をとっている。なお足部は離地直前のため足先を接地させ、踵を高く上げている。右足離地後、右脚は大腿を大きく前方に振り出し、膝高はLR時で最大になる。一方下腿は離地直後、膝関節の屈曲により身体後方でわずかに振り上げられるが、以後足部を背屈しながら前方に振り出され、LR時では膝の位置で真下に下げられている。左足が離地されると、大腿は身体後方へわずかに振り戻されるが、下腿は膝関節を伸展させて、さらに前方に振り出される。なお足部は踵を下げながら背屈を続け踏切に至っている。

下図についてみると、右脚各部位は腰のほぼ真下を通過して前方移動し、脚の基部に近い部位ほどその移動距離は短い。なおここでもう一つ興味ある点は、足先を踵より

も右前方に位置させて、すなわち足部をやや外転させ、踵から接地するよう踏切に移っていることである。

5. 踏切1歩前における左脚の動き

図5-1-5は踏切1歩前の左脚に関する位置変化を、また表5-1-5は左脚に関する角度変化を右脚の場合と同様にして示したものである。

上図についてみると、RR時では、左脚は膝関節を屈曲し、足部が腰のほぼ真下で接地する姿勢をとっている。右足離地後、左脚では足部を支点としての蹴りが開始される。すなわち左脚は膝関節を伸展しながら、大腿および下腿がそれぞれ膝および足関節を中心にして前方回転する。一方、足部は左足角度変化をみるとLR時直前(50~60%付近)まで角度が変化せず、RR時とほとんど同じ姿勢を維持している。そしてLR時直前から足先を接地させた状態で踵を急激に上げている。左足が離地されると、左脚は腰関節を中心にして大腿を前方に振り出すが、下腿は膝関節を屈曲しながら上述した前方回転の動きを継続する。しかし、下腿角度変化をみるとRTD時直前(80~90%付近)から角度が小さくなっており、下腿も踏切直前から前方に振り出されているようである。

下図についてみると、RR時では足先が踵よりも左に位置し、すなわち足部が外転した状態で接地していることがわかる。右足離地後、足先を除く左脚各部位はほとんど直線的に前方移動し、片足接地中その移動距離は脚の基部に近いものほど大きい。しかし左足離地後では、その移動距離は逆に小さくなっている。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における踏切1歩前の運動過程について検討した先行研究はない。以下、本研究で得られた踏切1歩前のスパイク運動過程に関する知見を要約すると次のようになる。

- ① 踏切1歩前の助走局面は、助走歩数が1, 2, 3歩のいずれの助走動作でも左脚で地面を支持し右脚が離地している片足接地期と、両足とも離地している空中期からなる。
- ② 胴体は片足接地期においては、やや前傾した状態で肩および腰をそれぞれ身体右および左側に回転しながら水平移動する。左足離地直前から、胴体は上方に起されるような動きをするが、空中期に入ると前屈され、肩および腰をそれぞれ身体左および右側にわずかに回転しながら踏切に至る。
- ③ 右腕は片足接地期においては、肘関節を伸展しながら身体側面を後方に振り上げられる。空中期では腕が重心の進行方向と平行になるように内転されながら、身体後方でさらに高く振り上げられる。
- ④ 左腕は初め身体側面を前方に振られ、左足離地直前から外転される。そして空中期に入ると、身体後方へと振り上げられる。
- ⑤ 左右の肩関節角度は踏切直前で最大となり、その後やや小さくなりながら踏切に至るような変化をしていたことなどから、両腕とも踏切直前で振り込み動作を開始しているようである。
- ⑥ 右脚は片足接地期では、まず大腿が腰関節を中心にして前方に振り出され、次いで下腿が、身体後方へわずかに振り上げられた後、足部を背屈しながら前方に振り出される。空中期では大腿は身体後方にやや振り戻されるが、下腿は膝関節を伸展させてさらに前方に振り出され、足部を外転して踏切に至る。
- ⑦ 左脚は片足接地期では、膝関節を伸展しながら足部を支点にして前方回転する。ここで足部は左足離地直前まで動かないが、以後急激に踵を上げる。空中期に入ると左脚は腰関節を中心にして大腿を前方に振り出す。なお下腿は初め膝関節を屈曲させながら身体上方に振り上げられ、踏切直前から膝関節を中心にして身体前方に振り出される。

第2節 踏切2歩前の運動過程

踏切2歩前の助走局面は2歩および3歩助走の試技でみられ、これは合計18試技である。この局面では、大部分の選手（18試技中16試技）が左足を離地して右足で地面を支持する片足接地期と、両足で地面を支持する両足接地期とからなる助走動作を行っている。

図5-2上図は踏切2歩前における各選手の助走時間を示したもので、横棒グラフの白抜き部分は片足接地時間を、縦線部分は両足接地時間を示している。踏切2歩前助走時間は最大0.765秒から最小0.194秒の広範囲に及び、個人差がかなり大きい。特に両足接地時間の偏差は大きく、最大TA1の0.357秒からSU1やFU2のように左足接地とほとんど同時に右足が離地するため、両足接地期が見られないものまでいる。これは、両足接地時間が極めて長かったTA1の撮影フィルムおよびVTRを参考にして考えると、スパイクの助走ではタイミング良く打撃動作を行うためにトスされたボールの高さや落下位置を観察しながら移動することが重要であり、そのために移動動作を‘ゆっくり’あるいは‘すばやく’行って踏切に移るタイミングを調節していたためと推測される。

下図のスティックピクチャーは表5に示す各選手の踏切2歩前助走方向をもとに座標変換した身体各部位の位置変化を、踏切2歩前助走時間を100%（ただし片足接地期が89%で両足接地期が11%）として規格化し、18試技で平均化したものを約10%間隔で経時的に示したものである。ここでLRは左足離地時、LTDは左足接地時、RRは右足離地時の各時点を示している。そしてLRからLTDまでの期間が片足接地期、LTDからRRまでの期間が両足接地期である。以下この要領で規格化・平均化した踏切2歩前の身体各部位の位置変化、各部分および各関節の角度変化を身体部分ごとに検討していく。

1. 踏切2歩前における胴体の動き

図5-2-1は踏切2歩前の胴体に関する位置変化を、また表5-2-1は胴体に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、胴体は踏切2歩前の局面を通じて一定の前傾姿勢を保ちながら、LR時直後前上方に、次いで徐々に前下方へと移動し、RR時に至っている。

下図についてみると、LR時では、胴体は前傾した状態で、右肩をわずかに身体後方に引いている。左足離地後、胴体は前傾した状態で肩および腰をそれぞれ身体左および右側に回転しながら前方移動する。そしてLTD時では、胴体は左肩および右腰をわずかに身体後方に引いた前傾姿勢をとっている。その後、肩はまだ少し左側に回転されるが、腰は右腰を後方に引いた姿勢をほとんど変えずRR時に至っている。

2. 踏切2歩前における右腕の動き

図5-2-2は踏切2歩前の右腕に関する位置変化を、また表5-2-2は右腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、LR時では、右腕は肘を肩の後方に引き、前腕を肘の位置でほぼ真下に下げた姿勢をとっている。左足が離地されると、右腕は肘関節を屈曲しながら前方に振られ、LTD時では、右腕は上腕を肩の位置で真下に下ろし、前腕は肘関節を大きく屈曲して手先を身体前方に出している。その後、右腕はわずかに前方移動しているが、角度変化を見ると肘関節角度が大きく、また上腕および前腕水平角度も大きくなっていることから、右腕は両足接地期では肘関節を伸展しながら身体後方に振られているとみられる。

下図についてみると、右腕が前述した肩の左回転(図5-2-1)に伴って前方へ振られているため、手先は重心位置に近づくよう身体の左前方へと移動している。

3. 踏切2歩前における左腕の動き

図5-2-3は踏切2歩前の左腕に関する位置変化を、また表5-2-3は左腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、LR時では、左腕は肘関節を屈曲して肩の位置で下に下げた姿勢をとっている。左足離地後、左腕各部位は身体の前下方へ移動し、左腕が前方へ振られているような錯覚を生じる。しかしこれは身体全体の前方移動が左腕の後方移動よりも大きいため生じたものである。上腕および前腕の水平角度変化をみると、両角度とも片足接地期間中徐々に大きくなっており、左腕が身体後方に振られていることがわかる。そしてLTD時では、左腕は肘を肩の後方に引き、前腕を肘の位置でほぼ真下に下げた姿勢をとっている。その後、上腕および前腕の水平角度は小さくなり、左腕は身体前方に振られてRR時に至っている。

下図についてみると、肘は肩よりも、そして手先は肘よりも身体左側を移動しており、左腕はやや外転された状態で、初め身体後方に、次いで前方に振られていることがわかる。

4. 踏切2歩前における右脚の動き

図5-2-4は踏切2歩前の右脚に関する位置変化を、また表5-2-4は右脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、LR時では、右脚は膝関節を屈曲し、足部が腰のほぼ真下で接地するような姿勢をとっている。左足が離地すると、右脚は足部を支点としての蹴りを開始する。すなわち大腿および下腿が膝関節の伸展に伴って膝および足関節を中心に前方回転する。また足部はスティックピクチャーを参考にすれば、LTD時直前(70~80%付近)まで動かず、以後急激に踵を上げている。その後、右脚は足先を接地させた状態で、膝関節を屈曲しながら踵を上昇させるため、大腿は腰関節を中心にしてわずかに前方へ振り出される。

下図についてみると、足部がやや外転した状態で腰および膝の左側に位置していることから、右脚は身体右側に傾斜して支持動作を行っていることがわかる。

5. 踏切2歩前における左脚の動き

図5-2-5は踏切2歩前の左脚に関する位置変化を、また表5-2-5は左脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、LR時では、左脚は膝関節を屈曲し、足先を腰の後方に接地させた姿勢をとっている。左足離地後、左脚は腰関節を中心に大腿を身体前方に振り出す。なお下腿は初め膝関節の屈曲により身体後方へわずかに振り上げられるが、以後、足部を背屈しながら膝関節を中心にして前方に振り出される。LTD時では、左脚は膝関節を屈曲した状態で、足先と踵を腰前方にほぼ同時に接地させている。その後、左脚は膝関節を屈曲しながら、大腿および下腿をそれぞれ膝および足関節を中心にしてわずかに前方回転させている。

下図についてみると、左脚各部位は腰の左に半径の大きな円弧を描くように前方移動し、足部は腰の左前方で接地している。これは、前述の胴体の動きでは左肩が右肩に比べ身体重心に近い位置で水平移動していたこと、また右脚の動きでは足部を腰の左に位置させて支持動作を行っていたことから解るとおり、助走方向を右側へ変化させようと身体全体を右に傾斜して助走動作を行っているために生じたものと考えられる。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における踏切2歩前の運動過程について検討した先行研究はない。以下、本研究で得られた踏切2歩前のスパイク運動過程に関する知見を要約すると次のようになる。

- ① 踏切2歩前の助走局面は、平均的にみれば左足が離地し右足で地面を支持する片足接地期と両足で地面を支持する両足接地期からなる。しかし両足接地時間は個人差が大きく、選手の中には左足接地とほとんど同時に右足が離地するため、両足接地期が見られないものもいた。
- ② 胴体は踏切2歩前の局面を通じて一定の前傾姿勢を保ち、片足接地期では肩および腰をそれぞれ身体左および右に回転しながら、そして両足接地期では肩を身体左

に回転しながら次第に前下方へと移動する。

- ③ 右腕は片足接地期においては、肘関節を屈曲しながら身体の内前方に振られるが両足接地期では、肘関節を伸展しながら身体後方へわずかに振り戻される。
- ④ 左腕は右腕の場合とは逆に、片足接地期では身体後方に振られ、両足接地期では身体前方へわずかに振り出される。
- ⑤ 右脚は身体右側に傾斜した状態で、片足接地期においては膝関節を伸展しながら足部を支点として前方回転し、両足接地期では足先を接地させた状態で膝関節を屈曲しながら大腿をわずかに前方へ振り出している。なお足部は左足接地直前まで動かないが、以後急激に踵を上げている。
- ⑥ 左脚は片足接地期においては各部位が身体左側に円弧を描くように、大腿次いで下腿をそれぞれ腰および膝関節を中心に前方へ振り出す。足先と踵がほぼ同時に腰の左前方で接地し、両足接地期に入ると、左脚は膝関節を屈曲しながら足部を中心にしてわずかに前方回転する。

第3節 踏切3歩前の運動過程

踏切3歩前の助走局面は3歩助走の試技でみられ、これは合計6試技である。この局面では各選手とも右足を離地して左足で地面を支持する片足接地期と、両足で地面を支持する両足接地期とからなる助走動作を行っている。すなわちこの局面でも踏切2歩前の場合と同様に歩行形態の移動動作をしていることになる。

図5-3上図は踏切3歩前における各選手の助走時間を示したもので、横棒グラフの白抜き部分は片足接地時間を、縦線部分は両足接地時間を示している。踏切3歩前の助走時間は平均0.402秒であり、平均的にみれば踏切2歩前(0.423秒)と大差ない。しかし、両足接地時間は平均0.104秒であり、踏切2歩前(0.062秒)と比べかなり長く、個人差が小さい。

下図のスティックピクチャーは表5に示す各選手の踏切3歩前助走方向をもとに座標変換した身体各部位の位置変化を、踏切3歩前助走時間を100%(ただし片足接地時間が73%で両足接地時間が27%)として規格化し、6試技で平均化したものを約10%間隔で経時的に示したものである。ここでRRは右足離地時、RTDは右足接地時、LRは左足離地時の各時点を示している。そしてRRからRTDまでが片足接地期、RTDからLRまでが両足接地期である。以下この要領で規格化・平均化した踏切3歩前の身体各部位の位置変化、各部分および各関節の角度変化を身体部分ごとに検討していく。

1. 踏切3歩前における胴体の動き

図5-3-1は踏切3歩前の胴体に関する位置変化を、また表5-3-1は胴体に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RR時では、胴体は若干前傾した状態で右の肩および腰を身体後方に引いた姿勢をとっている。右足離地後、胴体はわずかに前屈されながら前下方へと移動する。しかし、RTD時付近で胴体の前屈と前下方への移動は停止し、以

後胴体は上方へ起されるような動きをしながらわずかに前上方へと移動する。

下図についてみると、胴体は踏切3歩前の局面を通じて右の肩および腰を身体後方に引いた前傾姿勢を維持し、胴体各部位が左側に半径の大きな円弧を描くように前方移動している。これは、撮影フィルムおよびVTRの観察によれば、3歩助走のスパイク試技がいずれもレフトサイドライン付近で行われており、助走中コート内においてレシーブされたボールやセッターの動きを観察しながら移動しているためであると推察される。

2. 踏切3歩前における右腕の動き

図5-3-2は踏切3歩前の右腕に関する位置変化を、また表5-3-2は右腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RR時では、右腕は肘関節を屈曲し、手先が肩のほぼ真下に位置するような姿勢をとっている。右足離地後、右腕各部位は前方移動するが、振りの支点となる肩の移動距離が最も大きくなっていることから、右腕は身体の前方移動に伴って後方に振られているとみられる。右腕角度変化をみると、肘関節角度、上腕および前腕角度が徐々に大きくなっており、右腕は肘関節を伸展しながら身体後方に振られていることがわかる。そしてRTD時では、右腕は肘を肩の後方に引き、前腕を肘の位置で下にさげている。その後、右腕は肘関節を屈曲しながら身体前方にわずかに振り出される。

下図についてみると、手先と肘が肩の移動に伴って身体内側に円弧を描きながら移動していることから、右腕は肩の下で初め後方に、次いで前方に振られていることがわかる。

3. 踏切3歩前における左腕の動き

図5-3-3は踏切3歩前の左腕に関する位置変化を、また表5-3-3は左腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RR時では、左腕は右腕同様、肘を肩の後方に引き、手先が肩の下に位置する姿勢をとっているが、上半身が右肩を身体後方に引く姿勢をしているため、左腕は右腕よりもより前方に位置している。右足離地後、左腕は肘関節を屈曲しながら身体前方に振られる。しかし、その振りの程度は大きくはなく、RTD時では左腕は上腕を肩の位置で下にさげ、肘関節を屈曲して前腕を身体前方に出している。その後、左腕は肘関節を伸展しながら身体後方にわずかに振り戻される。

下図についてみると、手先と肘が肩の左を身体外側に円弧を描きながら移動していることから、左腕は上腕をやや外転した状態で初め前方に、次いで後方に振られていることがわかる。

4. 踏切3歩前における右脚の動き

図5-3-4は踏切3歩前の右脚に関する位置変化を、また表5-3-4は右脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RR時では、右脚は大腿を腰の位置で下にさげているが、下腿は膝関節を屈曲させ、足先が腰の後方で接地する姿勢をとっている。右足離地後、右脚は腰関節を中心に大腿を前方に振り出す。一方、下腿は初め膝関節の屈曲によりわずかに後方に振り上げられるが、以後、足部を背屈しながら膝関節を中心に前方へ振り出される。そしてRTD時では、右脚は大腿を腰前方に振り出した状態で、足先と踵を膝下方でほぼ同時に接地させる姿勢をとっている。その後、右脚は膝関節を伸展しながら足部を支点として前方回転する。

下図についてみると、右脚は踏切3歩前の局面を通じて足部を腰の左に位置させ、初め腰関節を中心にして前方に振り出されるが、その後足部を支点として前方回転している。

5. 踏切3歩前における左脚の動き

図5-3-5は踏切3歩前の左脚に関する位置変化を、また表5-3-5は左脚に

関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RR時では、左脚は膝関節を屈曲し、足部が腰の下方で接地する姿勢をとっている。右足離地後、左脚は膝関節を伸展しながら足部を支点として前方回転する。しかし右足が接地されると、左脚は足先を接地させた状態で膝関節を屈曲するので、大腿が腰関節を中心にして前方へ振り出される。

下図についてみると、左脚各部位はいずれも腰の左に位置しており、左脚は身体右側に傾斜した状態で支持動作を行っているようである。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における踏切3歩前の運動過程について検討した先行研究はない。以下、本研究で得られた踏切3歩前のスパイク運動過程に関する知見を要約すると次のようになる。

- ① 踏切3歩前の助走局面は、右足が離地し左足で地面を支持する片足接地期と両足で地面を支持する両足接地期からなる。
- ② 胴体は右の肩および腰を身体後方に引いた状態で、片足接地期では前屈しながら前下方へ、そして両足接地期では後屈しながらわずかに前上方へと移動する。
- ③ 右腕は片足接地期においては、肘関節を伸展しながら身体後方に振られ、両足接地期では、肘関節を屈曲しながらわずかに前方へと振られる。
- ④ 左腕は右腕とは逆に、片足接地期では肘関節を屈曲しながら身体前方に振り出され、両足接地期では肘関節を伸展しながら身体後方へわずかに振り戻される。ただ上半身が右肩を身体後方に引いた姿勢をしているため、左腕は右腕よりも前の位置で振られている。
- ⑤ 右脚は足部を腰の左に位置させた状態で、片足接地期では大腿次いで下腿をそれぞれ腰および膝関節を中心にして前方に振り出す。そして両足接地期では膝関節を伸展しながら足部を支点として前方回転する。
- ⑥ 左脚も右脚と同様、身体右側に傾斜した状態で、片足接地期では膝関節を伸展し

ながら足部を支点にして前方回転する。そして両足接地期では足先を接地したまま
で膝関節を屈曲し、腰関節を中心にして大腿をわずかに前方へ振り出す。

第6章 スパイク踏切局面における運動過程

踏切局面では各選手とも片方の足を接地し、次いでもう一方の足を引きつけ、その前方に接地させる踏切動作を行っている。図6上図は各選手の踏切時間を示したものである。図中横棒グラフの黒塗り部分は片足接地時間を、黒以外の部分は両足接地時間を示している。本研究の踏切時間を阿江の研究結果と比較すると、踏切時間全体は平均 0.328秒であり、阿江の研究において合理的踏切技術が発揮されているとみられた助走中速の場合よりも長く、すなわち助走低速の場合(0.326 秒)とほぼ等しくなった。また片足接地時間は本研究の値は平均 0.136秒であり、この助走低速の場合(0.101 秒)よりもさらに長くなっていた。

この原因としては、阿江の研究では実際にボールを打撃しておらず、本研究の場合と比べれば動作が制限されず、すばやく踏み切ることが可能であったこと、また阿江の研究における被験者は大学生であり、本研究の被験者に比べると体力的に劣っており、そのため大きな力を必要とする踏込時において本研究の被験者よりもタイミング的に早く両足を接地させる必要があったことなどが考えられる。

このように踏切局面は、片足接地期と両足接地期とに分けて考えることができる。しかし、これまでのスパイクに関する研究報告では身体重心の鉛直速度が負を示す期間(踏切前半)と正を示す期間(踏切後半)とに分けて考えられたものが多い。図中横棒グラフの縦線部分はこの踏切前半時間を示し、白抜き部分は後半時間を示している。ここで各選手の踏切前半終了時は片足接地期終了時(左足接地時)付近にあり、平均的にみると、左足は踏切前半終了約 0.007秒後に接地している。

下図のスティックピクチャーは表5に示す各選手の踏切方向をもとに座標変換した身体各部位の位置変化を、踏切時間を100%(ただし踏切前半が39%で後半が61%)として規格化し、23試技で平均化したものを約10%間隔で経時的に示したものである。ここでRTDは右足接地時、Mは前半終了時、Rは離地時の各時点を示し、RTDからMまでの期間が踏切前半、MからRまでの期間が踏切後半である。以下この要領で規格化・平均化した踏切中の身体各部位の位置変化、各部分および各関節の角度変化

を身体部分ごとに検討していく。

1. 踏切局面における胴体の動き

図6-1は踏切局面の胴体に関する位置変化を、また表6-1は胴体に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RTD時では、胴体は前傾した状態で右の肩および腰を身体後方に引いた姿勢をとっている。右足接地後、胴体はわずかに前下方へと移動する。胴角度変化をみると、水平および鉛直角度は前半中頃まで小さく、以後徐々に大きくなっていることから、胴体は初め屈曲され、以後徐々に伸展されながら前下方へと移動していることがわかる。そしてM時付近で胴体の前下方への移動は停止する。後半が開始されると、胴体は伸展されながら前上方へと大きく移動し、わずかに後傾した状態で離地に至っている。

下図についてみると、踏切前半の期間を通じて、胴体は右の肩および腰をわずかに後方に引いた姿勢を維持しながら前方移動する。しかし後半が開始されると、右肩が重心位置に近づくように左前方へと移動し、胴体は前半とは違った動きをする。すなわち、肩水平角度変化をみるとM時以後肩角度が徐々に大きくなっていることから、胴体は身体右側に回転されながら前方移動していることがわかる。

このように本研究では、胴体は踏切中屈曲そして伸展されながら右側に回転するよ⁶⁰⁾うな動きをしているが、Samson and Royは踏切中胴体は伸展を続けると述べ、本研究とは若干違う結果を報告している。しかし、阿江は「助走速度が大きくなると、踏切足接地時に加わる大きな力に抗するため、腰をあまり屈曲せず、体幹を突っ張るよう¹⁾にして接地し、そのまま起こしながら踏切を行う傾向が強くなるが、助走速度が小さい場合では、腰はやや屈曲されている」と述べており、本研究結果は阿江の助走低速の結果とほぼ一致するものであった。

2. 踏切局面における右腕の動き

図6-2は踏切局面の右腕に関する位置変化を、また表6-2は右腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RTD時では、右腕は肘関節を伸展させ、肩の高さまで身体後方に振り上げられている。右足接地後、右腕は肘関節を伸展させた状態で（肘関節角度変化をみると、肘関節はさらに若干伸展される傾向がある）前下方へと振り下げられる。そしてM時では右腕は肩の位置でほぼ真下に下げられている。後半開始後、右腕は肘関節を屈曲しながら前上方へと高く振り上げられる。しかし肘関節角度、上腕および前腕鉛直角度変化をみると、R時直前（80%付近）までは角度が徐々に大きくなるが、それ以後さほど変化していないことから、右腕は離地直前からほとんど振り上げられていないことがわかる。

下図についてみると、踏切前半では右腕は肩の下を前方に振り下げられるが、後半では肘および手先を肩の右側に位置させて前方に振り上げられている。ここで上腕角度変化をみると、R時直前（80%付近）から鉛直角度はあまり変化しないが、水平角度が徐々に大きくなっていることから、右腕は上腕を水平に近くした状態で肘を後方に引きながら離地に至っていることがわかる。

3. 踏切局面における左腕の動き

図6-3は踏切局面の左腕に関する位置変化を、また表6-3は左腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、一見して左腕の動きは右腕と類似した動きをしているように見える。すなわち左腕は、RTD時では肩の高さまで身体後方に振り上げられた姿勢をとり、踏切前半では肘関節を伸展しながら前下方に振り下げられる。そして後半では肘関節を屈曲しながら前上方へと振り上げられている。しかし、左腕の動きには右腕とは違う点もある。つまり右腕では離地直前から振り上げ動作が停滞する傾向にあったが、左腕では踏切後半の期間を通じて腕の振り上げが認められる。従って、離地時では左腕は右腕よりも高く振り上げられている。

下図についてみると、RTD時では、左腕は肩の左後方で肘関節を伸展した姿勢を

とっている。右足接地後、左腕は肘および手先が肩の位置に近づくように身体の右前方へと振られ、M時では左腕は肩のほぼ真下にさげられている。その後、左腕は前述した胴体の右回転に伴って、さらに身体の右前方へと振られている。

^{25, 1)}
橋本や阿江が腕の振り込み動作として右腕の動きしか報告していない理由の一つは左右の腕の動きに上述したような類似点があるからであろう。なお本研究の右腕の動きは、吊るしたボールを打撃させた橋本の結果とほぼ一致し、打撃という課題がない阿江の結果とは異なっていた。すなわち阿江の研究では離地時における上腕と鉛直線とのなす角度は約 122~126 度であり、右腕は本研究や橋本のそれと比べて高く振り上げられていた。

4. 踏切局面における右脚の動き

図6-4は踏切局面の右脚に関する位置変化を、また表6-4は右脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RTD時では、右脚は膝関節をわずかに屈曲して前方に振り出し、足部を背屈させて踵から接地している。右足接地後、右脚は膝関節を屈曲しながら足部を中心にして前方回転するような動きをする。すなわち大腿は後傾状態を維持して前下方に移動し、下腿は足関節を中心にして前方回転する。そして足部は踵の接地直後（スティックピクチャーを参考にすれば20%付近）で足先を接地し、その後ほとんど動かずM時に至る。後半開始直後（50~60%付近）、膝関節の伸展が開始されると、右脚は大腿および下腿をそれぞれ膝および足関節を中心にして前方回転させる。なお下腿は踵が離地する付近（スティックピクチャーを参考にすれば80~90%付近）から前方回転を停止し、前傾状態で急激に上方移動しながら離地に至る。

下図についてみると、踵はほぼ重心位置に接地しているが足先は踵よりも右側に位置し、足部が外転されていることがわかる。踏切中、腰および膝がこの足部の真上を通るように前方移動し、右脚はやや左前方に傾斜された状態で離地に至っている。

5. 踏切局面における左脚の動き

図6-5は踏切局面の左脚に関する位置変化を、また表6-5は左脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、RTD時では、大腿は身体前方に振り出されているが、下腿は膝関節を屈曲して足部を腰の後方に引いた姿勢をとっている。右足接地後、左脚は大腿および下腿をそれぞれ腰および膝関節を中心にして前方に振り出す。なお足部は足先の高さをほとんど変えず、踵を徐々に下げながら前方移動する。そして後半開始直後（スティックピクチャーを参考にすれば39～50%付近）、足先と踵がほとんど同時に膝の下方で接地する。その後、左脚は膝関節を屈曲しながら足関節を中心に前方回転し、後半中頃（70%付近）から膝関節を伸展しながら前方回転する。なお下腿は踵が離地する付近（スティックピクチャーを参考にすれば90%付近）から前方回転を停止し、鉛直に近く立った状態で急激に上方移動しながら離地に至る。

下図についてみると、踏切前半では、左脚はやや外転された状態で足部が身体左側に半径の大きな円弧を描くように振り出されている。しかし後半に入ると、足部が内転された状態で接地し、膝および腰が足部に近づくように移動する。そして左脚はほとんど鉛直に立った状態で離地に至る。

従って、踏切脚は前半は主として右脚のみを屈曲することにより沈み込み、後半は両脚を伸展することにより伸び上がる動作をしていることになり、これは渡辺のスパイクジャンプに関する観察と一致するものである。しかしながら本研究では、この伸び上がり動作についてさらに以下の事が観察されている。すなわち、両脚ともまず膝関節の伸展に伴って大腿が上方移動し、次いで足関節の伸展に伴って下腿と足部が上方移動するが、膝関節の伸展も足関節の伸展も右脚の方が左脚よりもタイミング的に早く生じており、右脚の方が早く伸び上がり動作を行っている。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における踏切中の運動過程について検討した先行研究は、厳密に言えば実験室的研究において身体各部分の角度変化を規格

化・平均化の手法を用いて処理した阿江の研究以外にはなく，その他の先行研究は特定の被験者の踏切動作を記述することによりスパイク技術の踏切運動過程を説明しようとしたものである。なおフィールド実験的研究方法による先行研究はない。以下，これら先行研究との比較を通して，本研究において得られた知見を要約すると次のようになる。

- ① 踏切局面は，身体重心の鉛直速度が負を示す踏切前半と正を示す踏切後半とに分けて考えられる。
- ② 本研究における胴体の屈曲・伸展動作は，「踏切中，胴体は伸展を続ける」と報告しているSamson & Royの結果とは異なり，阿江の助走低速の場合と類似した動作パターンを示していた。すなわち，胴体は踏切前半では，右の肩および腰を身体後方に引いた前傾姿勢から初め屈曲しながら，次いで伸展しながら前下方へと移動する。そして後半では，胴体は身体右側に回転されながら伸展を続け，前上方へと大きく移動する。
- ③ 本研究における右腕の離地動作は，打撃という課題がなく上方に高く振り上げられていた阿江の結果とは異なり，吊るしたボールを打撃させていた橋本の結果と類似した動作パターンを示していた。すなわち，右腕は踏切前半では，肘関節を若干伸展しながら前下方へ振り下げられる。そして後半では，肘関節を屈曲しながら前上方へ振り上げられるが，離地直前からは右腕は振り上げられず，上腕を水平に近くした状態で肘を身体後方に引く。
- ④ 左腕に関する先行研究はない。本研究においては，左腕は踏切前半では，肘関節を伸展しながら身体の内前方へ振り下げられる。そして後半では，肘関節を屈曲しながら胴体の右回転に伴って，さらに身体の内前方へと振り上げられる。
- ⑤ 本研究における脚の屈曲・伸展動作は，踏切前半が右脚の屈曲で後半が両脚の伸展という渡辺の分解写真による定性的観察と類似した動作パターンを示していた。しかしながら本研究では，踏切後半における脚の伸展動作についてさらに以下の事が観察されている。すなわち，両脚ともまず膝関節の伸展に伴って大腿が上方移動し，次いで足関節の伸展に伴って下腿と足部が上方移動するが，膝関節の伸展も足

関節の伸展も右脚の方が左脚よりもタイミング的に早く生じている。なお本研究における各踏切脚の動きをまとめれば⑥，⑦のようになる。

- ⑥ 右脚は踵を右腰前方に接地した姿勢から，踏切前半では膝関節を屈曲しながら足関節を中心にして前方回転する。後半開始直後，膝関節の伸展が開始されると，右脚は大腿および下腿をそれぞれ膝および足関節を中心にして前方回転させる。なお下腿は離地直前から前方回転を停止し，足関節の伸展に伴って上方移動する。
- ⑦ 左脚は踏切前半では，膝関節を屈曲して足部を身体後方に引いた姿勢から腰関節を中心にして前方に振り出される。後半開始直後足部を接地させ，左脚は初め膝関節を屈曲しながら，次いで膝関節を伸展しながら足部を中心にして前方回転する。なお下腿は離地直前から前方回転を停止し，足関節の伸展に伴って上方移動する。

第7章 スパイクスイング局面における運動過程

60)

スイング局面は、Samson and Royに従えば、技術上バックスイング、フォアスイング、フォロースルーの3期間に分けることができる。図7上図は各選手のスイング時間を示したもので、図中横棒グラフの黒塗り部分はバックスイング時間、縦線部分はフォアスイング時間、白抜き部分はフォロースルー時間を示している。スイング時間は平均0.735秒であり、この内フォロースルー時間が約半分を占め、バックスイングとフォアスイング時間がその残りの半分ずつを占めているように見える。

下図のスティックピクチャーは表5に示す各選手のスイング方向をもとに座標変換した身体各部位の位置変化を、スイング時間を200%（ただしバックスイングが46%、フォアスイングが52%、フォロースルーが102%）として規格化し、23試技で平均化したものを約20%間隔で経時的に示したものである。ここでRは離地時、TFは胴体のフォアスイング開始時、Iはインパクト時、TDは着地時の各時点を示し、RからTFまでの期間がバックスイング、TFからIまでがフォアスイング、そしてIからTDまでがフォロースルーである。以下この要領で規格化・平均化したスイング局面の身体各部位の位置変化、各部分および各関節の角度変化を各期間ごとに分けて検討していく。なおスイング局面における動作は空中動作であり、各身体部位とも身体重心を中心とした回転運動を行っている。従って、この局面において動作を身体各部位の位置変化から検討する場合には、身体重心に対する各部位の相対位置変化から検討していくことにする。

第1節 バックスイング期間における運動過程

1. バックスイングにおける胴体の動き

図7-1-1はバックスイング中の身体重心に対する胴体各部位の相対位置変化を示したもので、原点(0,0,0)が身体重心の位置である。また表7-1-1は胴体に関

する角度変化を示したものである。

上図についてみると、R時では胴体は後傾した状態で右の肩および腰を身体後方に引く姿勢をとっている。バックスイング中の胴体の動きを胴角度変化からみると、水平角度は徐々に大きく、また鉛直角度は徐々に小さくなっており、胴体が後屈されていることがわかる。そしてTF時では胴体は最大後屈され、右肩を後方に大きく引いた姿勢をとっている。

下図についてみると、バックスイング中、左の肩および腰はほとんど動かないが、右の肩および腰がそれぞれ身体後方および前方に移動しており、胴体がひねられていることがわかる。

2. バックスイングにおける右腕の動き

図7-1-2はバックスイング中の身体重心に対する右腕各部位の相対位置変化を、また表7-1-2は右腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、R時では肘関節角度が98度であり、肘関節は屈曲されているが、真横から見ると右腕は肘関節を伸展させた状態で手先を肩の前上方に上げているように見える。離地後、右腕は肘関節を屈曲しながら前腕および上腕を後下方に引いている。右腕の角度変化をみると、バックスイング中頃(25~30%付近)で上腕水平角度が約90度になり、前腕鉛直角度はこれ以後徐々に大きくなっていることから、肘が肩の横を通過した頃から前腕は手先を上げながら身体後方に引かれていることがわかる。そしてTF時では、右腕は上腕を肩の後方で水平に近く倒し、手先を肩の前上方に上げた姿勢をとっている。

下図についてみると、右腕は肩よりも身体外側に位置し、肘関節を屈曲しながら上腕および前腕を身体後方に引いていることがわかる。

3. バックスイングにおける左腕の動き

図7-1-3はバックスイング中の身体重心に対する左腕各部位の相対位置変化

を、また表7-1-3は左腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、R時では、左腕は肘関節を屈曲した状態で肩の前上方に高く振り上げられている。離地後、左腕は肘関節を伸展しながら肩関節を中心にして身体下方に振り下げられる。そして、TF時では、左腕は肩の高さでほぼ水平にした姿勢をとっている。

下図についてみると、R時では、左腕は肩の前上方で肘関節を屈曲し、前腕を身体右側に傾斜させた姿勢をとっている。離地後、左腕は肘関節を伸展しながら前腕を大きく外転し、手先が肩の位置に近づくように振り下げられる。そしてTF時では、左腕は肩の前方で肘関節を伸展した姿勢をとっている。

4. バックスイングにおける右脚の動き

図7-1-4はバックスイング中の身体重心に対する右脚各部位の相対位置変化を、また表7-1-4は右脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、R時では、右脚は膝関節を伸展した状態で足先を腰の直後に接地する姿勢をとっている。離地後、右脚は膝関節を屈曲しながら下腿を身体後方に振り上げる。一方、大腿は腰関節を中心にしてわずかに前方に振り出される。そしてTF時では、右脚は大腿を腰の位置で下にさげ、下腿はスティックピクチャーを参考にすれば、身体後方で水平に近く振り上げられた姿勢をとっている。

下図についてみると、バックスイング中、下腿が身体の後方ではなく左後方に振り上げられ、また大腿が右前方へ振り出されているのは、右脚が回外された状態で膝および腰関節の屈曲をするからだと考えられる。

5. バックスイングにおける左脚の動き

図7-1-5はバックスイング中の身体重心に対する左脚各部位の相対位置変化を、また表7-1-5は左脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、R時では、左脚は膝関節を伸展させた状態で足先を腰の真下

に接地する姿勢をとっている。離地後、左脚は大腿を腰の位置で下にさげた状態で、膝関節を屈曲しながら下腿を身体後方に振り上げる。そしてTF時では、左脚は右脚とほぼ同様の姿勢をとるが、左脚の下腿は右脚に比べ高く振り上げられていない。

下図についてみると、左脚の下腿は初め身体のほとんど真後に振り上げられるが、TF時直前（スティックピクチャーを参考にすれば35%付近）から足先が身体左側に移動しており、左脚はこの頃から回外されていると見られる。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術におけるバックスイング中の運動過程について検討した先行研究はない。以下、本研究で得られたバックスイング中のスパイク運動過程に関する知見を要約すると次のようになる。

- ① 胴体は左の肩および腰を支点として、肩を後方にそして腰を前方に回転しながら後屈する。
- ② 右腕は、肩の右上方の位置で肘関節を直角に近く屈曲した姿勢から、さらに肘関節を屈曲しながら身体の後下方に引かれる。なお肘が肩の真横を通過する頃から、右腕は手先を上げて前腕を振りかぶるように後方に引かれる。
- ③ 左腕は、右腕よりも高く身体前方に振り上げた姿勢から、肘関節を伸展しながら前腕を大きく外転し、肩関節を中心にして身体下方に振り下げられる。そしてバックスイング終了時では、左腕は肩の前方で肘関節を伸展した姿勢をとっている。
- ④ 右脚は回外した状態で膝関節を屈曲し、下腿を身体後方に振り上げる。一方、大腿は腰関節を中心にしてわずかに前方に振り出される。そしてバックスイング終了時では、右脚は大腿を腰の位置で下にさげ、下腿は身体後方で水平に近く振り上げられた姿勢をとる。
- ⑤ 左脚は膝関節を屈曲しながら下腿を身体真後に振り上げ、バックスイング終了付近で脚を回外する。そしてバックスイング終了時では右脚とほぼ同様の姿勢をとるが、左脚の下腿は右脚ほど振り上げられていない。

第2節 フォアスイング期間における運動過程

1. フォアスイングにおける胴体の動き

図7-2-1はフォアスイング中の身体重心に対する胴体各部位の相対位置変化を示したもので、図中のTFは胴体のフォアスイング開始時、UFは上腕のフォアスイング開始時、FFは前腕のフォアスイング開始時、そしてIはインパクト時の各時点である。また表7-2-1は胴体に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、胴体および上腕のフォアスイング中、胴体は前屈しながら右肩を前上方に、そして左肩を後下方に移動して身体左側に回転される。角度変化をみると、FF時の肩および胴水平角度がそれぞれ95、91度であることから、前腕スイング開始時では、胴体は鉛直に近く立ち、左右の肩がほぼ横一線に並ぶことがわかる。その後、胴体はさらに身体左側に回転され、やや前傾した状態でインパクトに至る。

下図についてみると、右肩および左腰が身体重心の位置でそれぞれ前方および後方移動していることから、フォアスイング中、胴体は身体左側に傾斜された状態で前屈していることがわかる。

2. フォアスイングにおける右腕の動き

図7-2-2はフォアスイング中の身体重心に対する右腕各部位の相対位置変化を、また表7-2-2は右腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、胴体および上腕のフォアスイング中、右腕は肩の前方移動に伴って、肩関節を中心に上腕を前方回転させる。一方、前腕は肘関節を中心にして後方回転される。角度変化をみると、FF時の上腕水平角度が93度、前腕水平角度が最大値の144度であることから、前腕スイング開始時では、右腕は上腕を肩の位置で鉛直に近く立て、前腕を身体後方に大きく倒していることがわかる。その後、右腕は上腕および前腕をそれぞれ肩および肘関節を中心にして前方回転させながらインパクト

に至る。

下図についてみると、胴体および上腕のフォアスイング中、右腕は手先を肘の内側に位置させ、上腕および前腕をそれぞれ身体前方および後方に振る。そして前腕スイング開始後、右腕は手先が肩の上方を通るように前腕を身体前方に、上腕を身体の内前方へと振る。

3. フォアスイングにおける左腕の動き

図7-2-3はフォアスイング中の身体重心に対する左腕各部位の相対位置変化を、また表7-2-3は左腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、胴体および上腕のフォアスイング中、左腕は肩および肘関節を屈曲しながら身体下方へ振り下げられる。しかし前腕スイング開始後では、左腕は肘が重心位置へ近づくように身体後方へ引かれる。そしてインパクト時では、左腕は肘を左脇腹に付け、前腕を身体前方に出す姿勢をとっている。

下図についてみると、フォアスイング中、左腕は手先および肘が身体左側に円弧を描くように振り下げられる。これは一つには左腕が胴体の左回転に伴って身体下方に振り下げられるためであり、さらに撮影フィルムの観察から、バックスイング中では各選手とも腕が回内された（手掌が下方を向く）状態にあるが、フォアスイング開始とほぼ同時に腕が回外される（手掌が上方を向く）ためでもあると考えられる。

4. フォアスイングにおける右脚の動き

図7-2-4はフォアスイング中の身体重心に対する右脚各部位の相対位置変化を、また表7-2-4は右脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、胴体および上腕のフォアスイング中、右脚は膝関節を伸展させながら下腿を身体の前下方へ振り下ろす。なおこの期間中、大腿は腰関節を中心に身体後方へ振り戻されるような動きをする。これは身体が空中局面にあり、大腿が固定されていないので、膝関節を伸展させることにより膝が後方移動するからであ

る。そしてインパクト時では、右脚は身体重心の位置で真下に下げられている。

下図についてみると、足先が、胴体のフォアスイング中、身体右側へ移動していること、そして上腕スイング中、身体前方へ移動していることからみて、右脚はフォアスイング開始直後、脚を回内しながら前下方へ振り下ろされているようである。

5. フォアスイングにおける左脚の動き

図7-2-5はフォアスイング中の身体重心に対する左脚各部位の相対位置変化を、また表7-2-5は左脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、左脚は右脚の場合と同様、膝関節を伸展させながら下腿を身体の前下方へ振り下ろす。しかし、左脚は右脚の場合よりも脚を大きく前方に振り出し、インパクト時では、左足先が身体重心の前方約30cmの位置にある。

下図についてみると、左脚は外転した状態で、足先が身体左側に円弧を描くように前下方へと振り下ろされている。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術におけるフォアスイング中の運動過程について検討した先行研究はない。以下、本研究で得られたフォアスイング中のスパイク運動過程に関する知見を要約すると次のようになる。

- ① 胴体は身体左側に傾斜した状態で、右肩を前上方に、そして左肩を後下方に移動しながら（左側に回転しながら）前屈される。
- ② 右腕は初め肩関節を中心にして上腕のフォアスイングを開始する。上腕が肩の位置までスイングされると、右腕は手先が肩の上方を通るように前腕のフォアスイングを開始する。そして右腕はやや前傾した状態でインパクトに至る。
- ③ 左腕は、フォアスイング中、肩および肘関節を屈曲しながら身体下方へ振り下げられる。そしてインパクト時では、左腕は肘を左脇腹に付け、前腕を身体前方に出

す姿勢をとっている。

- ④ 右脚は膝関節を伸展しながら下腿を身体の前下方へ振り下ろす。そしてインパクト時には右脚は身体重心の位置で真下に下げられている。
- ⑤ 左脚も右脚と同様、膝関節を伸展しながら下腿を身体の前下方へ振り下ろす。しかし、左脚は外転された状態で振り下げられ、右脚よりも大きく前方に振り出されている。

第3節 フォロースルー期間における運動過程

1. フォロースルーにおける胴体の動き

図7-3-1はフォロースルー中の身体重心に対する胴体各部位の相対位置変化を示したもので、図中のIはインパクト時、F=Sは右腕の手先が肩の高さまでフォロースルーされた瞬間、そしてTDは着地時の各時点である。また表7-3-1は胴体に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、インパクト後、胴体は身体左側に回転しながら前屈される。しかしF=S時直後から、胴体は左回転を停止し、左右の肩の高さが等しくなるように左肩を上方へ、右肩を下方に移動しながら後屈される。そして、左の肩および腰をわずかに身体後方に引き、やや後傾した状態で着地する。

下図についてみると、インパクト後、右肩および左腰が重心付近に位置していることから、胴体は身体左側に傾斜された状態でフォロースルーを行うことがわかる。しかしF=S時後では、腰が左右とも身体左側に移動しており、胴体は身体右側に起こされながら着地に至ることがわかる。

2. フォロースルーにおける右腕の動き

図7-3-2はフォロースルー中の身体重心に対する右腕各部位の相対位置変化を、また表7-3-2は右腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、インパクト後、右腕は肩関節を中心にして身体の前下方へフォロースルーされる。肘関節角度変化をみるとF=S時直前まで角度が大きくなっていることから、右腕は肘関節を伸展しながらフォロースルーされることがわかる。そしてF=S時では、右腕は肩の前方で肘関節を伸展した姿勢をとっている。その後、右腕は肘関節を徐々に屈曲しながら振り下ろされるが、TD時直前から身体側方へ若干振り上げられるので、手先および肘がわずかに上方移動する。そして着地時では、

右腕は上腕を肩の位置で下にさげ、肘関節を屈曲させて手先が身体の前下方を向く姿勢をとっている。

下図についてみると、インパクト後、右腕は手先および肘が身体の内前方へ直線移動するようにフォロースルーされる。しかし $F = S$ 時後では、肘そして手先が右肩側方へと後方移動していることから、右腕は上腕そして前腕を外転しながら振り下ろしていることがわかる。

3. フォロースルーにおける左腕の動き

図7-3-3はフォロースルー中の身体重心に対する左腕各部位の相対位置変化を、また表7-3-3は左腕に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、インパクト後、左腕各部位は肩の後方移動に伴って身体後方に引かれるが、左腕全体の姿勢にはさほど大きな変化はない。すなわち左腕は肘を左脇腹に付け、肘関節を直角に屈曲させて前腕を身体前方に出している。 $F = S$ 時後、左腕は肘関節をわずかに屈曲しながら肘を肩後方に引き上げ、着地に至る。

下図についてみると、インパクト後、左腕は肩の後方移動に伴って前腕を外転させるため、手先が身体左側に円弧を描きながら後方移動する。しかし $F = S$ 時直後から左腕は前腕および上腕を身体後方に振り上げるため、手先および肘が肩の側方を後方移動しながら着地に至る。

4. フォロースルーにおける右脚の動き

図7-3-4はフォロースルー中の身体重心に対する右脚各部位の相対位置変化を、また表7-3-4は右脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、左脚は、フォロースルー中、下腿を膝の真下にさげた状態で腰関節を屈曲しながら大腿を身体前方に振り上げるので、着地時において、左足部は接地されない。

下図についてみると、インパクト後、右脚は身体前方へ振り出されるが、 $F = S$ 時

後では、右脚は足先が腰前方を身体右側に移動するように（脚を外転しながら）振り上げられる。

5. フォロースルーにおける左脚の動き

図7-3-5はフォロースルー中の身体重心に対する左脚各部位の相対位置変化を、また表7-3-5は左脚に関する角度変化を示したものである。

上図についてみると、インパクト後、左脚は腰関節を中心にして身体前方へ振り出される。しかし $F = S$ 時後では、左脚は膝関節を伸展した状態で身体下方へ振り下ろされ、腰の前方約30cmの位置で足先を接地する。

下図についてみると、インパクト後、左脚は足先が身体内側へ移動するように脚を内転しながら振り出される。しかし $F = S$ 時後では、左脚は足先が身体後方へ移動するように振り下げられ、着地に至っている。

以上述べたように、脚は平均的にみれば左脚から着地するような動きをする。しかし、右脚の膝および腰関節角度標準偏差が着地時付近において左脚の場合よりも極めて大きくなっていることから、選手の中には両足同時に着地しているものもいると考えられる。

6. まとめ

高い打点で強く打撃するためのスパイク技術におけるフォロースルー中の運動過程について検討した先行研究はない。以下、本研究で得られたフォロースルー中のスパイク運動過程に関する知見を要約すると次のようになる。

- ① 胴体はインパクト後、身体左側に傾斜した状態で左に回転しながら前屈される。しかし右腕の手先が肩の高さまでフォロースルーされた付近から、胴体は鉛直に立つよう身体右側に起こされながら後屈する。そしてやや後傾した状態で着地する。
- ② 右腕はインパクト後、肘関節を伸展しながらフォロースルーされる。しかし手先

が肩の高さまでフォロースルーされた付近から、右腕は肘関節を屈曲しながら振り下ろされる。そして着地直前から右腕は身体側方に若干振り上げられる。

- ③ 左腕はインパクト後では、腕の姿勢にさほど大きな変化はなく、肘を脇腹に付けて前腕を身体前方に出している。しかし右腕の手先が肩の高さまでフォロースルーされた付近から、左腕は肘を肩の後方に引き上げながら着地に至る。
- ④ 右脚はフォロースルー期間において、下腿を膝の真下にさげた状態で、大腿を外転しながら身体前方に振り上げる。
- ⑤ 左脚はインパクト後では、脚を内転しながら身体前方に振り出される。しかし右腕の手先が肩の高さまでフォロースルーされた付近から、左脚は膝関節を伸展させた状態で身体下方に振り下ろされ、着地に至る。

第4節 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術と規格化・平均化の手法により処理されたスパイク運動過程の関係

規格化・平均化の手法を用いて処理した動きは、分析した試技の平均的な動きであることから、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術が発揮されているとみられる各選手の動作を撮影・解析し、規格化・平均化の手法を用いてデーターを処理すれば、そのスパイク技術を平均値により表わすことが可能であると考えられる。

図7-4-1は一流選手がゲーム中に発揮したスパイク運動成果について、砂本らの結果と本研究の結果を併記して示したものであり、A図は跳躍高、B図はインパクト時における手先の高さ、C図はインパクト直後のボール速度について見たものである。各図中の棒グラフは日66が日本・ソ連対抗（砂本他，1979），口67が日本・キューバ対抗（砂本他，1980），そして■が本研究の結果を平均値で示したものであり、各棒グラフの丸印の中の数値は分析試技数（ただし日・ソ対抗の跳躍高では不明）を示している。また各棒グラフ下部の記号はJが日本，Cがキューバ，Sがソ連チームを表わし，1～4の数値はセットナンバーを表わしている。

A図についてみると、本研究の結果は平均86.2cmであり、これは従来報告されている跳躍高の中で2番目に大きい値であることから、本研究の被験者が大きな跳躍力を有していることがわかる。

B図についてみると、本研究のインパクト時における手先の高さは従来報告されている打点高の中では4番目に大きく、平均3.18mであるが、跳躍高の場合と比べて順位が低くなっている。この原因としては、一つには日・キ対抗の分析試技数が跳躍高の場合と打点高の場合とで一致しないことが考えられる。

C図についてみると、本研究におけるインパクト直後のボール速度は平均22.37m/sであり、従来報告されているボール速度の中では3番目に大きな値となった。しかし日・ソ対抗および日・キ対抗の分析試技数は本研究の試技数に比べてかなり少ないので、ボール速度が最も大きかったキューバ（25.6m/s）の分析試技数に合わせて、本研究における上位6試技の平均値を求めてみると、ボール速度は26.5m/sとなり、キュー

一バチームの場合よりも大きな値を示した。

以上の結果から考えると、本研究の被験者はこれまで報告されたフィールド実験的方法による一流選手の研究結果と比較して同等もしくはそれ以上の運動成果を発揮していたと言えよう。従って、これまでみてきた助走、踏切、スイング各局面の身体各部分の動きは、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程をおおむね表わしていると考えられる。

第8章 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

助走局面の課題の一つは、身体を空中に高く上げ、高い打点で強くボールを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。空中でボールを打撃するにはトスされたボールの高さや、ボール位置と助走開始位置との距離を考慮して助走を開始する必要がある。また、身体を空中に高く上げるには一つには踏切の準備として助走速度を大きくすることが役立つ。本研究では、後者の身体を空中に高く上げるための合理的な助走の行い方を明らかにすることをねらいとして助走を考えてみる。

1. 跳躍高と踏切に移行した瞬間の助走速度

図8-1は各選手の跳躍高(JH)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を示したものである。

各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傾向がある。

図8-2は一流選手の助走速度に対する跳躍高の図(図8-1)に大学男子選手の助走速度が異なる場合の跳躍高(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²³⁾いない)を白丸で併記したものである。

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傾向がある。

以上のことから、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して全体的にみれば、バレーボールのスパイクジャンプで大きな跳躍高を得るためには助走速度を約4m/sぐらいにはする必要があると考えられる。

図8-3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時の助走

歩数と踏切に移行した瞬間の助走速度との関係を示したものである。

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つれて助走速度は大きくなる傾向がある。

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に立つが、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。

一般に速度は移動した距離をその移動に要した時間で除して求められるから、助走速度を大きくするには重心の水平方向の移動距離を大きくするとともに、すばやく踏切に移ることが必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8-4～6は身体重心の水平速度からみた助走速度の経時的変化を平均値と標準偏差により示したもので、図8-4が踏切1歩前、図8-5が踏切2歩前、図8-6が踏切3歩前の助走速度変化である。なお、これらの図に付したスティックピクチャーは既に見てきた一流選手の平均的な助走動作を約10%間隔で示したものである。そして図8-7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り、●の付いた線が踏切1歩前、▲が踏切2歩前、■が踏切3歩前の助走速度変化である。ここでは図8-7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およ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くことがわかる。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8-8~10は助走中の身体重心の動き(平均)を2方向から(上図が真横から、下図が真上から)とらえて示したものであり、図8-8が踏切1歩前、図8-9が踏切2歩前、図8-10が踏切3歩前の場合を示している。なお原点(0,0,0)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。そして図8-11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、●の付いた線が踏切1歩前、▲が踏切2歩前、■が踏切3歩前の場合を示している。ここでは図8-11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8)、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。

⁵⁰⁾
星川ら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。

星川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。

下図についてみると, 各助走歩数ごとの助走開始地点および終了地点は踏切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につれてより大きく水平移動していることがわかる。

図8-12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り, ○は踏切1歩前, ▲は踏切2歩前, □は踏切3歩前の場合を示している。

各助走歩数ごとの助走速度は踏切1, 2, 3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およ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4m/sぐらい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8-13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で, 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。ここで○は踏切1歩前、▲は踏切2歩前、□は踏切3歩前の場合を示している。

助走の歩幅は踏切1歩前が平均 1.43m、2歩前が平均 0.73m、3歩前が平均0.49m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るものがある（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および3歩前は片足接地期と両足接地期から成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、そのために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等から判断すると、踏切1歩前は踏切2および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8-14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。上図が鉛直角度変化、下図が水平角度変化を示し、各図中の●が付いた線は右上腕角度変化、▲の線は左上腕角度変化を示している。なおここで、鉛直角度とは鉛直下向きのベクトルが上腕となす角度のことであり、水平角度とは水平前向きのベクトルが上腕となす角度のことである。

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ていることから、この期間では左腕は前方に、そして右腕は後方に振られていることがわかる。そして空中期に入ると、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8-15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り、上図が左上腕、下図が右上腕についてみたものである。上、下図とも選手の中には上腕角度が大きく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8-16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8-16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も、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。しかしながら上腕およ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時や、ダイレクトスパイクなどですばやく攻撃する時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ろう。

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8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と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, Komi, ^{6, 22, 42)}あるいは橋原ら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8-17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。

³⁶⁾
金原ら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、その時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

引っぱられる速度)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。

^{6, 9, 10, 42)}

またAsmussen, Komi, Margariaらは収縮状態にある筋が外力によって一度伸展されるとき、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。

6. まとめ

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、助走速度と助走動作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に関する知見を要約すると以下のようなになる。

- ① 跳躍高は踏切に移行した瞬間の助走速度が約4m/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⁶⁾と跳躍高の関係は、助走速度4m/sが助走歩数3歩に相当するとするならば、Enoka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4m/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4m/sにする必要があると考えられる。
- ② 高橋ら²³⁾、そして明石²⁾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4m/sまで大きくすることができると考えられる。

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の研究と、²⁵⁾踏切1歩前の歩幅が2および3歩前と比べて極めて大きかったことは高橋ら、川合らの研究結果と一致する。しかしさらに本研究では、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、助走速度を大きくするのに役立つと考えられる。

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る。しかし本研究のデータの範囲内では、上腕およ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、今後さらに分析数を増し、上腕およ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0~8cm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。しかしスバイクジャンプでは、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。

第9章 身体を空中に高く上げるための踏切動作として役立つ動き

踏切局面の課題の一つは、空中で得点を得るための効果的な打撃動作が行えるように準備し、姿勢をつくることである。得点を得るための効果的な打撃をするには、片脚踏切により跳躍距離の長いスパイクジャンプを行うこと、また跳躍高を大きくすることなどが役立つが、本研究では後者の身体を空中に高く上げるための合理的な踏切の行い方を明らかにすることをねらいとして踏切を考えてみる。

1. 跳躍高

バレーボールのスパイクにおいて打点を高くするには一つには最大重心高を大きくすることが重要である。本研究における各選手の最大重心高は表9-1に示すように最大2.12mから最小1.88mの範囲にあり、平均では2.01mであった。

空中での最大重心高を大きくするには立位時の身体重心高を大きくするとともに跳躍高を大きくすることが必要であり、このことはバレーボールにおいて長身選手が優遇される所以である。しかし、立位時の身体重心高はトレーニングによって改善できないので、空中での最大重心高を大きくするには筋力、パワーなどの体力的要因を向上させるとともに、なによりも合理的な踏切技術を身につけて跳躍高を大きくする以外にない。

跳躍高は最大がV I 2の97cm、最小がW A 1の73cmであり、平均では86cmである。なお、この平均値は前述したように(図7-4-1)、従来報告されている一流選手のゲーム中における跳躍高の中で2番目に大きい値であり、本研究の被験者が優れた跳躍力を有していることを示すものである。

図9-1は跳躍高(JH)を立位時から離地時までの身体重心上昇高(HW)と離地してから最大重心高に達するまでの空中での重心上昇高(H2)に分け、相互の相関係数を示したものである。なお、各選手のHwおよびH2の値は表9-1に示す通りである。

各選手のHWは最大30cmから最小20cmの範囲にあり、平均では24cmである。そしてH2は最大73cmから最小51cmの範囲にあり、平均では63cmである。すなわち跳躍高においてH2の占める割合は大きく、JHに対するH2の相関係数は0.93 ($p < 0.001$)と極めて大きい。

従って、跳躍高を大きくするには跳躍高において占める割合が大きい空中での身体重心上昇高を大きくすることがなによりも重要であると考えられるが、離地時重心上昇高を大きくしなくてもよいという訳ではない。これまでの垂直跳の研究によれば、離地時重心上昇高は形態的な要因とともに離地時における身体各部分の配列の仕方に影響されると言われている。

2. 離地時重心上昇高と離地姿勢

図9-2は離地時重心上昇高を身長に対する割合で示し、HWから形態的要因を除去したと考えられる指数(HW指数)と、離地時における胴体および下肢各部分が下向き鉛直線となす角度との関係を示したものである。なおここで、下肢各部分の角度は左右の平均値で示してある。いずれの図でも、各選手は離地時において胴体および下肢各部分を身体上方に充分起こしているので、HW指数と胴体および下肢各部分の²⁶⁾角度との間には「身体各部分を鉛直に立てるほどHW指数が大きくなる」という傾向は認められない

図9-3はHW指数と、離地時における上腕が下向き鉛直線となす角度との関係を示したもので、上図が左上腕について、下図が右上腕についてみたものである。

離地時における上腕角度は、平均では左右それぞれ131, 107度であり、左腕の方が右腕よりも身体上方に高く上げられている。このように左右の腕は空中でのスイング動作に備えて、それぞれ違った姿勢をとらねばならないが、胴体および下肢の場合と同様、この腕においても各選手はほぼ類似した離地姿勢をとっているため、上腕角度²⁶⁾とHW指数との関係において「両腕を高く上げるほどHW指数が大きくなる」という傾向はさほど明確には認められない($r_L = 0.36$, $r_R = 0.35$)。

しかしながら、①本研究で分析した試技は従来の研究成果と比較して大きな跳躍高

を示していたこと、②各選手とも類似した動作を示すということは、その動作が大きな跳躍高を得るための踏切技術において欠かすことのできない動作の一つであると考えられることから判断すれば、離地時において胴体および下肢各部分を鉛直に近く立てること、そして左腕を右腕よりも高く身体の前上方に上げることは離地時重心上昇高を大きくするために役立つと考えられる。

3. 離地時における身体重心の鉛直速度と足部離地動作

大きな跳躍高を得るためには、これまでみてきたような離地時重心上昇高を大きくするとともに、空中での重心上昇高も大きくする必要がある。Hayらは空中での重心上昇高の大きさは離地時における身体重心の鉛直速度の大きさによって決定されると述べている。

図9-4は踏切局面における身体重心の鉛直速度の経時的变化を平均値と標準偏差により示したものである。ここで負の記号は速度が下向きを、正は上向きを意味し、曲線上のRTDは右足接地時、Mは踏切前半終了時、Rは離地時の各時点を示している。なお図上端に付したスティックピクチャーは前述した一流選手の平均的な踏切動作を約10%間隔で経時的に示したものである。

身体重心の鉛直速度は右足接地後、下向きにわずかに大きくなるが、約10%付近から徐々に小さくなり、M時付近で0になる。踏切後半が開始されると、身体重心の鉛直速度は上向きとなり、速度が徐々に増加してR時直前(90%付近)で最大となる。以後、重心の鉛直速度は若干小さくなりながら離地に至る。

各選手の身体重心に関する最大鉛直速度、最大鉛直速度出現時点、離地時鉛直速度と最大鉛直速度の差は表9-1に示す通りである。最大鉛直速度が最も早く出現するのはSA2のスパイクジャンプで、これは離地0.04秒前であり、最大鉛直速度が最も遅く出現するのはNA3のスパイクジャンプで、これは離地と同時である。そして最大鉛直速度と離地時鉛直速度の差は最大SA2の0.302m/sから最小NA3の0m/sの範囲にあり、最大鉛直速度が早く出現するものほど、これら鉛直速度の差が大きくなる傾向がある($r=0.72$, $p<0.001$)。

空中での身体重心上昇高は既に述べたように離地時における身体重心の鉛直速度の大きさによって決定される ($H^2 = CGV^2 / 2G$) から、離地直前から重心の鉛直速度が低下するという事は、それに見合って空中での重心上昇高は小さくなり、跳躍高を大きくする上では不利となる。従って、空中での身体重心上昇高(ひいては跳躍高)を大きくするためには、離地直前から重心の鉛直速度が低下しないように、換言すれば離地時において重心の鉛直速度が最大となるように、踏切離地動作を行う必要がある。

図9-5は踏切局面における身体重心の鉛直速度変化の図(図9-4)に、接地中の左右の足部鉛直角度変化(平均)を併記して示したものである。図中■の付いた線が重心の速度変化、●が右足、▲が左足角度変化を示し、曲線上のRTDは右足接地時、Mは前半終了時、LTDは左足接地時、Rは離地時の各時点を示している。

右足は背屈した状態で踵から接地しているので、RTD時における右足角度は115度である。その後、右足は底屈され前半中頃(20%付近)で足先が接地する。後半が開始されると、左足が接地するが、左足は足先と踵がほとんど同時に接地するため、LTD時における左足角度は88度である。以後両足ともほとんど動かず後半前期を経過する。しかし離地直前(約80~90%付近)から、両足とも踵を上げるため、左右の足角度は急激に小さくなり、R時では左右の足角度はそれぞれ49、45度になる。

従って、両足部の踵が上昇する時期と、身体重心の最大鉛直速度出現およびその後の鉛直速度低下の時期とがほとんど一致していることから、離地直前からの鉛直速度の低下が一つには足関節伸展による足部の離地動作に起因しているように見られる。このように見てくると、足部離地動作は踏切動作の一つとして欠かすことのできない重要な動作であるので、離地直前における重心の鉛直速度低下はある程度やむおえない現象であるかもしれない。しかしながら、Samson and Royは足関節をパワフル⁶⁰⁾(powerful)に伸展させることにより、この速度低下を防ぐことが可能であろうと述べている。

4. 空中での重心上昇高と踏切局面における身体重心の鉛直変位

空中での重心上昇高を大きくするためには、これまでみてきたように離地時において重心の最大鉛直速度が出現するように努めるとともに、何よりもこの鉛直速度自体を大きくすることが重要である。一般に速度は移動した距離をその移動に要した時間で除して求められるから、離地時における身体重心の鉛直速度を大きくするためには踏切中の重心の鉛直変位を大きくするとともに、踏切動作をすばやく行うことが必要である。

図9-6は踏切に移行した瞬間の助走速度と踏切時間との関係を示したもので、○は前半時間、▲は後半時間、そして□は踏切時間全体についてみたものである。

いずれの踏切時間も助走速度の変化に対してほぼ一定の値を示しており、「助走速度の増加につれて踏切時間が短くなる」という傾向は見られない。従って、離地時における身体重心の鉛直速度を大きくするには、踏切中の身体重心の鉛直変位を大きくする以外にないと考えられる。

図9-7は踏切中の身体重心の動きを平均値と標準偏差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。

上図に着目してみると、前半では、身体重心はわずかに重心高を小さくしながら前下方へと移動し、M時で重心高は最小になる。後半が開始されると、身体重心は急激に重心高を大きくし、前上方へと移動する。そしてR時では、重心高はRTD時よりもはるかに大きくなり、最大値を示す。

図9-8は踏切局面における身体重心の鉛直変位と空中での重心上昇高との関係を示したものである。ここで重心の鉛直変位とは各選手の離地時重心高（最大重心高）から踏切前半終了時の重心高（最小重心高）を差し引いた値である。

各選手の身体重心の鉛直変位は最大 0.55mから最小 0.30mの範囲にあり、身体重心の鉛直変位が大きいものほどH2が大きくなる傾向がある ($r=0.68$, $p<0.001$)。

従って、空中での重心上昇高を大きくするためには、踏切中の身体重心の鉛直変位を大きくすることが役立つと考えられる。

37)
金原らは走高跳の踏切において、助走歩数（助走速度）の増加につれて踏み込んだ瞬間の後傾角が大きくなり、離地時の身体重心高が大きくなって重心が大きな半径の円を描くように踏切距離は大きくなったことから、助走速度を利用して高く跳ぶため

には踏切に移った瞬間に身体重心が踏切足のなるべく後方になるような構えをとる必要があると述べている。

図9-9は後傾角と身体重心の鉛直変位（下図）および跳躍高（上図）との関係を示したものである。ここで後傾角とは踏切に移行した瞬間の接地足の踵を通る鉛直線が、その踵と身体重心を結んだ線となす角度のことであり、負の記号は身体重心が踵より身体後方にあることを表わしている。

踏切に移った瞬間の身体重心は、各選手とも踵より後方に位置し（後傾角の符号が負を示している）、各選手の後傾角は-28度から-5度の範囲にある。そして後傾の程度が大きいものほど身体重心の鉛直変位が大きく、また跳躍高も大きくなっている。なお、後傾角と重心の鉛直変位および跳躍高との相関係数はそれぞれ-0.63, -0.68 ($p < 0.001$) であり、いずれも統計的に有意な関係が認められた。

従って、バレーボールのスパイクジャンプにおいても身体を大きく後傾して踏切に移ることは走高跳の場合と同様、重心の鉛直変位を大きくすることができ、大きな跳躍高を得るのに役立つと考えられる。しかし、バレーボールのスパイクジャンプは両脚踏切であるため、片脚踏切の走高跳の場合と比べるとより大きな力が出せるので、重心の鉛直変位を大きくするのに走高跳よりもより大きな脚や腰の屈曲・伸展を利用することができると考えられる。

図9-10は踏切局面における腰、膝、および足関節角度変位と身体重心の鉛直変位との関係を示したもので、□が腰、●が膝、そして△が足関節角度変位についてみたものである。ここで各関節の角度変位とは各関節の最大屈曲時から離地時までの角度変位のことであり、それぞれ左右の平均値である。

踏切中の腰、膝、および足関節角度変位には大差がなく、いずれも約40~80度の範囲内にある。そして各関節とも角度変位の大きいものが、身体重心の鉛直変位が大きくなっている ($r=0.57$, $p < 0.001$)。

従って、身体を大きく後傾して踏切に入るとともに、踏切局面において腰および脚の各関節を大きく屈曲・伸展させることは身体重心の鉛直変位を大きくすることができ、空中での大きな重心上昇高を得るのに役立つと考えられる。

5. 踏切局面における鉛直平均力と踏切脚の動き

空中での身体重心上昇高を大きくするためには、これまでみてきたように離地時における身体重心の鉛直速度を大きくすることが重要であるが、これは換言すれば踏切局面における鉛直方向の力積（力×時間）を大きくすることと同様である。そこで、踏切局面における鉛直力積を大きくするためには、助走速度の変化に対して踏切時間がほぼ一定であった状況から判断して、踏切局面を通じて大きな力を発揮することが必要であると考えられる。

各選手の踏切前半および後半の鉛直平均力は表9-2に示す通りである。踏切前半の鉛直平均力はいずれの選手でも体重の1倍以下であり、平均では体重の0.6倍である。しかし、踏切後半の鉛直平均力は前半の鉛直平均力よりも大きく（平均的にみれば後半は前半よりも約3倍大きい）、平均では体重の1.8倍である。

図9-11は踏切局面における各脚の接地時から離地時までの膝関節角度変化を平均値で示したものである。図中、●の付いた線は右膝、○は左膝についてみたもので、各線上の△は各膝関節の最大屈曲時を示している。

踏切が開始されると、まず右足が接地され、接地時右膝角度は148度である。踏切前半中、右膝は屈曲し続け、前半終了時では右膝角度は108度になる。踏切後半開始直後、左足が接地され、接地時左膝角度は121度である。後半開始の約0.05秒後（約55%付近）に右膝は最大屈曲し、102度になる。左膝はその直後、つまり右膝最大屈曲の約0.03秒後（約65%付近）に最大屈曲に達し、120度になる。以後両膝関節ともに伸展されて離地に至る。すなわち、踏切脚は踏切前半では主として右脚を屈曲することにより沈み込み、踏切後半では両脚を伸展することにより伸び上がるような踏切動作をしていることになろう。

24)

図9-12は男子選手並みの跳躍力を有しているCrockett（アメリカ女子選手で跳躍高は88cmであり、本研究における跳躍高の平均値86cmより若干大きい）の踏切脚の動きを図9-11と同様にして示したものである。

Crockettは右足から踏み込んではいるが、右足接地0.01秒後に左足を接地させ、ほとんど両足同時に踏み込むような接地の仕方をしている。接地時膝関節角度は右、左

それぞれ170, 163度である。以後, 両膝関節とも屈曲され, 踏切後半開始直後(後半開始0.01秒後)に右膝関節は最大屈曲に達し, 116度になる。そしてこの0.02秒後に左膝関節も最大屈曲し, 124度になる。以後, 両脚とも伸展されて離地に至る。つまり, Crockettは踏切前半も後半も両脚により沈み込み・伸び上がるような踏切動作をしていることになろう。なお, Crockettの前半および後半の鉛直平均力はそれぞれ体重の1.4, 2.8倍であった。

踏切中の鉛直方向の力には踏切脚のほか, 腰関節の伸展, 腕の振込動作なども影響する。従って, 踏切脚の動きのみによって力の大小を論じることができないが, 踏切脚の動きが最も大きく影響すると考えられる。阿江は踏切においては脚が大きな力を発揮することが重要で, 踏切における脚の貢献度は他の部分に比べて著しく大きいと報告している。そして, これまでの垂直跳に関する研究によれば, 踏切脚の屈曲と伸展の切り換え, すなわち反動動作をすばやく行くと, 踏切前半で出し得る力が大きくなり, 跳躍高が大きくなることが知られている。従って, スパイクジャンプの場合においても, Crockett選手の場合を参考にして考えれば, 両足接地のタイミングを早くし, 両脚によるすばやい屈曲・伸展を行うことは, 空中での大きな重心上昇高を得るために役立つと考えられる。

6. 跳躍角

図9-13は踏切角度と跳躍角との関係を示したものである。ここで踏切角度とは身体重心の踏切前半終了地点と離地地点を結ぶ線が水平面となす角度のことであり, 跳躍角とは離地時における身体重心の速度ベクトルが水平面となす角度のことである。

各選手の跳躍角は最大79度から最小54度の範囲にあり, これらの値は走高跳などの片脚踏切における跳躍角約40~58度(阿江, 1982)に比較してかなり大きい。そして各選手の踏切角度は最大68度から最小29度の範囲にあり, 踏切角度が大きいものほど跳躍角が大きくなる傾向がある($r=0.81$, $p<0.001$)。

バレーボールのスパイク動作は他のプレイヤーやネットなどの場の制約を受けるので, 前述した跳躍高を大きくするとともに跳躍角も大きくすることが重要であろう。

そして大きな跳躍角を得るためには、踏切角度が大きくなるように（踏切後半で身体重心が大きく上向きの軌跡を描くように）踏切動作を工夫する必要がある。

図9-14は踏切中の後傾角変化を平均値と標準偏差により示したものである。RTD時では、後傾角は-17度であり、身体重心が右踵の後方に位置するようにやや後傾した姿勢で踏み込んでいることがわかる。踏切前半が開始されると、後傾角は急激に小さくなる。そしてM時では後傾角は4度となり、身体重心が右踵のほとんど真上に位置するような姿勢をとっていることがわかる。踏切後半が開始されると、後傾角はわずかに大きくなるが、後半中頃（70%付近）からはほとんど変化しない。そしてR時では、後傾角は14度になり、身体重心がやや右踵前方に位置するような姿勢で離地していることがわかる。

従って、スパイクジャンプの踏切動作は踏切中の膝関節角度変化（図9-11）も参考にして考えると、踏切前半では身体が短縮しながら右踵を中心にして前方回転し、後半では身体が伸展しながら両踵を中心にしてわずかに前方回転するとみなすことができよう。

図9-15は助走速度と踏切局面における後傾角変位の関係を示したものである。ここで○は踏切に移行した瞬間の後傾角、▲は離地時における後傾角、そして□は踏切に移行した瞬間から離地時までの後傾角変位を示している。

離地時における後傾角は、助走速度の変化に対して平均14度のほとんど一定の値を示し、変化しない。しかし踏切に移行した瞬間では、助走速度が大きくなるにつれて身体の後傾は大きくなり($r=-0.68$, $p<0.001$)、その結果、踏切に移行した瞬間から離地時までの後傾角変位は助走速度の増加につれて大きくなる傾向がある($r=0.74$, $p<0.001$)。

従ってこれまでの資料から判断すれば、助走速度が小さいスパイクジャンプでは、踏切後半において身体の各関節を上向きに伸展させることにより跳躍角を容易に大きくすることができる。しかし、助走速度が大きいスパイクジャンプでは水平方向の運動量が大きくなるので、踏切後半において身体を上向きに伸展させる（ひいては跳躍角を大きくする）ためには、大きく後傾して踏み込み、踏切前半での身体の回転動作を大きくすることが重要であると考えられる。

金原らは踏切における水平方向の運動量を効果的に上方へ変えるための力学的理論に関する模式図を示し「身体重心の移動コースが一定の半径を持つ円弧とすれば、この円弧の半径が大きいほど、しかもこの円弧が上向きになるまでつづくほど、水平方向の運動量を効果的に上方に変えることができる」と述べている。

跳躍角を大きくするには上述した身体の回転動作の他に接地足の動きも関係する。図9-16は足部の接地姿勢（平均）を真上から見たものである。ここでRTおよびRHは右接地時の足先と踵の位置を、LTおよびLHは左接地時の足先と踵の位置をそれぞれ示している。また口の付いた線は踏切中の身体重心の動き（平均）を示している。

RTD時では、右足は外転した状態で身体重心の右前方に接地する。前半開始後、身体重心が前方移動し、前半終了時（原点の位置）では右足のほぼ真横に位置する。後半開始直後、左足が内転した状態で身体重心の左前方に接地する。以後、重心がさらに前方移動し、R時では左足のほぼ真横に位置する。なお両足部とも既述したように、接地時から離地直前までほとんど動かず、足先を身体右側に向けている。なお、各選手の足部接地時における両踵間の距離からみたスタンスは表9-2に示す通りである。

図9-17は片足接地時間と踏切角度との関係を示したものである。ここで片足接地時間とは、右足接地時から左足接地時までの時間のことであり、各選手の踏切時間全体に対する割合で示してある。

各選手の片足接地時間は踏切時間の約26～55%の範囲にあり、片足接地時間の割合が小さいものほど踏切角度が大きくなる傾向がある($r=-0.59$, $p<0.001$)。すなわち、左右の足を交互にすばやく接地しているものほど踏切後半において身体重心が上向きの軌跡を描いていることになる。

従って、左右の足を交互にすばやく接地させながら身体を大きく後傾して踏み込むこと、そして踏切前半では両足先を身体右側に向け、両脚を屈曲させながら身体の前方向回転動作を大きくすることは、踏切後半での身体重心の軌跡を上向きにすることができ、大きな跳躍角を得るのに役立つと考えられる。

7. まとめ

踏切局面はスパイク技術に関して最も研究成果が多い局面である。しかしながら、これら先行研究の大部分はバレーボール経験者と未経験者の踏切動作を比較し、経験者の動きの特徴を記述することにより踏切技術を説明しようとしたものであり、跳躍高と踏切動作との関連を検討したものはない。従って、厳密に言えば身体を空中に高く上げるための踏切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、これら先行研究も参考にしながら本研究で得られた知見を要約すると以下のようなになる。

- ① 最大重心高は平均では 2.01mであった。最大重心高の大きさは立位時重心高と跳躍高とに分けて考えることができるが、立位時重心高は形態的要因によって決定されるので、最大重心高を大きくするには跳躍高を大きくする以外にない。
- ② 本研究における跳躍高は平均86cmであり、この内離地時重心上昇高が平均24cm、空中での重心上昇高が平均63cmであった。これは従来一流選手がゲーム中に発揮した跳躍高の中で2番目に大きい値であり、本研究の被験者が大きな跳躍力を有していることがわかる。
- ③ 各選手とも離地時において、胴体および下肢各部分を鉛直に近く立て、左腕を右腕の前上方に高く振り上げた姿勢をとっていたことから、このような離地姿勢は離地時重心上昇高を大きくするために重要な姿勢であると考えられる。
- ④ 離地直前における両足部の踵が上昇する時期と、身体重心の最大鉛直速度出現およびその後の鉛直速度低下の時期とがほとんど一致していることから、離地直前からの鉛直速度の低下が、一つには足関節伸展による足部の離地動作に起因しているようにみられた。従って、足部離地動作は踏切動作の一つとして欠かすことのできない重要な動作であるので、離地直前における重心の鉛直速度低下はある程度やむおえない現象であると考えられる。しかしながらSamson & Royは足関節をパワフルに伸展させることにより、この速度低下を防ぐことが可能であろうと述べている。
- ⑤ 踏切移行時の後傾角および踏切中の腰、膝、足関節角度変位はそれぞれ身体重心

の鉛直変位と統計的に有意な関係が認められたことから、身体を大きく後傾して踏切に移行するとともに、踏切局面において脚の各関節を大きく屈曲・伸展させることは身体重心の鉛直変位を大きくすることができ、空中での重心上昇高を大きくするのに役立つと考えられる。

⑥ 本研究における踏切前半および後半の鉛直平均力は、それぞれ平均では体重の0.6, 1.8倍であり、踏切脚は踏切前半では主として右脚を屈曲することにより沈み込み、後半では両脚を伸展することにより伸び上がるような動きをしていた。一方男子並みの跳躍力を有するCrockettの鉛直平均力は前半、後半それぞれ体重の1.4, 2.8倍であり、踏切脚は前半も後半も両脚により沈み込み、伸び上がるような動きをしていた。従って、Crockettの場合を参考にして考えれば、左右の足を交互にすばやく接地させ、両脚により屈曲・伸展するような踏切動作を行えば、踏切前半および後半の鉛直平均力を大きくすることができ、空中での重心上昇高を大きくするのに役立つと考えられる。

⑦ ⑤および⑥に関連することであるが、阿江は踏切においては脚が大きな力を発揮することが重要で、踏切における脚の貢献度は他の部分に比べて著しく大きいと報告している。本研究における踏切中の腰、膝、足関節角度変位はいずれも約40~80度の範囲にあり、各関節の運動範囲には大差が認められなかった。なお、左右の各関節角度変位については、右脚の方が左脚よりも運動範囲が大きかった。

⑧ 本研究における跳躍角は空中での打撃動作を行わせていないSamson & Royや阿江の研究結果と比べて小さく、平均66度であった。本研究の範囲内ではこれらのいずれが至適であるかは言及できないが、バレーボールのスパイク動作は他のプレイヤーやネットなどの場の制約を受けるので、跳躍高を大きくするとともに跳躍角も大きくすることが重要である。しかし、極端に上方に跳躍することは跳躍距離を短くし、大きな打球速度を得ることに対しては不利になると推測される。なお跳躍角は踏切角度と、踏切角度は後傾角変位および片足接地時間と統計的に有意な関係が認められた。

第10章 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

スイング局面の課題の一つは得点を得るための効果的なスイング動作を行うことである。得点を得るための効果的なスイング動作を行うためには、相手ブロッカーやレシーバーとの対応を考慮してボールの打撃方向を変化させること、また高い打点で強く打撃することなどが役立つが、本研究では後者の高い打点で強く打撃するための合理的な打撃の行い方を明らかにすることをねらいとしてスイング動作を考えてみる。

1. 打点高

図10-1上図は各選手のインパクト時におけるボール位置をバレーボールコート側方（サイドライン方向）から見たもので、下図はインパクト時のボール位置（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、符号の負は打球方向が水平以下であることを意味する）との関係を示したものである。

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2.87~3.30mの範囲、サイドライン方向が0.22~1.47m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~-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($r=0.78$, $p<0.001$)。

これはバレーボールのスパイクでは2.43mのネットを越えて9m×9mの限定された相手コート内にボールを落下させねばならず、そのために打撃位置がネットから遠ざかるスパイクほど打点高が高く、打球方向が水平に近くなるような打撃をしなければならないからである。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、前章で既述した最大重心高（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）も大きくする必要がある。そしてこの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10-1に示す通りである。

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と思われる。

本研究における各選手の最大重心高出現時点（インパクト時を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）およびインパクト時重心高と最大重心高の差は表10-1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10-2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、左の図は真後から、右の図は真横から見たものである。なお、各

図中の十字の印は打点位置の平均値と標準偏差を示している。

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クイックのスパイクであり、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（H3）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10-3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、●の付いた線は前腕と肘関節角度変化、▲は上腕と肩関節角度変化を表わしている。なお、図上端に付したスティックピクチャーは前述した一流選手の平均的なバックスイングおよ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時における上腕およ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、上腕およ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時における上腕およ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時における前腕およ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およ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、肘およ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こと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（この問題に関しては後でもう少し考察する）。

図10-4は離地時からインパクト時までの左腕および下腿の角度変化を平均値で示したものである。○の付いた線が前腕、△が上腕、□が右下腿、そして●が左下腿角度変化を示している。

左前腕および上腕角度は、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、前腕および上腕角度はFF時付近で最小となる。FF時における前腕およ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およ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、左腕およ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。

4. 打球の速度

本研究におけるインパクト直後のボール速度は表10-2に示すように、最大S I 1の28.4m/sから最小S A 1の16.7m/sの範囲にあり、平均では22.4m/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。
朝比奈らは男子一流選手のスパイクボールは最大27m/s、女子では18m/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秒程度かかるので、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。

5. 打撃の強さとインパクト姿勢

図10-5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13.1m/sから最小0.9m/sの範囲にあり、この値が大きいものほどインパクト直後の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。

図10-6は各選手のインパクト時における手先、手首、肘の位置を、ボール中心を原点(0,0,0)として示したものである。左図は後方から、右図は側方から見たもので、ここで前方方向は打撃後のボールの進行方向を示している。そして各図中の○は手先、△が手首、□が肘の位置を表わし、十字の印は各部位の平均値と標準偏差を示している。

左右の図とも個人差はみられるが、平均的にみると、左図からボール中心は手先と手首のほぼ中央部にあり、前腕をやや左に、手をやや右に傾斜させてインパクトしていることがわかる。また、右図から前腕をやや前傾させ、手首はボール中心の後方約10cmにあり、手関節をやや前屈させてインパクトしていることがわかる。

なお各選手のインパクト時手関節角度は、後方からみると平均12度、側方からみると平均7度であった。

図10-7はインパクト時における身体各部位の位置の平均値を身体重心を原点(0,0,0)として示し、インパクト姿勢を側方から見たスティックピクチャーで表わしたものである。なお黒丸を付した身体部分は左の腕と脚である。

上半身についてみると、胴体を前傾し、右腕は肘関節をやや屈曲させて前上方に上げ、手首が重心の18cm前方に位置する姿勢をとっている。左腕は肘関節をほぼ直角に曲げて肘を左脇腹に付け、前腕を身体前方に出している。一方、下半身についてみると、右脚は身体重心の位置で真下に下ろしているが、左脚はわずかに前方に出し、足先が身体重心の28cm前方に位置している。

なお一流選手の胴体と上向き鉛直線とのなす角度は平均20度、肩および肘関節角度はそれぞれ平均148、155度であった。

図10-8、9は資料Bに示した大学体育専攻学生による胴体および上肢の各関節角度と静的屈曲力・伸展力の関係に、一流選手のインパクト時手、肘、肩関節角度および腰角度の値を併記して示したものである。これらの角度の値は各図中に破線で示されている。なお各図における屈曲力・伸展力は各被験者の屈曲力・伸展力の最大値を100%として示したものである。

インパクト時の手関節角度は一流選手の側方から見た手関節角度(7度)を示して

おり、この角度は大きな手関節屈曲力が発揮できる範囲内にある。しかし、これ以上手関節を屈曲すると屈曲力が急激に低下する境界付近であることがわかる。

インパクト時の肘、肩関節角度は肘関節伸展力および肩関節屈曲力の最大値出現範囲をわずかにはずれているが、それは関節伸展側の境界付近であり、かなり大きい伸展力あるいは屈曲力が発揮できる角度であることがわかる。一方、インパクト時腰角度も、腰関節屈曲力の最大値出現範囲をわずかにはずれている。しかし、図10-9下図における腰関節角度は側方から見た大腿と胴体のなす角度であり、インパクト姿勢（図10-7）において一流選手が左脚をわずかに前方に出していたことを考えると、実際にはこの破線で示すよりも、もう少し大きい腰関節屈曲力が発揮できる角度になっていたかもしれない。

これらのことから、強い打撃をするためには、一つには大きな力が発揮できる（あるいは大きな衝撃力に抗することができる）関節角度でインパクト姿勢をとることが重要であると考えられる。しかしバレーボールのスパイクでは、各関節を伸展させて打点を高くすることも必要であり、そのために一流選手は両要因ともほぼ満たすことのできる各関節角度（最大値出現範囲における関節伸展側の境界付近）でインパクト姿勢をとっていたものと推察される。

なお、上述した屈曲力および伸展力は静的なものであり、スパイク動作のような動的なものに適用するには問題があると考えられる。しかしこれに関して、Karpovichらは、関節角度が約60度から140度まで変化する肘関節屈曲運動および伸展運動中のeccentric, concentric 肘関節屈曲力および伸展力を測定し、その変化を同一の関節角度で測定したisometric 肘関節屈曲力および伸展力と比較した。その結果、いずれの肘関節屈曲力および伸展力も、その大きさは関節角度の違いにより変化した。その変化の仕方はほぼ類似した傾向を示したと報告している。このことは、静的に測定された各関節の屈曲力および伸展力であっても、動的な動きの中で発揮される屈曲力および伸展力を考える上での資料として役立つことを示唆するものであろう。

6. 打撃の強さとスイング動作

強い打撃をするためには、これまでみてきた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と思われる。

図10-10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 18.1m/sから最小 13.3m/sの範囲にあるが、この内約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15m/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10-11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り、●の付いた線が手先、▲が肘、■が肩の速度変化を表わしている。そして図上端のスティックピクチャーは前述した一流選手の平均的な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、FF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、最大値は肩が4.4m/s、肘が8.8m/sである。以後、肩およ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17.4m/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10-2に示す通りである。

図10-12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みたものである。各選手の肩の最大速度は 3.4~6.5m/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10-13は胴体の最大後傾時およ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。ここで肩-腰角度とは、左右の腰の midpoint から右肩へ向うベクトルが腰 midpoint を通る水平前向きベクトルとなす角度である。

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10-2）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と言える（ $r=0.51$, $p<0.001$ ）。

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。

7. 跳躍距離

インパクト直後のボール速度は、前述した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⁵⁾に分けて考えることができよう。長尾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ひねりに加え、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10-14は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をみたものである。各選手の跳躍距離は最大 2.06mから最小 0.51mの範囲内にあり、平均では 1.08m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10-2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 ($r=0.24$, $p<0.2$)。

8. まとめ

スパイクスイング局面の先行研究は打球速度や打点高に関するものがほとんどで、スイング動作に関して報告されているものは極めて少ない。しかもこれら動作に関する先行研究は、バレーボール経験者と未経験者のスイング動作を比較し、経験者の動きの特徴を記述することによりスイング技術を説明しようとしたものであり、打点高や打球速度とスイング動作との関連を検討したものはない。従って、厳密に言えば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た先行研究はないと言える。しかし、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のようなになる。

- ① 本研究におけるインパクト時の手先の高さは2.93~3.33mの範囲にあり、平均では3.18mであった。これは従来一流選手がゲーム中に発揮した手先の高さと比較して、同等もしくはそれ以上の打点高に相当する。
- ② スイング局面においては打点高と最大重心高との差(H3)を大きくすることが重要であり、H3を大きくするためには一つには最大重心高到達時とインパクト時のタイミングを一致させることが重要である。本研究では、最大重心高出現時はインパクト時付近にあり、最大重心高とインパクト時重心高との差は0~4cmと小さかった。
71,73, 33,34)
- ③ 高橋ら、川合らは打点高を大きくするスイング動作について、「経験者は身体各

部の関節を十分に伸展し、身体を直線的にしたインパクト姿勢をとっている」と述べ、本研究とは若干違う結果を報告している。すなわち本研究では、胴体の前屈動作に伴って、右腕は肩および肘関節を伸展しながらフォアスイングされる。そしてインパクト時では胴体を前傾し、肩および肘関節角度はそれぞれ平均148, 155度のわずかに屈曲した姿勢をとっている。

- ④ また、インパクト時の頭部中心とボール中心との位置関係についてみると、打点位置が最も高いのは、左右方向では頭部中心の右側方約20cm、前後方向では頭部中心の真上から前方約20cmの範囲であり、打点位置（鉛直方向）とH3との間には統計的に有意な関係が認められた。
- ⑤ 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およ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ので、左腕およ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。
- ⑥ 本研究におけるインパクト直後のボール速度は16.7~28.4m/sの範囲にあり、平均では22.4m/sであった。これは従来一流選手がゲーム中に発揮した打球速度と比較して、同等もしくはそれ以上の打球速度に相当する。
- ⑦ 打球速度はフォアスイング動作などの身体各部分の動きによって生じたものと、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る。本研究における跳躍距離は0.51~2.06mの範囲にあり、インパクト時の重心速度との間には統計的に有意な関係が認められた。このことは「跳躍距離を大きくすることが強い打撃をするのに有効である」と述べている長尾の研究結果と一致するものである。しかしながら本研究では、打球速度に対するインパクト時の重心速度の割合（打球速度に対する貢献）が3.9~13.7%とかなり小さく、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有意な関係は認められなかった。
- ⑧ 強い打撃をするためには一つには大きな力が発揮できる（あるいは大きな衝撃力に抗することができる）関節角度でインパクト姿勢をとることが重要である。本研究におけるインパクト時の胴体および上肢関節角度は、各関節の静的屈曲力・伸展

力最大値出現範囲を僅かにはずれているが、それは関節伸展側の境界付近であり、かなり大きい屈曲力・伸展力が発揮できる角度であった。これはバレーボールのスライクでは強い打撃をするばかりでなく、各関節を伸展させて打点を高くすることも必要であり、そのために一流選手は両要因ともほぼ満たすことのできる関節角度でインパクト姿勢をとっていたからであると考えられる。

⑨ 強い打撃をするためにはインパクト直前に手先の速度を大きくすることが重要である。しかし本研究では、打球速度とインパクト時の手先速度との相関係数が0.38と小さく、統計的にみれば有意な関係が認められなかった。これは、本研究で分析したボールおよび手先速度の偏差が小さいためであり、今後さらに分析数を増し、変数の偏差の大きい試技（例えば手先速度が15m/s以下の試技）も含めて再検討する必要があると考えられる。

⑩ 橋本は「経験者は未経験者に比べ胴体のフォアスイング動作（前屈動作）が大きい」と述べ、また山本らは「右腕のフォアスイングでは、初め上腕速度が大きく、次いで前腕速度が大きくなる」と述べており、これらは本研究のフォアスイング動作に関する結果と一致する。しかし更に本研究においては、胴体は最大後傾時では各選手とも同程度に後傾されるが、インパクト時では前傾の程度が大きいものほど肩の最大速度が大きくなること、また肩の最大速度が大きいものはインパクト時の手先速度が大きく、肩、肘、手先の最大速度は順に約2倍ずつ増加していることが認められた。

第11章 要約

1. 研究目的および研究手順

- (1) 本研究の目的は「高い打点で、強く打撃するためのスパイク技術」を究明することであった。
- (2) 文献研究により明らかにされた本研究の研究課題は、①高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程を記述すること、②スパイク運動成果（助走速度、跳躍高、打点高、および打球の速度）とスパイク動作の関連を検討し、これら運動成果を大きくするための動きを明らかにすることであった。
- (3) ワールドカップ'81のソ連対キューバ、日本対ポーランド戦における一流選手のスパイク動作を2台の16mm高速度カメラにより、毎秒100コマで撮影した。撮影された全試技を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）が評価し、跳躍高が大きく、打撃も強くてサイドアウトを得た成功試技のスパイク動作を分析試技として23試技選択し、助走開始から着地までの身体各部位およびボールの3次元座標をDLT法により算出した。そして、この3次元座標をもとに身体およびボールに関する各種力学量を求めた。
- (4) 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程は、各選手の身体各部位および各部分の重心点の位置、また身体各部分および各関節角度のデータを規格化・平均化の手法を用いて処理することによりとらえた。
- (5) スパイク運動成果を大きくするのに役立つ動きは各局面ごとに検討した。
- ① 助走局面では、各歩数ごとの身体重心の水平、鉛直変位および水平速度変化、歩幅、踏切1歩前における上腕の振り上げ最大角度および胴体の最大前屈角度、重心

低下距離などの項目を求め、踏切に移行した瞬間の助走速度との関連を検討した。

② 踏切局面では、離地時における身体各部分の鉛直角度、身体重心の最大鉛直速度、身体重心の鉛直変位、後傾角、踏切中の腰、膝および足関節角度変位、鉛直平均力などの項目を求め、跳躍高との関連を検討した。

③ スイング局面では、最大重心高出現時点、インパクト時の頭部中心に対するボールの相対位置、インパクト直後のボール速度とインパクト時の手先の速度の差分、インパクト時における胴体および上肢各関節角度、右腕各部位の最大速度、胴体の最大後傾時からインパクト時までの肩-腰角度変位、跳躍距離などの項目を求め、打点高および打球速度との関連を検討した。

2. 結果および考察のまとめ

以上のような研究手順を経て得られた結果および考察を研究課題ごとにまとめると以下のようなになる。

(1) 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程

スパイク運動過程に関する先行研究は極めて少ない。しかもこれらの大部分は、特定の被験者のスパイク動作を記述することによりスパイク技術の運動過程を説明しようとしたものである。従って、高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程を究明した先行研究は、実験室的研究において踏切動作中の身体各部分の角度変化を規格化・平均化の手法を用いて処理した阿江の研究以外にはないと言える。なお、フィールド実験的研究方法により運動過程を究明した先行研究はない。以下、本研究において得られた知見を要約すると次のようになる。

① 踏切3歩前の助走局面では、右足が離地し左足で地面を支持する片足接地期と両足で地面を支持する両足接地期からなる歩行形態の移動動作を行っていた。なお、胴体はこの局面を通じて右の肩および腰を身体後方に引いた状態で移動しており、これは助走中コート内でレシーブされたボールやセッターの動きを観察しながら移

動しているためであると考えられた。

- ② 踏切2歩前の助走局面では、平均的にみれば、左足が離地し右足で地面を支持する片足接地期と両足で地面を支持する両足接地期からなる歩行形態の移動動作を行っていた。しかし、両足接地時間は個人差が大きく、選手の中には左足接地とほとんど同時に右足が離地するため、両足接地期が見られないものもいた。これはタイミング良く打撃動作を行うために、移動動作を‘ゆっくり’あるいは‘すばやく’行って踏切に移るタイミングを調節していたためであると考えられた。
- ③ 踏切1歩前の助走局面では前述した二局面とは異なり、片足接地期と空中期からなる移動動作を行っていた。すなわち片足接地期では、胴体を前傾した状態で左右の腕をそれぞれ前、後に振りながら右脚を振り出していた。空中期直前から胴体は上方に起こされ、左腕は身体側方に振り上げられる。そして左足が離地する空中期では、胴体を前屈しながら両腕を身体後方に振り上げていた。
- ④ 踏切局面前半では、右足から踏み込み、脚は膝関節を屈曲しながら足部を中心にして前方回転されていた。胴体は前半開始直後わずかに前屈されるが、以後腰関節を伸展させ上方に起こされるような動きをしていた。そして腕は肘関節を伸展させながら前下方へ振り下ろされ、前半終了時では肩の位置でほぼ真下に下げられていた。後半では、左足を接地した後、脚は右左の順で膝関節を伸展し、次いで離地直前から足関節を伸展していた。胴体は伸展しながら身体右側に回転され、やや後傾した状態で離地に至っていた。そして腕は肘関節を屈曲しながら前上方に振り上げられるが、右腕は左腕ほど振り上げられていなかった。
- ⑤ バックスイング局面では、右腕は肘関節を屈曲しながら肘を肩の後方に引いていた。一方、左腕は肘関節を伸展しながら身体前面に振り下ろされ、バックスイング終了時では肩の高さで水平にされていた。胴体は腰を身体左側に、肩を右に回転しながら徐々に後屈されていた。そして脚は膝関節を屈曲しながら下腿を身体後方に振り上げていた。
- ⑥ フォアスイング局面では、右腕は上腕が肩の位置までフォアスイングされた後、手先が肩の上方を通るように前腕のフォアスイングを開始していた。一方、左腕は肘関節を屈曲しながら身体下方に振り下ろされ、インパクト時では肘を左脇腹に付

け前腕を身体前方に出していた。胴体は身体左側に傾斜された状態で、右肩を前上方に、そして左肩を後下方に移動しながら前屈されていた。そして脚は膝関節を伸展しながら下腿を振り下ろしていた。

⑦ フォロースルー局面では、身体各部分は初めフォアスイング動作を継続していたが、右手先が肩の高さまでフォロースルーされた直後から、身体各部分は着地の準備動作を開始していた。すなわち胴体は鉛直に立つように起こされ、腕は肘関節を直角に近く屈曲した状態で肘を肩後方へ引きあげていた。そして左脚は膝関節を伸展した状態で身体下方へ振り下ろされていた。

⑧ 規格化・平均化の手法を用いてデータ処理すれば、各動きに共通に内在する要因を平均値により定量的に表わすことが可能であること、そして本研究の被験者は従来報告されているフィールド実験的方法による一流選手の研究結果と比較して同等もしくはそれ以上の運動成果を発揮していたことから、本研究において記述したスパイク運動過程は高い打点で強く打撃するためのスパイク技術における運動過程をおおむね表わしていると考えられた。

(2) スパイク運動成果を大きくするのに役立つ動き

従来スパイクに関する研究は、跳躍高やインパクト直後のボール速度に関するものが多く、スパイク技術そのものを検討した研究報告は少ない。しかもこれら技術に関する先行研究の多くは、バレーボール経験者と未経験者のスパイク動作を比較し、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スパイク技術を説明しようとしたものであり、スパイク運動成果とスパイク動作との関連を検討したものはない。従って、厳密に言えば高い打点で強く打撃するために役立つ動きを究明した先行研究はないと言える。以下、本研究において得られた知見を要約すると次のようになる。

① 助走局面の課題の一つは、大きな跳躍高を得るために踏切に移行した瞬間の助走速度を約4m/sにすることである。そのためには助走中、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が重要で

あると考えられた。

助走の歩幅を踏切に近づくとともに大きくし、特に踏切1歩前の助走局面では、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ながら歩幅を大きくすれば、重心の水平変位を大きくすることができ、踏切に移行した瞬間の助走速度を約4m/sにすることができると考えられた。なお踏切1歩前の助走局面において上腕および胴角度と歩幅との相関係数が小さかったことは、今後さらに分析数を増し、角度偏差が大きいものも含めて再検討する必要があると考えられた。

ゲーム場面においては助走が利用できない場合もあり、これに対処するために重心低下距離を大きくするなど助走が無くても高く跳躍できる方法を開発していく必要があると考えられた。

- ② 踏切局面における課題の一つは跳躍高を大きくすることであり、そのためには離地時重心上昇高と空中での重心上昇高の両方を大きくすることが重要であると考えられた。

離地時重心上昇高を大きくするためには、形態的要因は別として、離地時において胴体および下肢各部分を鉛直に近く立てること、そして腕を上方に高く上げることが役立つと考えられた。

空中での重心上昇高を大きくするためには、1)身体を大きく後傾して踏切に移行するとともに、踏切中では腰および脚の各関節を大きく屈曲・伸展させ、身体重心の鉛直変位を大きくすること、2)足関節をパワフルに伸展させるなどして身体重心の最大鉛直速度出現時と離地時のタイミングを一致させること、3)左右の足をすばやく接地させ、両脚により屈曲・伸展するような踏切動作をして、踏切中の鉛直平均力を大きくすることが役立つと考えられた。

なお、スパイク動作は他のプレイヤーやネットなどの場の制約を受けるので、跳躍高を大きくするとともに跳躍角も大きくすることが重要であると考えられた。

- ③ スイング局面における課題の一つは、打点高を高くし、インパクト直後のボール速度を大きくすることである。

打点高を高くするためには、1)右の肩および肘関節を伸展させ、ボールを右肩の前上方で捉えること、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およ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最大重心高出現時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、1)大きな力が発揮できる関節角度でインパクト姿勢をとること、2)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。

3. 今後の課題

- (1) 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術について、更に分析数を増し、詳細に検討すること。特に、スパイク運動成果と動きの関連については、変数の偏差が大きいもの（例えば助走速度が4m/s以上や、2m/s以下のスパイク試技）も含めて検討する。
- (2) 本研究の結果、得られた知見を一般化するために検証研究としてトレーニング実験を行うこと。そしてこれらの知見を実践の場へ還元するために、練習手段を明らかにすること（例えば肩の前上方でインパクトするための練習手段として、適切な位置に吊るしたボールを跳躍しないで打撃する等）。
- (3) 高い打点で強く打撃するためのスパイク技術ばかりでなく、打球の方向を変化させるためのスパイク技術、跳躍距離を長くするためのスパイク技術、さらに応用技術としての打撃のタイミングを変化させるためのスパイク技術（例えば、時間差攻撃）なども究明すること。

謝 辞

本研究は、指導教官古藤高良先生をはじめ、渋川侃二先生、浅見高明先生、枋堀申二先生、都沢凡夫先生、福原祐三先生、阿江通良先生、本学技官石島繁氏らの励ましと御指導のもとで行われたものです。特に阿江通良先生、石島繁氏には本研究に対する理解と、実験から分析、論文構成に至るまで数多くの貴重な助言を頂きました。ここに記して深く感謝致します。

また、研究仲間である本学大学院生横井孝志君、趙孝九君、川端昭夫君、湯海鵬君には暖かい励ましに加え、実験、資料整理などに関して多大な協力を頂きました。ここに記して深く感謝致します。

引用及び参考文献

- 1) 阿江通良：高く跳ぶための跳に関する運動生力学的研究—踏切における身体各部の貢献とメカニズムについて，昭和56年度筑波大学大学院教育学博士論文，1982.
- 2) 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):101-113,1977.
- 3) Alikhanov S.I.:Investigation of the volleyball spike by means of the accelerograph,Theory and Practice of Physical Culture,5:71-73,(Reported by Yssis Reviews of Soviet Physical Education and Sports,5(2):28-34,1970.),1969.
- 4) 朝比奈一男：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，（豊田博：種目別現代トレーニング，大修館書店，1968），1963.
- 5) 朝比奈一男，椿恒域，中川功哉：Volley Ball 基本動作のEMG，体力科学，12(3):119-120,1963.
- 6) Asmussen E.and F.B.Petersen:Storage of elastic energy in skeletal muscles in man,Acta physiol.scand,91(3):385- 392,1974.
- 7) Bishop R.D.and J.G.Hay:Basketball:the mechanics of hanging in the air,Medicine and Science in Sports,11(3):274-277,1979.
- 8) Bullok I.K.and I.K.Harley:The measurement of three-dimensional body movements by the use of photogrammetry,Ergonomics,15(3):309-322,1972.
- 9) Cavagna G.A.,F.P.Saibene and R.Margaria:Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle, Journal of Applied physiology,20:157-158,1965.
- 10) Cavogna G.A.,B.Dusman and R.Margaria:Positive work done by a previously stretched muscle,Journal of Applied Physiology:24(1),21-32,1968.
- 11) Chandler,R.F.:Investigation of inertia properties of the human body, Aerospace Medical Laboratory,National Technical Information Service Springfield, Virginia 22161,U.S.A.,1975.
- 12) Coutts K.:Kinetic analysis of two styles of volleyball spike jumps, Volleyball Technique Journal,4(3):103-105,1979.
- 13) Coutts K.:Kinetic differences of two volleyball jumping techniques, Medicine and Science in Sports and Exercise,14(1):57-59,1982.

- 14) 土谷秀雄他：どのトレーニングがジャンプ力を高めるか，昭和53年度日本体育協会スポーツ医化学研究報告，46-57,1978.
- 15) 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.
- 16) 福原祐三，古谷嘉邦，佐野裕司：バレーボールのジャンプについて，日本体育学会第24回大会号抄録，342,1973.
- 17) 古市英：バレーボール教室，鶴書房，1974.
- 18) 古沢久雄，豊田博：ミニジム・リーパーによるアイソキネティックトレーニングの効果に関する考察—バレーボール選手のジャンプについて—，東京大学教養学部体育学紀要，13:43-48,1979.
- 19) 郷守重蔵，森田昭子：バレーボールにおけるスパイクのジャンプに関する研究東京女子体育大学紀要，4:64-48,1969.
- 20) 郷守重蔵，朽堀申二：バレーボール上達法，成美堂出版，1980.
- 21) 橋原孝博他：助走速度を利用したバレーボールオープンスパイクジャンプの踏切準備動作が踏切動作に及ぼす影響，日本体育学会第31回大会号抄録，611,1980.
- 22) 橋原孝博他：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.
- 23) 橋原孝博他：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，第5回バイオメカニクス国内セミナー，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.175-181.
- 24) 橋原孝博：三次元映画撮影法によるバレーボール一流選手のスパイク動作に関する研究，昭和58年度教育学修士論文，1983.
- 25) 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.
- 26) Hay J.G.,B.D.Wilson and J.D.Dapena:Identification of the limiting factors in the performance of a basic human movement,P.V.Komi(edt.), Biomechanics V-B,University Park Press,1976,PP.13-19.

- 27) Hoshikawa T. and S. Toyoshima: Contribution of body segments to ball velocity during throwing with nonpreferred hand, P.V. Komi (ed.), Biomechanics V-B, University Park Press, 1976, PP. 109-117.
- 28) 猪飼道夫：スポーツトレーニングとは何か，猪飼道夫（編），種目別現代トレーニング法，大修館書店，1968, PP. 17-22.
- 29) 池上康男：写真撮影による運動の三次元的解析法，Japanese Journal of Sports Sciences, 2(3):163-170, 1983.
- 30) 岩崎和子他：バレーボールのスパイクに関する実験的研究，日本体育学会第22回大会号抄録，430, 1971.
- 31) 金子明友：運動技術論，岸野，松田，宇土（編），序説運動学，大修館書店，1968, PP. 89-116.
- 32) 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.
- 33) 川合武司，小林一敏：腕のスイングから見たバレーボールのスパイク動作，日本体育学会第30回大会号抄録，370, 1979.
- 34) 川合武司，小林一敏：腕の振りから見たバレーボールのスパイク動作，体育の科学，509-514, 1980.
- 35) 木内盈治，鈴木利治：バレーボールに於るクイックスパイクの技術分析，郡山女子大学紀要，4:101-107, 1967.
- 36) 金原勇，春山国広，三浦望慶：跳躍力を大きくする基礎的技術の研究（その1）—反動動作と振込動作について—，東京教育大学体育学部スポーツ研究所報，2:21-31, 1964.
- 37) 金原勇：跳躍力を大きくする基礎的技術の研究（その3）—助走を利用して高く跳ぶ跳躍について—，東京教育大学体育学部スポーツ研究所報，4:32-50, 1966.
- 38) 金原勇：運動技術の本質，体育原理研究会（編），体育における体力論・技術論（体育の原理第5号），不味堂出版，1970, PP. 105-123.
- 39) 金原勇，高松薫，波川侃二：筋の力出し方に関する基礎的研究（その2）—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.

- 40) 金原勇他：走高跳における助走・踏切準備に関する実験的研究，昭和40年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告N0Ⅲ，跳能力の向上一第2次調査報告，61-82,1975.
- 41) 岸野雄三：学問の分化と総合，体育原理研究会（編），体育学研究の分化と総合（体育の原理第7号），不味堂出版，1972,PP.37-48.
- 42) Komi P.V. and C.Bosco:Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles of men and women,Medicine and Science in Sports,10(4):261-265,1978.
- 43) 小村堯他：跳躍運動の分析，人間工学，17(6):267-272,1981.
- 44) 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):392-395,1981.
- 45) Miller D.I. and R.C.Nelson:Biomechanics of sport-a research approach, Lea & Febiger,1973.
- 46) 峯村昭三：バレーボールのスパイクにおけるジャンプの巧拙にかかわる要因，静岡大学教育学部研究報告自然科学編，26:171-181,1975.
- 47) 森田昭子他：バレーボールのジャンプに関する研究（第1報）—スパイク動作時の身幹角度について—，体育学研究，13(5):276,1969.
- 48) 森田茂男：バレーボールのスパイク時のボールスピードと体格の関係（第1報）—女子選手のスパイクスピードと体格—，金沢大学教育学部教育科教育研究，8:45-49,1976.
- 49) 森屋鷲男：打叩力に関する実験的研究，体育学研究，10(1):159,1965.
- 50) Murase Y.,T.Hoshikawa,N.Yasuda,Y.Ikegami and H.Matsui:Analysis of the changes in progressive speed during 100-meter dash, P.V.Komi(edt.), Biomechanics V-B,University Park Press,1976,PP.200-207.
- 51) 長尾愛彦：球技における球質に関する解析学的・体質学的研究（第1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):14-32,1975.
- 52) Nelson C.R.:Follow-up investigation of the velocity of the volleyball spike,Res.Quart.,35(1):83-84,1964.
- 53) 日本バレーボール協会指導普及委員会：バレーボール指導教本，大修館書店，1982.

- 54) 二宮恒夫, 佐々木克明: バレーボール選手の基礎体力とスパイク速度に関する研究, 体育学研究, 14(5):290,1970.
- 55) 丹羽健市, 水野義明, 西川光子: Volleyballの基本動作に関する分析的研究 (第1報) —スパイクについて—, 大阪教育大学紀要, 21(4):167-177,1973.
- 56) 丹羽昇: 角度と筋力との関係—脚筋力の場合—, 体育学研究, 15(1):167-177, 1970.
- 57) 岡本勉他: バレーボールのスパイクの筋電図的研究, 日本体育学会第25回大会号抄録, 493,1974.
- 58) Oka H., T.Okamoto, M.Kumamoto: Electromyographic and cinematographic study of the volleyball spike, P.V.Komi(edt.), Biomechanics V B, University Park Press, 1976, PP.326-331.
- 59) 斎藤慎一, 横井孝志: スプラインとデジタルフィルターによるデータスムージングのためのBasic プログラム, 筑波大学体育科学系紀要, 5:201-206,1982.
- 60) Samson J. and B.Roy: Biomechanical analysis of the volleyball spike, P.V.Komi(edt.), Biomechanics V B, University Park Press, 1976, PP.332-336
- 61) 佐々木宏他: 跳躍運動に関する研究—第4報—バレーボール選手の跳躍動作の分析, 日本体育学会第29回大会号抄録, 295,1978.
- 62) Shapiro R.: Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography, Res.Quart., 49(2):197-205,1978.
- 63) 島津大宣他: 跳躍動作の解析(その1), 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, NOII, 289-292,1980.
- 64) 清水光治: バレーボールの基礎教室, ベースボールマガジン社, 1976.
- 65) 砂本秀義他: スパイクボールのコース選択とスピードの関係, 日本体育学会第23回大会号抄録, 223,1972.
- 66) 砂本秀雄他: バレーボール日・ソ戦における競技技術の解析と比較—映像による動作学的解析—, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, NOII, 131-140 1979.
- 67) 砂本秀雄他: 日本・キューバ対抗バレーボールにおける競技技術の解析と比較—映像によるキネシオロジー的解析—, 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, NOII, 271-284,1980.

- 68) 高橋和之他：バレーボールのスパイクに関する研究，体育学研究，15(5):212, 1971.
- 69) 高橋亮三他：バレーボールの基礎技能に関する力学的研究（第1報適正なスパイクの打点についての力学的研究），順天堂大学体育学部紀要，9:4-6,1966.
- 70) 高橋亮三他：バレーボールの基本技能の力学的研究（第1報）スパイクの適正な打点について，体育学研究，10(5):225,1967.
- 71) 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—，順天堂大学保健体育紀要，13:38-43,1970.
- 72) 高橋亮三他：バレーボールのスパイクフォームの力学的研究，体育学研究，15(5):217,1971.
- 73) Takahashi R. and J.Tanaka:An analytical study of basic skills in volleyball—motion analysis of underhand pass,toss,and step-in motion in spiking,Research Journal of Physical Education,16(6):335-355,1972.
- 74) 多和健雄：ボール速度を計測する方法とその結果，体育学研究，4(1):137, 1958.
- 75) 多和健雄：運動技術学とは，現代体育学研究法，大修館書店，1972,PP.403-410.
- 76) 柘堀申二：球技指導ハンドブック，関四郎（編），バレーボール，大修館書店 1974,PP.210-302.
- 77) 豊田博：バレーボールプレイヤーのための体力づくり，ベースボールマガジン社，1965.
- 78) 豊田博，山口晃：バレーボール選手の体力に関する研究 [I] —男子ユニバーシアード候補選手の体力について—，東京大学教養学部体育学紀要，13:57-69 1966.
- 79) 豊田博，豊島進太郎：バレーボール選手の体力に関する研究 [II] —ヤシカ女子チームの体力について—，東京大学教養学部体育学紀要，14:1-8,1967.
- 80) 豊田博：種目別現代トレーニング法，猪飼道夫（編），バレーボールのトレーニング，大修館書店，1968,PP.397-517.
- 81) 豊田博他：バレーボールのジャンプに関する研究，バレーボール，22(12):61-65,1968.

- 82) 豊田博, 梶尾義昭, 島津大宜: バレーボール選手の体力に関する研究<ヤシカチームの体力の現状とトレーニング法>, 月刊バレーボール, 23(5):89-95, 1969.
- 83) 豊田博, 梶尾義昭, 島津大宜: バレーボール選手の体力に関する研究, 月刊バレーボール, 23(1):169-173, 1969.
- 84) 豊田博, 島津大宜: バレーボール選手の体力に関する研究(第3報)ー日本ユニバーシアード女子選手の体力についてー, 東京大学教養学部体育学紀要, 5: 25-33, 1970.
- 85) 豊田博他: バレーボール選手の体力に関する研究(第4報)ーミュンヘンオリンピック候補選手(男子)の体力についてー, 東京大学教養学部体育学紀要 7:23-28, 1972.
- 86) 豊田博他: バレーボール選手の体力に関する研究(第5報)ー日本女子選手の現状と中国女子選手の体力についてー, 東京大学教養学部体育学紀要, 19:61-72, 1975.
- 87) 椿恒域: Volleyball基本動作のEMG, 体力科学, 13(3), 101-118, 1964.
- 88) Walton J.S.: Science in biomechanics cinematography, J. Terauds (edt.), Close-range cine-photogrammetry: another approach to motion analysis, Academic Publishers: Del Mar, 1979, PP. 69-97.
- 89) 渡辺太賀司: バレーボールにおける基礎技術の分析(スパイクスイングについて), 福島大学教育学部論集, 27(3):105-110, 1975.
- 90) 渡辺太賀司: バレーボールにおける基礎技術の分析(助走を伴うスパイクの跳躍について), 福島大学教育学部論集, 28(3):111-119, 1976.
- 91) Winter D.F.: Biomechanics of human movement, John Wiley & Sons, 1979, PP 14-16.
- 92) 山本隆久, 守谷孝治: バレーボールのフォームに関する研究(第1報)中衛左からのスパイクのフォームについて, 体育学研究, 5(1):153, 1960.
- 93) 山本隆久, 守谷孝治: バレーボールのフォームに関する研究(第2報)中衛左からのスパイクのフォームについて(その2), 体育学研究, 6(1):251, 1961.
- 94) 山本隆久, 古谷嘉邦: バレーボールのフォームに関する研究(第3報)スパイクのフォームについて(その3), 体育学研究, 8(1):145, 1963.
- 95) 山本隆久他: バレーボールのフォームに関する研究(第4報)スパイクのフォームについて(その4), 体育学研究, 9(1):309, 1964.

- 96) 山本隆久, 田口守隆, 田村清: バレーボールのフォームに関する研究(第5報) スパイクのフォームについて(その5), 体育学研究, 12(5):102,1968.
- 97) 吉原一男他: バレーボールのトレーニング, 大修館書店, 1972, PP.1-15.

図及び表

基礎技術	技術上の諸要素	体力上の諸要素
バスマス レシーブ	A. 構えのフォーム	a. 足腰・腹筋の強さ(筋持久力), b. 全身のリラクゼーション(調整力)
	B. 読みの能力	(体力上の要素でなく純粋に技術の分野)
	C. 反射的能力	a. 反射の速さ(敏しよ性), b. リラクゼーション, タイミング, 集中力(調整力)
	D. フットワーク・動き	a. 動きのスピード(敏しよ性), b. 低い姿勢での移動(筋持久力), c. 逆方向
	E. ボールコントロール	a. 手首, 指, 腹背筋, 膝のパネ(全身瞬発筋力), b. タイミング, リラクゼーション, バランス(調整力) c. ボールの正面への移動(瞬発筋力) d. 上肢による全身の支え(上肢瞬発力)
	F. フォロー	a. 動きのスピード(敏しよ性), b. タイミング(調整力)
スパイク ブロック	A. 構えのフォーム	a. 足腰・全身の強さ(筋持久力), b. 全身のリラクゼーション(調整力)
	B. 助走のフットワーク	a. 動きのスピード(敏しよ性), b. フットワーク(調整力)
	C. ジャンプ	a. タイミング, リラクゼーション(調整力), 全身のパネ(全身の瞬発筋力)
	D. フォーム(スパイク・ブロック)	a. 指, 手首, 腕, 肩の強さ(上肢瞬発筋力), b. 腹筋の強さ(腹部瞬発筋力)
	E. 着地とフォロー	a. 動きのスピード(敏しよ性), b. 反射(反射のスピード) c. タイミング(調整力)
サーブ	A. 構えのフォーム	a. リラクゼーション(調整力)
	B. トス	a. タイミング・コントロール(調整力)
	C. スウイング	a. 手首・肩の強さ(上肢の瞬発力), b. 腹筋の強さ(腹部瞬発力), c. タイミング, コントロール(調整力)
	D. 打球後のフォロー	a. 動きのスピード(敏しよ性)

80)
 図 1-1 バレーボールにおける技術的要素と体力的要素の関係(豊田, 1968)

④筋 力

- 1) 指, 手首, 上肢の瞬発・持久筋力を強化すること。
- 2) 腹, 背筋などの体の瞬発・持久筋力を強化すること。
- 3) 足, 腰の瞬発・持久筋力を強化すること。
- 4) 全身の瞬発筋力(特にジャンプ力)を強化すること。

⑤敏しょう性

- 1) ボールに対する反射的能力の向上をはかる。
- 2) 動きのスピードの向上をはかる。
- 3) 反復動作, 回転動作のスピードの向上をはかる。

⑥身体調整能力

- 1) ボールに対する複雑なタイミングの変化への適応力のあること。
- 2) ボールコントロールに影響する平衡感覚にすぐれていること。
- 3) リラクセーションの能力に長じエネルギーの経済的消費と力の集中力に長じていること。

⑦柔 軟 性

力の最大限の発揮に役立ち, さらにプレーの限界の拡大とともに負傷の予防にも大きな意義を有する身体各部の諸関節, 腱と筋の伸展性にすぐれていること。

⑧呼吸・循環系の持久力

前述の諸能力が長時間の運動によって影響されず, 常に最大限の能力を発揮しうる有氣的・無氣的能力に長じ, しかも疲労からの回復が速いこと。

80)

図 1-2 バレーボールにおいて必要とみられる体力要素(豊田, 1968)

上肢筋力のトレーニング (初心者用)

種 目	部 位	方 法 お よ び 回 数
1 指 の 屈 伸	指	左右とも 50回×3セット
2 手の組み合わせ引き合い	指	指を組んで全力で引く。10回×3セット
3 手首速振り	手 首	両手同時30回×3セットまたは8字回旋20回×3セット
4 ボール打ちつけ	手首・上肢	バレーのボールを使ってヒジをのぼし30回×3セット
5 指立て伏臥腕屈伸	指・上肢	正しい姿勢で10回×3セット
6 けんすい振りとび	上肢・腹・背筋	けんすいを1回しながら、振りを加えて、できるだけ遠くにとびおる。3回×3セット
7 アザラン歩き	手首・上肢・背筋	コート往復×3セット
8 バスケットボール投げ	手首・上肢	全力で10回×3セット

上肢筋力のトレーニング (中級者用)

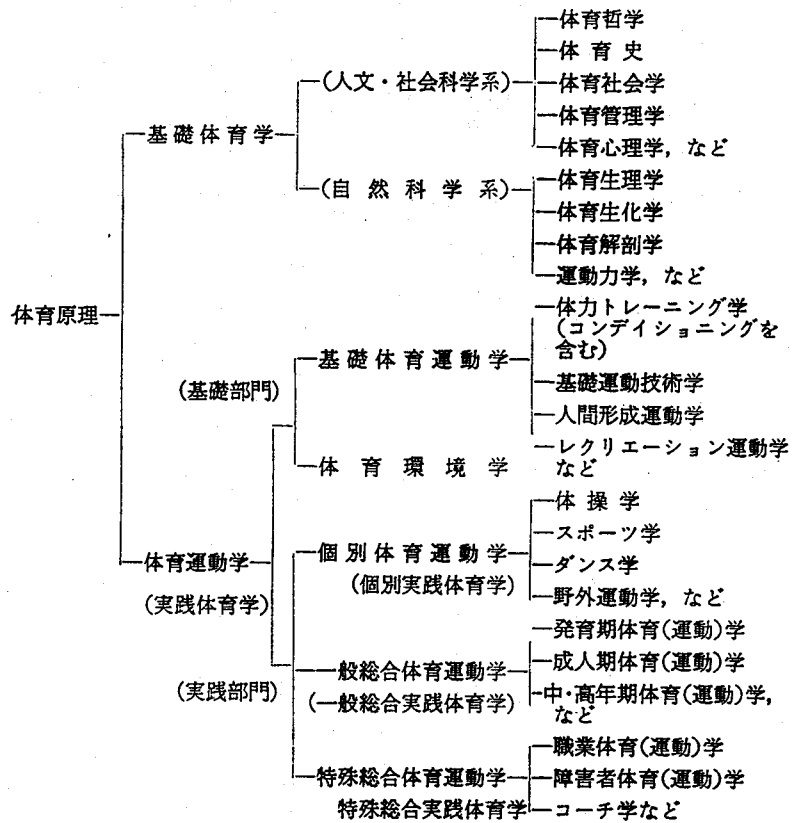
種 目	部 位	方 法 お よ び 回 数
1 指 の 屈 伸	指	左右とも100回×3セット
2 バスケットボールでのパス・キャッチ	指・上肢	対人でチェスト・パス・キャッチ20本×3セット
3 ボール打ちつけ	手首・上肢	バレーのボールを使って、ヒジをのぼし全力で50本×3セット
4 おもりのまきあげ	手首・上肢	5kgぐらいのおもりを使って、できなくなるまでの回数×3セット
5 手首回旋	手首・上肢	8字回旋50回×3セット
6 けんすい振りとび	上肢・腹・背筋	けんすいを1回しながら、振りを加えて、遠くにとぶ。5回×3セット
7 バーベル・カール	上肢・手首	10~20kgのバーベルを使って10回×3セット
8 バーベル振りあげ	上肢・背筋	20kgのバーベルで5回×3セット
9 ダンベル横あげ	上肢	5kgを両手で10回×3セット
10 バスケットボール投げ	上肢・手首	全力で10回×3セット

上肢筋力のトレーニング (上級者用)

種 目	部 位	方 法 お よ び 回 数
1 テニスボールにぎり	指	軟式テニスボール 50回全力×3セット
2 バスケットボール遠投	手首・肩	バスケットボール 15回×3セット
3 おもりの巻きあげ	手 首	10kg×5回×3セット
4 バーベル振りあげ	肩	30kg×10回×3セット
5 ダンベルプルオーバー	肩・胸	30kg×6回×3セット
6 指立伏臥腕屈伸	指・腕	30回×3セット
7 ダンベル横あげ	肩	(5kg×2個)×15回×3セット
8 バーベルカール	腕	40kg×20回×3セット
9 けんすい振りとび	指・手首・腕	10回×3セット
10 伏臥ダンベル横あげ	肩	(5kg×2個)×10回×3セット
11 腕立て突きはなし手打ち	手首・腕	連続20×3セット
12 リストカール	手 首	30kg×15回×3セット

3セットは反復セット数を示す

図 1-3 上肢の筋力強化法 (スパイク・サーブに威力のない人のために) (豊田, 1968)

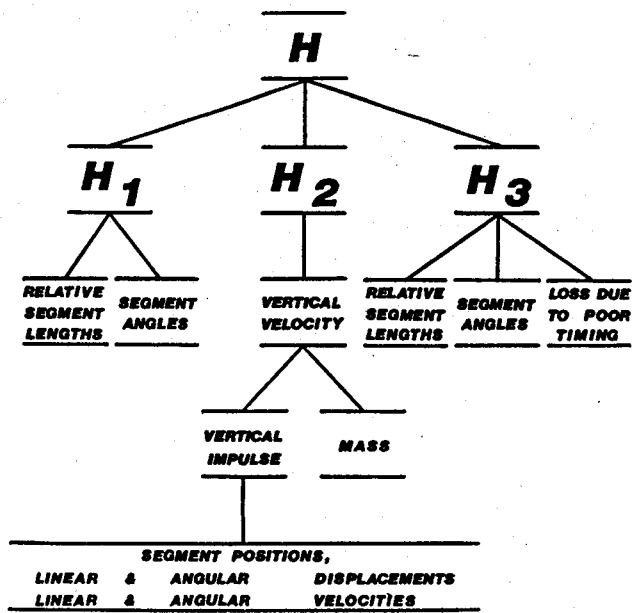


38)
 図 1-4 体育学の理論体系(金原, 1970)

64)

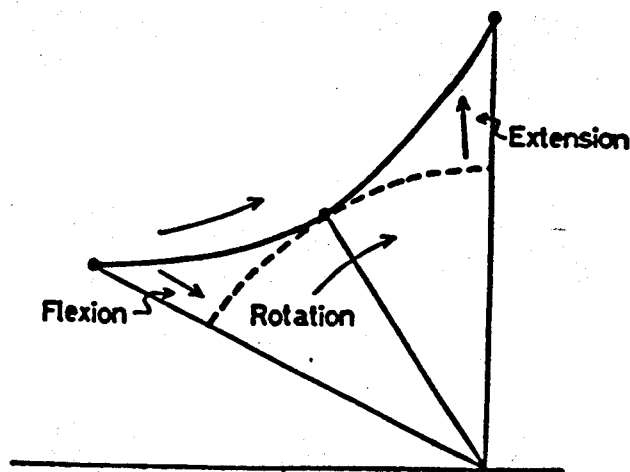
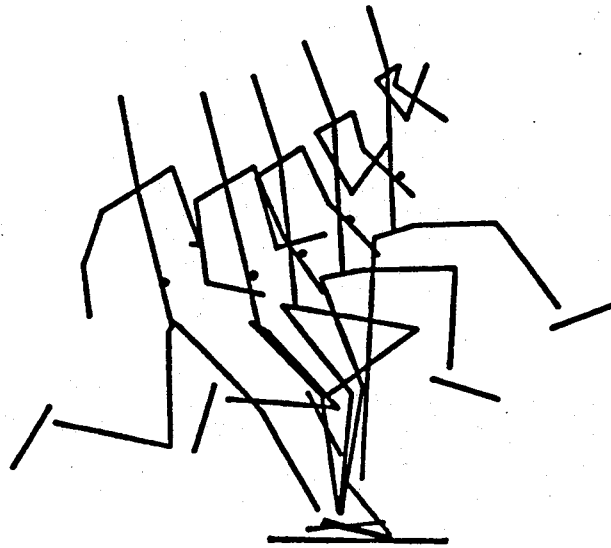
表 1-1 1セット当りの得点内容 (日本リーグ男子5ヶ年間のデータ, 清水, 1976)

サーブ	ブロック	スパイク	相手のミス スパイク	その他の ミス	計
1.27点	3.61点	5.18点	3.36点	1.56点	15点



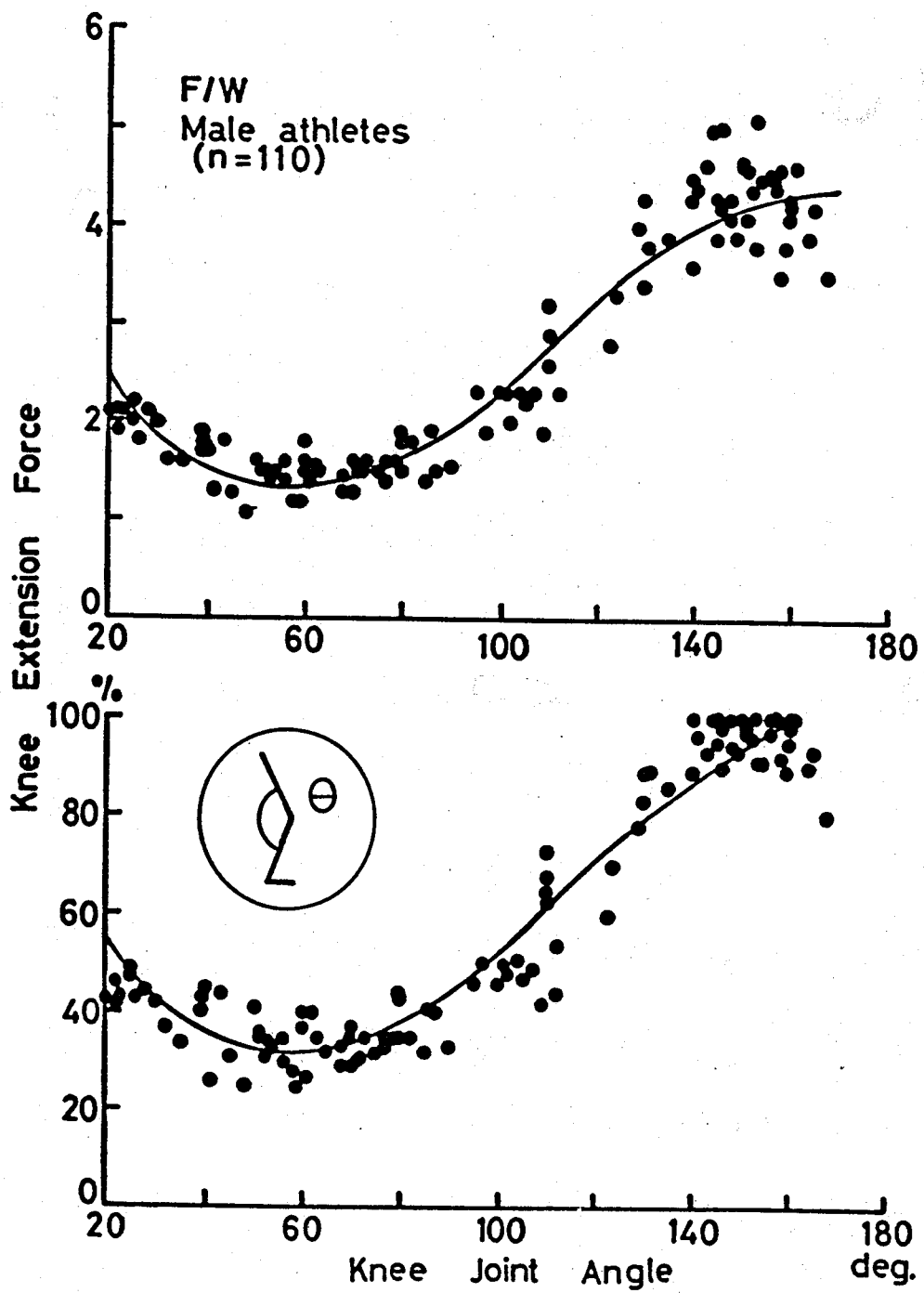
The theoretical model of the vertical jump.

26)
 図 2-1 垂直跳の理論モデル(Hay et al., 1976)



The take-off motion(upper) and C.G. pathway(lower)
during the take-off in one-leg running jump

1)
図 2-2 踏切動作のモデル(阿江, 1982)



Relationship between knee joint angle and isometric knee extension force

図 2-3 膝関節角度と静的膝伸展力との関係 (阿江, 1982)

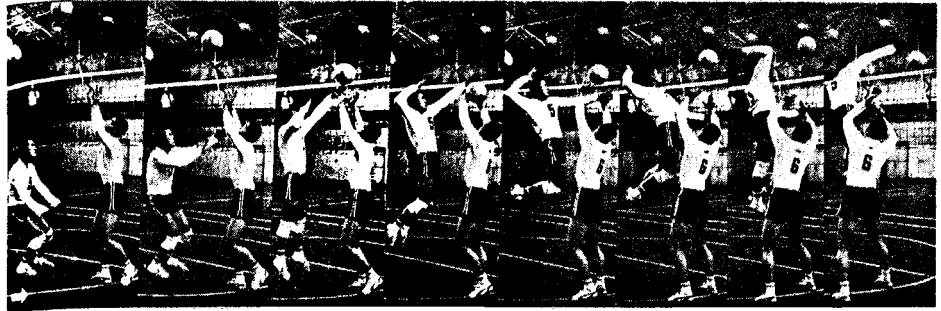


図 3-1a セッターのすぐ前でスパイクするクイックA⁵³⁾
 (日本バレーボール協会指導普及委員会, 1982)

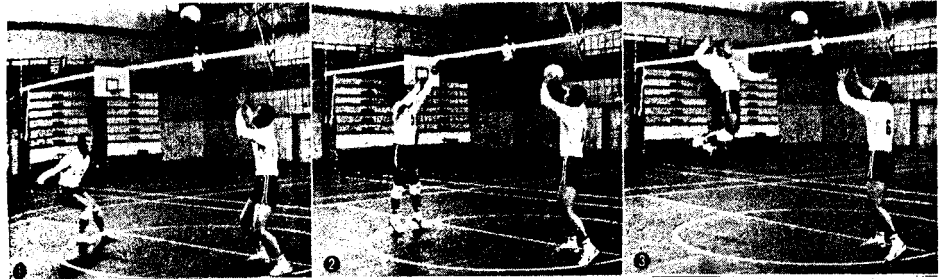


図 3-1b セッターの約2~3mレフト側でスパイクするクイックB⁵³⁾
 (日本バレーボール協会指導普及委員会, 1982)



図 3-1c セッターのすぐ後ろでスパイクするクイックC⁵³⁾
 (日本バレーボール協会指導普及委員会, 1982)



図 3-1d セッターの約2~3mライト側でスパイクするクイックD⁵³⁾
 (日本バレーボール協会指導普及委員会, 1982)

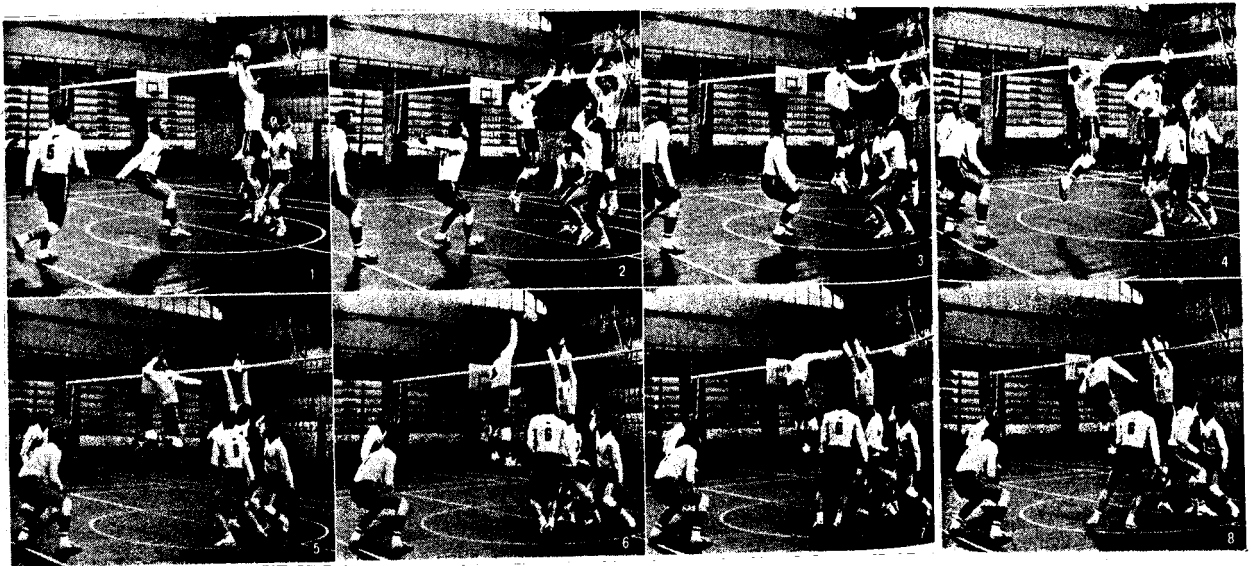
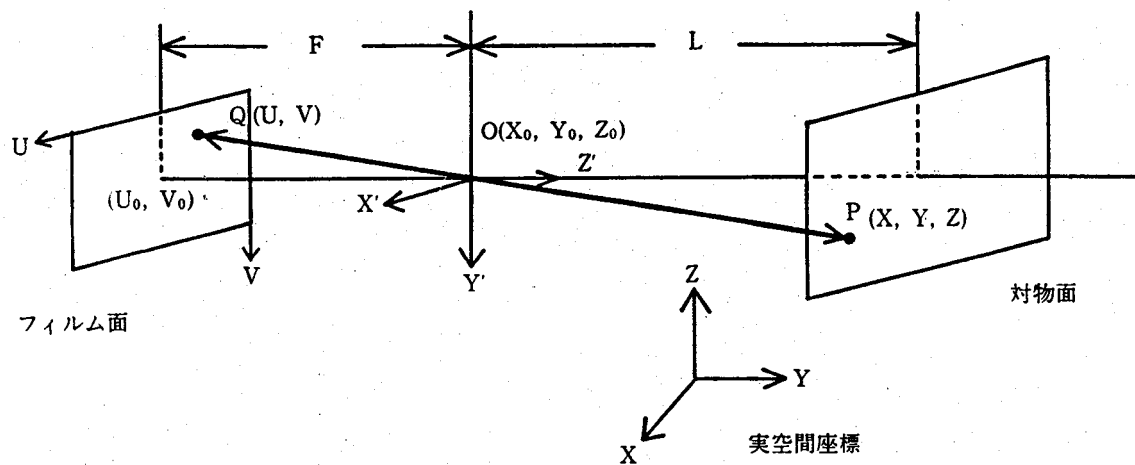


図 3-2 Aクイックと、Aクイックよりトスがやや高いスパイクとの組み合わせによる時間差攻撃 (日本バレーボール協会⁵³⁾指導普及委員会, 1982)



$$\vec{OQ} = -\frac{F}{L} \vec{OP}$$

$$\begin{bmatrix} U - U_0 \\ V - V_0 \\ -F \end{bmatrix} = -\frac{F}{L} \cdot M \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

$M = (m_{ij}), i, j = 1, 3$ (ローテーションマトリクス)

29)
 図 4-1 実空間座標とフィルム上の座標との関係(池上, 1983)

$$U = \frac{Ax + By + Cz + D}{Ex + Fy + Gz + 1}$$

$$V = \frac{Hx + Jy + Kz + L}{Ex + Fy + Gz + 1}$$

図 4-2 DLT法における二次元座標と三次元座標との関係(U, Vはフィルム面上の二次元座標, X, Y, Zは三次元座標, A~L はカメラ定数, Walton, 1979)

$$\begin{bmatrix}
 x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -U_1x_1 & -U_1y_1 & -U_1z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_2 & y_2 & z_2 & 1 & -U_2x_2 & -U_2y_2 & -U_2z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_3 & y_3 & z_3 & 1 & -U_3x_3 & -U_3y_3 & -U_3z_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_4 & y_4 & z_4 & 1 & -U_4x_4 & -U_4y_4 & -U_4z_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_5 & y_5 & z_5 & 1 & -U_5x_5 & -U_5y_5 & -U_5z_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_6 & y_6 & z_6 & 1 & -U_6x_6 & -U_6y_6 & -U_6z_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_1x_1 & -V_1y_1 & -V_1z_1 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_2x_2 & -V_2y_2 & -V_2z_2 & x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_3x_3 & -V_3y_3 & -V_3z_3 & x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_4x_4 & -V_4y_4 & -V_4z_4 & x_4 & y_4 & z_4 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_5x_5 & -V_5y_5 & -V_5z_5 & x_5 & y_5 & z_5 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_6x_6 & -V_6y_6 & -V_6z_6 & x_6 & y_6 & z_6 & 1 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 A \\
 B \\
 C \\
 D \\
 E \\
 F \\
 G \\
 H \\
 J \\
 K \\
 L
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 U_1 \\
 U_2 \\
 U_3 \\
 U_4 \\
 U_5 \\
 U_6 \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 V_1 \\
 V_2 \\
 V_3 \\
 V_4 \\
 V_5 \\
 V_6 \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots
 \end{bmatrix}$$

図 4-3 カメラ定数を求めるためのマトリックス(A~L はカメラ定数, X, Y, Zは
 校正点の三次元座標, U, Vは校正点の二次元座標, 添字は校正点の番号
 Walton, 1979)⁸⁸⁾

$$\begin{bmatrix}
 (A^1 - E^1 U^1) & (B^1 - F^1 U^1) & (C^1 - G^1 U^1) \\
 (H^1 - E^1 V^1) & (J^1 - F^1 V^1) & (K^1 - G^1 V^1) \\
 (A^2 - E^2 U^2) & (B^2 - F^2 U^2) & (C^2 - G^2 U^2) \\
 (H^2 - E^2 V^2) & (J^2 - F^2 V^2) & (K^2 - G^2 V^2) \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x \\
 y \\
 z
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 (U^1 - D^1) \\
 (V^1 - L^1) \\
 (U^2 - D^2) \\
 (V^2 - L^2) \\
 \vdots \\
 \vdots
 \end{bmatrix}$$

図 4-4 三次元座標を求めるためのマトリックス(X, Y, Z は三次元座標, $A \sim L$ はカメラ定数, U, V は二次元座標, 添字はカメラの番号, Walton, 1979)

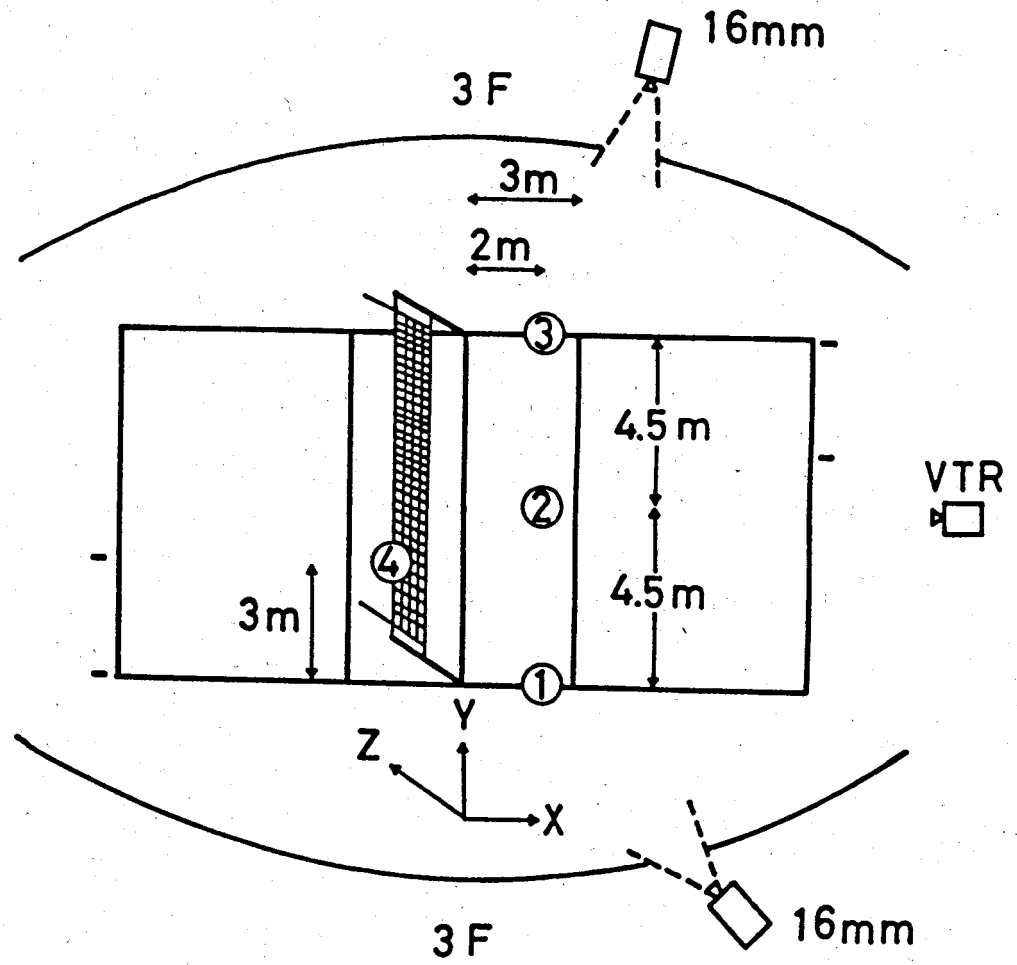


図 4-5 撮影場面におけるカメラ位置と校正器の位置('81ワールドカップ会場は代々木体育館)

表 4-1 分析試技の特徴

被験者名	試技名	スパイクの種類	助走歩数	スパイク時間 (sec.)			
				全体	助走	踏切	スイング
1 Jurek	YU1	オープン	3	2.134	1.082	0.347	0.704
2 Skup	SU2	オープン	3	2.113	1.072	0.347	0.694
3 Lasko	WA1	オープン	3	2.297	1.358	0.286	0.653
4 Nalazek	NA3	オープン	3	2.267	1.235	0.317	0.715
5 Fujita	FU2	オープン	3	2.216	1.154	0.337	0.725
6 Vilches	VI2	オープン	3	2.328	1.235	0.337	0.756
7 Klos	KU1	オープン	2	1.705	0.776	0.245	0.684
8 Klos	KU2	オープン	2	1.695	0.756	0.235	0.704
9 Nalazek	NA1	オープン	2	1.930	0.858	0.337	0.735
10 Tanaka	TA1	オープン	2	2.287	1.133	0.368	0.786
11 Tanaka	TA2	オープン	2	1.960	0.776	0.398	0.786
12 Fujita	FU1	オープン	2	1.879	0.807	0.327	0.745
13 Silie	SI1	オープン	2	1.889	0.827	0.337	0.725
14 Silie	SI2	オープン	2	2.093	0.970	0.398	0.725
15 Vilches	VI1	オープン	1	1.470	0.357	0.357	0.756
16 Drzyzga	ZI1	オープン	1	1.348	0.306	0.327	0.715
17 Savin	SA1	Bクイック	2	1.960	0.786	0.378	0.796
18 Savin	SA2	Bクイック	2	1.756	0.633	0.368	0.756
19 Yamada	YA2	Bクイック	2	1.889	0.704	0.398	0.786
20 Skup	SU1	Aクイック	2	1.634	0.602	0.327	0.704
21 Nalazek	NA2	Aクイック	1	1.470	0.368	0.347	0.756
22 Nalazek	NA4	Aクイック	1	1.327	0.296	0.296	0.735
23 Yamada	YA1	Aクイック	1	1.399	0.286	0.357	0.756
平均				1.872	0.799	0.338	0.735
(S.D)				(0.322)	(0.326)	(0.042)	(0.036)

表 4-2 被験者の特徴

被験者名	チーム名	年齢	身長 (m)	体重 (kg)	ポジション
1 Silie L.	Cuba	19	2.00	98	S
2 Vilches R.	Cuba	28	1.96	78	C
3 Savin A.	Soviet	24	2.00	97	C
4 Yamada S.	Japan	25	1.87	76	C
5 Tanaka M.	Japan	26	1.95	88	A
6 Fujita Y.	Japan	21	1.89	77	A
7 Nalazek W.	Poland	24	2.00	85	A
8 Skup S.	Poland	20	1.93	83	C
9 Lasko L.	Poland	25	1.97	85	A
10 Klos I.	Poland	25	1.96	92	S
11 Drzyzga W.	Poland	23	1.95	85	S
12 Jurek R.	Poland	20	1.95	80	C, A
平均		23	1.95	85	
(S. D)		(3)	(0.04)	(7)	

S:セッター

C:センタープレイヤー

A:エーススパイカー

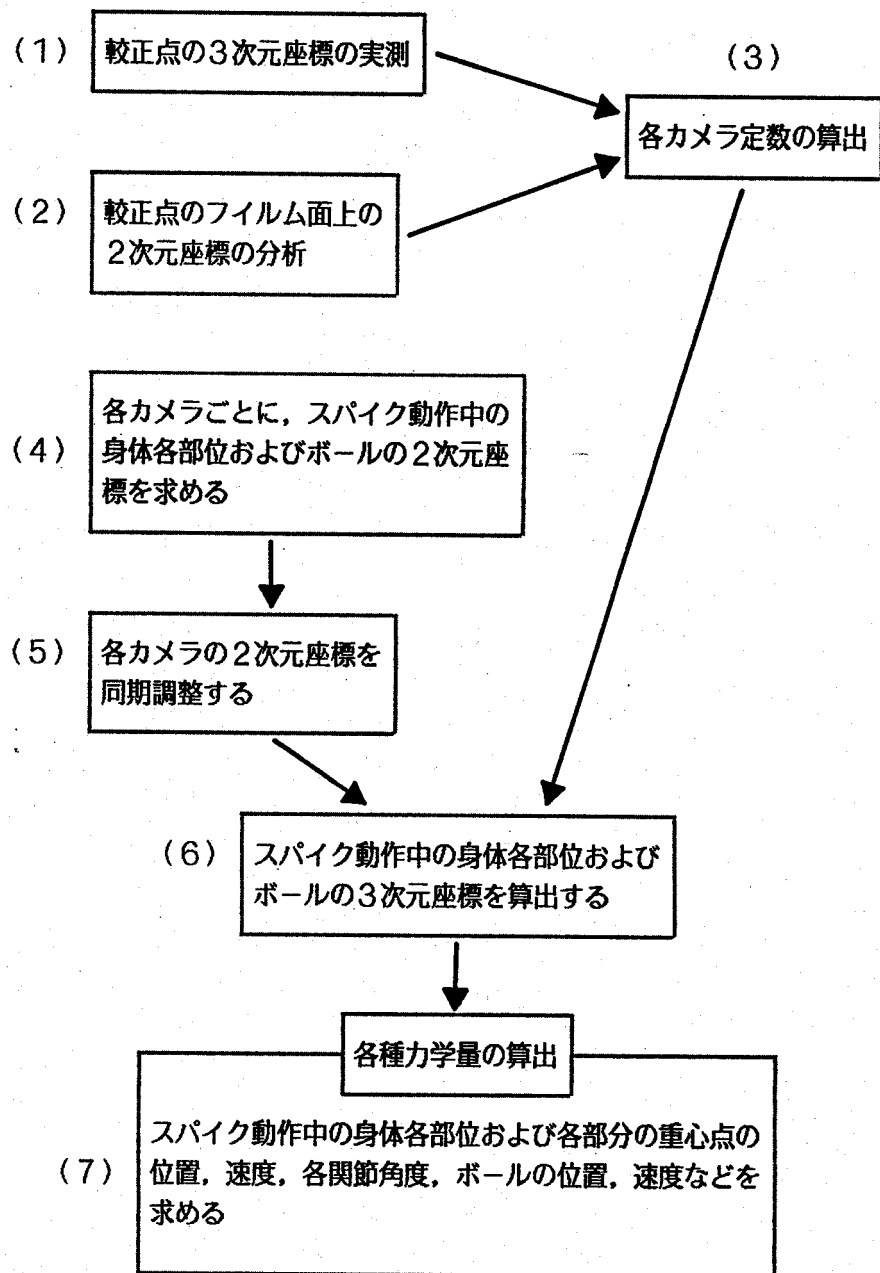


図 4-6 3次元映画撮影法(DLT法)の分析手順

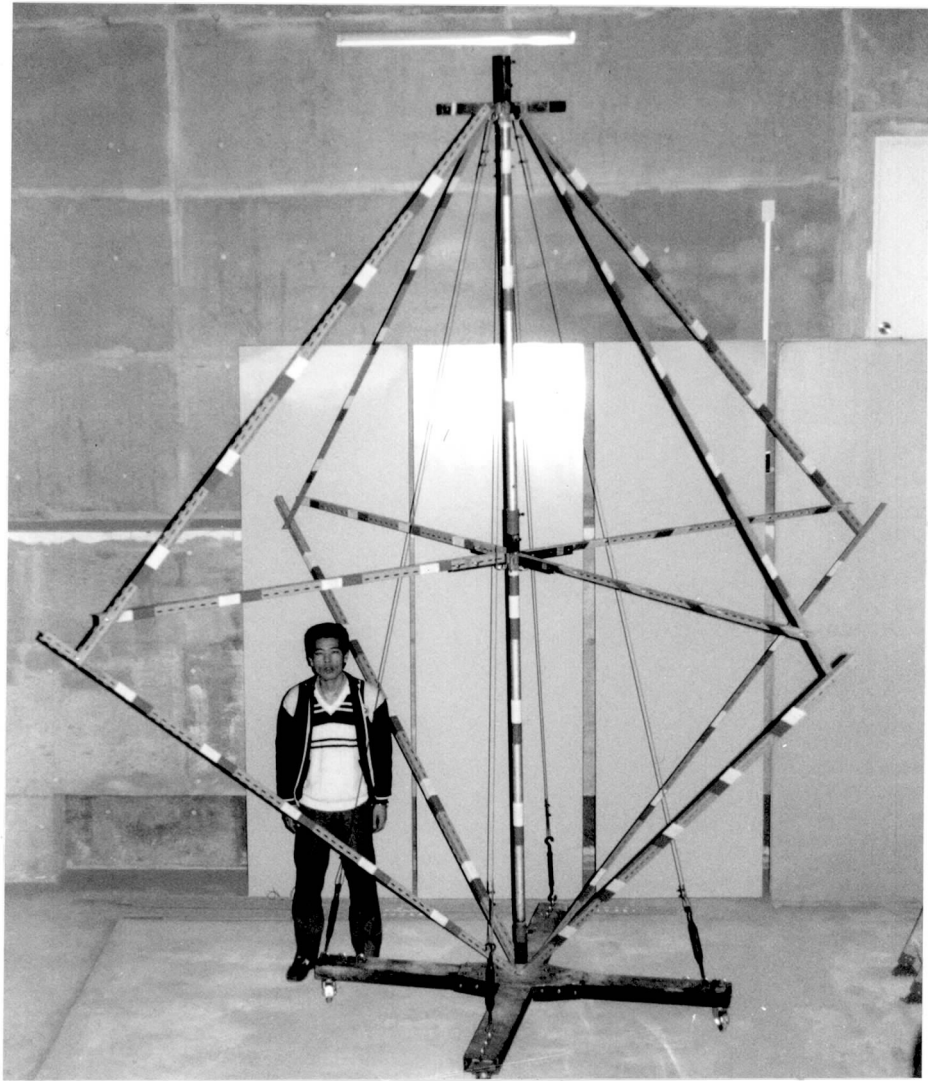
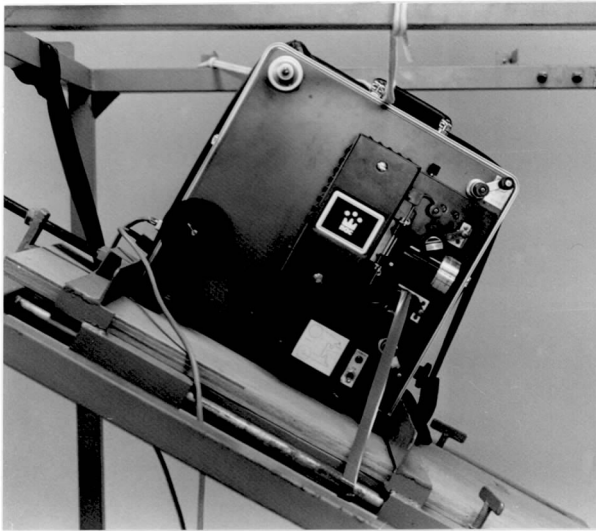
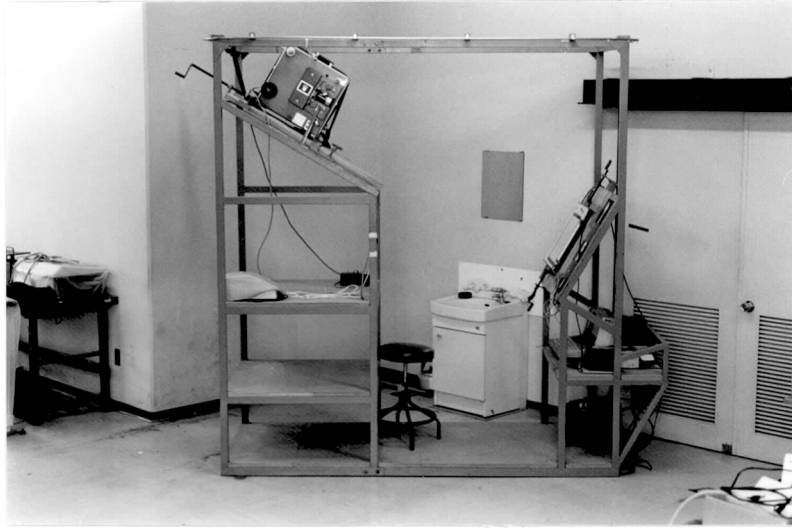
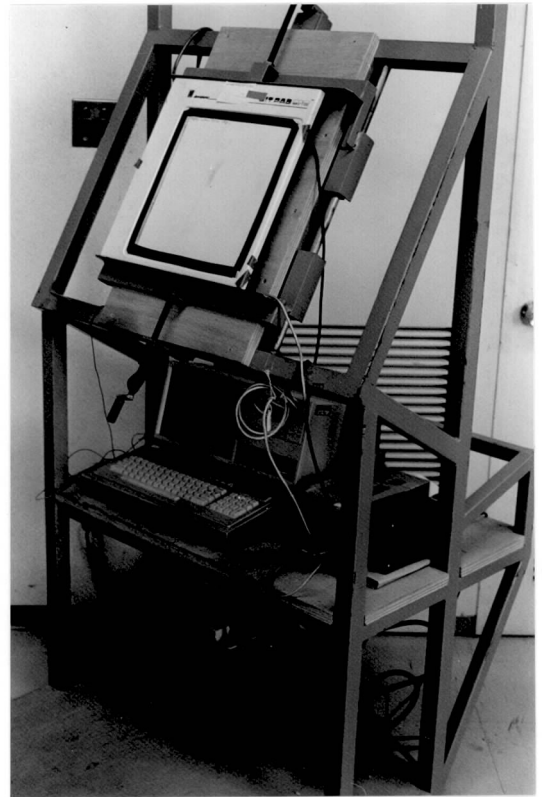


図 4-7 本研究で用いた較正器(自作, 高さ4m, 横幅4m)



(A)



(B)

図 4-8 本研究で用いた16mmフィルム分析装置(自作,Aは分析台後部の16mm
映写機,Bは分析台前部の座標読み取り装置とマイクロコンピューター)

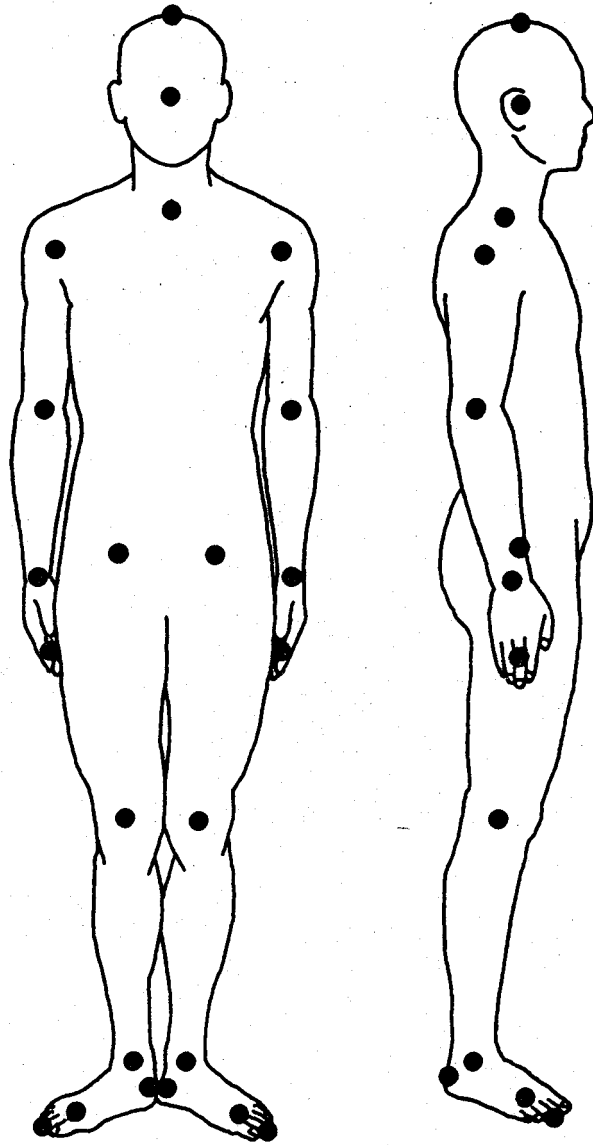


図 4-9 身体各部位23点のデジタイジングポイント

表 4-3 較正点に対する実測値と推定値の標準誤差

	較正点数	標準誤差 (m)		
		X	Y	Z
分析 1	24	0.046	0.039	0.016
分析 2	29	0.034	0.030	0.017
分析 3	27	0.035	0.024	0.013

X : サイドライン方向

Y : ネット方向

Z : 鉛直方向

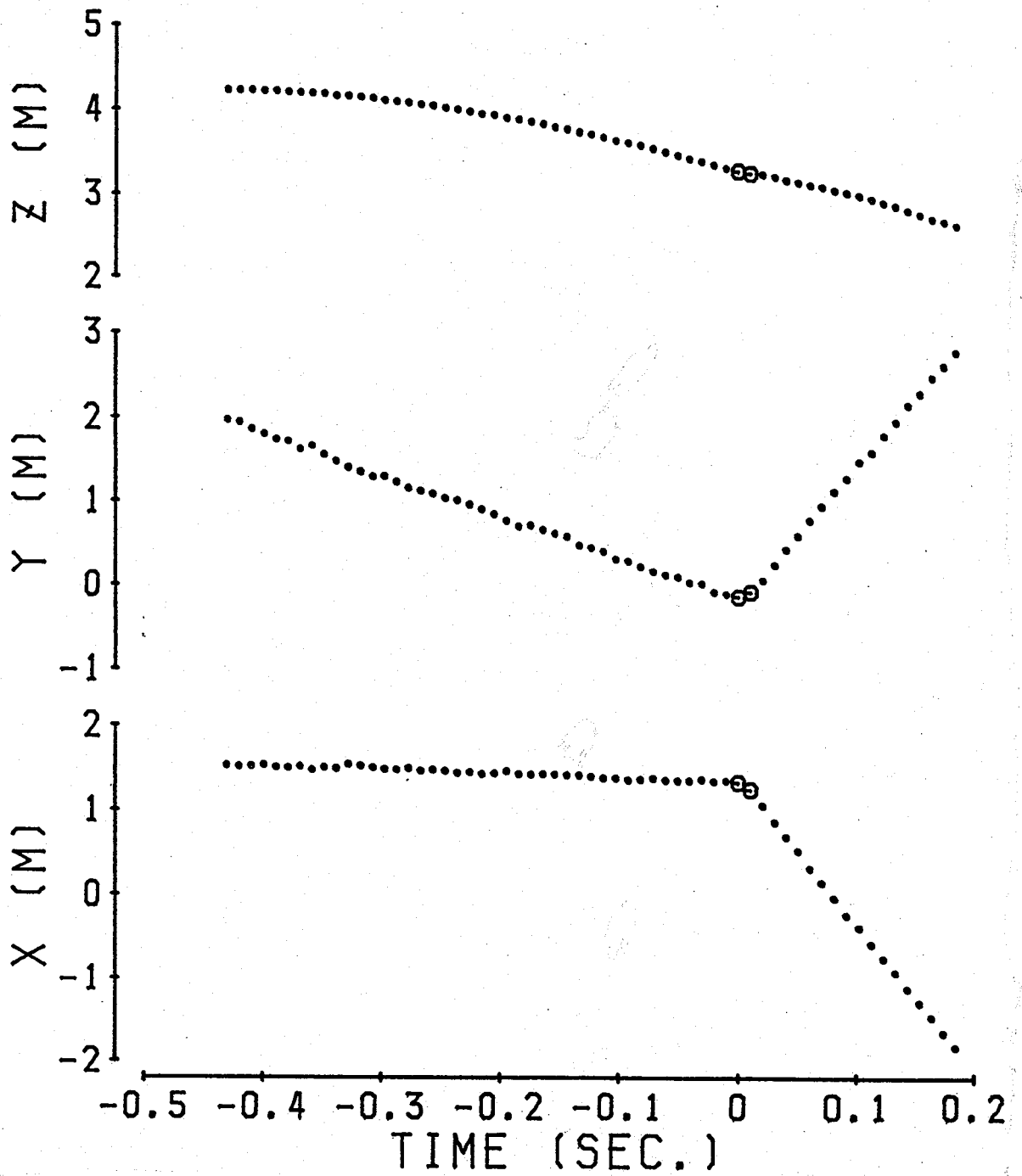


図 4-10 インパクト前後のボール位置変化(Xはサイドライン方向, Yはネット方向, Zは鉛直方向, 白丸のデータはインパクト中のボール位置)

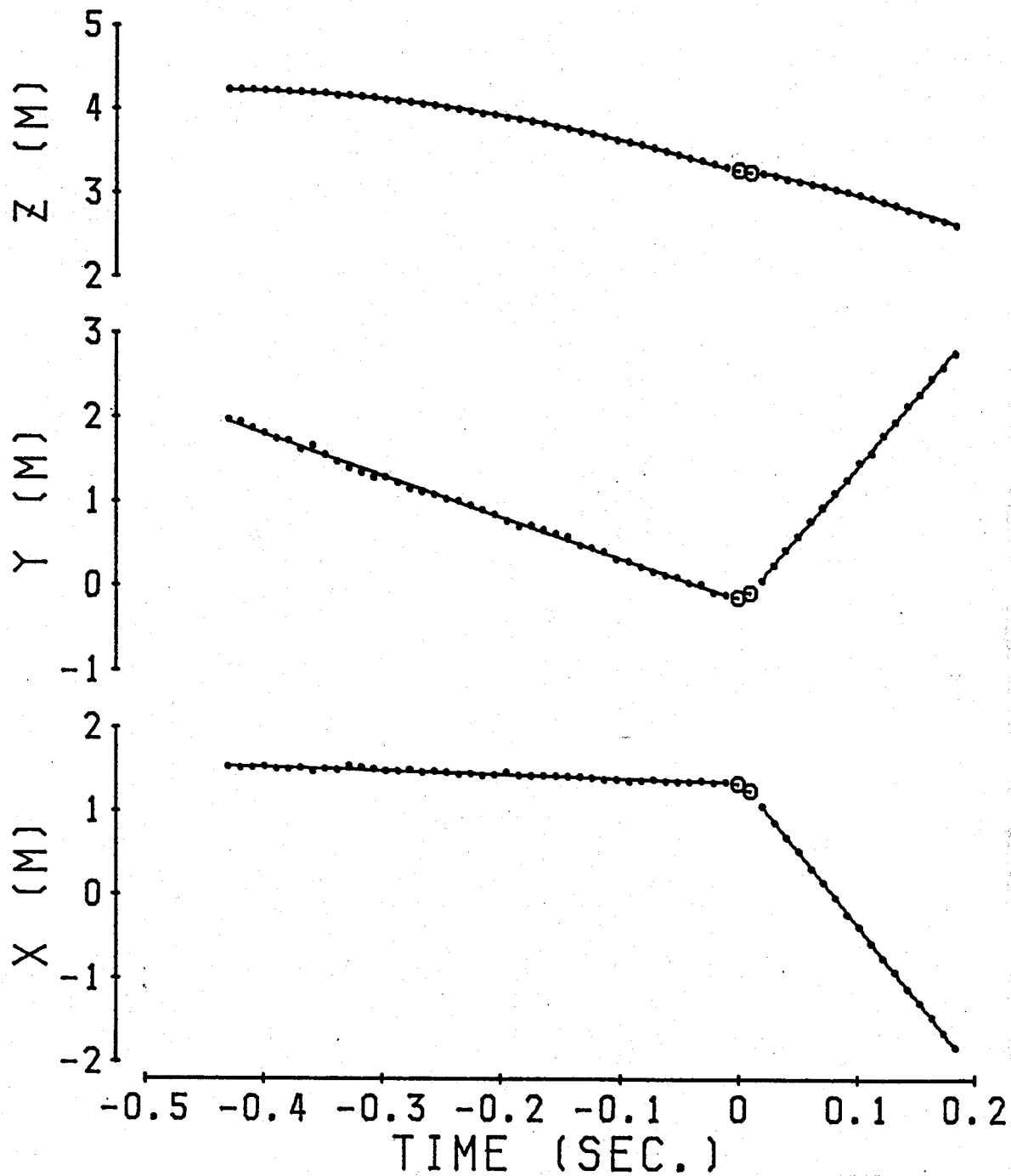


図 4-11 インパクト前後のボール位置変化と近似曲線

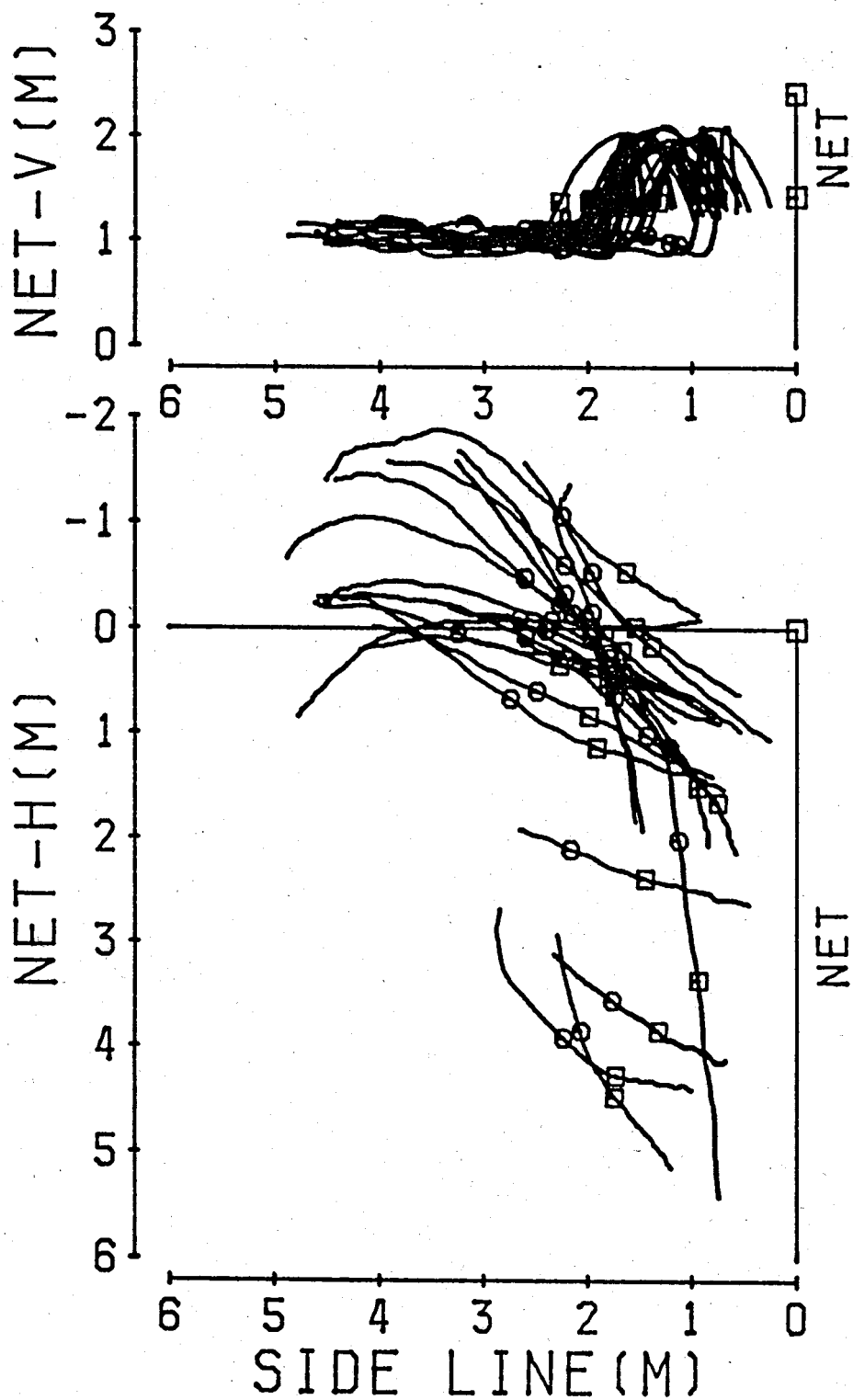


図4-12 スパイク動作中の身体重心の動き（上図はコート側方から，下図はコート上方から見たもので，原点はレフトサイドラインとセンターラインの交点である。そして各線上の○は踏切移行時の，□は離地時の重心位置を示す）

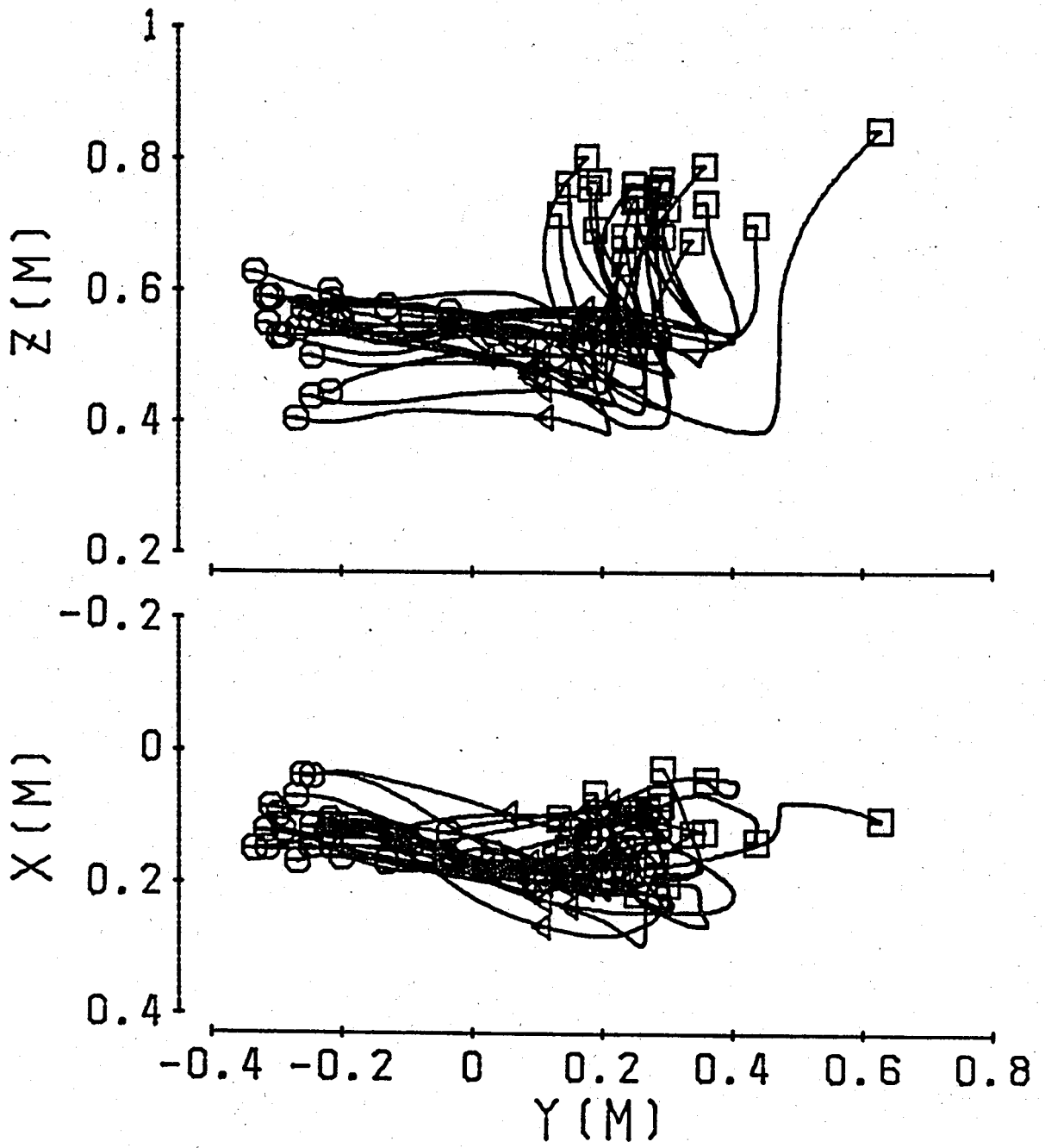


図 4 - 13 各選手の踏切局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度をもとに座標変換した右膝の位置変化 (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, 原点は前半終了地点における身体重心のコート上の位置を示す)

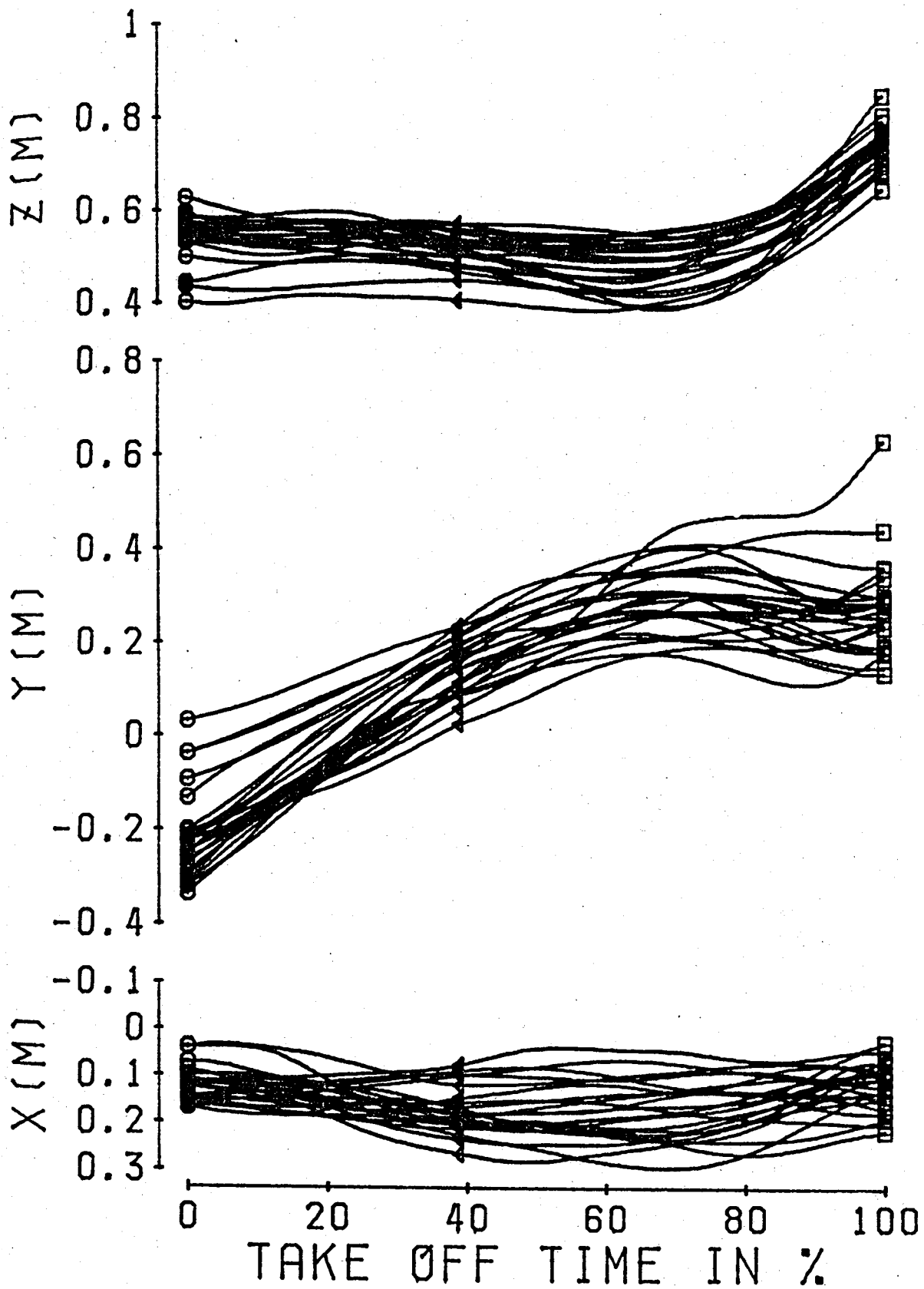


図4-15 各選手の踏切時間を100% (踏切前半が39%で後半が61%)として規格化した右膝の位置変化

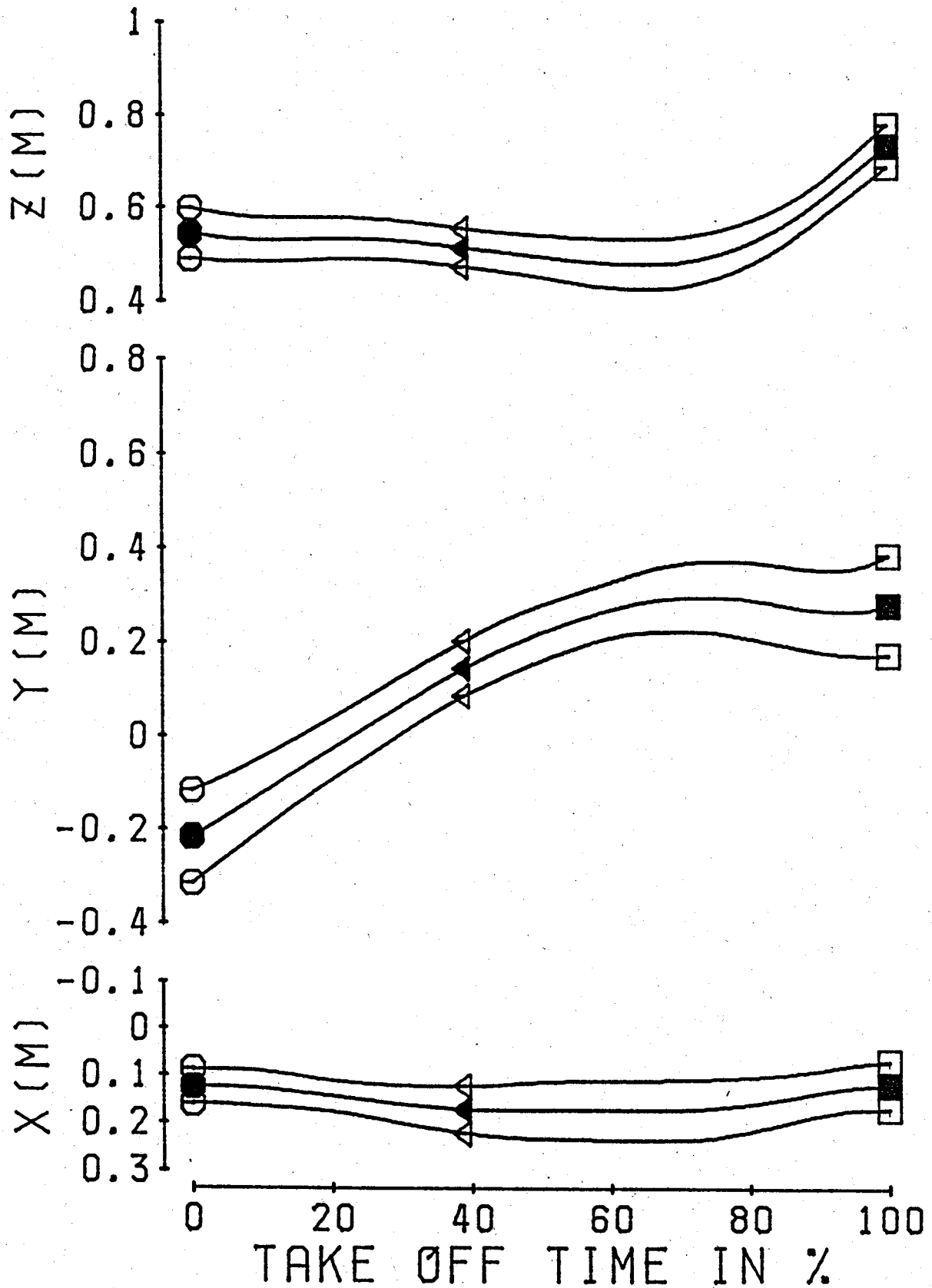


図 4-16 規格化した時刻ごとに (1%ずつ) 各選手の膝の位置データを加算し, 23試技の平均値と標準偏差を求めた右膝の位置変化 (●の線が平均値で, ○が±1標準偏差)

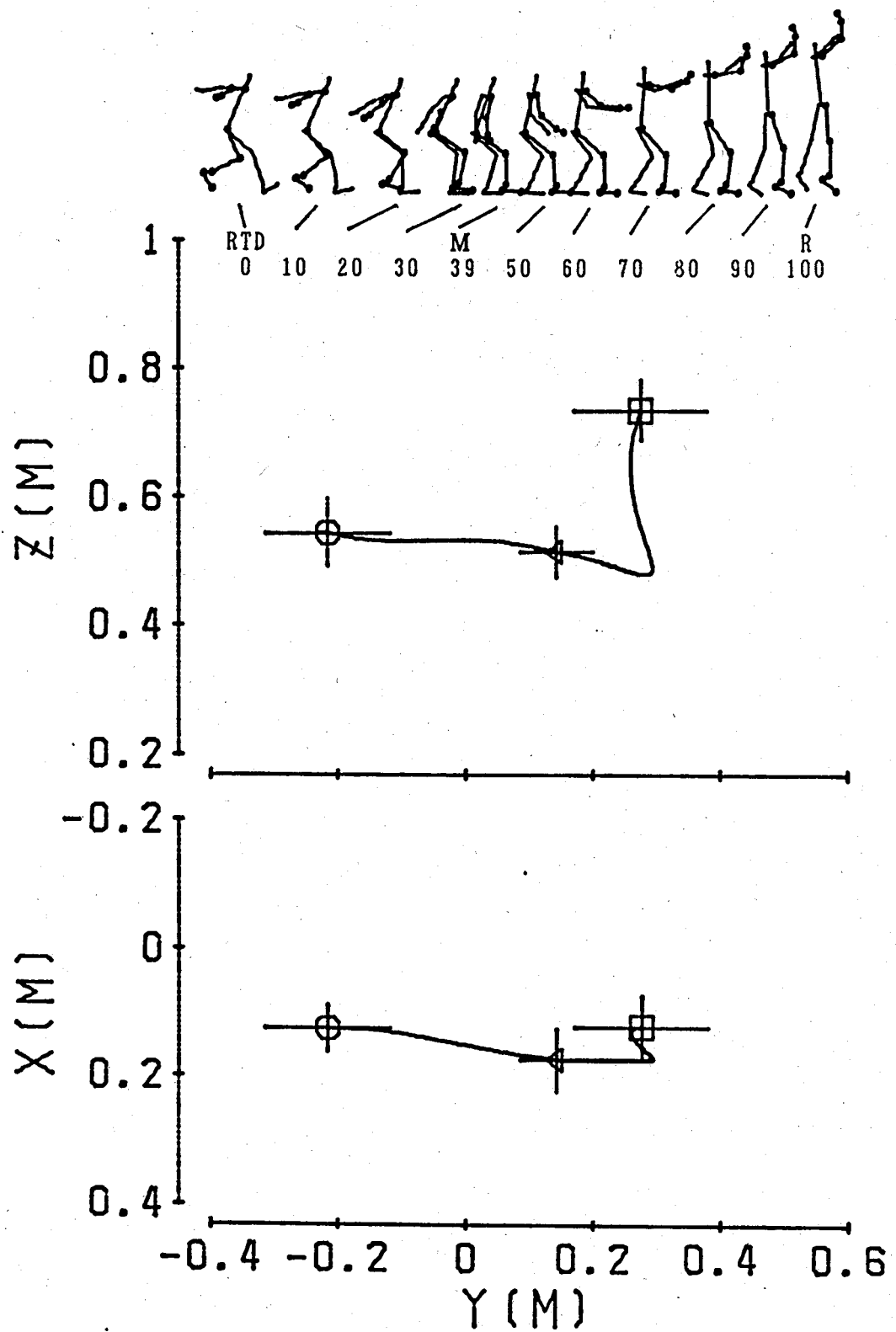


図4-17 規格化・平均化処理した右膝の位置変化（上図は真横から，
下図は真上から見たもので，十字の印は ± 1 標準偏差を示す）

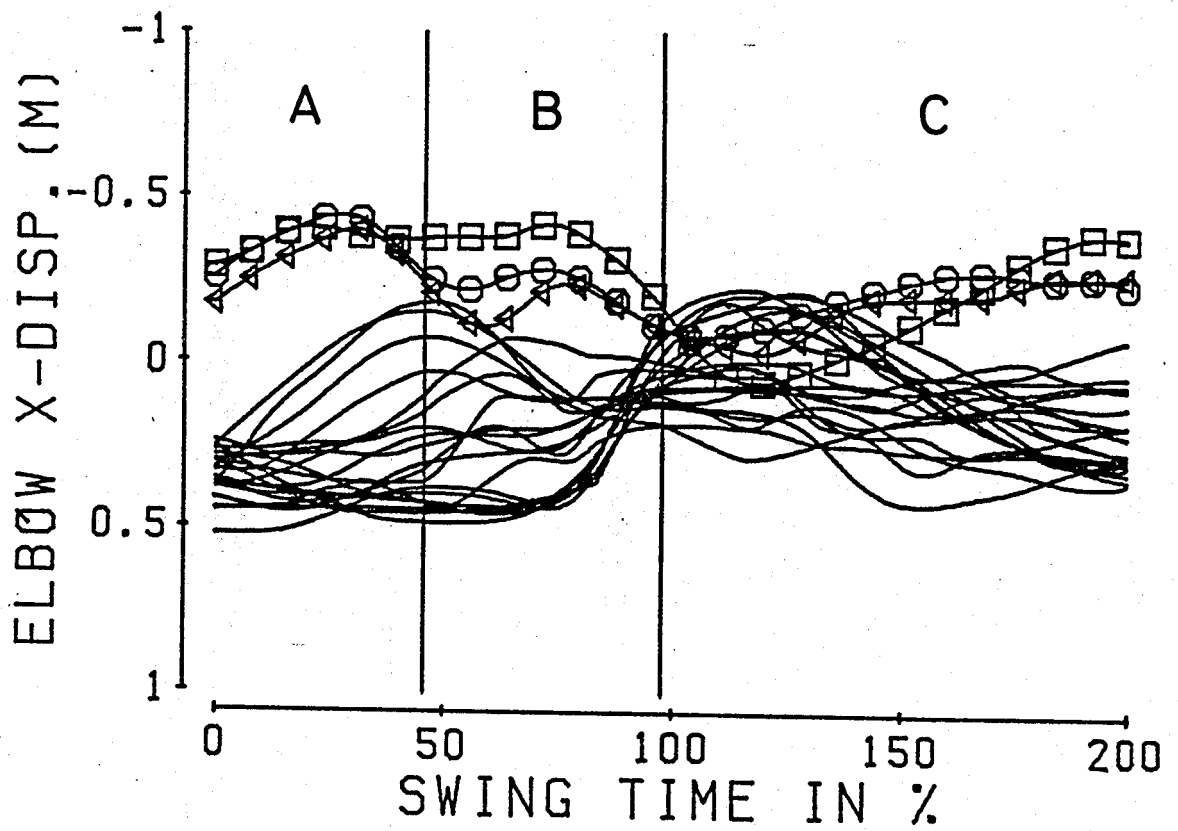


図 4-18 スイング局面における肘の左右方向の位置変化(Aはバックスイング, Bはフォアスイング, Cはフォロースルーで, 実線が右利き選手, ○ △ □ の曲線が左利き選手の位置変化)

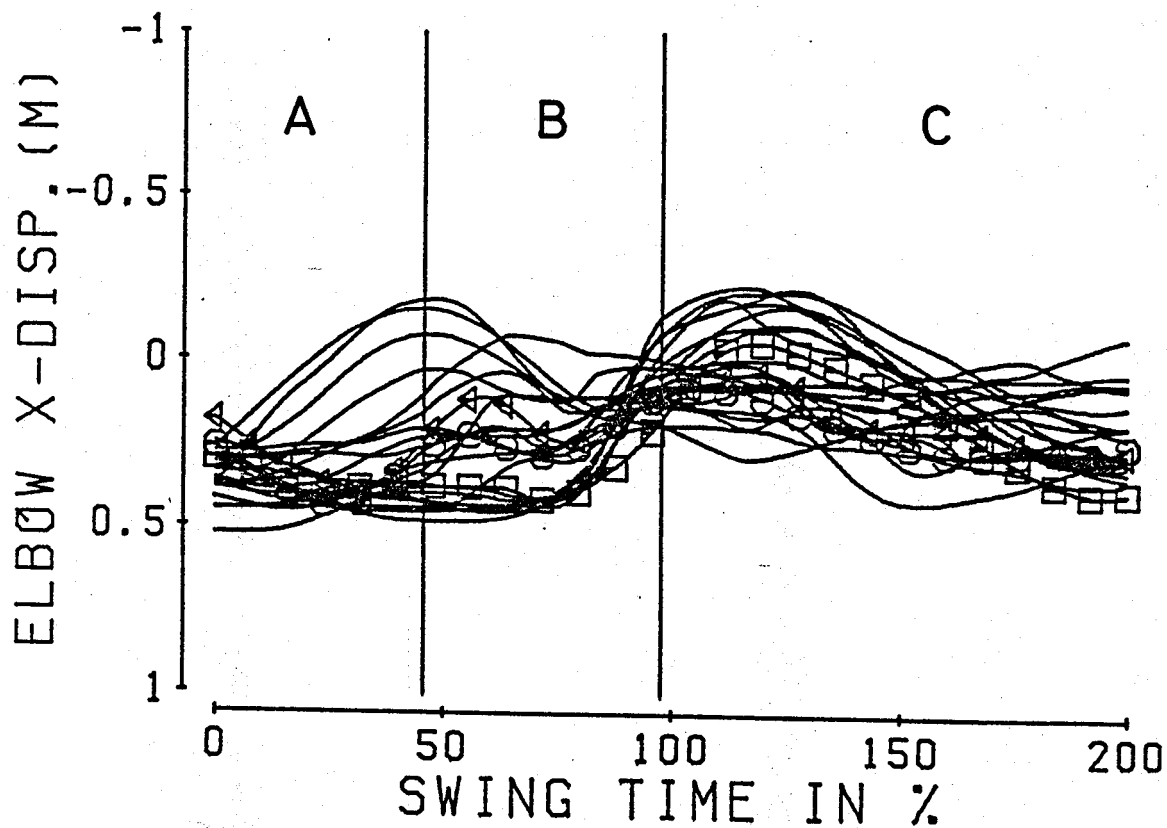


図 4-19 スイング局面における肘の左右方向の位置変化(○ △ □の曲線は左利き選手の位置データに-1を乗じたもの)

表5 各一流選手のスパイク運動方向 (deg.)

試技名	助走歩数	スパイクの種類	助走方向			踏切方向	スイング方向
			踏切3歩前	踏切2歩前	踏切1歩前		
1 YU1	3	オープン	114	86	72	54	35
2 SU2	3	オープン	110	87	72	65	74
3 WA1	3	オープン	136	117	88	66	61
4 NA3	3	オープン	100	71	48	54	55
5 FU2	3	オープン	122	79	63	53	21
6 VI2	3	オープン	126	94	50	50	60
7 KU1	2	オープン		74	64	65	64
8 KU2	2	オープン		96	80	70	66
9 NA1	2	オープン		46	32	35	46
10 TA1	2	オープン		72	55	61	72
11 TA2	2	オープン		88	74	72	76
12 FU1	2	オープン		75	52	50	57
13 SI1	2	オープン		40	37	26	14
14 SI2	2	オープン		-23	22	15	10
15 SU1	2	Aクイック		0	37	54	80
16 SA1	2	Bクイック		62	47	41	20
17 SA2	2	Bクイック		61	50	45	9
18 YA2	2	Bクイック		51	17	8	6
19 VI1	1	オープン			32	40	52
20 ZI1	1	オープン			79	84	94
21 NA2	1	Aクイック			14	28	39
22 NA4	1	Aクイック			51	57	68
23 YA1	1	Aクイック			69	69	77

スパイク運動方向（助走，踏切，スイング方向）：各局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度

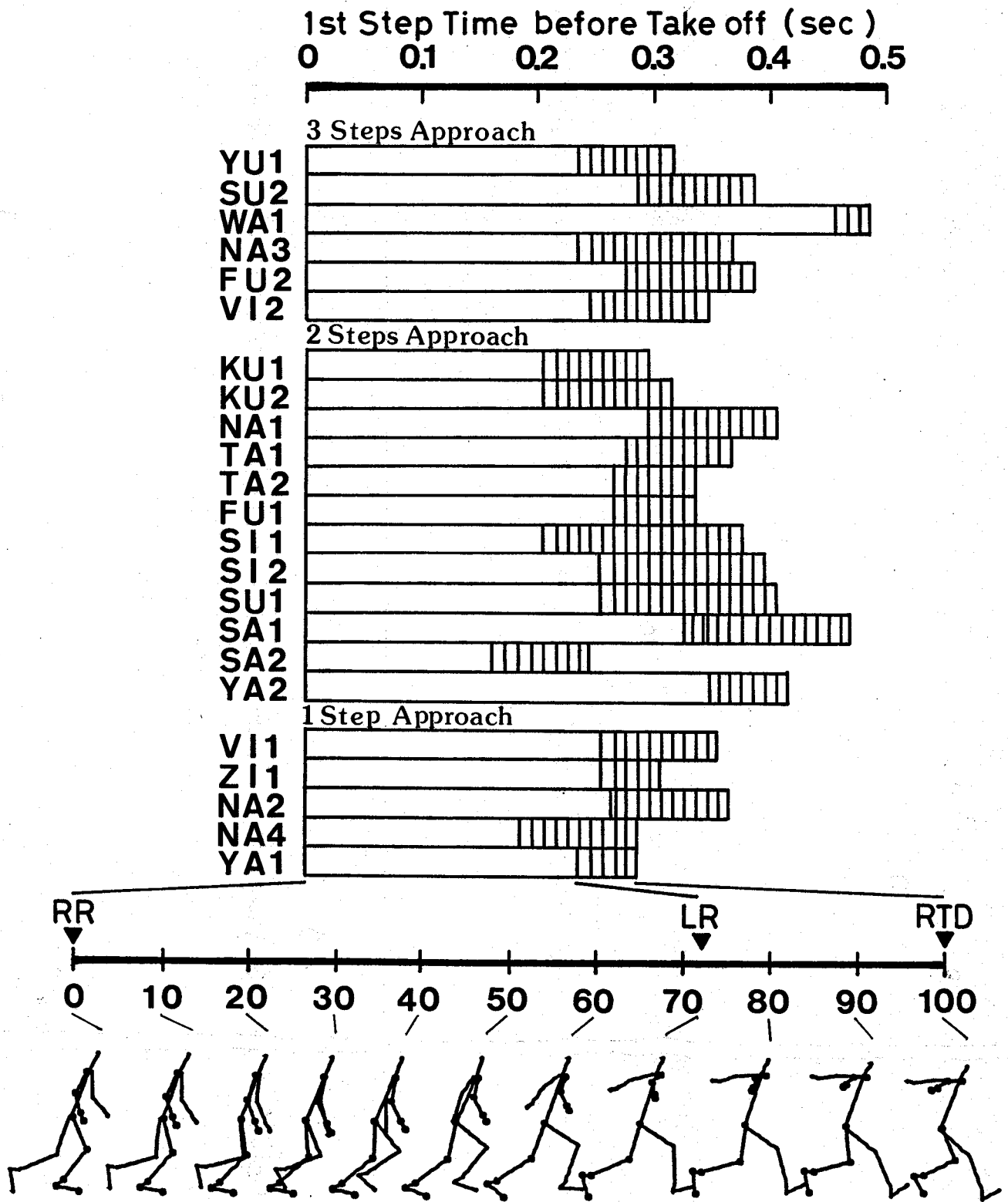


図5-1 踏切1歩前の助走局面における各選手の助走時間（上図）と、この助走時間に対する片足接地時間（白の棒グラフ）と空中時間（縦線の棒グラフ）の割合で規格化そして平均化した踏切1歩前の助走動作（下図）

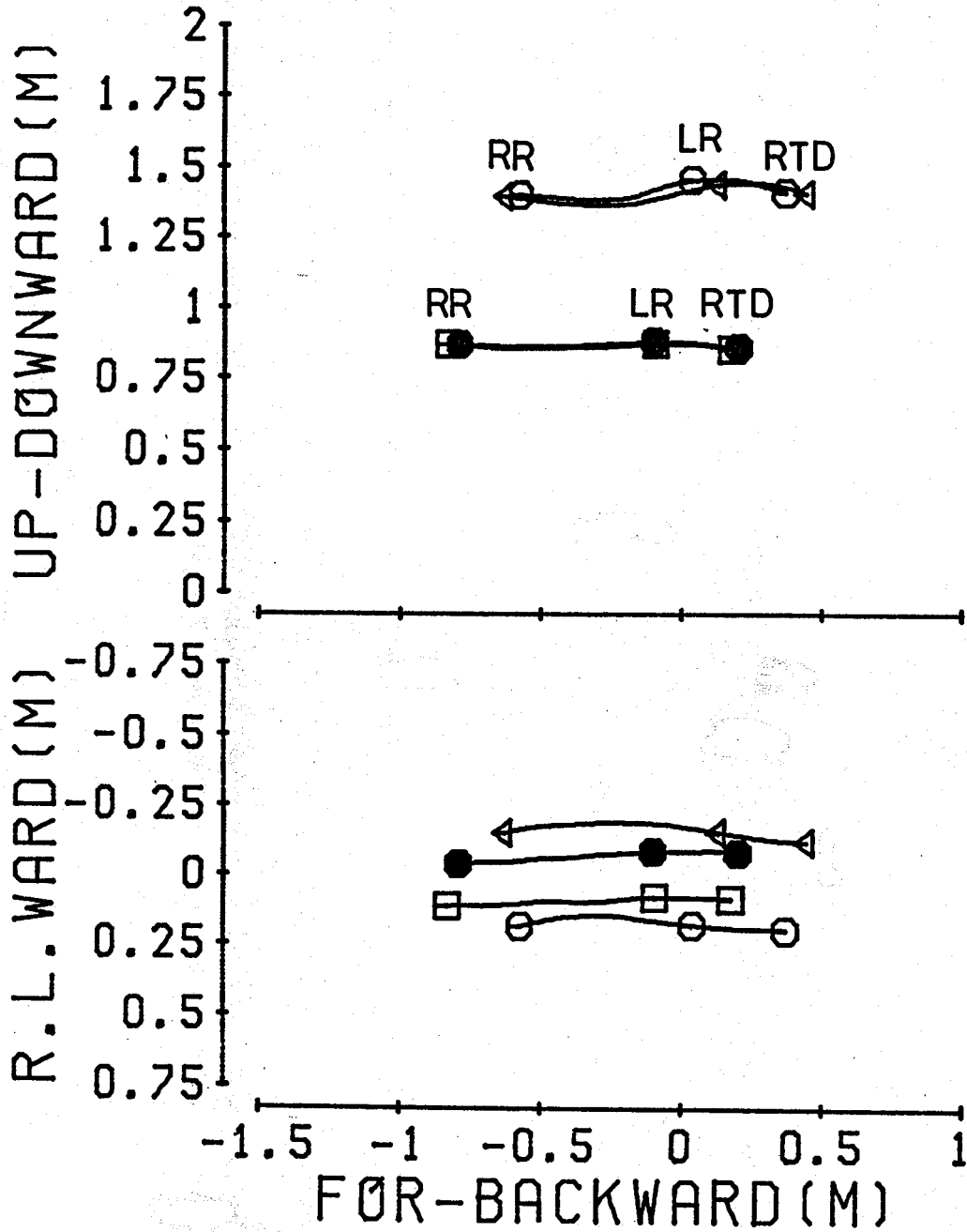
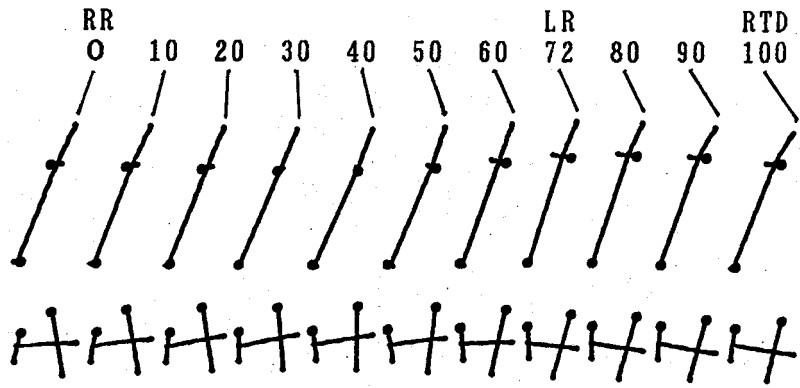


図5-1-1 踏切1歩前の胴体の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は右腰，●は左腰の動きを示す）

表 5-1-1 踏切1歩前の胴体の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	LR 72	80	90	RTD 100
肩 角 度 (水平角度)	80.9 (20.1)	79.9 (22.0)	82.1 (23.8)	86.1 (25.4)	91.6 (22.9)	97.4 (21.5)	102.1 (20.0)	106.0 (18.3)	106.7 (17.2)	104.9 (17.4)	104.0 (19.1)
	91.4 (7.1)	92.1 (7.1)	92.7 (6.2)	92.8 (4.9)	93.0 (4.9)	92.5 (5.8)	92.4 (5.3)	92.3 (4.8)	92.0 (5.0)	91.0 (5.3)	90.4 (5.4)
腰 角 度 (水平角度)	103.4 (20.7)	100.8 (21.9)	97.1 (23.0)	92.0 (20.3)	83.9 (21.1)	83.0 (21.2)	86.1 (19.5)	88.2 (21.9)	90.8 (23.1)	94.6 (25.8)	98.7 (27.2)
	90.6 (7.1)	89.0 (7.4)	88.1 (7.0)	87.3 (5.4)	87.1 (4.9)	87.4 (6.0)	87.1 (6.7)	87.3 (5.8)	88.0 (5.5)	89.4 (4.9)	88.5 (4.8)
胴 角 度 (水平角度)	66.6 (5.1)	67.4 (4.8)	67.2 (5.2)	66.0 (5.6)	65.3 (5.3)	66.4 (5.5)	68.0 (5.4)	70.0 (5.0)	69.7 (5.3)	67.5 (5.7)	65.4 (5.9)
	154.7 (5.9)	155.3 (5.7)	154.9 (6.2)	153.4 (6.3)	152.8 (5.8)	154.0 (5.7)	155.7 (4.9)	157.8 (4.4)	157.1 (4.6)	154.7 (4.9)	152.4 (4.9)

RR: 右足離地時

LR: 左足離地時

RTD: 右足接地時 (踏切に移った瞬間)

水平角度: 踏切1歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

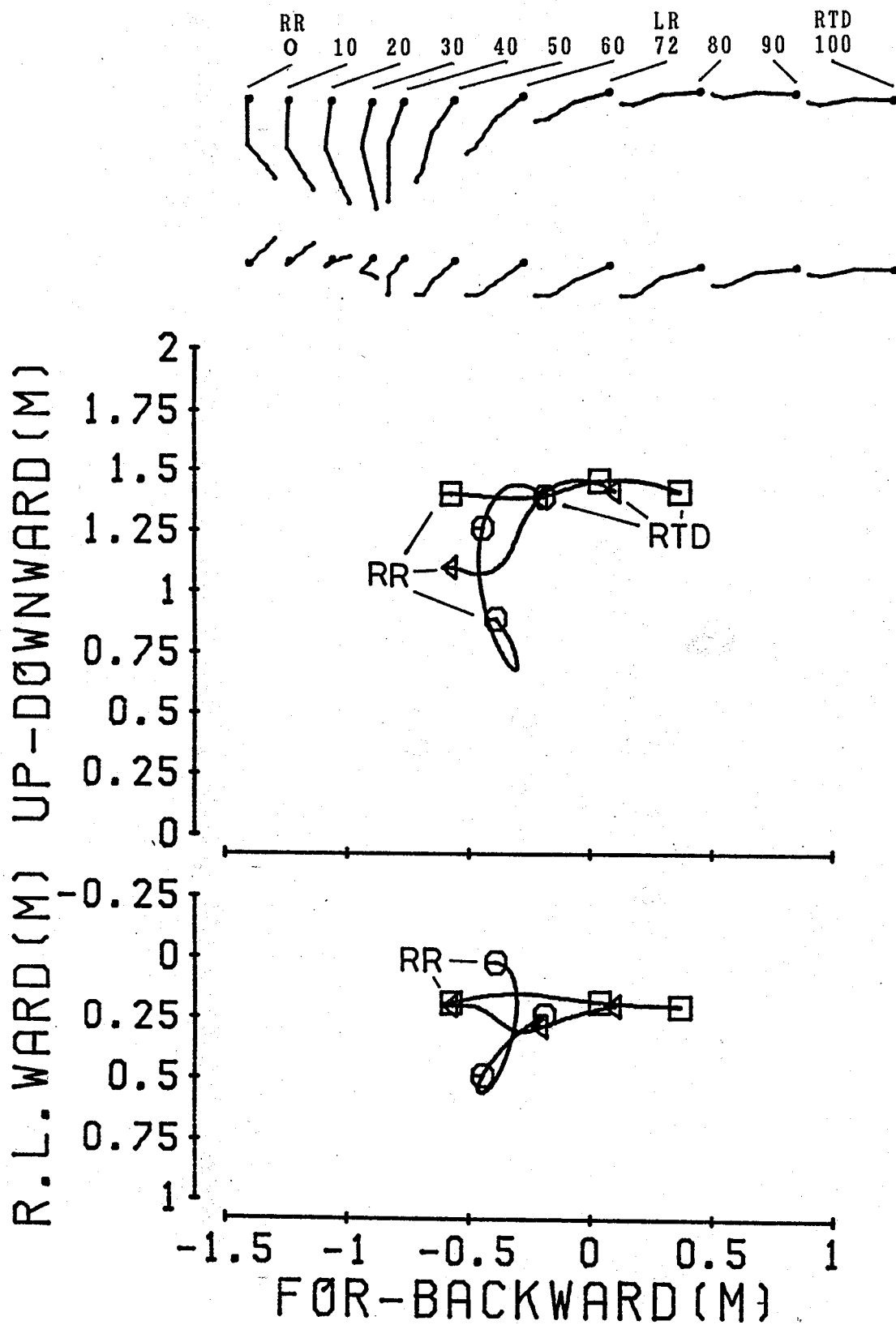


図 5-1-2 踏切 1 歩前の右腕の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ○の線は右手先, △は右肘, □は右肩の動きを示す)

表 5-1-2 踏切 1 歩前の右腕の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	LR 72	80	90	RTD 100
右上腕角度 (水平角度)	89.1 (16.7)	92.8 (14.4)	97.9 (11.4)	102.9 (9.6)	108.6 (11.8)	118.2 (15.4)	130.2 (17.8)	143.8 (17.6)	150.9 (15.5)	154.4 (14.1)	154.5 (15.0)
(鉛直角度)	19.9 (12.5)	18.6 (9.1)	19.3 (8.1)	23.1 (10.5)	33.4 (10.7)	46.2 (12.5)	59.9 (15.4)	76.7 (16.0)	86.6 (15.5)	92.3 (17.1)	90.8 (20.0)
右前腕角度 (水平角度)	60.6 (21.0)	63.6 (15.5)	68.7 (11.5)	77.0 (11.9)	89.8 (16.8)	102.3 (21.4)	114.0 (25.6)	124.5 (27.7)	130.4 (26.8)	137.4 (24.1)	142.0 (22.4)
(鉛直角度)	57.4 (25.0)	45.6 (23.0)	31.4 (15.7)	20.2 (13.8)	24.9 (16.0)	41.4 (16.0)	55.3 (18.0)	68.2 (24.3)	74.8 (28.2)	81.1 (31.9)	80.6 (32.9)
右肩関節角度	30.2 (17.7)	25.8 (14.5)	21.8 (11.0)	20.2 (8.5)	24.2 (7.9)	32.4 (8.4)	43.9 (11.7)	59.3 (14.0)	67.1 (14.6)	69.2 (15.8)	64.5 (18.6)
右肘関節角度	120.9 (17.4)	128.0 (14.4)	137.5 (11.1)	147.8 (12.3)	156.5 (15.4)	158.8 (17.1)	157.8 (16.4)	152.2 (17.8)	149.2 (18.1)	149.5 (15.7)	152.9 (16.1)

RR : 右足離地時

LR : 左足離地時

RTD : 右足接地時 (踏切に移った瞬間)

水平角度 : 踏切 1 歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

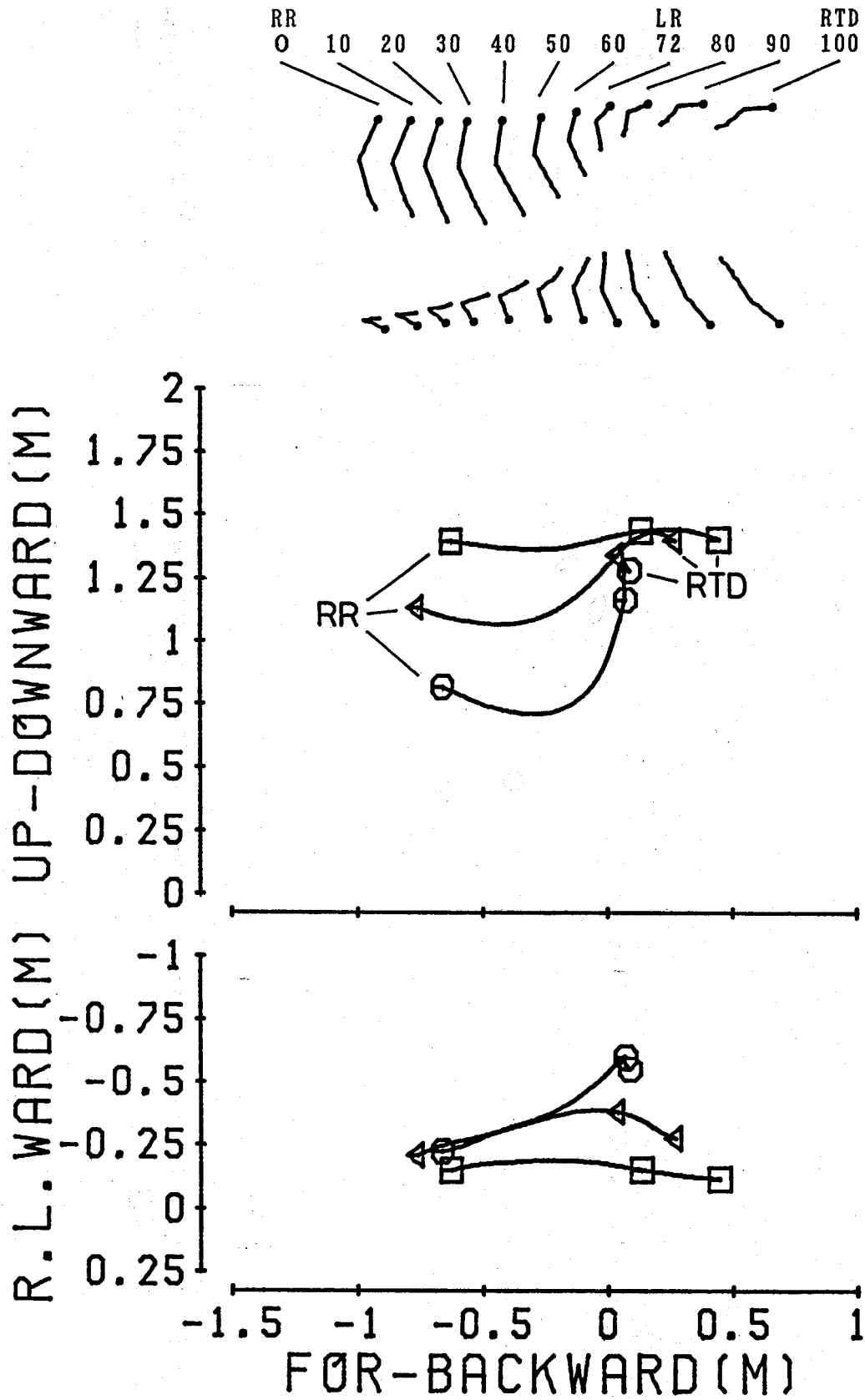


図 5-1-3 踏切 1 歩前の左腕の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ○の線は左手先, △は左肘, □は左肩の動きを示す)

表 5-1-3 踏切1歩前の左腕の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	LR 72	80	90	RTD 100
左上腕角度 (水平角度)	116.3 (20.6)	113.4 (17.6)	107.7 (12.8)	101.9 (10.5)	99.4 (13.1)	99.3 (17.8)	100.9 (24.3)	108.5 (29.7)	115.0 (31.3)	123.7 (27.5)	131.2 (22.5)
(鉛直角度)	34.0 (14.5)	31.8 (12.2)	28.5 (7.0)	27.4 (7.6)	32.4 (7.8)	42.4 (9.3)	54.8 (11.4)	72.1 (14.7)	81.8 (15.5)	89.6 (19.4)	88.9 (23.3)
左前腕角度 (水平角度)	77.6 (29.5)	75.1 (23.9)	72.4 (19.1)	68.3 (15.8)	64.8 (23.6)	67.3 (29.2)	73.6 (31.2)	83.6 (32.7)	92.9 (33.5)	106.6 (33.1)	115.6 (28.8)
(鉛直角度)	36.5 (16.4)	32.8 (16.2)	30.1 (16.0)	29.8 (14.7)	35.6 (18.2)	44.7 (26.2)	53.5 (30.6)	60.3 (34.1)	64.6 (34.7)	70.1 (32.2)	69.6 (32.3)
左肩関節角度	22.4 (11.2)	22.5 (10.0)	22.7 (10.9)	28.2 (9.6)	35.4 (8.8)	43.1 (10.7)	51.2 (13.4)	62.6 (17.2)	69.0 (18.4)	71.6 (20.9)	66.3 (22.7)
左肘関節角度	134.6 (27.7)	134.5 (26.2)	137.2 (24.7)	139.1 (21.2)	138.9 (21.4)	137.9 (29.4)	140.4 (28.0)	141.5 (28.7)	144.5 (26.9)	151.9 (21.9)	154.6 (19.4)

RR: 右足離地時

LR: 左足離地時

RTD: 右足接地時 (踏切に移った瞬間)

水平角度: 踏切1歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

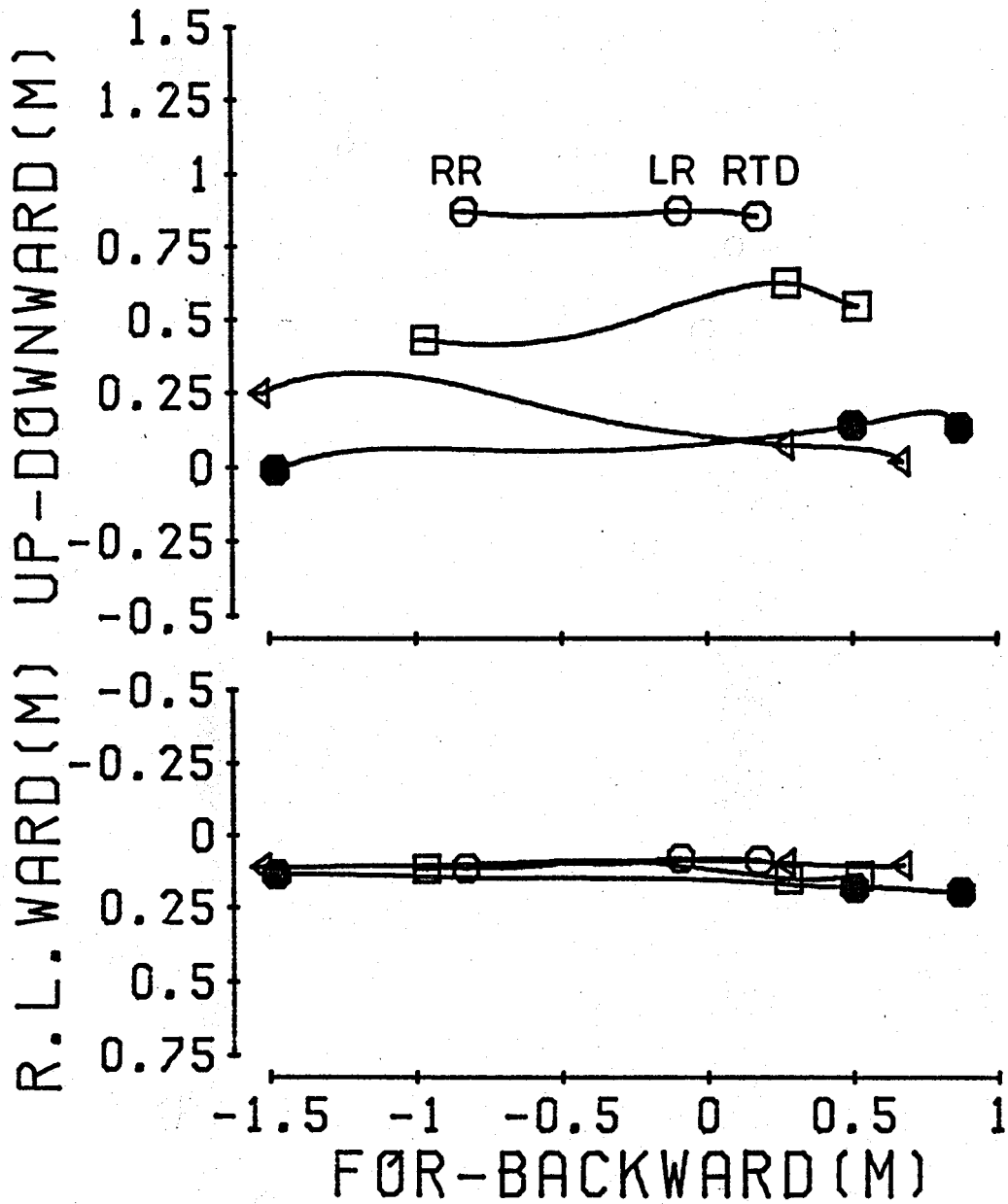
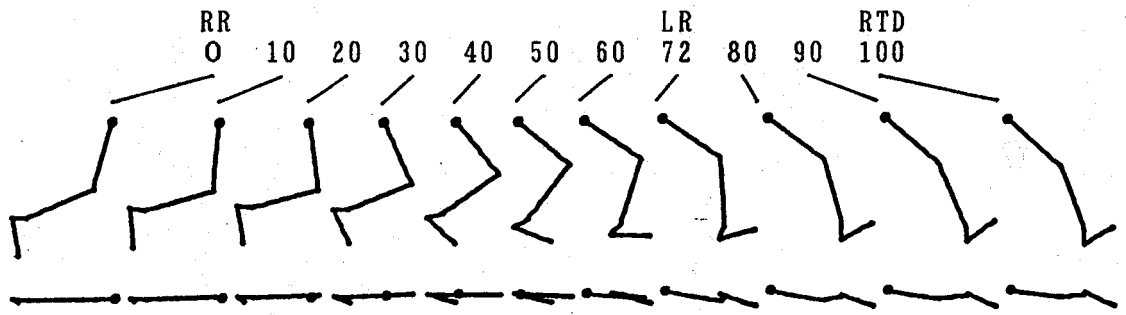


図5-1-4 踏切1歩前の右脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，●の線は右足先，△は右踵，□は右膝，○は右腰の動きを示す）

表 5-1-4 踏切1歩前の右足の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	LR 72	80	90	RTD 100
右大腿角度 (水平角度)	106.8 (10.4)	96.1 (10.8)	82.8 (10.6)	67.0 (10.3)	51.9 (10.1)	41.1 (9.9)	34.8 (9.7)	35.4 (9.0)	37.7 (8.6)	41.2 (7.6)	42.9 (6.8)
(鉛直角度)	19.3 (8.7)	12.9 (7.2)	14.7 (6.2)	25.9 (8.4)	39.5 (10.4)	50.3 (10.4)	56.7 (10.2)	57.1 (10.0)	54.9 (9.7)	51.1 (8.6)	48.9 (7.7)
右下腿角度 (水平角度)	156.3 (5.6)	162.7 (6.8)	162.4 (9.1)	155.9 (12.9)	143.4 (14.4)	126.8 (15.3)	107.8 (13.7)	86.7 (12.1)	75.3 (10.0)	67.9 (9.7)	71.0 (11.1)
(鉛直角度)	67.5 (5.5)	74.3 (6.9)	75.1 (10.0)	69.2 (12.6)	57.2 (13.4)	41.2 (13.8)	24.5 (9.8)	14.7 (6.2)	17.2 (9.6)	23.6 (9.4)	21.0 (11.1)
右足角度 (水平角度)	81.3 (12.1)	85.6 (11.8)	80.0 (14.9)	67.1 (19.0)	47.4 (15.1)	30.6 (9.2)	27.3 (10.6)	33.2 (13.9)	39.2 (14.9)	46.2 (13.2)	43.8 (15.3)
(鉛直角度)	20.7 (11.1)	17.9 (8.0)	22.2 (10.7)	30.3 (17.3)	47.9 (18.9)	69.5 (15.3)	87.2 (15.5)	103.6 (14.6)	114.2 (11.2)	120.4 (10.5)	115.1 (9.9)
右膝関節角度	129.3 (11.2)	111.7 (10.8)	97.8 (10.1)	87.9 (11.5)	85.1 (14.9)	90.6 (14.8)	103.6 (14.6)	124.2 (12.3)	137.5 (11.3)	148.4 (11.6)	147.6 (11.5)
右足関節角度	102.4 (14.0)	100.5 (10.9)	94.5 (8.6)	87.3 (9.0)	77.9 (8.9)	71.7 (8.0)	72.0 (9.9)	74.9 (8.4)	74.7 (6.9)	74.6 (7.0)	76.0 (7.5)

R.R: 右足離地時

L.R: 左足離地時

R.T.D: 右足接地時 (踏切に移った瞬間)

水平角度: 踏切1歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

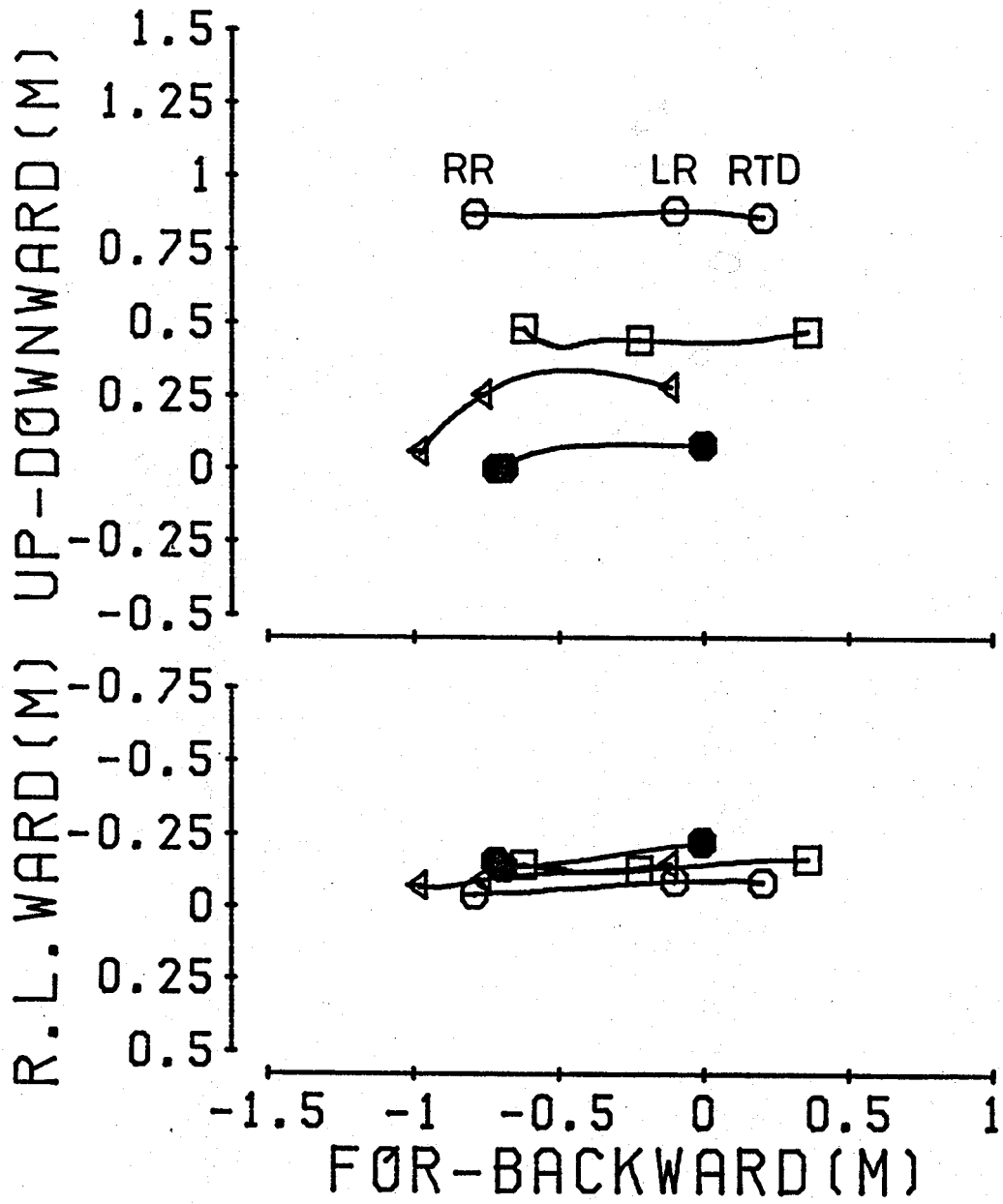
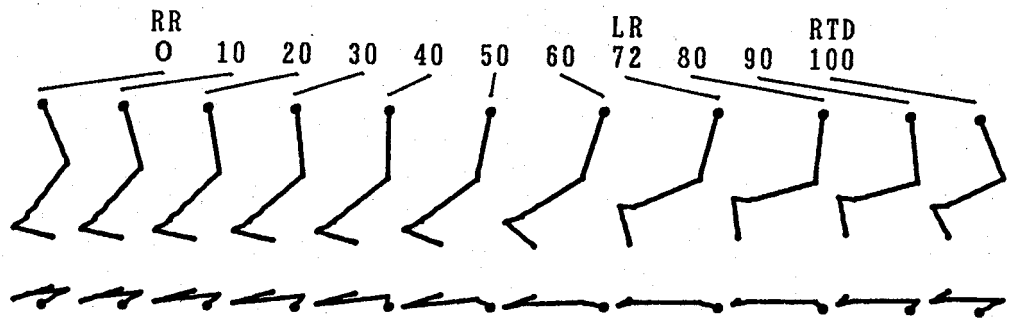


図5-1-5 踏切1歩前の左脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，●の線は左足先，△は左踵，□は左膝，○は左腰の動きを示す）

表 5-1-5 踏切1歩前の左脚の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	LR 72	80	90	RTD 100
左大腿角度 (水平角度)	67.8 (9.7)	75.0 (10.4)	80.6 (10.0)	84.6 (9.5)	90.9 (10.3)	100.5 (9.0)	107.8 (9.5)	105.4 (11.6)	97.1 (13.1)	83.5 (16.6)	69.1 (18.4)
(鉛直角度)	29.4 (12.4)	23.3 (11.7)	19.5 (10.8)	17.3 (9.7)	16.9 (8.3)	18.3 (8.6)	22.1 (8.7)	19.7 (9.8)	15.7 (8.7)	18.7 (9.7)	27.4 (15.8)
左下腿角度 (水平角度)	126.0 (13.9)	130.1 (11.4)	134.1 (9.5)	137.3 (8.2)	139.1 (7.2)	141.6 (7.3)	145.5 (7.5)	153.9 (6.8)	159.9 (7.4)	159.1 (10.5)	149.2 (17.6)
(鉛直角度)	40.6 (11.9)	44.0 (9.8)	47.4 (8.1)	50.5 (6.4)	52.2 (5.3)	54.5 (4.9)	58.2 (5.3)	67.3 (6.6)	74.3 (6.6)	75.0 (10.4)	65.4 (19.3)
左足角度 (水平角度)	27.4 (15.2)	26.8 (14.5)	26.7 (11.9)	25.8 (11.4)	26.8 (11.6)	30.7 (11.8)	45.7 (12.7)	75.8 (11.2)	82.4 (12.0)	79.0 (17.8)	64.9 (27.3)
(鉛直角度)	76.8 (15.7)	78.6 (12.6)	78.1 (10.8)	77.6 (10.6)	75.6 (10.2)	70.5 (10.6)	53.7 (10.9)	22.4 (8.5)	16.3 (9.5)	22.3 (14.0)	38.5 (22.7)
左膝関節角度	116.9 (10.6)	120.4 (8.8)	122.3 (7.3)	123.5 (7.5)	127.9 (9.5)	135.4 (8.0)	140.1 (8.4)	128.6 (10.8)	113.0 (10.2)	98.2 (9.8)	93.0 (10.0)
左足関節角度	66.5 (11.2)	60.7 (10.1)	57.5 (8.5)	54.8 (7.8)	55.0 (9.4)	57.8 (9.2)	73.1 (10.7)	97.7 (9.9)	97.4 (9.8)	92.6 (12.2)	87.5 (14.9)

RR: 右足離地時

LR: 左足離地時

RTD: 右足接地時 (踏切に移った瞬間)

水平角度: 踏切1歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

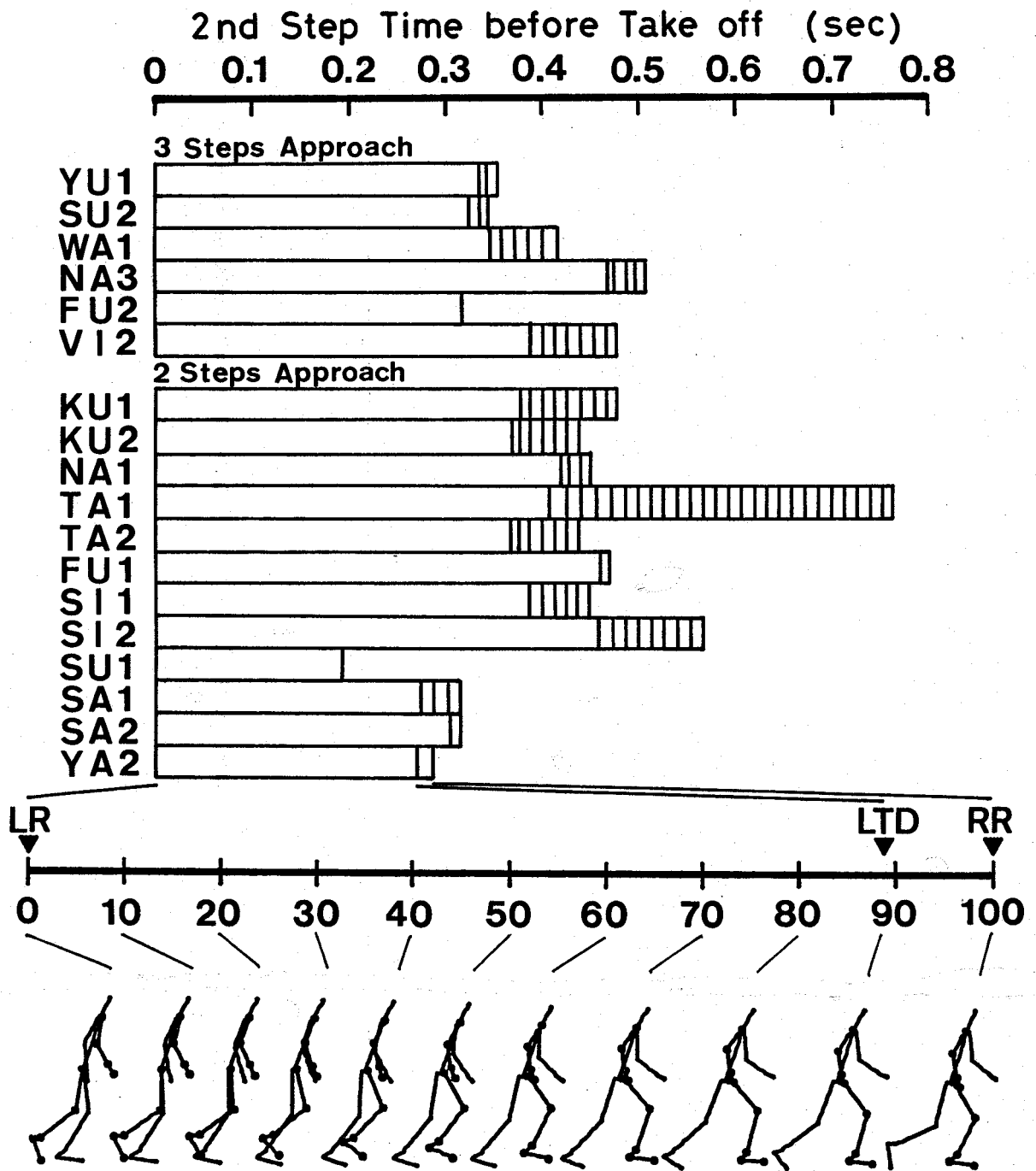


図5-2 踏切2歩前の助走局面における各選手の助走時間(上図)と、この助走時間に対する片足接地時間(白の棒グラフ)と両足接地時間(縦線の棒グラフ)の割合で規格化そして平均化した踏切2歩前の助走動作(下図)

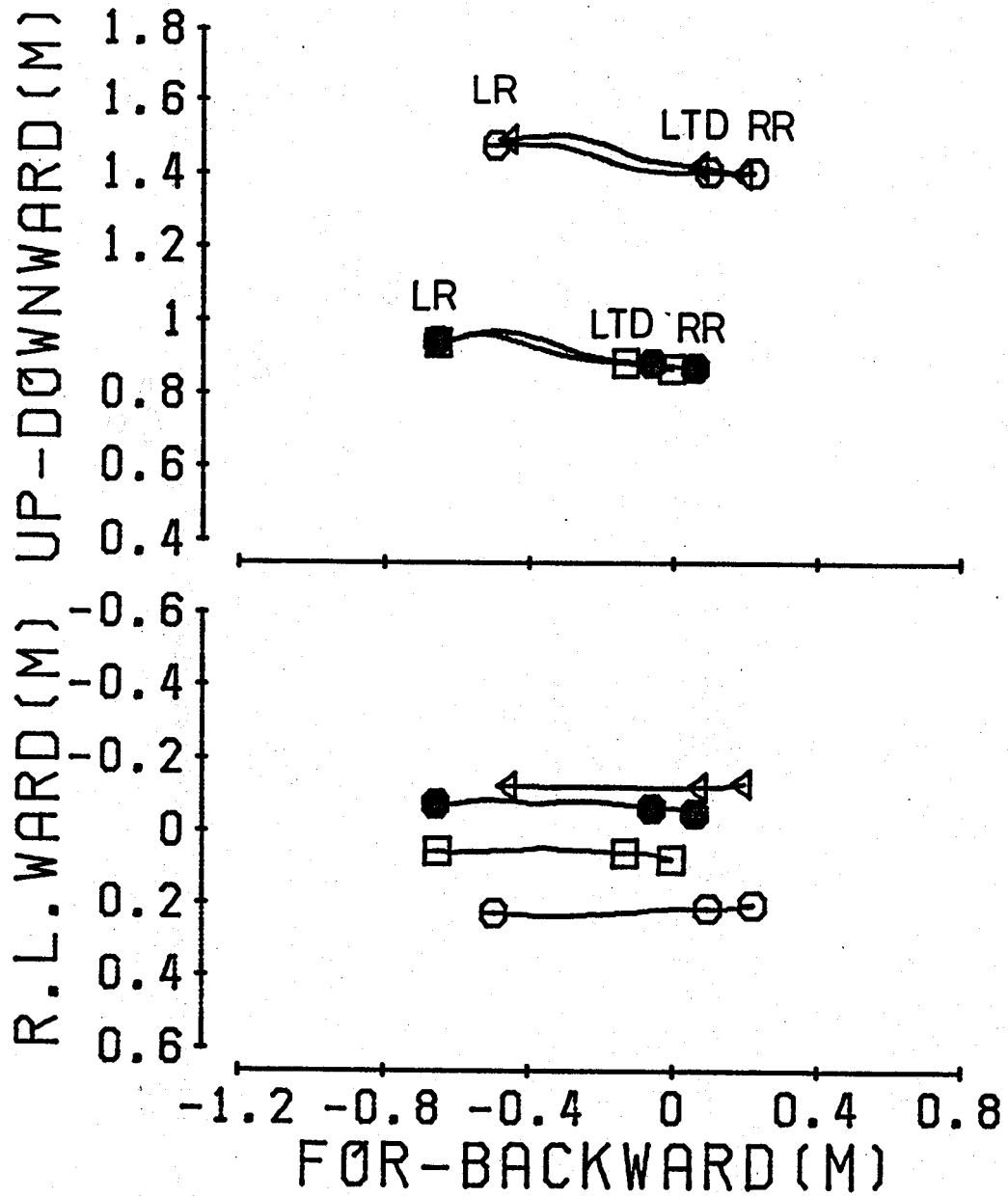
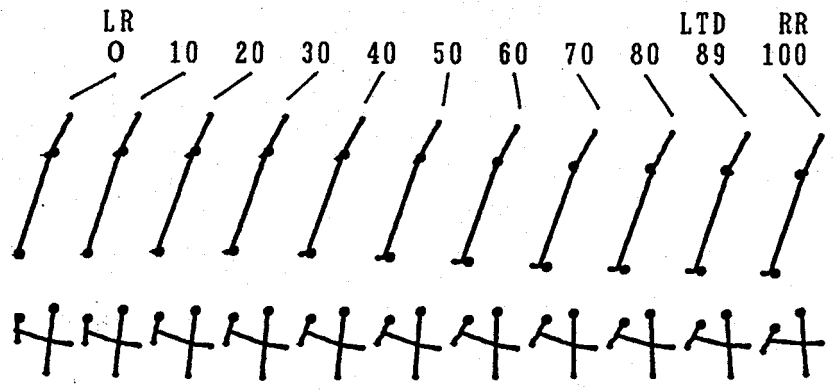


図5-2-1 踏切2歩前の胴体の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は右腰，●は左腰の動きを示す）

表 5-2-1 踏切2歩前の胴体の角度 (deg.)

	LR 0	10	20	30	40	50	60	70	80	LTD 89	RR 100
肩 角 度 (水平角度) (鉛直角度)	96.9 (25.0)	96.7 (25.3)	96.2 (25.0)	95.5 (25.3)	96.2 (25.6)	95.2 (25.7)	92.8 (26.0)	90.5 (27.5)	88.4 (27.9)	86.3 (26.5)	85.2 (27.0)
	87.7 (5.5)	87.3 (5.3)	86.4 (4.7)	86.2 (4.2)	86.4 (4.9)	85.8 (5.2)	85.5 (5.6)	86.0 (5.3)	86.8 (5.8)	88.2 (5.8)	91.0 (6.6)
腰 角 度 (水平角度) (鉛直角度)	91.0 (36.3)	93.3 (32.5)	99.2 (29.2)	103.4 (29.9)	109.5 (32.8)	113.6 (32.8)	116.5 (32.2)	115.6 (31.4)	116.5 (32.5)	116.5 (33.7)	113.2 (35.5)
	89.5 (13.3)	88.6 (7.6)	89.7 (9.9)	86.0 (9.2)	87.9 (6.3)	88.6 (7.1)	89.3 (9.1)	92.1 (7.8)	91.0 (7.1)	91.3 (8.4)	89.7 (7.6)
胴 角 度 (水平角度) (鉛直角度)	69.9 (5.1)	70.2 (6.0)	69.5 (6.3)	68.7 (6.2)	68.6 (5.4)	68.8 (4.6)	69.3 (4.6)	69.4 (4.4)	69.5 (4.9)	70.0 (5.2)	70.6 (5.3)
	155.8 (4.5)	155.7 (5.2)	154.4 (5.6)	153.2 (5.8)	153.0 (6.2)	153.0 (6.6)	153.1 (6.9)	153.1 (6.2)	153.3 (5.6)	154.1 (5.2)	155.3 (4.9)

LR : 左足離地時

LTD : 左足接地時

RR : 右足離地時

水平角度 : 踏切2歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

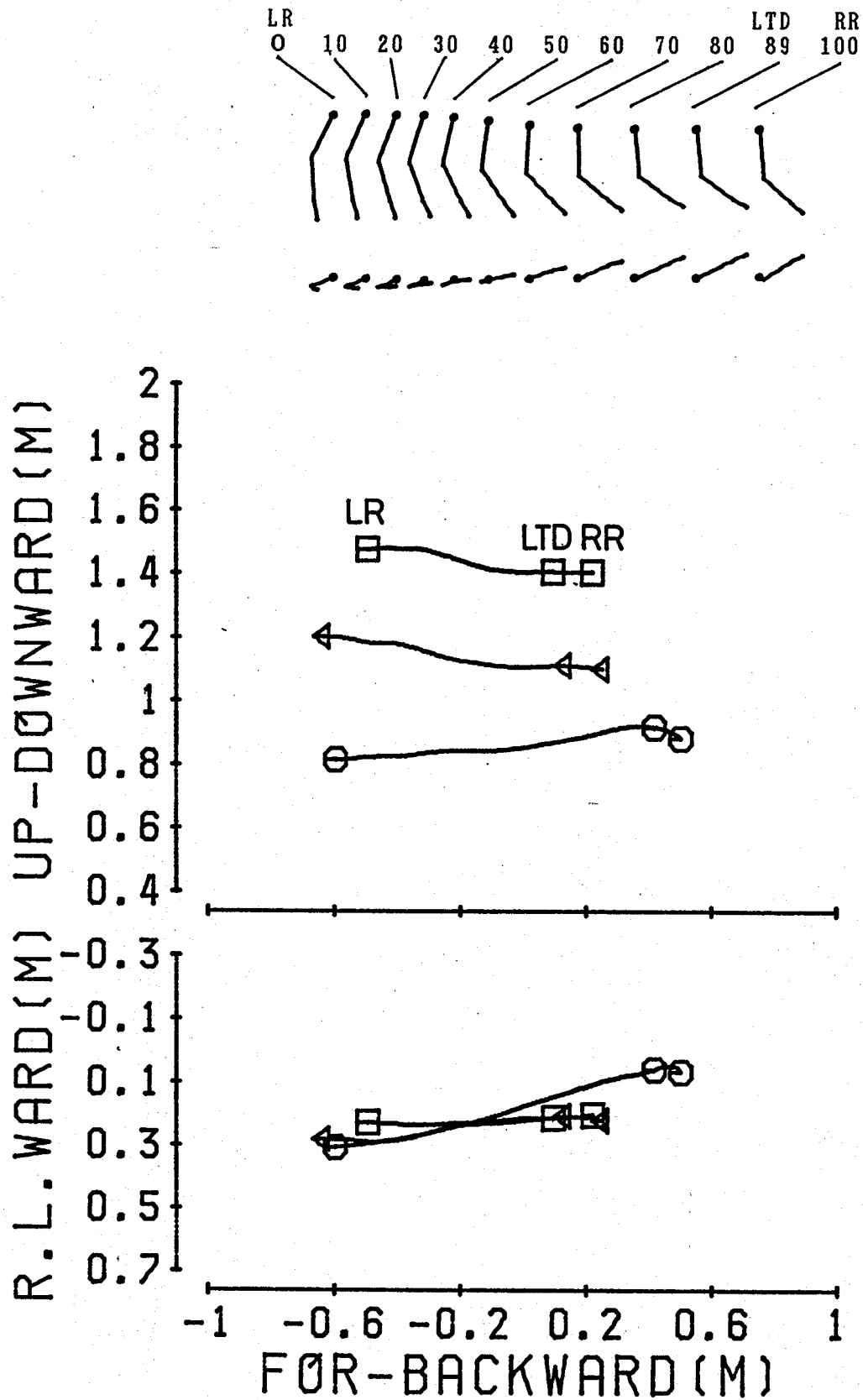


図5-2-2 踏切2歩前の右腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右手先，△は右肘，□は右肩の動きを示す）

表 5-2-2 踏切2歩前の右腕の角度 (deg.)

	LR 0	10	20	30	40	50	60	70	80	LTD 89	RR 100
右上腕角度 (水平角度)	116.1 (14.1)	113.5 (13.8)	110.2 (13.9)	106.5 (16.0)	102.4 (17.8)	97.4 (19.4)	91.9 (22.3)	87.1 (22.4)	83.7 (21.1)	82.9 (21.7)	84.2 (20.5)
(鉛直角度)	32.8 (9.5)	30.9 (7.5)	28.5 (6.6)	27.3 (7.3)	24.9 (8.0)	21.6 (10.5)	19.5 (15.0)	18.4 (16.0)	19.5 (14.5)	21.4 (14.0)	20.8 (13.5)
右前腕角度 (水平角度)	84.8 (22.5)	79.5 (23.8)	74.8 (24.1)	70.9 (21.2)	66.4 (18.3)	59.8 (16.7)	52.1 (16.2)	48.1 (16.7)	45.7 (15.6)	46.5 (12.9)	50.6 (14.5)
(鉛直角度)	22.1 (17.1)	23.3 (22.3)	25.7 (26.3)	29.4 (28.0)	34.7 (29.0)	41.3 (28.9)	50.0 (26.8)	57.9 (25.3)	62.4 (22.9)	61.9 (20.9)	57.2 (22.1)
右肩関節角度	20.3 (7.4)	19.4 (8.2)	20.3 (9.1)	21.5 (11.4)	22.5 (13.6)	24.1 (16.0)	26.4 (20.7)	30.3 (21.1)	32.9 (19.1)	33.8 (18.7)	30.9 (18.6)
右肘関節角度	143.3 (24.0)	139.9 (26.9)	137.1 (29.5)	133.5 (27.1)	130.3 (24.0)	128.5 (21.9)	125.5 (18.9)	121.7 (17.7)	120.1 (15.8)	121.9 (17.3)	123.3 (15.6)

LR: 左足離地時

LTD: 左足接地時

RR: 右足離地時

水平角度: 踏切2歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

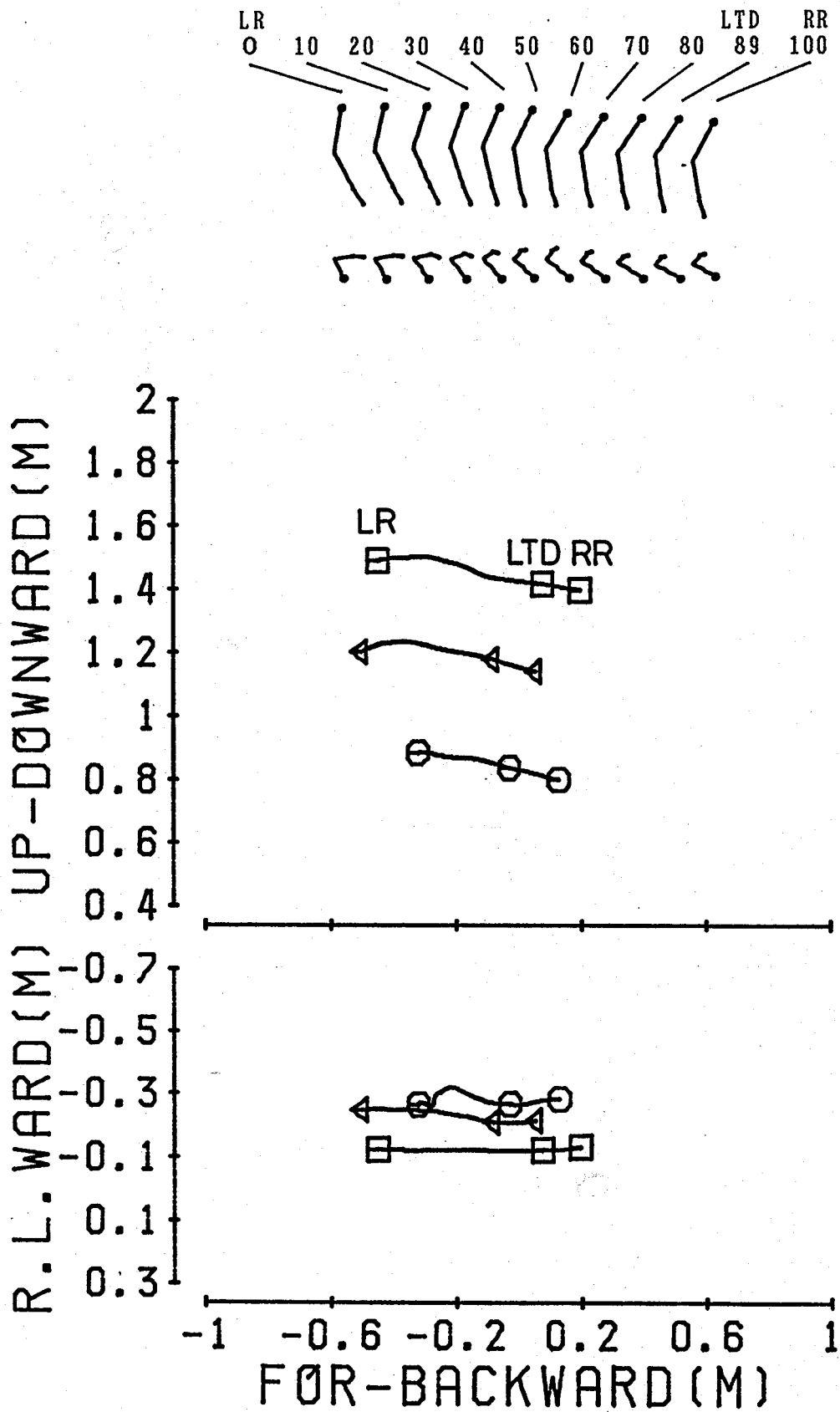


図 5-2-3 踏切 2 歩前の左腕の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ○の線は左手先, △は左肘, □は左肩の動きを示す)

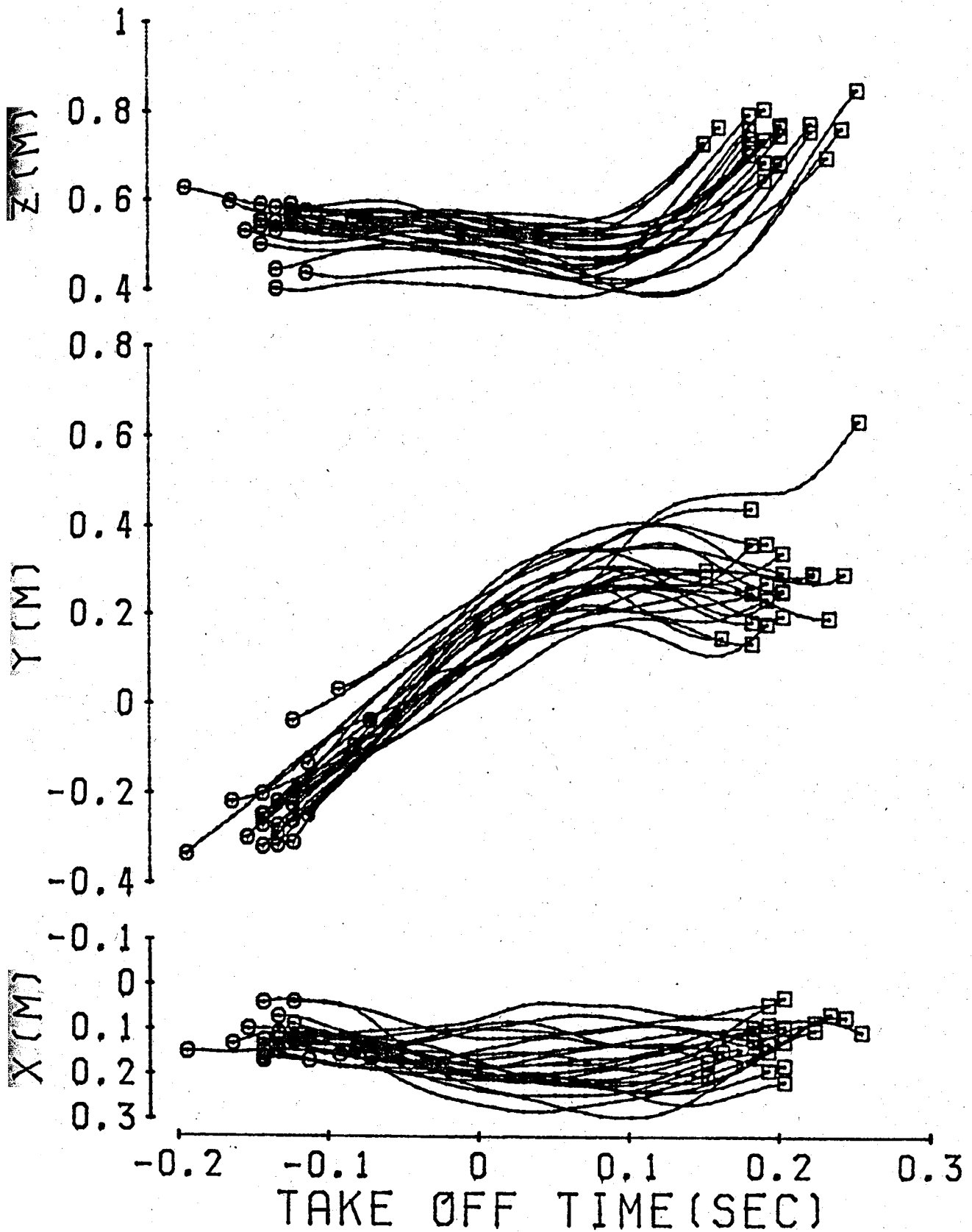


図4-14 各選手の踏切局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度をもとに座標変換した右膝の位置変化 (上図は鉛直方向, 中図は前後方向, 下図は左右方向の位置変化を示し, 原点は前半終了地点における身体重心のコート上の位置)

表 5-2-3 踏切2歩前の左腕の角度 (deg.)

	LR 0	10	20	30	40	50	60	70	80	LTD 89	RR 100
左上腕角度 (水平角度)	99.2 (14.5)	102.0 (14.4)	106.0 (15.3)	107.4 (12.8)	111.3 (11.9)	113.9 (12.7)	116.6 (12.9)	118.3 (13.5)	120.2 (13.2)	120.5 (13.0)	116.7 (13.8)
(鉛直角度)	28.2 (11.1)	29.7 (12.7)	32.8 (14.4)	32.4 (13.5)	36.3 (15.1)	38.3 (16.3)	41.0 (17.7)	41.3 (19.1)	41.4 (18.3)	39.3 (16.2)	34.8 (16.2)
左前腕角度 (水平角度)	63.3 (24.5)	65.6 (24.3)	69.2 (23.4)	74.2 (23.4)	79.0 (22.8)	82.3 (22.8)	83.8 (24.5)	83.6 (26.4)	84.2 (27.0)	85.0 (27.8)	82.1 (24.7)
(鉛直角度)	36.5 (19.9)	34.0 (20.5)	31.1 (20.6)	29.1 (20.9)	27.1 (21.2)	27.0 (21.5)	27.6 (22.4)	29.3 (22.1)	29.8 (20.8)	32.3 (18.1)	32.7 (15.5)
左肩関節角度	24.2 (11.8)	22.9 (13.0)	24.1 (14.4)	20.8 (11.9)	20.8 (11.3)	20.6 (11.6)	20.8 (11.5)	22.3 (11.7)	22.2 (12.0)	21.0 (9.8)	22.2 (10.2)
左肘関節角度	135.9 (19.5)	136.6 (19.9)	136.5 (21.5)	140.7 (18.5)	140.9 (17.7)	141.8 (18.4)	139.5 (23.0)	137.4 (24.2)	136.0 (24.3)	137.5 (24.7)	139.7 (25.5)

LR: 左足離地時

LTD: 左足接地時

RR: 右足離地時

水平角度: 踏切2歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

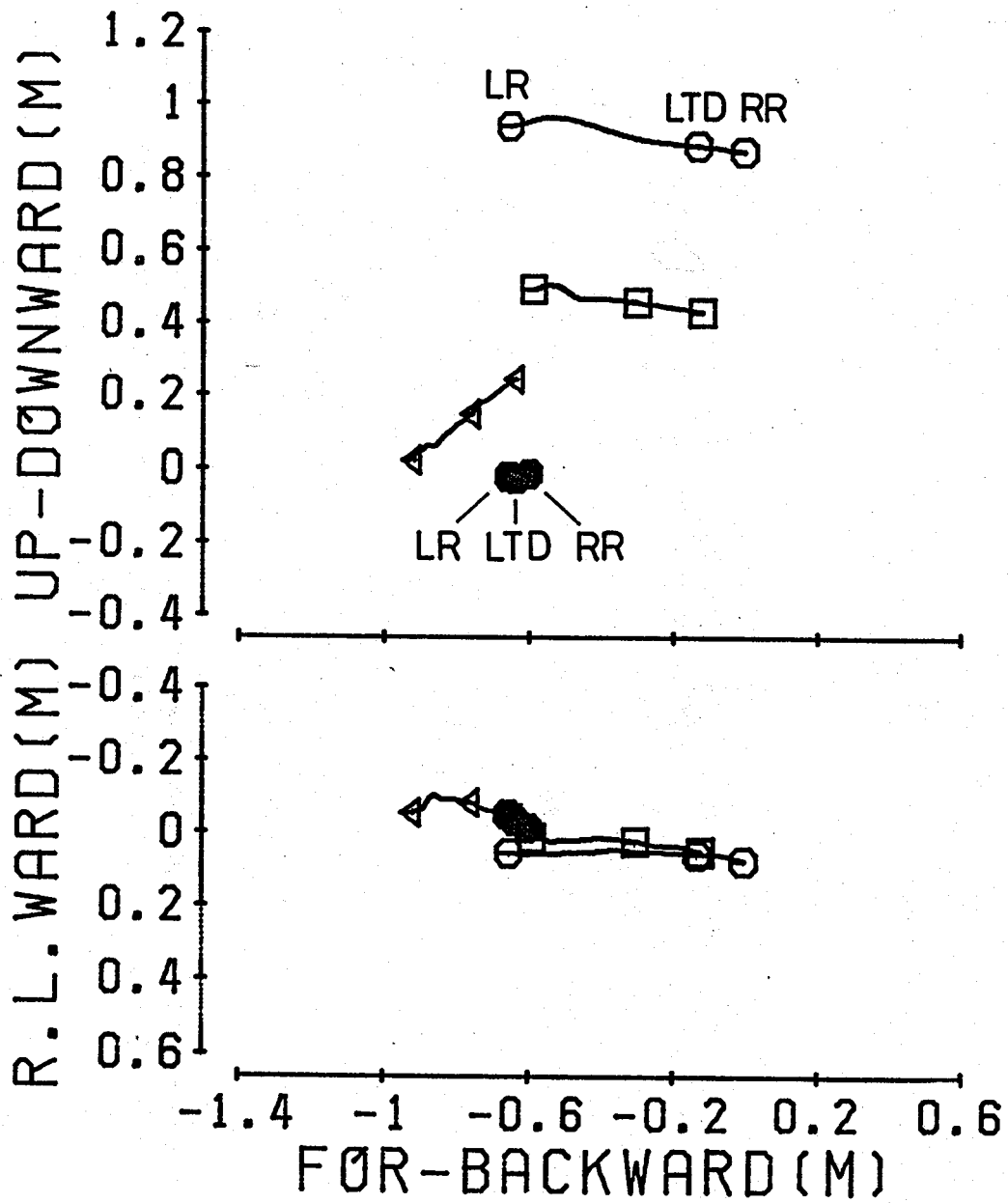
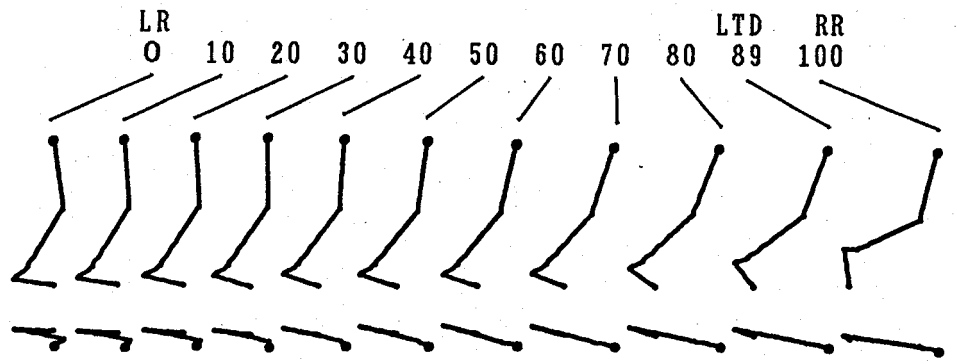


図 5-2-4 踏切 2 歩前の右脚の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ●の線は右足先, △は右踵, □は右膝, ○は右腰の動きを示す)

表 5-2-4 踏切2歩前の右足の角度 (deg.)

	LR 0	10	20	30	40	50	60	70	80	LTD 89	RR 100
右大腿角度 (水平角度)	82.8 (9.3)	86.4 (8.6)	88.3 (8.7)	91.0 (8.6)	94.4 (9.4)	98.7 (10.2)	103.4 (10.2)	108.4 (9.4)	112.0 (8.6)	111.0 (8.9)	104.6 (10.5)
(鉛直角度)	17.8 (10.1)	16.6 (10.3)	16.0 (9.4)	15.5 (7.9)	15.9 (7.9)	18.0 (7.0)	20.9 (7.2)	24.9 (6.3)	27.7 (6.4)	26.3 (7.2)	20.5 (8.8)
右下腿角度 (水平角度)	119.2 (11.2)	120.7 (11.8)	121.9 (12.2)	123.1 (12.4)	125.2 (12.2)	126.2 (12.2)	126.8 (12.3)	129.2 (11.7)	132.8 (11.6)	137.8 (11.5)	147.7 (7.1)
(鉛直角度)	36.4 (10.7)	36.7 (11.1)	37.0 (12.5)	38.4 (13.3)	41.1 (13.0)	43.1 (13.3)	44.6 (13.5)	47.1 (12.5)	50.6 (11.9)	55.9 (11.2)	67.1 (5.0)
右足角度 (水平角度)	23.5 (17.2)	23.7 (16.6)	26.8 (17.1)	30.8 (17.4)	33.5 (19.1)	30.0 (17.8)	31.5 (18.8)	37.3 (21.3)	48.7 (26.1)	62.0 (27.4)	83.8 (11.6)
(鉛直角度)	81.2 (12.6)	80.4 (11.0)	76.3 (13.9)	72.9 (14.7)	70.8 (13.3)	71.4 (11.3)	71.2 (12.3)	66.5 (16.8)	55.9 (23.1)	44.4 (25.4)	20.4 (12.2)
右膝関節角度	140.7 (12.2)	143.5 (13.8)	144.8 (15.4)	145.9 (15.9)	146.3 (15.2)	149.2 (16.7)	152.4 (16.8)	154.9 (14.1)	155.1 (12.4)	148.8 (13.5)	130.8 (11.2)
右足関節角度	68.9 (10.8)	68.6 (12.1)	71.8 (16.5)	73.3 (18.3)	73.0 (18.6)	69.8 (15.5)	67.6 (12.8)	69.8 (12.5)	78.2 (17.6)	87.9 (21.2)	104.1 (13.8)

LR: 左足離地時
 LTD: 左足接地時
 RR: 右足離地時
 水平角度: 踏切2歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度
 鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

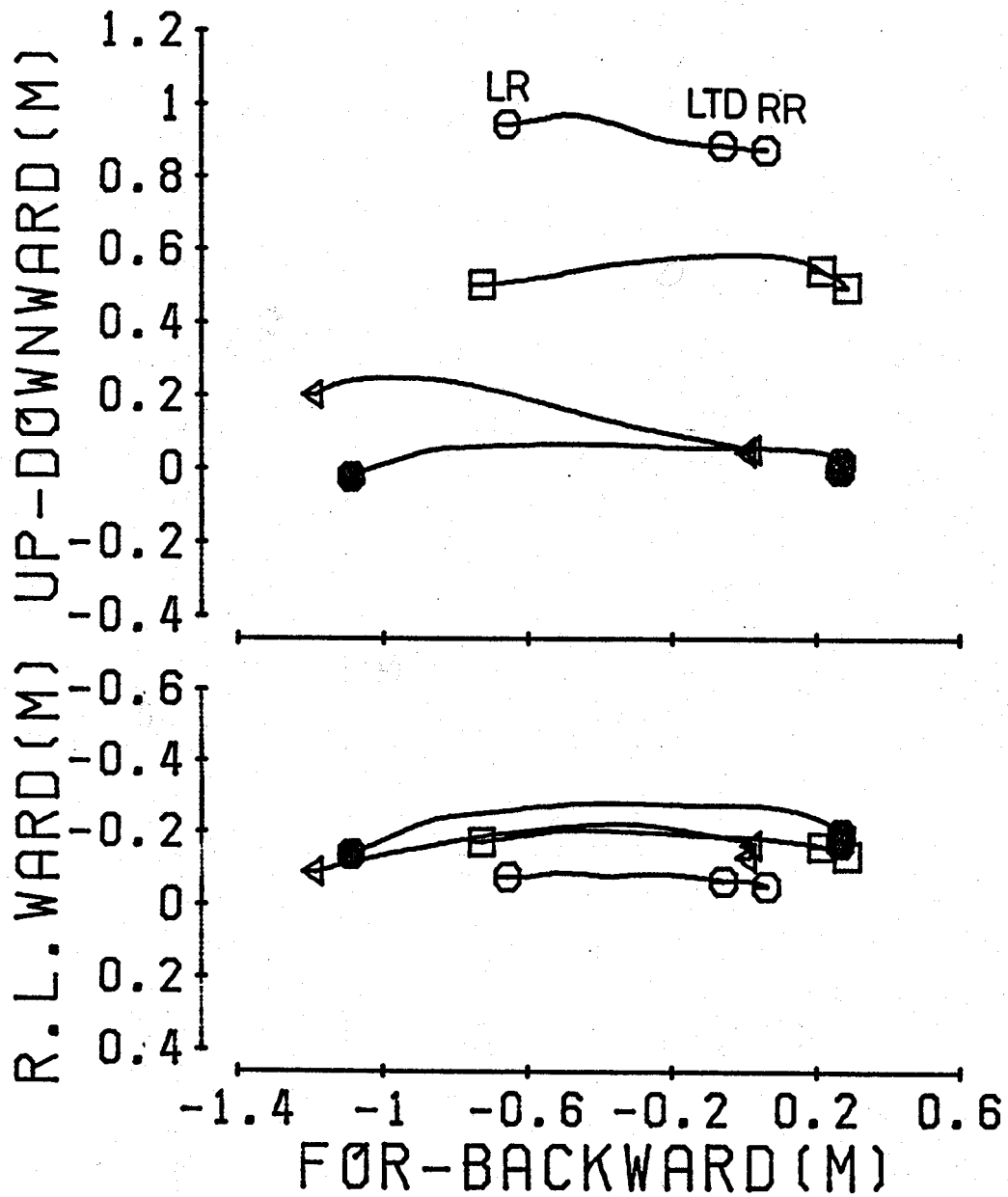
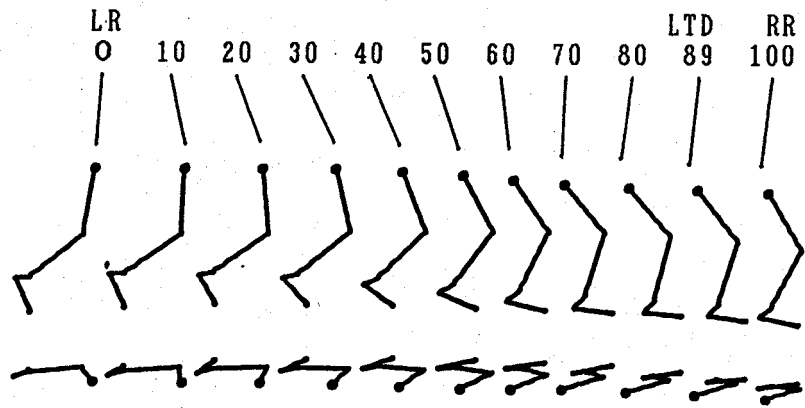


図 5-2-5 踏切 2 歩前の左脚の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ●の線は左足先, △は左踵, □は左膝, ○は左腰の動きを示す)

表 5-2-5 踏切2歩前の左脚の角度 (deg.)

	LR 0	10	20	30	40	50	60	70	80	LTD 89	RR 100
左大腿角度 (水平角度)	98.0 (16.1)	91.1 (15.9)	83.9 (15.5)	76.5 (13.7)	68.7 (12.0)	62.0 (11.1)	55.8 (10.3)	51.1 (9.9)	50.3 (8.8)	53.3 (7.4)	60.5 (8.3)
(鉛直角度)	23.1 (9.1)	22.1 (12.3)	22.2 (15.1)	24.3 (14.8)	29.6 (12.9)	34.9 (10.4)	39.9 (9.2)	44.3 (8.2)	45.0 (7.8)	41.4 (7.9)	33.7 (9.7)
左下腿角度 (水平角度)	138.1 (11.2)	141.2 (11.1)	140.7 (11.4)	137.2 (13.0)	131.6 (13.2)	123.0 (12.5)	113.7 (13.1)	105.9 (14.2)	103.0 (15.1)	105.4 (16.0)	115.0 (15.9)
(鉛直角度)	53.6 (9.7)	56.5 (10.4)	55.8 (11.1)	52.4 (12.2)	48.0 (12.7)	41.6 (12.5)	34.8 (11.5)	29.1 (11.1)	27.0 (10.6)	28.7 (10.9)	36.9 (10.5)
左足角度 (水平角度)	66.5 (21.2)	66.6 (20.4)	64.5 (23.7)	52.5 (17.0)	43.4 (15.4)	32.9 (13.7)	26.0 (14.4)	26.1 (17.0)	27.3 (17.5)	28.7 (18.0)	30.0 (17.5)
(鉛直角度)	32.4 (19.4)	33.1 (20.3)	43.7 (19.2)	49.9 (15.3)	59.1 (13.8)	68.2 (13.8)	76.8 (14.8)	83.3 (15.4)	85.5 (17.0)	82.2 (16.4)	80.1 (13.9)
左膝関節角度	129.7 (17.8)	120.1 (17.3)	114.3 (17.7)	112.1 (17.3)	110.8 (15.2)	112.4 (13.7)	114.7 (13.9)	116.9 (14.9)	118.6 (14.6)	119.7 (13.5)	117.3 (10.6)
左足関節角度	98.5 (15.1)	94.8 (15.0)	89.6 (15.2)	84.1 (13.6)	79.5 (10.8)	75.7 (8.6)	75.5 (7.0)	77.0 (6.7)	76.8 (6.8)	76.2 (7.3)	67.8 (8.1)

LR: 左足離地時

LTD: 左足接地時

RR: 右足離地時

水平角度: 踏切2歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

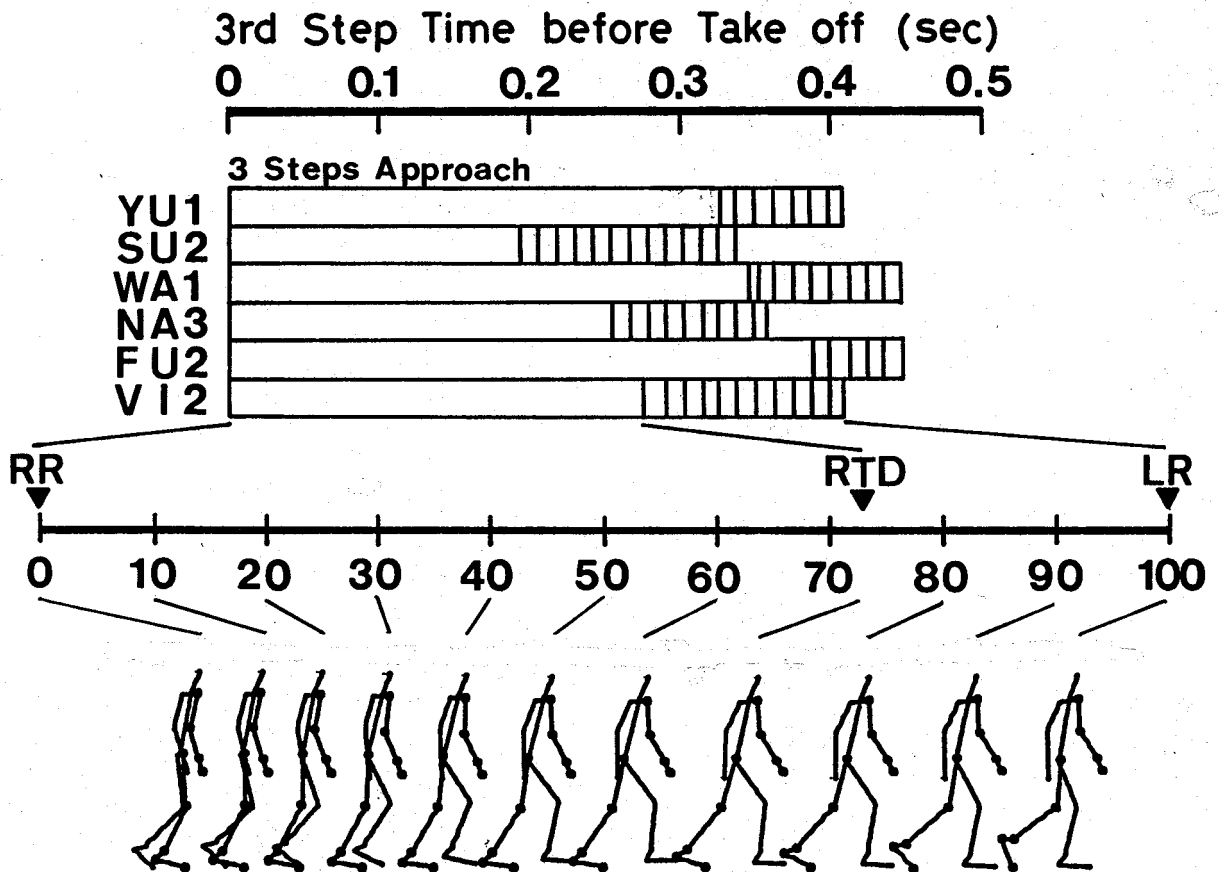


図 5-3 踏切 3 歩前の助走局面における各選手の助走時間（上図）と、この助走時間に対する片足接地時間（白の棒グラフ）と両足接地時間（縦線の棒グラフ）の割合で規格化そして平均化した踏切 3 歩前の助走動作（下図）

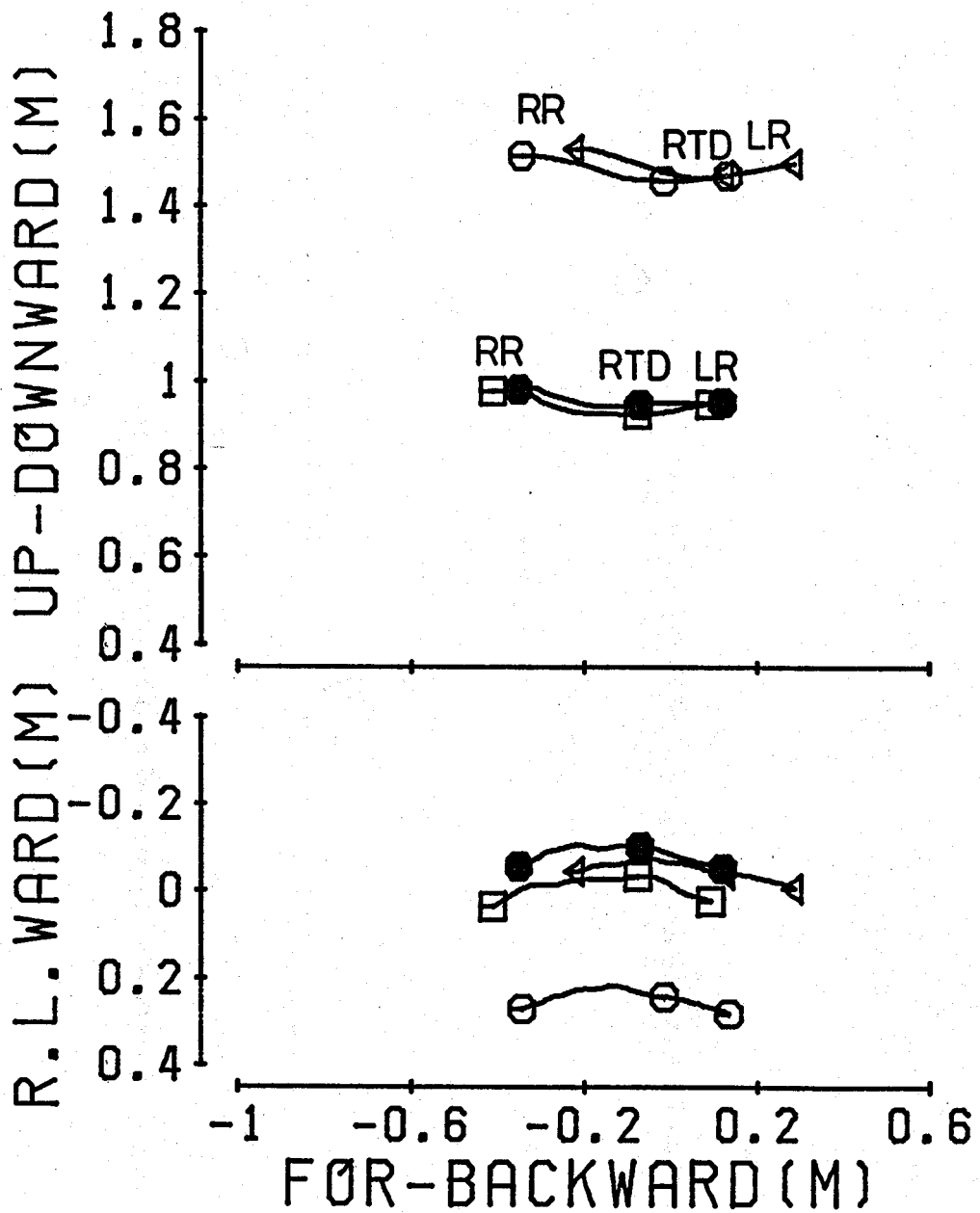
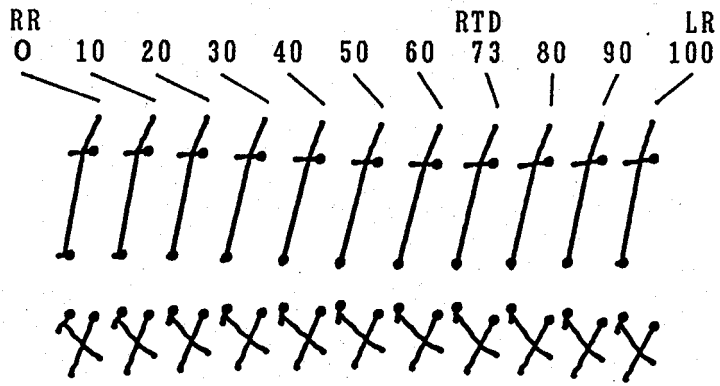


図5-3-1 踏切3歩前の胴体の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は右腰，●は左腰の動きを示す）

表 5-3-1 踏切3歩前の胴体の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	RTD 73	80	90	LR 100
肩 角 度 (水平角度)	107.8 (37.0)	107.3 (35.8)	108.9 (35.6)	110.7 (35.8)	110.8 (35.5)	112.0 (36.5)	112.7 (35.7)	113.6 (36.7)	113.5 (37.2)	114.4 (37.2)	114.6 (35.6)
	88.3 (5.9)	88.0 (6.1)	88.7 (6.5)	89.6 (5.8)	90.0 (5.3)	90.2 (6.0)	90.2 (5.5)	88.7 (5.1)	87.3 (4.1)	86.9 (3.8)	86.6 (4.9)
腰 角 度 (水平角度)	112.5 (41.8)	105.7 (47.8)	102.7 (41.9)	103.9 (40.8)	103.3 (39.8)	102.8 (38.7)	107.2 (38.1)	107.8 (39.0)	104.1 (39.3)	105.3 (38.9)	111.2 (40.4)
	88.5 (1.5)	84.5 (3.8)	82.2 (6.6)	81.7 (7.2)	78.5 (7.8)	79.1 (10.6)	78.5 (14.7)	73.6 (15.8)	72.7 (13.4)	83.8 (18.7)	91.8 (19.7)
胴 角 度 (水平角度)	78.7 (5.7)	78.6 (6.1)	78.1 (6.6)	76.7 (6.8)	75.6 (6.2)	75.2 (5.7)	75.1 (5.5)	76.8 (4.8)	77.5 (5.0)	78.4 (5.4)	79.5 (6.2)
	158.2 (6.2)	157.2 (5.1)	156.1 (4.5)	155.9 (4.4)	156.1 (4.1)	155.3 (3.8)	154.6 (3.3)	153.3 (3.9)	153.2 (4.5)	154.5 (5.1)	155.3 (4.9)

RR：右足離地時

RTD：右足接地時

LR：左足離地時

水平角度：踏切3歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度：鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

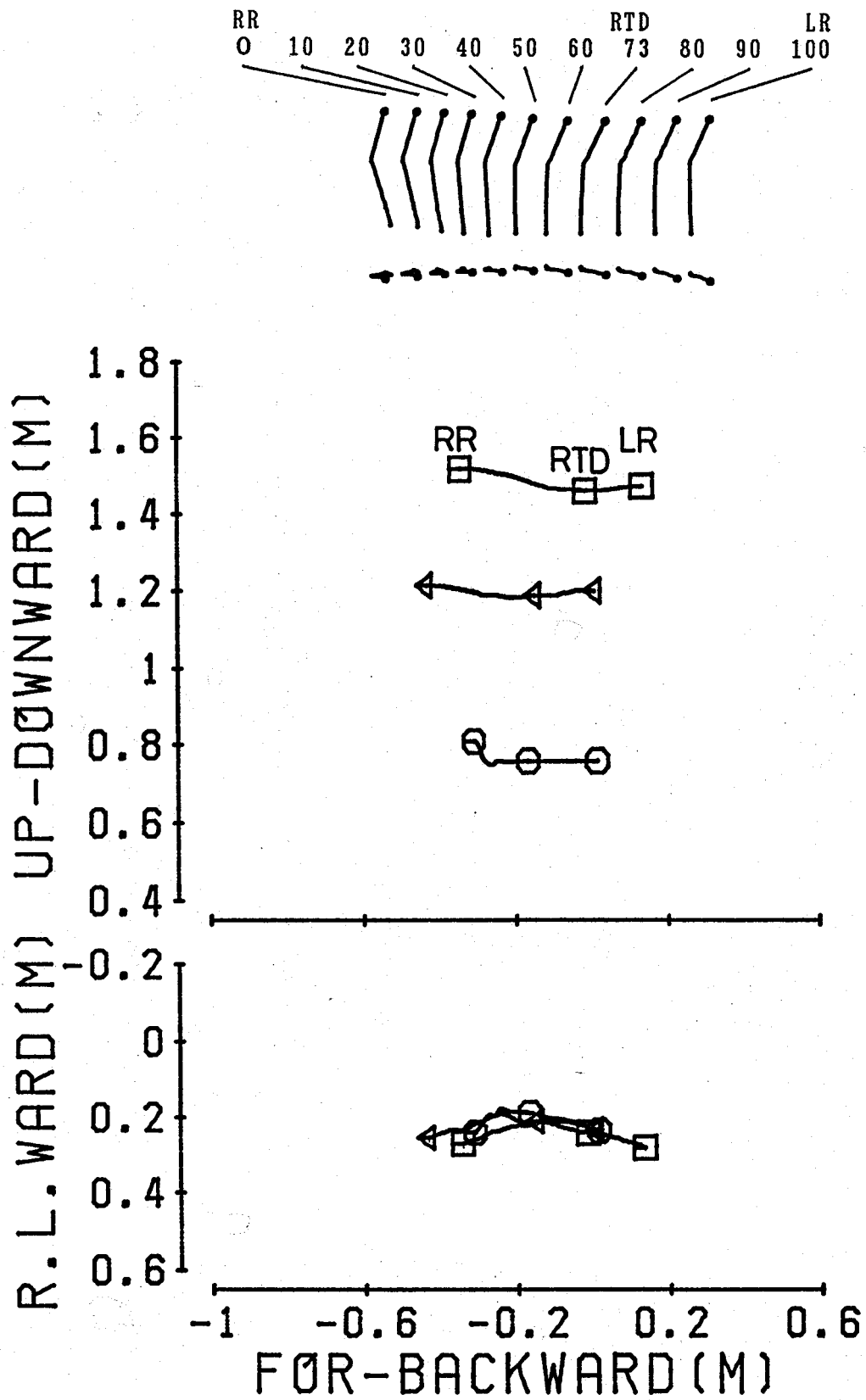


図5-3-2 踏切3歩前の右腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右手先，△は右肘，□は右肩の動きを示す）

表 5-3-2 踏切3歩前の右腕の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	RTD 73	80	90	LR 100
右上腕角度 (水平角度)	105.8 (23.6)	105.6 (23.2)	105.8 (22.8)	106.2 (21.0)	108.9 (20.1)	110.3 (21.4)	112.2 (22.3)	114.0 (21.6)	114.0 (21.6)	113.8 (20.4)	112.3 (18.8)
(鉛直角度)	27.7 (12.9)	27.8 (11.8)	27.9 (12.6)	28.1 (10.9)	28.8 (10.3)	32.7 (10.1)	34.6 (11.5)	35.9 (13.5)	36.0 (13.3)	35.1 (12.6)	33.8 (10.8)
右前腕角度 (水平角度)	73.0 (11.8)	77.4 (12.6)	82.2 (12.5)	85.4 (13.0)	87.5 (14.9)	90.7 (14.2)	91.3 (13.1)	92.9 (10.9)	93.0 (11.2)	92.5 (10.5)	90.1 (10.6)
(鉛直角度)	23.1 (12.0)	20.8 (9.6)	17.7 (7.9)	17.7 (6.0)	20.7 (7.8)	20.1 (6.9)	18.8 (8.1)	16.5 (9.4)	14.9 (9.3)	13.4 (7.8)	13.8 (7.3)
右肩関節角度	19.6 (7.3)	19.5 (5.5)	20.0 (4.0)	18.8 (4.4)	18.5 (5.2)	20.7 (5.6)	22.0 (4.3)	23.5 (6.8)	23.1 (7.1)	20.7 (8.9)	19.4 (9.7)
右肘関節角度	136.3 (16.5)	140.1 (14.4)	144.3 (12.3)	148.4 (8.8)	151.3 (13.1)	150.8 (16.5)	148.7 (14.5)	147.5 (12.9)	149.8 (12.2)	151.6 (11.5)	151.7 (11.8)

RR: 右足離地時

RTD: 右足接地時

LR: 左足離地時

水平角度: 踏切3歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

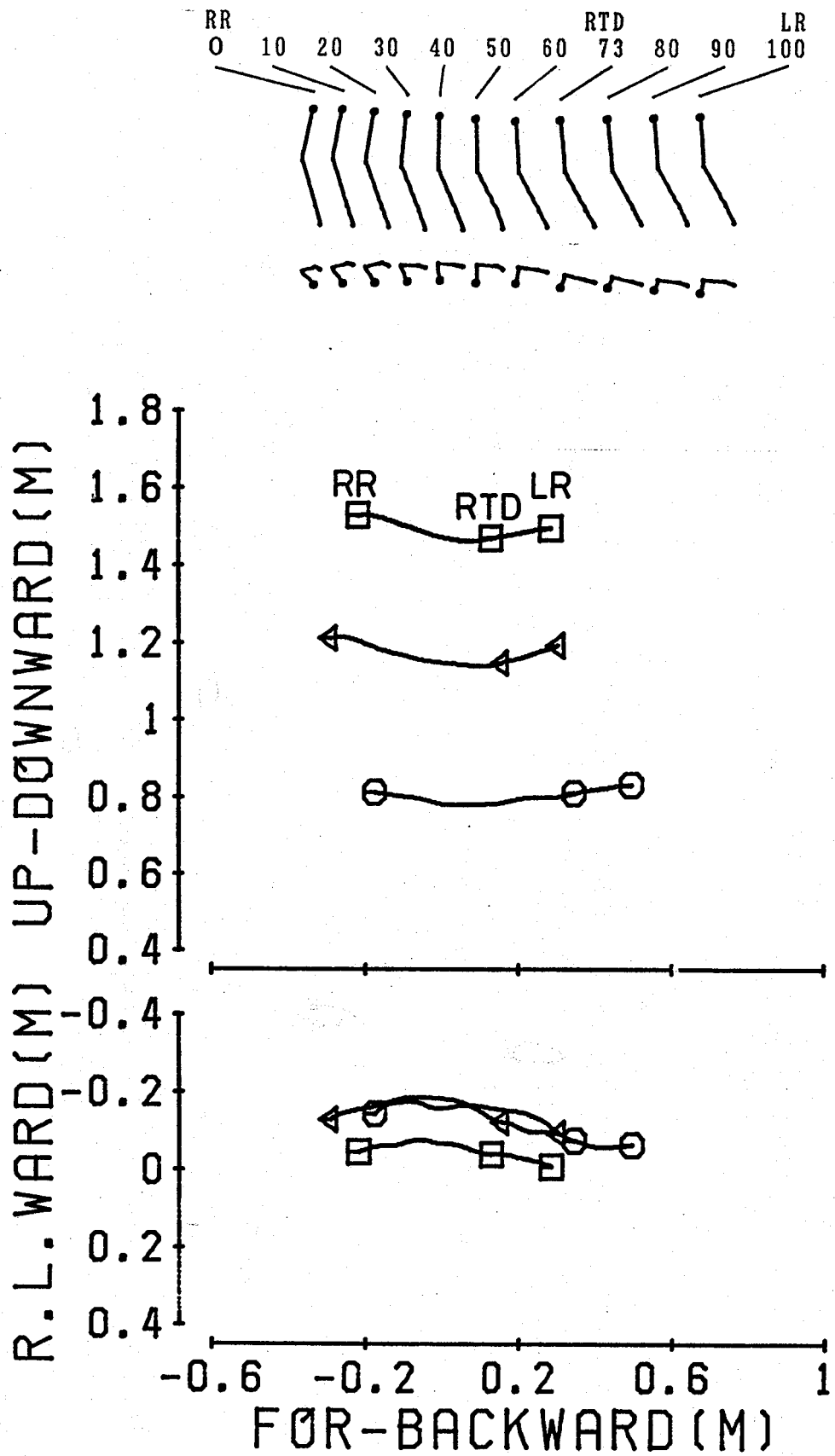


図 5-3-3 踏切 3 歩前の左腕の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, O の線は左手先, Δ は左肘, □ は左肩の動きを示す)

表 5-3-3 踏切3歩前の左腕の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	RTD 73	80	90	LR 100
左上腕角度 (水平角度)	102.0 (8.6)	100.5 (7.4)	98.8 (6.9)	95.6 (8.4)	92.1 (9.3)	88.6 (12.5)	86.9 (14.9)	85.2 (16.8)	85.3 (16.7)	86.4 (16.9)	86.5 (16.7)
(鉛直角度)	24.0 (11.4)	22.8 (11.6)	22.3 (13.0)	24.1 (14.2)	24.2 (12.3)	26.4 (9.7)	26.7 (7.5)	24.5 (7.4)	22.6 (7.3)	22.0 (6.1)	24.7 (3.6)
左前腕角度 (水平角度)	74.9 (13.4)	73.8 (14.9)	71.2 (14.5)	69.2 (14.2)	67.3 (14.9)	65.6 (16.3)	64.5 (14.9)	62.5 (16.2)	62.1 (14.4)	61.6 (13.2)	61.0 (12.1)
(鉛直角度)	19.2 (13.8)	21.8 (13.6)	22.3 (15.1)	24.3 (14.6)	30.2 (15.1)	34.5 (17.8)	35.3 (18.3)	34.5 (18.1)	34.3 (17.4)	33.0 (14.0)	31.4 (11.9)
左肩関節角度	12.6 (7.3)	12.4 (6.6)	15.7 (6.8)	20.2 (8.6)	21.3 (9.8)	24.2 (13.7)	25.4 (14.6)	28.4 (13.8)	28.2 (12.4)	24.9 (11.7)	22.3 (13.0)
左肘関節角度	147.9 (18.0)	147.0 (16.5)	146.2 (17.1)	142.3 (20.0)	139.8 (22.0)	139.8 (23.3)	138.7 (25.0)	141.5 (25.1)	142.7 (25.1)	143.5 (19.8)	143.7 (13.3)

RR: 右足離地時

RTD: 右足接地時

LR: 左足離地時

水平角度: 踏切3歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

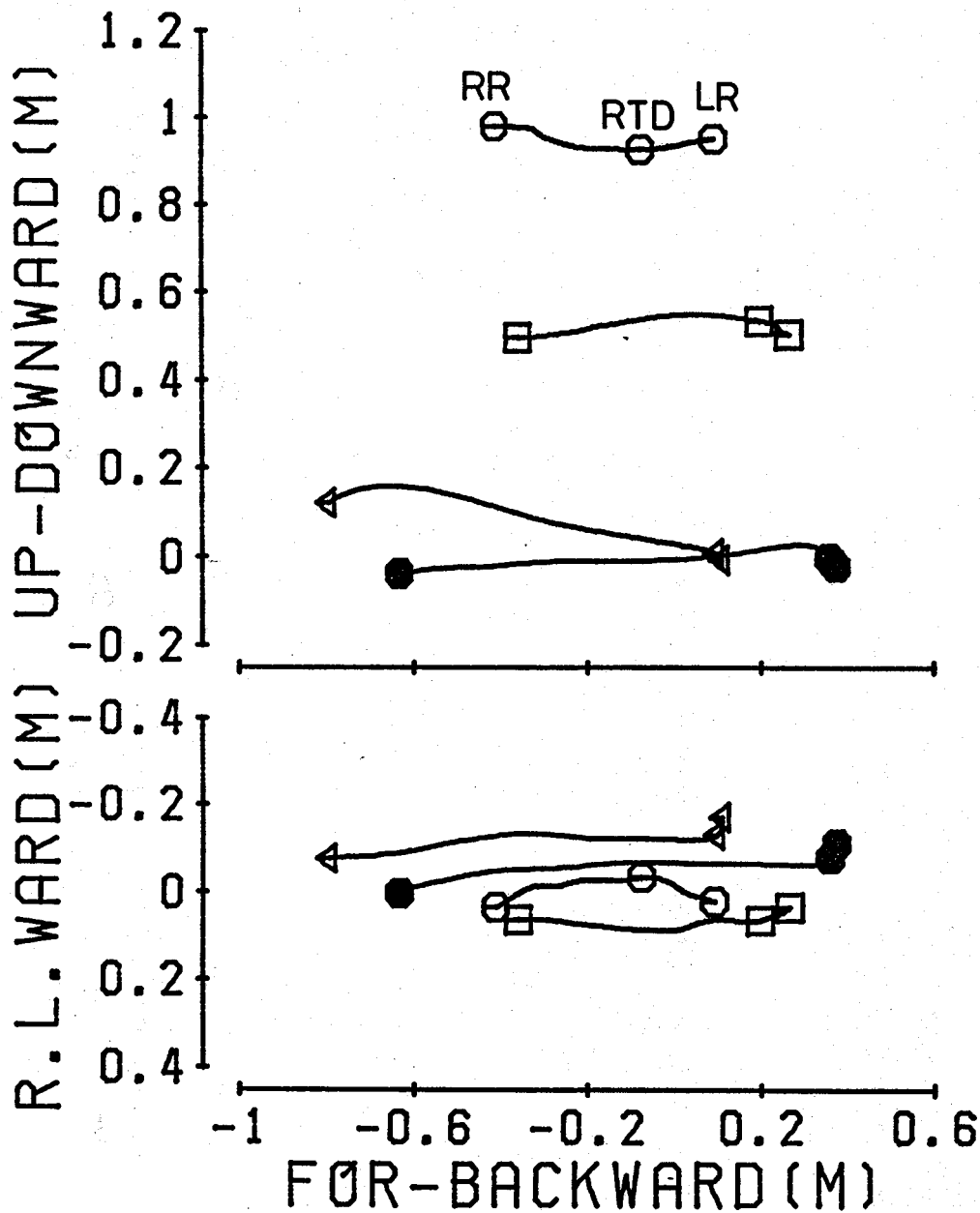
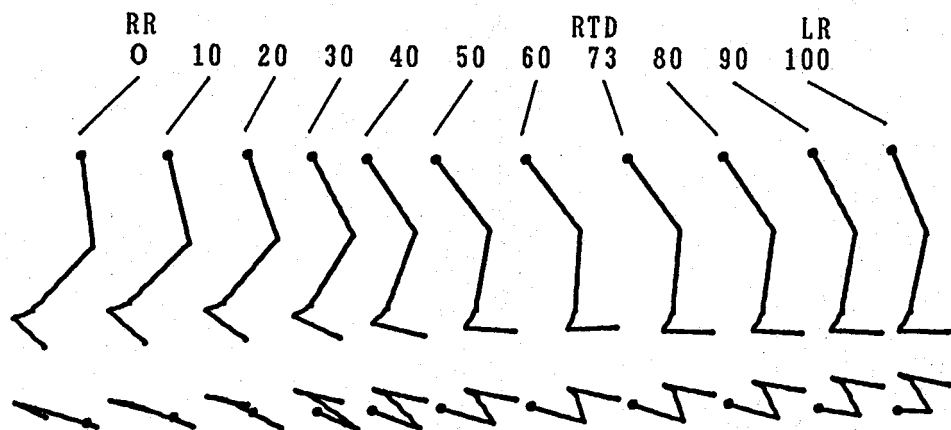


図5-3-4 踏切3歩前の右脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，●の線は右足先，△は右踵，□は右膝，○は右腰の動きを示す）

表 5-3-4 踏切3歩前の右脚の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	RTD 73	80	90	LR 100
右大腿角度 (水平角度)	83.6 (10.6)	77.8 (10.0)	71.7 (9.3)	64.2 (7.7)	58.9 (6.3)	55.4 (6.6)	54.8 (6.4)	56.3 (4.0)	58.1 (4.1)	63.2 (6.3)	68.9 (8.0)
(鉛直角度)	11.0 (8.1)	15.2 (10.6)	22.2 (9.4)	30.3 (7.6)	35.8 (7.8)	38.9 (8.3)	38.7 (7.5)	37.2 (5.4)	34.7 (5.7)	28.7 (7.3)	22.6 (8.0)
右下腿角度 (水平角度)	131.6 (7.8)	131.8 (6.4)	126.9 (6.9)	118.7 (9.7)	109.3 (13.3)	100.3 (17.7)	94.8 (20.0)	96.0 (16.8)	97.8 (15.1)	100.0 (13.8)	101.5 (13.2)
(鉛直角度)	47.9 (9.7)	50.5 (8.5)	47.9 (8.6)	42.8 (9.9)	36.3 (11.6)	31.6 (12.2)	29.9 (10.8)	28.7 (11.2)	29.4 (11.0)	31.3 (11.7)	33.0 (11.3)
右足角度 (水平角度)	53.8 (16.1)	48.0 (10.9)	42.6 (8.3)	35.4 (10.6)	26.1 (9.3)	28.6 (13.3)	29.8 (14.3)	27.9 (10.3)	28.3 (8.4)	26.8 (7.5)	27.3 (9.7)
(鉛直角度)	53.8 (23.1)	49.9 (14.6)	54.6 (9.4)	65.2 (9.7)	76.2 (11.5)	85.0 (14.4)	91.2 (14.5)	88.3 (13.1)	86.7 (12.6)	86.2 (11.1)	86.9 (9.6)
右膝関節角度	124.9 (11.5)	115.6 (11.1)	111.2 (10.9)	110.2 (14.7)	114.3 (20.1)	121.9 (24.7)	128.3 (26.8)	127.9 (23.8)	128.3 (21.5)	132.4 (20.1)	137.1 (17.2)
右足関節角度	82.1 (10.8)	81.2 (8.5)	78.8 (6.2)	75.1 (6.5)	74.9 (7.0)	74.2 (8.0)	73.6 (8.0)	76.4 (8.9)	76.0 (9.1)	74.1 (9.1)	70.6 (9.1)

RR: 右足離地時

RTD: 右足接地時

LR: 左足離地時

水平角度: 踏切3歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

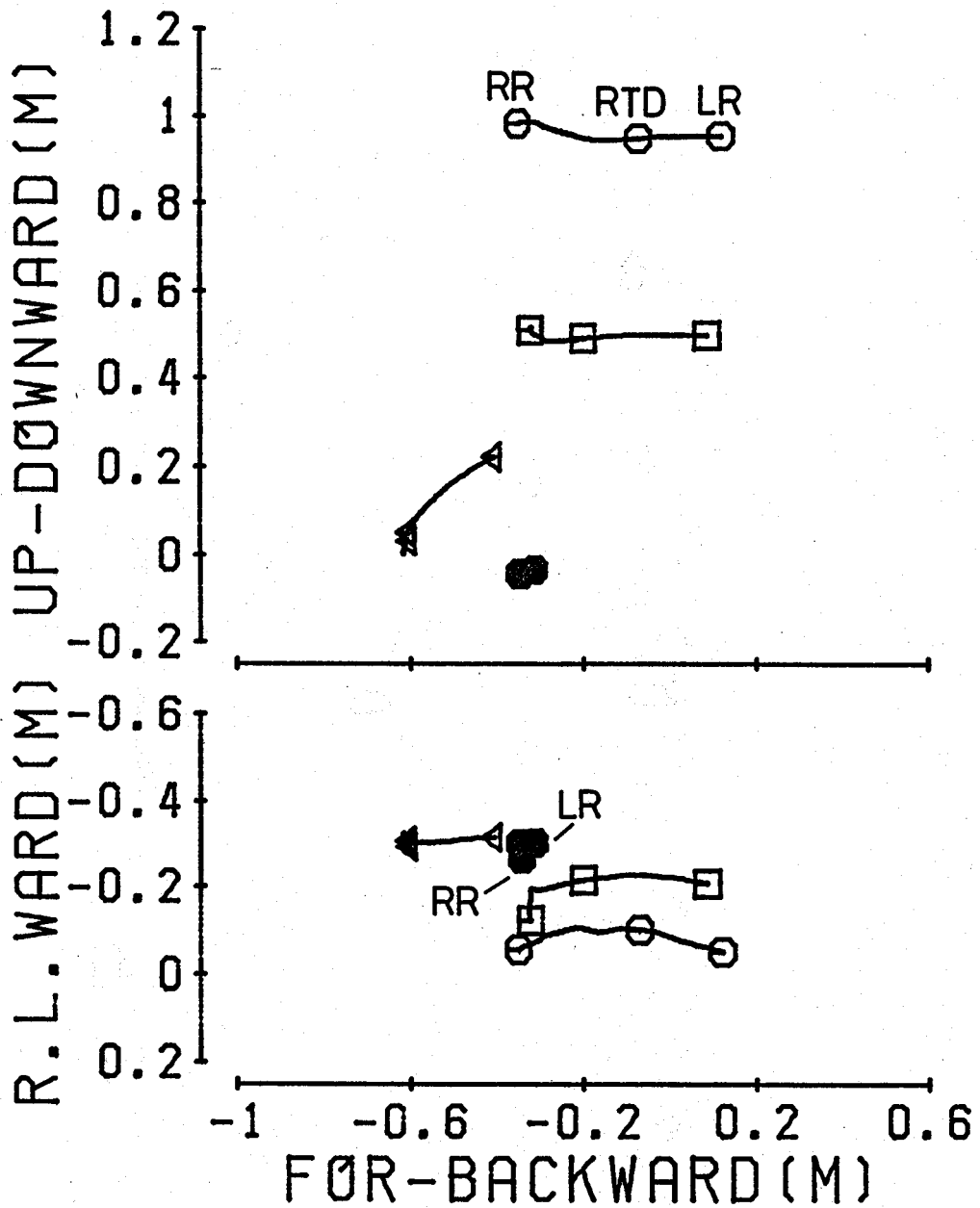
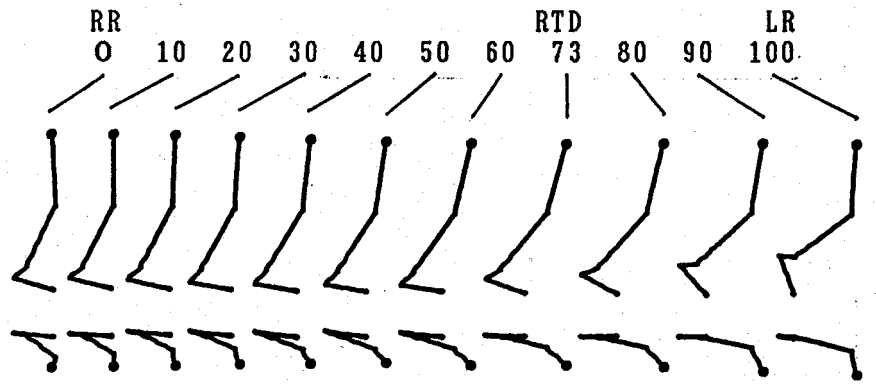


図 5-3-5 踏切 3 歩前の左脚の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ●の線は左足先, △は左踵, □は左膝, ○は左腰の動きを示す)

表 5-3-5 踏切3歩前の左脚の角度 (deg.)

	RR 0	10	20	30	40	50	60	RTD 73	80	90	LR 100
左大腿角度 (水平角度)	86.9 (8.9)	90.2 (8.6)	92.2 (8.3)	94.4 (7.6)	96.7 (6.9)	99.1 (5.7)	102.8 (3.8)	105.4 (4.5)	104.4 (6.8)	99.6 (10.4)	94.3 (10.7)
(鉛直角度)	12.9 (4.0)	14.0 (6.1)	15.0 (6.2)	14.8 (7.1)	14.4 (6.4)	14.7 (5.4)	18.5 (4.8)	22.0 (4.9)	22.8 (5.5)	23.4 (8.3)	21.9 (10.7)
左下腿角度 (水平角度)	113.7 (16.3)	114.8 (14.5)	115.9 (12.9)	116.6 (13.1)	119.1 (12.3)	121.5 (11.4)	123.6 (9.8)	127.8 (6.8)	130.3 (5.2)	135.7 (5.5)	139.2 (6.2)
(鉛直角度)	35.7 (13.5)	32.8 (14.5)	32.3 (14.3)	32.2 (14.1)	33.9 (13.7)	36.0 (12.8)	38.0 (11.5)	41.9 (9.4)	44.2 (7.4)	49.6 (6.3)	55.8 (8.7)
左足角度 (水平角度)	26.3 (12.0)	23.0 (11.6)	23.0 (10.0)	24.2 (13.1)	24.5 (10.6)	24.7 (9.1)	26.2 (12.1)	28.0 (9.1)	33.9 (10.5)	52.1 (11.9)	71.2 (9.3)
(鉛直角度)	74.7 (16.0)	76.1 (11.4)	76.6 (9.8)	80.0 (7.6)	80.7 (6.0)	80.4 (7.2)	80.9 (9.5)	71.3 (11.8)	62.5 (12.4)	44.1 (10.4)	26.6 (8.5)
左膝関節角度	145.4 (12.8)	149.3 (12.6)	151.1 (13.1)	153.5 (13.4)	154.7 (13.4)	155.3 (12.0)	156.4 (9.9)	153.7 (8.4)	149.9 (9.0)	140.3 (13.6)	129.7 (16.3)
左足関節角度	75.6 (1.9)	74.9 (5.8)	73.2 (7.7)	69.2 (10.6)	66.5 (13.8)	64.5 (13.9)	62.1 (13.8)	67.6 (14.4)	74.0 (14.2)	87.6 (13.6)	100.1 (10.2)

RR: 右足離地時
 RTD: 右足接地時
 LR: 左足離地時

水平角度: 踏切3歩前開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度
 鉛直角度: 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

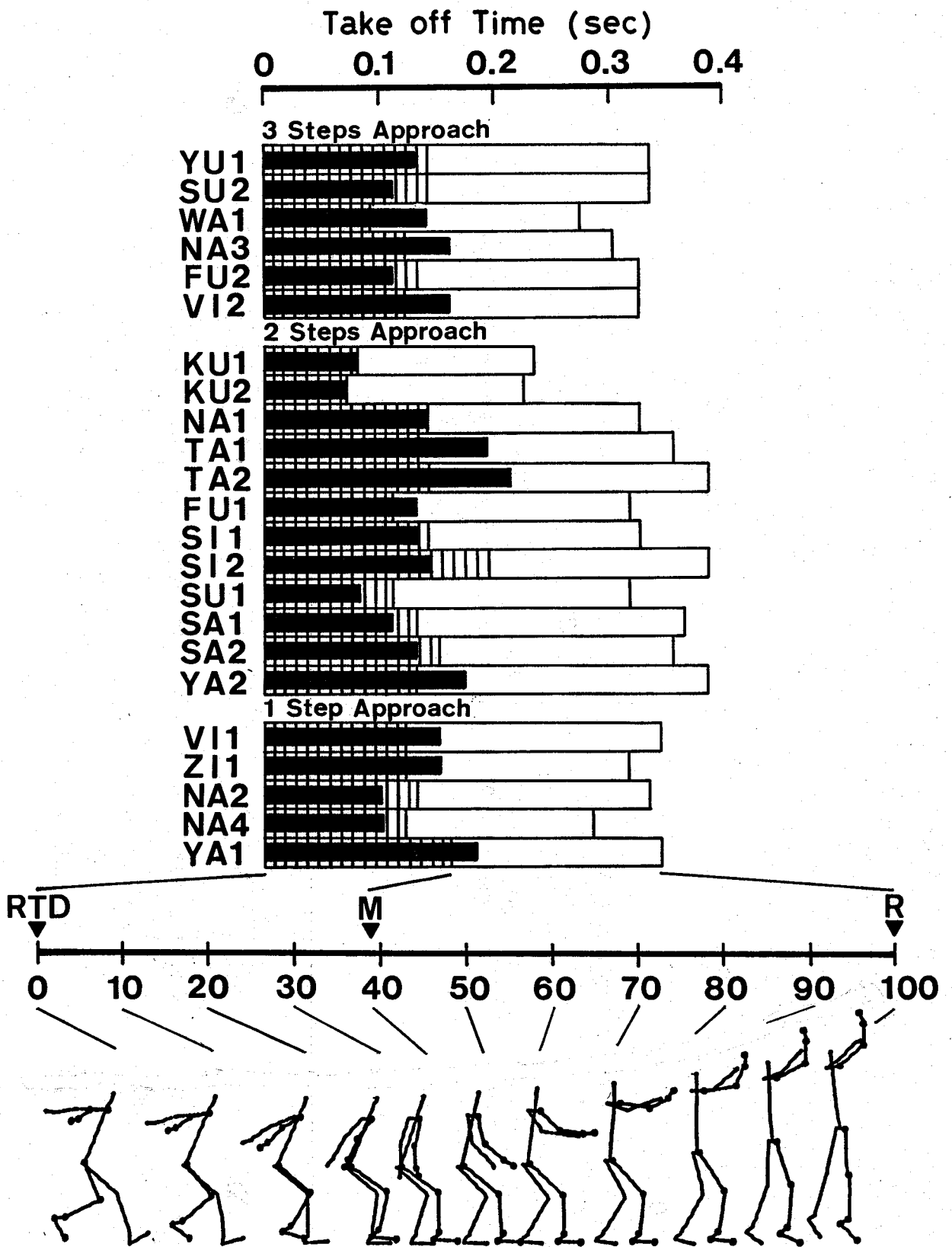


図6 各選手の踏切時間（上図：横棒グラフの縦線部分は前半時間，白抜き部分は後半時間であり，黒棒グラフは片足接地時間を示す）と，この踏切時間全体に対する前半および後半時間の割合で規格化，そして平均化した踏切動作（下図）

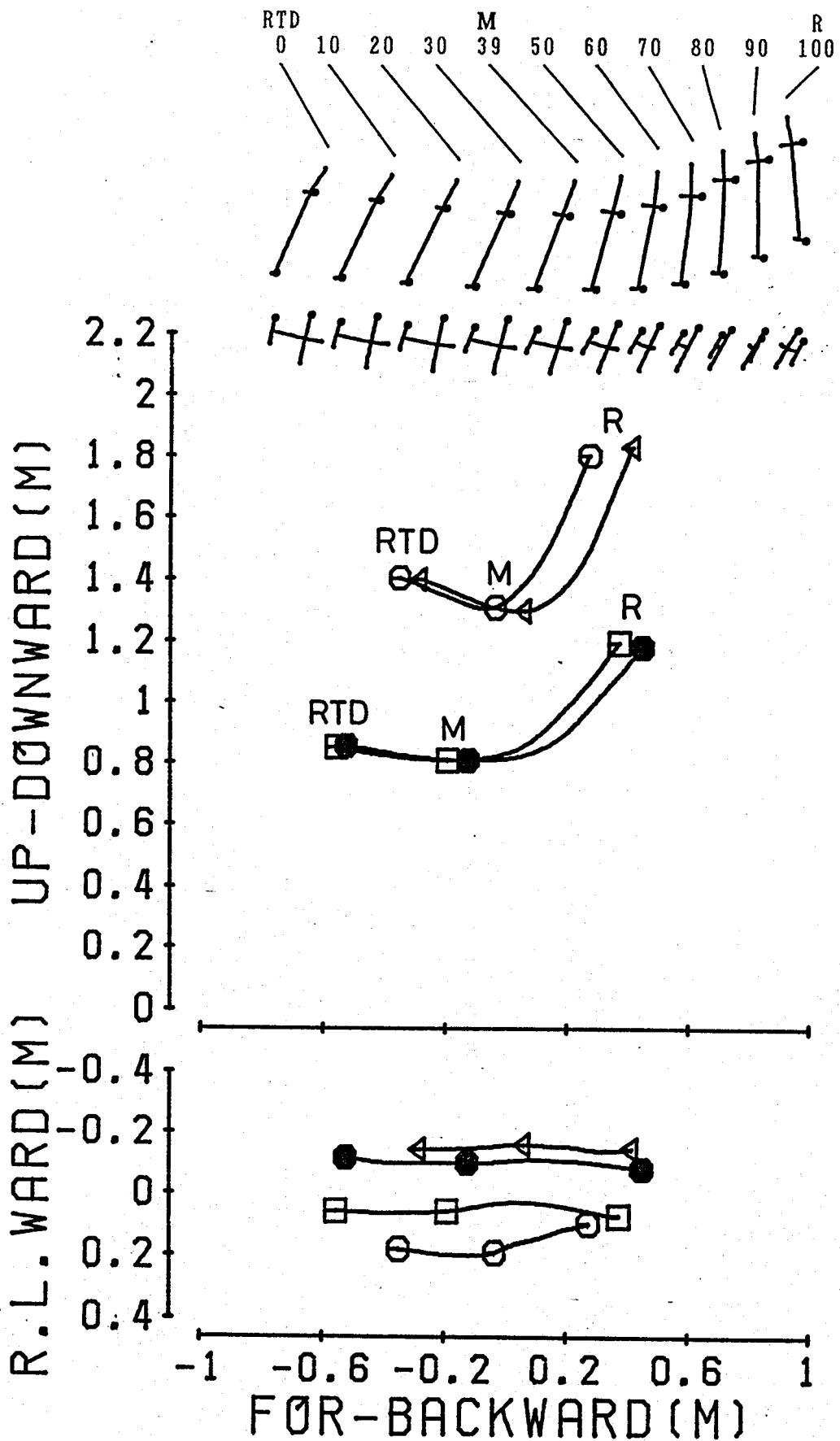


図6-1 踏切局面における胴体の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は右腰，●は左腰の動きを示す）

表 6-1 踏切局面における胴体の角度 (deg.)

	RTD 0	10	20	30	M 39	50	60	70	80	90	R 100
肩 角 度 (水平角度)	102.6 (17.0)	101.1 (16.9)	100.6 (17.3)	102.9 (19.0)	105.3 (19.9)	109.2 (21.1)	112.1 (22.1)	114.2 (22.9)	116.5 (21.7)	118.3 (19.7)	119.8 (19.2)
	90.4 (5.4)	90.1 (5.3)	90.4 (4.8)	90.9 (3.8)	91.9 (3.6)	92.5 (4.4)	91.8 (5.1)	90.6 (5.8)	89.0 (6.6)	86.7 (6.3)	84.9 (6.5)
腰 角 度 (水平角度)	100.7 (22.9)	105.2 (25.2)	107.7 (27.0)	108.8 (28.0)	110.3 (26.4)	114.2 (24.1)	115.4 (23.4)	117.2 (24.0)	115.8 (23.7)	113.6 (21.7)	115.0 (22.0)
	88.5 (4.8)	88.5 (5.0)	89.7 (5.0)	90.2 (4.4)	90.0 (4.1)	90.5 (4.4)	91.1 (6.0)	90.6 (4.6)	91.1 (4.0)	92.6 (4.1)	94.4 (5.3)
胴 角 度 (水平角度)	64.8 (5.2)	62.9 (5.4)	62.6 (5.6)	64.7 (6.0)	68.2 (6.4)	74.1 (5.8)	79.6 (4.8)	83.9 (4.2)	86.8 (4.0)	91.0 (4.1)	96.5 (4.2)
	152.4 (4.9)	150.6 (4.9)	150.2 (5.1)	151.9 (5.6)	155.1 (5.9)	160.7 (5.0)	166.0 (4.3)	170.1 (4.3)	172.6 (4.5)	173.6 (3.8)	170.8 (3.7)

RTD : 右足接地時
M : 踏切前半終了時 (踏切後半開始時)
R : 離地時
水平角度 : 踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度
鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

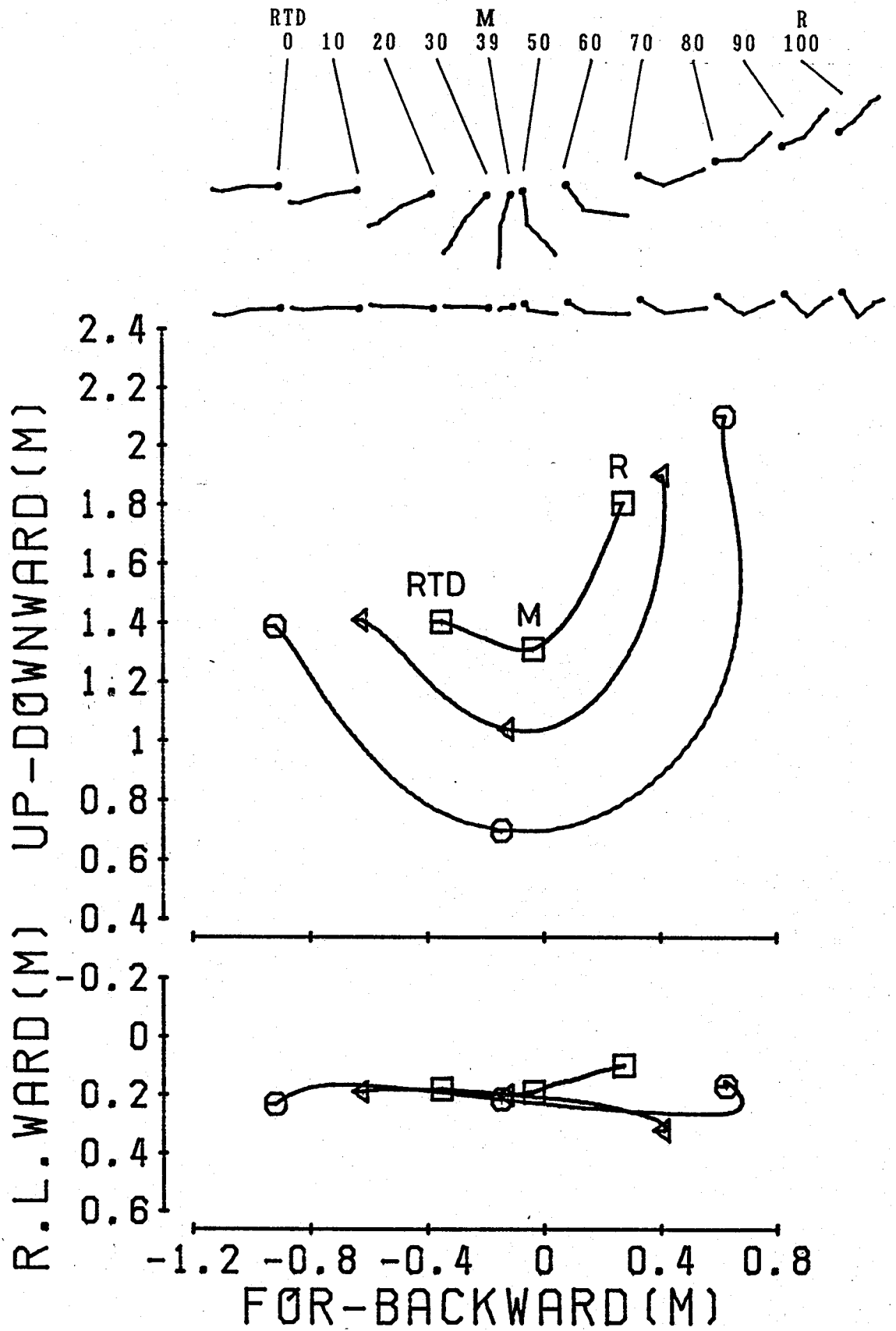


図6-2 踏切局面における右腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右手先，△は右肘，□は右肩の動きを示す）

表 6-2 踏切局面における右腕の角度 (deg.)

	RTD 0	10	20	30	M 39	50	60	70	80	90	R 100
右上腕角度 (水平角度)	155.7 (13.5)	156.0 (15.4)	148.0 (16.5)	129.9 (19.3)	108.0 (20.2)	82.4 (18.9)	57.6 (18.0)	38.4 (20.5)	40.4 (22.0)	51.2 (21.3)	63.1 (20.9)
(鉛直角度)	90.8 (20.0)	83.5 (20.0)	68.8 (19.9)	46.3 (20.2)	25.3 (17.8)	21.6 (8.6)	41.1 (14.1)	71.1 (12.7)	91.3 (13.3)	102.6 (16.7)	107.2 (21.7)
右前腕角度 (水平角度)	143.5 (23.8)	142.4 (24.9)	133.2 (27.8)	116.3 (34.5)	90.1 (35.6)	54.9 (27.7)	33.4 (16.0)	33.4 (15.5)	47.4 (18.1)	57.2 (19.8)	55.3 (22.2)
(鉛直角度)	80.6 (32.9)	74.0 (32.6)	60.2 (29.1)	43.3 (21.4)	32.3 (21.6)	48.9 (27.7)	80.1 (25.6)	108.1 (18.3)	125.3 (14.9)	128.9 (18.2)	124.8 (22.0)
右肩関節角度	64.5 (18.6)	55.0 (17.9)	40.3 (16.7)	22.8 (13.9)	19.4 (7.2)	30.3 (13.8)	52.3 (13.9)	78.3 (13.2)	95.0 (13.6)	101.5 (17.1)	100.4 (21.7)
右肘関節角度	152.9 (16.1)	154.2 (17.1)	155.1 (17.8)	156.9 (19.2)	154.8 (22.1)	142.4 (22.7)	132.3 (16.9)	125.5 (18.6)	112.5 (15.8)	102.6 (18.3)	98.3 (19.5)

RTD : 右足接地時

M : 踏切前半終了時 (踏切後半開始時)

R : 離地時

水平角度 : 踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

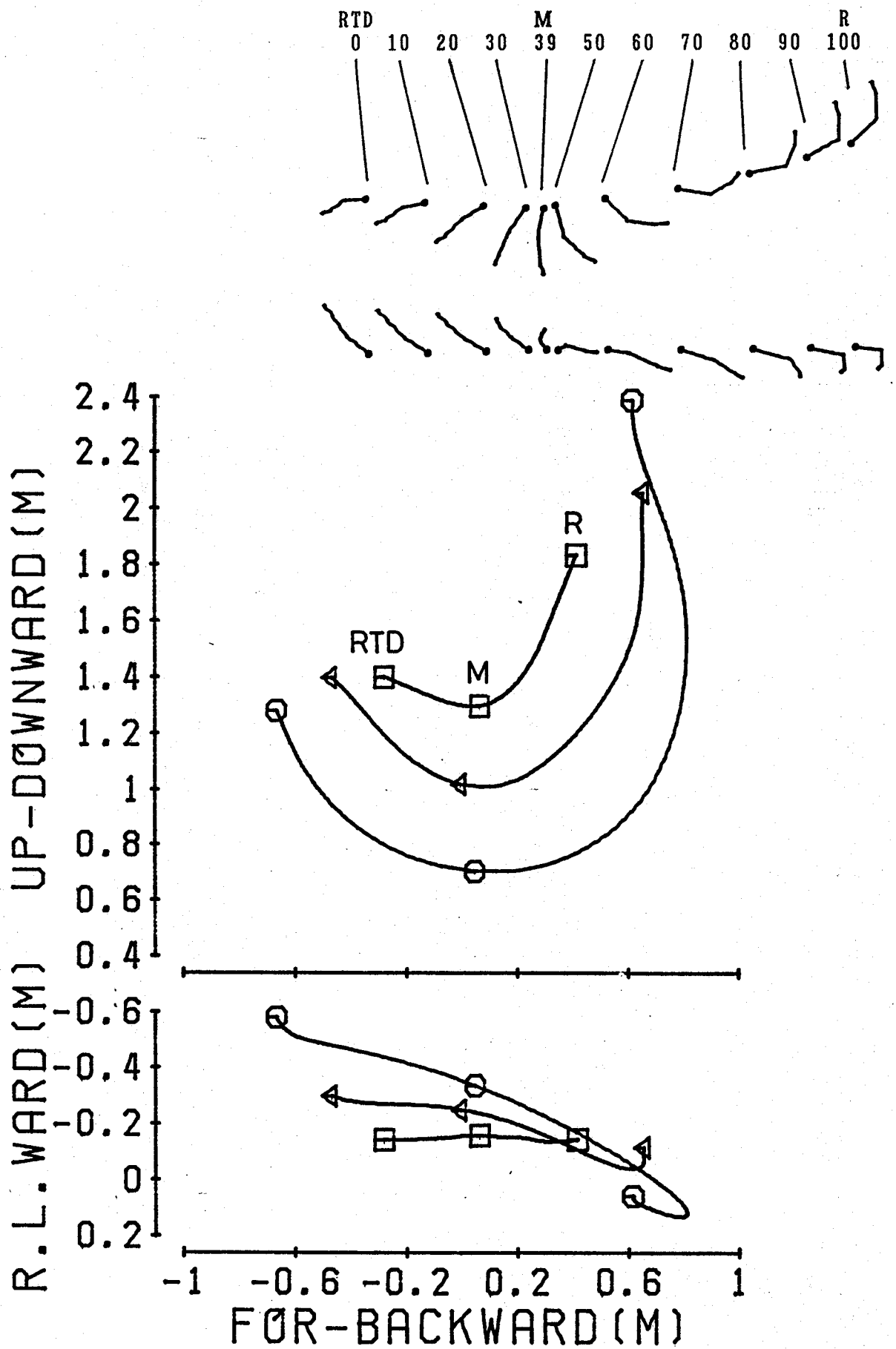


図6-3 踏切局面における左腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は左手先，△は左肘，□は左肩の動きを示す）

表 6-3 踏切局面における左腕の角度 (deg.)

	RTD 0	10	20	30	M 39	50	60	70	80	90	R 100
左上腕角度 (水平角度)	133.3 (20.6)	138.0 (17.4)	134.0 (14.4)	121.1 (16.8)	103.0 (17.8)	77.2 (18.2)	48.4 (15.4)	25.9 (13.2)	24.2 (11.7)	33.0 (11.3)	44.4 (11.3)
(鉛直角度)	88.9 (23.3)	80.4 (23.6)	65.6 (22.6)	43.9 (21.2)	26.7 (13.8)	22.0 (11.4)	44.9 (15.9)	79.3 (9.4)	99.3 (9.0)	116.5 (9.9)	130.6 (8.9)
左前腕角度 (水平角度)	117.0 (26.1)	121.8 (23.8)	120.9 (24.9)	108.6 (28.9)	84.2 (32.1)	49.5 (26.6)	35.7 (14.7)	45.7 (14.8)	72.3 (17.3)	88.0 (17.7)	90.9 (16.7)
(鉛直角度)	69.6 (32.3)	66.1 (31.1)	58.0 (25.4)	43.1 (20.3)	34.7 (17.3)	49.4 (28.3)	82.2 (23.3)	114.8 (17.7)	139.9 (15.3)	146.0 (9.1)	144.8 (9.7)
左肩関節角度	66.3 (22.7)	54.6 (22.1)	39.3 (19.5)	23.6 (12.9)	18.7 (8.6)	30.9 (15.1)	56.9 (14.5)	86.9 (10.6)	103.7 (11.3)	116.3 (11.9)	124.6 (10.8)
左肘関節角度	154.6 (19.4)	157.1 (18.5)	161.9 (19.0)	161.4 (20.6)	155.2 (22.4)	140.8 (22.3)	139.3 (18.3)	139.4 (19.6)	124.1 (23.1)	120.6 (22.6)	125.9 (21.4)

RTD : 右足接地時

M : 踏切前半終了時 (踏切後半開始時)

R : 離地時

水平角度 : 踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

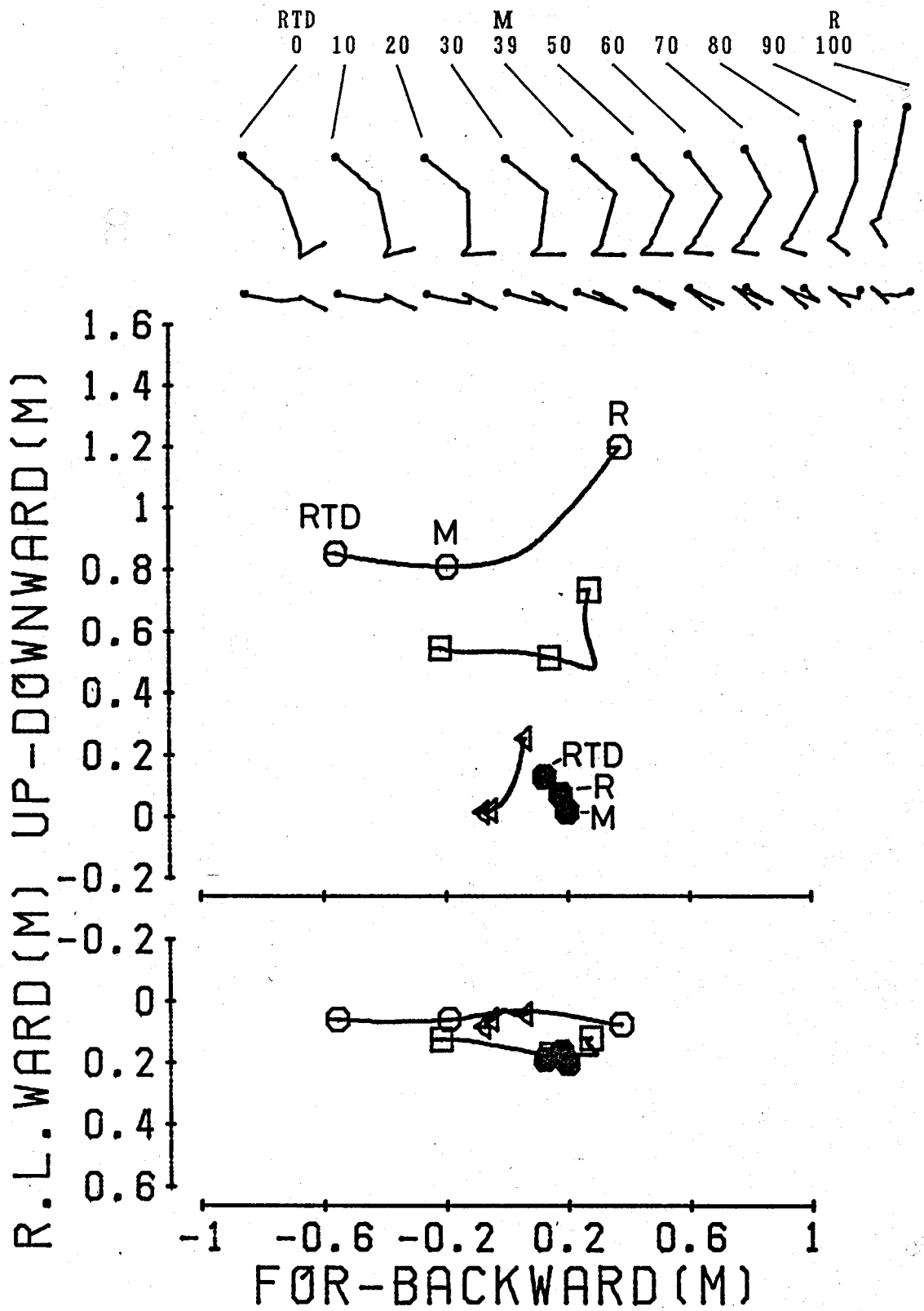


図6-4 踏切局面における右脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，●の線は右足先，△は右踵，□は右膝，○は右腰の動きを示す）

表 6-4 踏切局面における右足の角度 (deg.)

	RTD 0	10	20	30	M 39	50	60	70	80	90	R 100
右大腿角度 (水平角度)	43.3 (7.4)	42.8 (7.6)	41.3 (7.2)	42.3 (6.8)	44.9 (6.7)	50.0 (6.9)	56.4 (8.8)	64.2 (9.6)	76.4 (10.5)	92.1 (12.0)	102.2 (10.8)
(鉛直角度)	48.9 (7.7)	49.2 (7.9)	51.2 (7.9)	51.8 (8.4)	50.4 (8.6)	46.9 (9.0)	41.5 (9.9)	34.3 (10.0)	23.3 (8.6)	15.2 (5.7)	15.0 (9.6)
右下腿角度 (水平角度)	72.3 (10.9)	79.0 (12.3)	88.2 (11.7)	97.3 (12.0)	105.8 (12.1)	113.9 (11.6)	118.5 (12.4)	120.0 (12.4)	117.3 (11.3)	110.4 (10.2)	107.9 (11.8)
(鉛直角度)	21.0 (11.1)	17.9 (11.0)	16.2 (10.2)	19.6 (10.0)	25.6 (9.7)	32.4 (9.5)	37.0 (10.2)	38.2 (10.1)	34.2 (9.3)	24.5 (9.2)	20.1 (11.3)
右足角度 (水平角度)	42.3 (12.5)	34.1 (14.3)	30.4 (15.7)	30.8 (17.8)	32.2 (18.7)	36.1 (18.7)	41.7 (20.4)	45.7 (21.9)	48.2 (23.3)	54.6 (19.9)	63.8 (15.2)
(鉛直角度)	115.1 (9.9)	102.3 (7.3)	93.1 (5.1)	89.9 (4.5)	88.7 (4.4)	87.2 (5.0)	84.6 (7.9)	82.0 (9.5)	76.8 (9.9)	61.1 (11.5)	44.9 (10.7)
右腰関節角度	104.7 (10.7)	102.6 (11.3)	100.0 (12.2)	101.1 (13.0)	105.7 (13.0)	115.2 (11.7)	126.3 (11.6)	138.2 (11.2)	152.8 (10.2)	163.3 (6.7)	159.7 (10.8)
右膝関節角度	147.6 (11.5)	139.8 (12.8)	127.1 (11.1)	115.9 (10.4)	107.9 (10.4)	102.8 (10.3)	103.2 (10.4)	109.4 (11.0)	126.5 (12.0)	154.0 (12.4)	168.4 (8.2)
右足関節角度	76.0 (7.5)	81.6 (8.6)	81.8 (8.8)	75.8 (9.8)	68.9 (9.6)	63.2 (8.5)	62.0 (8.5)	64.5 (8.9)	74.3 (11.4)	99.8 (13.0)	121.3 (9.1)

RTD : 右足接地時
M : 踏切前半終了時 (踏切後半開始時)
R : 離地時

水平角度 : 踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度
鉛直角度 : 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

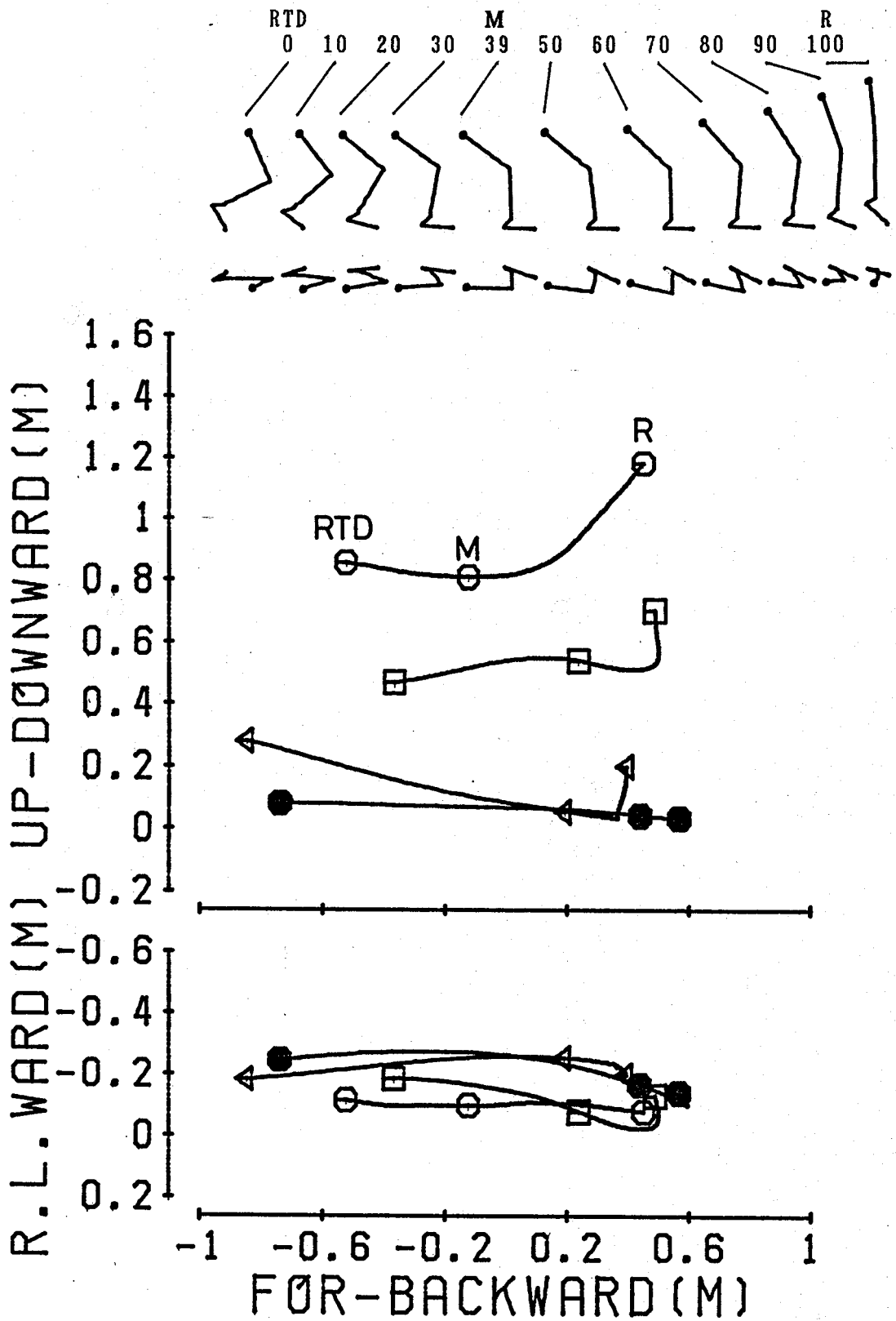


図6-5 踏切局面における左脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，●の線は左足先，△は左踵，□は左膝，○は左腰の動きを示す）

表 6-5 踏切局面における左脚の角度 (deg.)

	RTD 0	10	20	30	M 39	50	60	70	80	90	R 100
左大腿角度 (水平角度)	68.7 (19.2)	54.1 (15.1)	41.7 (10.3)	36.9 (7.3)	37.9 (6.4)	41.7 (4.4)	45.4 (4.5)	50.1 (4.8)	58.2 (5.2)	71.7 (5.7)	85.4 (6.0)
(鉛直角度)	27.4 (15.8)	39.2 (14.2)	50.4 (9.4)	55.0 (6.1)	54.4 (5.4)	51.4 (4.4)	48.2 (4.2)	43.2 (4.4)	33.9 (5.1)	19.4 (5.3)	10.1 (2.9)
左下腿角度 (水平角度)	151.2 (17.6)	137.5 (21.6)	119.3 (22.3)	100.8 (20.7)	88.7 (15.3)	84.7 (14.8)	88.6 (16.4)	95.2 (13.7)	97.9 (10.7)	94.9 (9.2)	91.7 (6.5)
(鉛直角度)	65.4 (19.3)	52.0 (22.2)	38.4 (20.2)	29.5 (14.4)	25.8 (11.5)	27.3 (10.0)	28.2 (9.1)	27.1 (7.4)	23.4 (6.2)	16.0 (4.9)	9.9 (4.3)
左足角度 (水平角度)	63.9 (29.6)	45.9 (29.7)	29.2 (20.0)	20.7 (14.7)	25.3 (15.7)	31.0 (17.4)	32.7 (18.6)	33.3 (19.4)	33.3 (18.9)	38.0 (15.5)	48.1 (9.1)
(鉛直角度)	38.5 (22.7)	55.9 (23.8)	72.3 (20.5)	83.7 (13.2)	87.1 (8.6)	88.0 (6.9)	87.6 (6.7)	87.6 (8.3)	82.7 (9.3)	69.2 (9.1)	48.6 (7.0)
左腰関節角度	130.4 (19.0)	114.2 (14.5)	101.7 (9.2)	98.3 (8.5)	101.7 (9.1)	110.5 (7.9)	119.6 (6.8)	129.1 (6.2)	141.5 (6.0)	159.8 (6.6)	167.3 (5.7)
左膝関節角度	93.0 (10.0)	93.1 (13.1)	98.6 (18.3)	110.3 (20.1)	119.9 (14.3)	123.7 (14.9)	121.2 (14.3)	120.4 (9.2)	129.8 (7.1)	152.0 (8.3)	170.6 (5.6)
左足関節角度	87.5 (14.9)	82.7 (13.6)	79.2 (10.0)	80.4 (10.0)	83.6 (11.0)	83.0 (13.5)	79.2 (14.7)	75.3 (12.2)	79.3 (11.3)	99.1 (10.9)	126.0 (9.2)

RTD : 右足接地時

M : 踏切前半終了時 (踏切後半開始時)

R : 離地時

水平角度 : 踏切開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

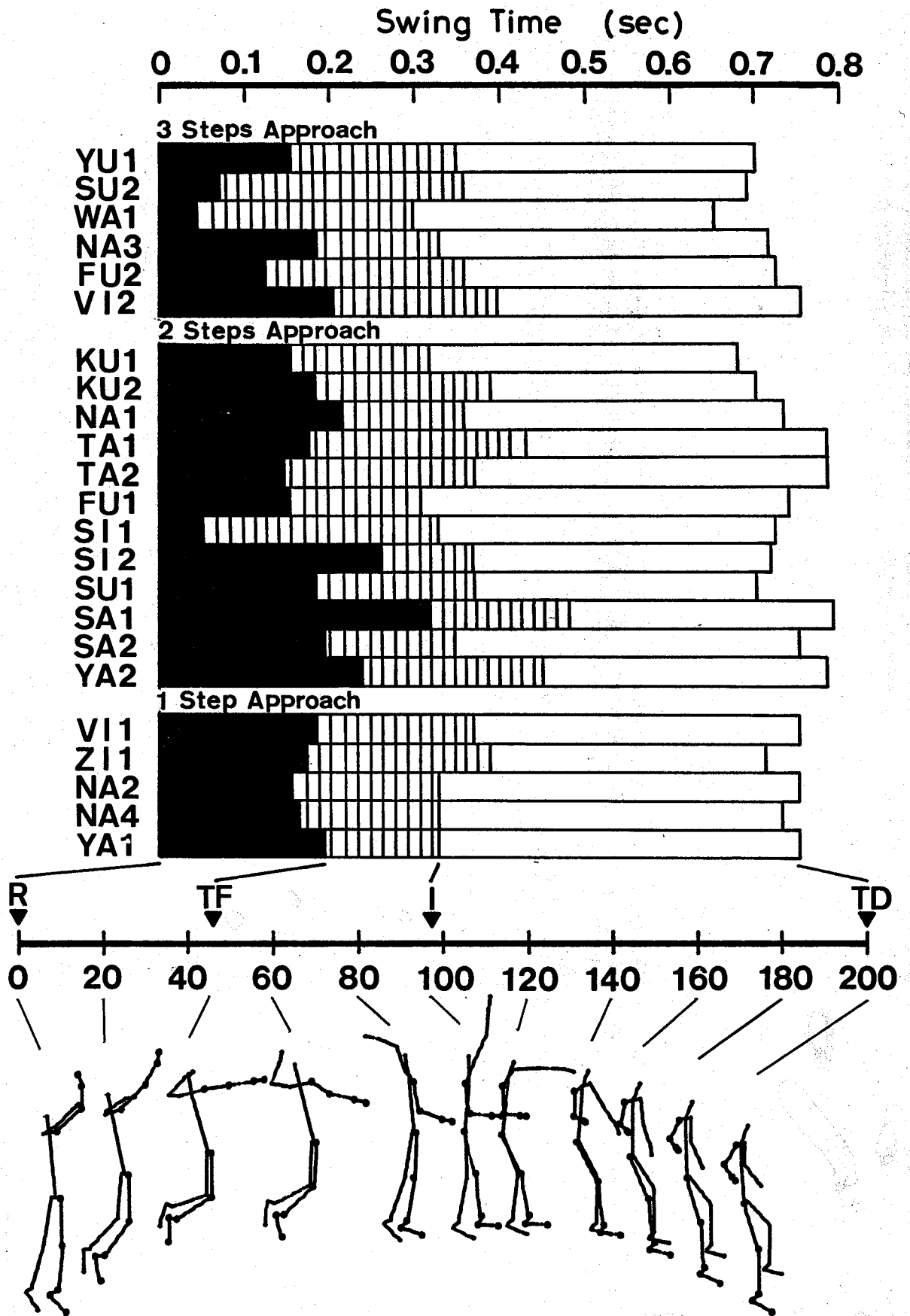


図7 各選手のスイング時間（上図：横棒グラフの黒塗り部分はバックスイング時間，縦線部分はフォアスイング時間，白抜き部分はフォロースルー時間を示す）と，このスイング時間全体に対するバックスイング，フォアスイング，フォロースルー各時間の割合で規格化そして平均化したスイング動作（下図）

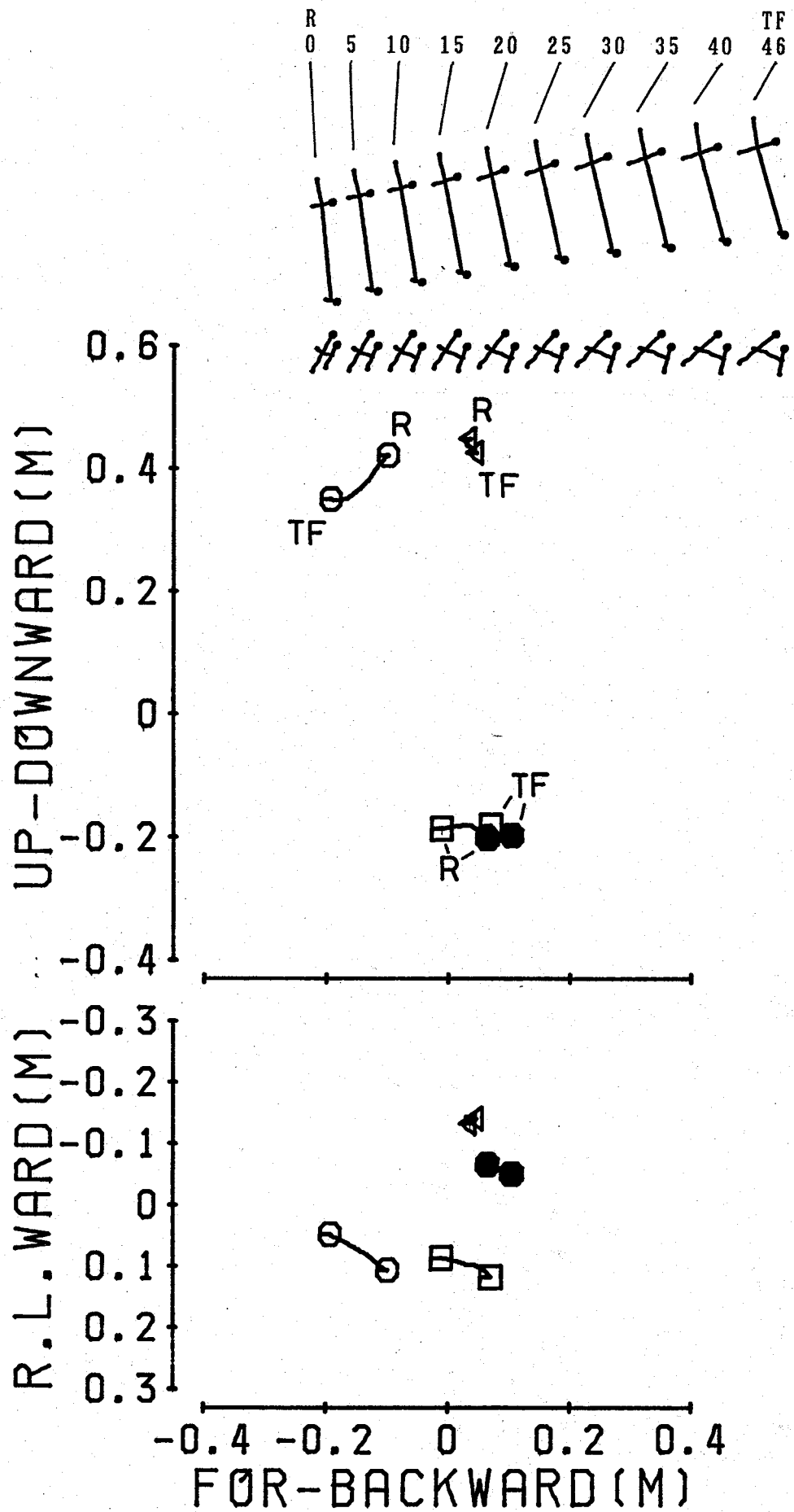


図7-1-1 バックスイング期間における胴体の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は右腰，●は左腰の動きを示す）

表 7-1-1 バックスイングにおける胴体の角度 (deg.)

	R	5	10	15	20	25	30	35	40	TF
肩 角 度 (水平角度)	0									46
	119.1 (22.8) 84.9 (6.5)	120.2 (23.2) 83.8 (6.4)	121.9 (23.5) 82.2 (6.0)	123.6 (22.8) 80.2 (5.4)	125.6 (21.7) 78.3 (5.3)	128.6 (20.8) 76.9 (5.8)	131.6 (20.3) 75.8 (6.1)	134.1 (20.4) 75.4 (6.2)	136.6 (20.1) 75.9 (6.1)	138.2 (19.2) 76.8 (6.9)
腰 角 度 (水平角度)	0									
	115.8 (24.7) 95.2 (4.5)	114.1 (25.9) 95.9 (5.2)	111.7 (26.8) 96.1 (4.9)	109.9 (26.5) 95.9 (4.2)	108.5 (25.8) 95.6 (3.9)	108.0 (24.9) 95.6 (3.9)	107.1 (24.8) 95.5 (3.9)	105.1 (25.3) 95.2 (3.5)	103.4 (25.7) 94.9 (3.3)	102.4 (26.4) 94.7 (3.6)
胴 角 度 (水平角度)	0									
	96.0 (4.6) 170.8 (3.7)	98.6 (5.0) 168.4 (4.4)	100.1 (4.7) 166.9 (4.8)	101.2 (4.5) 165.9 (5.1)	102.0 (4.6) 165.2 (5.3)	102.6 (4.6) 164.7 (5.1)	103.3 (4.5) 164.0 (4.9)	104.0 (4.4) 163.2 (4.7)	104.7 (4.4) 162.2 (4.7)	105.3 (4.5) 161.1 (4.7)

R : 離地時

TF : 胴体のフォアスイング開始時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

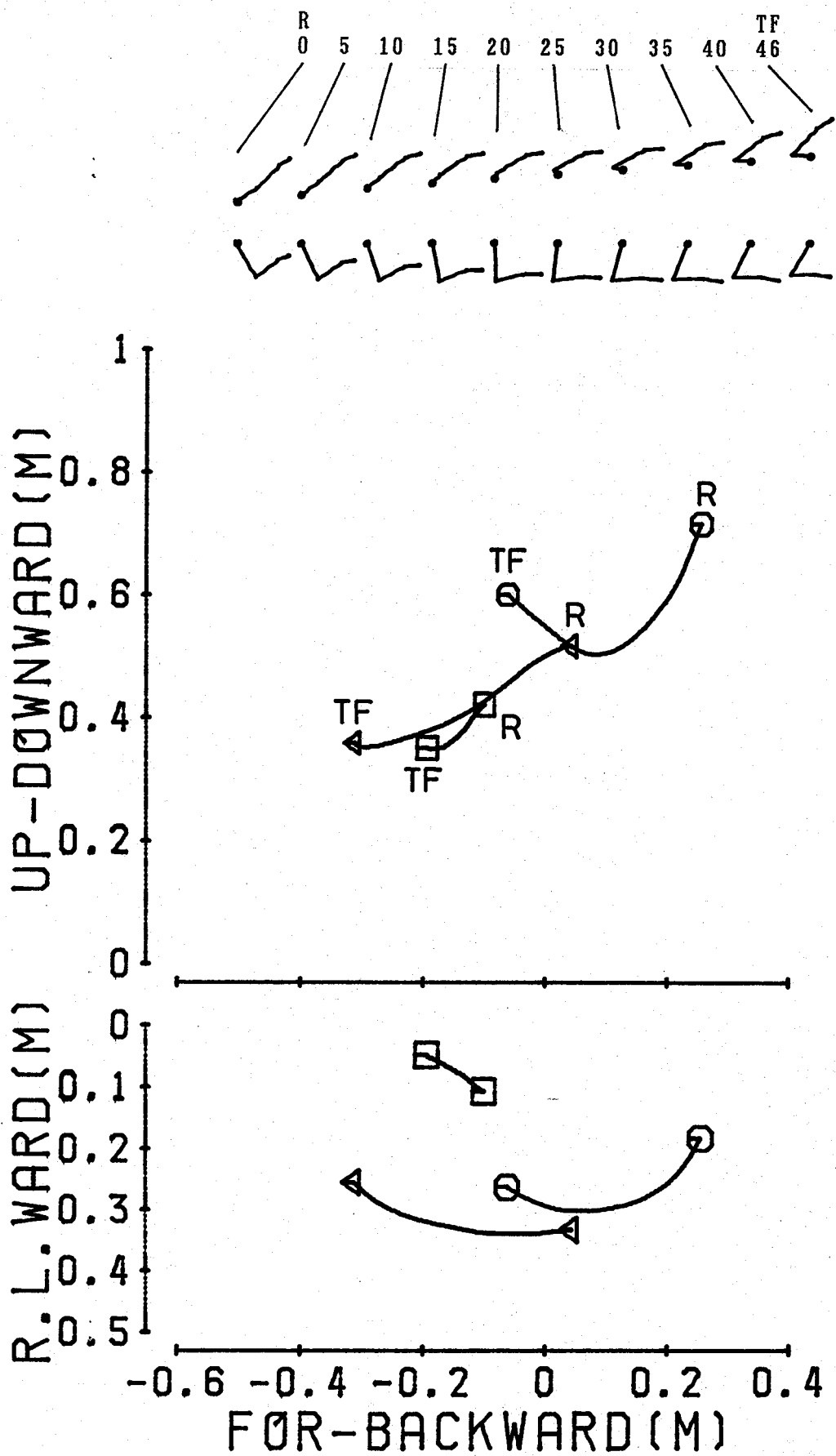


図7-1-2 バックスイング期間における右腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右手先，△は右肘，□は右肩の動きを示す）

表 7-1-2 バックスイングにおける右腕の角度 (deg.)

	R	5	10	15	20	25	30	35	40	TF
右上腕角度 (水平角度)	62.1 (19.6)	68.3 (20.5)	74.6 (21.1)	81.1 (22.4)	88.1 (23.8)	95.4 (25.0)	103.0 (25.9)	109.0 (26.7)	113.5 (27.6)	117.7 (29.0)
	107.2 (21.7)	106.5 (24.8)	103.8 (27.2)	100.2 (29.1)	96.6 (30.3)	93.7 (30.3)	92.2 (28.5)	91.5 (25.5)	91.1 (22.5)	92.1 (20.1)
右前腕角度 (水平角度)	54.9 (23.1)	51.9 (24.4)	48.7 (23.2)	45.1 (21.3)	41.3 (18.5)	38.8 (15.6)	37.5 (15.5)	38.3 (17.0)	42.3 (18.2)	50.7 (21.8)
	124.8 (22.0)	122.2 (23.8)	120.2 (24.1)	119.1 (23.6)	118.3 (21.8)	117.4 (19.3)	117.9 (17.7)	120.8 (16.2)	125.7 (14.0)	132.7 (13.5)
右肩関節角度	100.4 (21.7)	98.0 (24.8)	95.0 (27.3)	92.3 (29.8)	90.7 (32.0)	90.3 (32.8)	91.3 (31.3)	92.3 (28.2)	93.1 (24.8)	94.9 (20.9)
右肘関節角度	98.3 (19.5)	95.8 (20.7)	92.5 (21.7)	89.2 (22.0)	86.4 (21.0)	83.4 (19.4)	79.8 (17.6)	77.0 (15.5)	74.8 (13.9)	72.8 (12.9)

R：離地時

TF：胴体のフォアスイング開始時

水平角度：スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度：鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

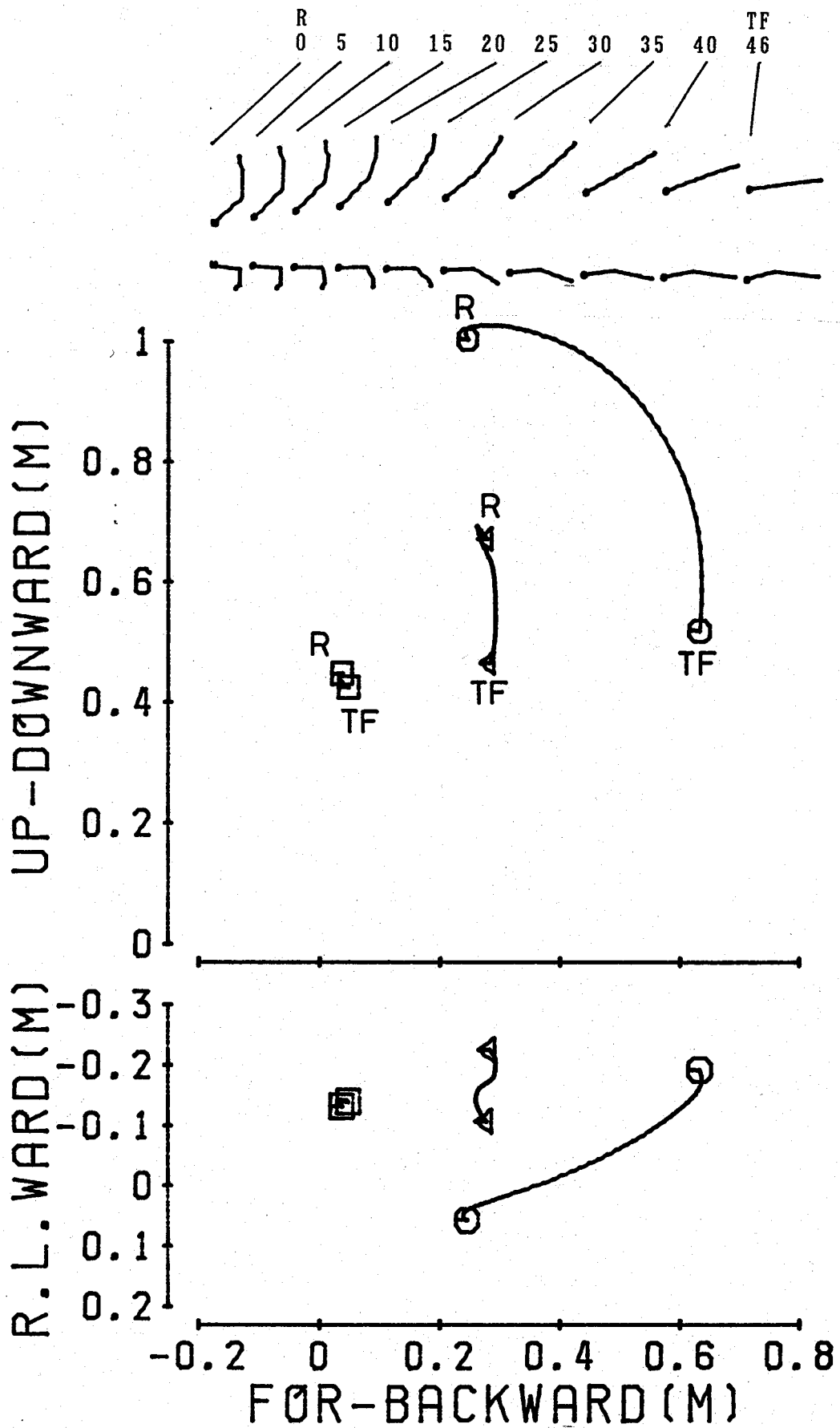


図7-1-3 バックスイング期間における左腕の動き（上図は真横から、下図は真上から見たもので、○の線は左手先、△は左肘、□は左肩の動きを示す）

表 7-1-3 バックスイングにおける左腕の角度 (deg.)

	R	5	10	15	20	25	30	35	40	TF
左 上 腕 角 度 (水平角度)	44.7 (10.2)	47.9 (9.7)	49.0 (10.0)	48.4 (10.7)	46.8 (11.4)	44.1 (12.4)	40.6 (14.0)	37.5 (15.8)	35.2 (19.0)	37.8 (18.2)
	130.6 (8.9)	134.3 (7.8)	135.3 (8.2)	134.6 (9.4)	132.2 (10.4)	128.6 (12.0)	123.5 (15.0)	117.2 (18.6)	108.7 (23.3)	95.7 (29.0)
左 前 腕 角 度 (水平角度)	89.9 (18.0)	87.7 (17.5)	82.6 (17.3)	74.9 (18.0)	65.6 (19.1)	56.7 (19.5)	47.9 (20.3)	40.3 (21.0)	35.9 (19.9)	33.5 (19.8)
	144.8 (9.7)	144.5 (11.4)	144.1 (12.6)	142.5 (13.2)	139.4 (14.3)	134.6 (15.6)	127.4 (17.7)	118.0 (20.8)	109.0 (23.2)	99.0 (25.7)
左 肩 関 節 角 度	124.6 (10.8)	125.7 (9.9)	125.2 (10.0)	123.2 (10.6)	120.1 (11.4)	116.1 (12.8)	110.5 (15.5)	104.0 (18.5)	95.9 (22.4)	84.2 (27.3)
左 肘 関 節 角 度	125.9 (21.4)	129.2 (19.2)	133.5 (17.6)	139.1 (16.7)	145.3 (15.8)	150.4 (14.2)	154.5 (13.0)	155.9 (13.0)	154.8 (14.6)	151.0 (16.2)

R: 離地時

TF: 胴体のフォアスイング開始時

水平角度: スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

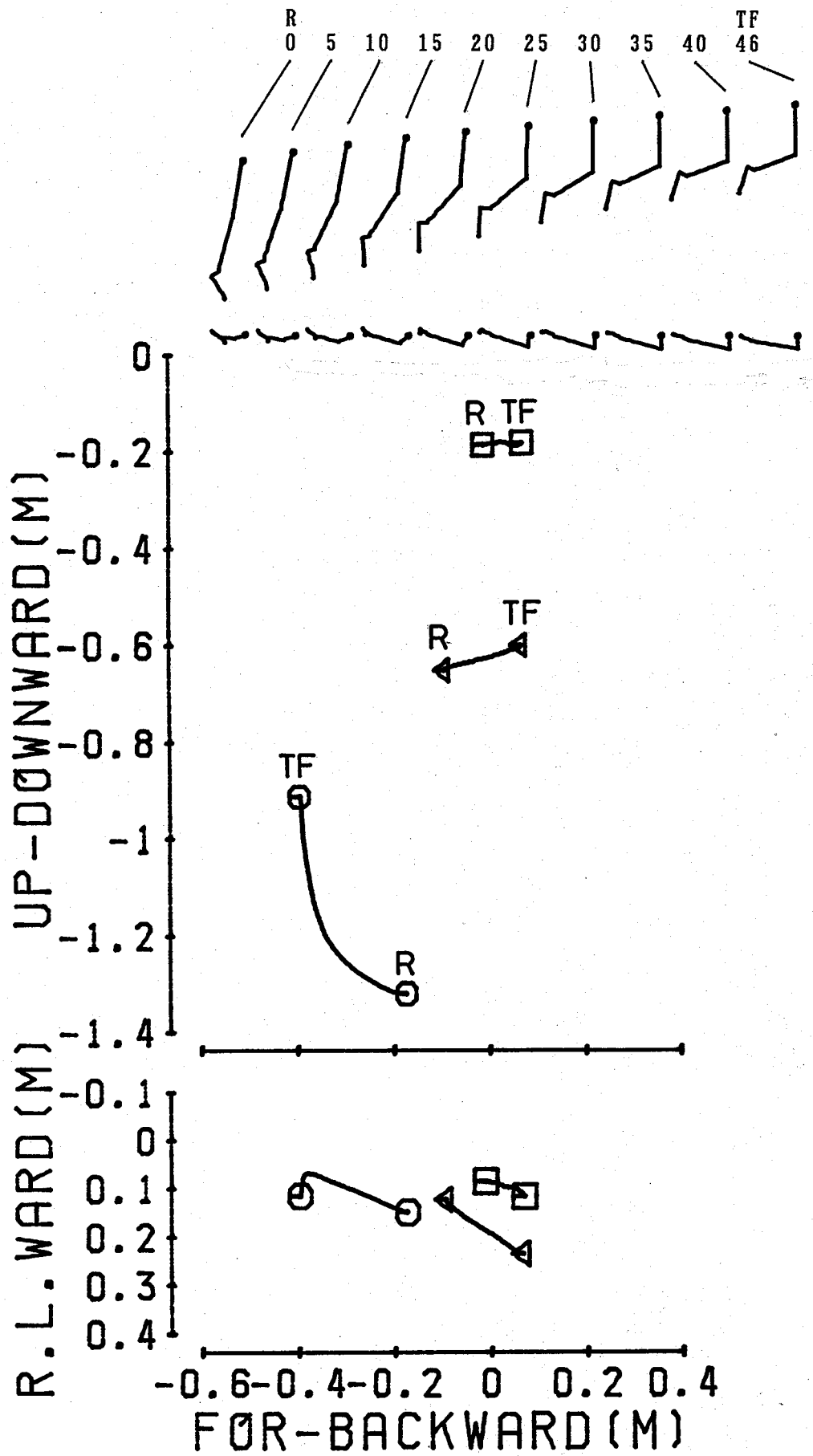


図7-1-4 バックスイング期間における右脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右足先，△は右膝，□は右腰の動きを示す）

表 7-1-4 バックスイングにおける右脚の角度 (deg.)

	R	5	10	15	20	25	30	35	40	TF
右大腿角度 (水平角度)	100.2 (10.6)	102.0 (10.1)	101.2 (10.3)	98.9 (11.5)	96.0 (12.5)	93.1 (13.0)	91.1 (13.2)	90.1 (13.2)	89.6 (13.2)	90.2 (13.2)
	13.3 (8.8)	14.9 (8.9)	15.3 (8.8)	16.5 (8.2)	18.1 (8.1)	20.1 (8.6)	21.7 (9.3)	22.3 (9.9)	22.1 (10.3)	21.4 (10.2)
右下腿角度 (水平角度)	105.9 (11.1)	109.3 (11.8)	115.4 (12.4)	122.2 (13.3)	128.4 (14.1)	133.7 (15.7)	137.8 (17.7)	140.7 (19.3)	142.6 (20.1)	143.0 (20.0)
	17.7 (10.6)	21.3 (11.9)	28.8 (14.0)	37.9 (16.9)	46.9 (19.2)	55.4 (21.5)	62.9 (24.0)	68.7 (26.0)	71.8 (27.2)	71.8 (27.4)
右腰関節角度	161.9 (9.4)	157.9 (9.6)	157.3 (10.1)	158.2 (11.1)	158.6 (10.7)	158.9 (10.5)	158.8 (11.0)	158.6 (10.9)	158.4 (10.6)	158.4 (11.3)
右膝関節角度	168.4 (8.1)	166.2 (9.1)	157.1 (11.9)	144.6 (16.8)	131.8 (20.5)	119.8 (23.5)	110.2 (25.9)	104.2 (27.3)	102.0 (28.1)	104.3 (29.1)

R: 離地時

TF: 胴体のフォアスイング開始時

水平角度: スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

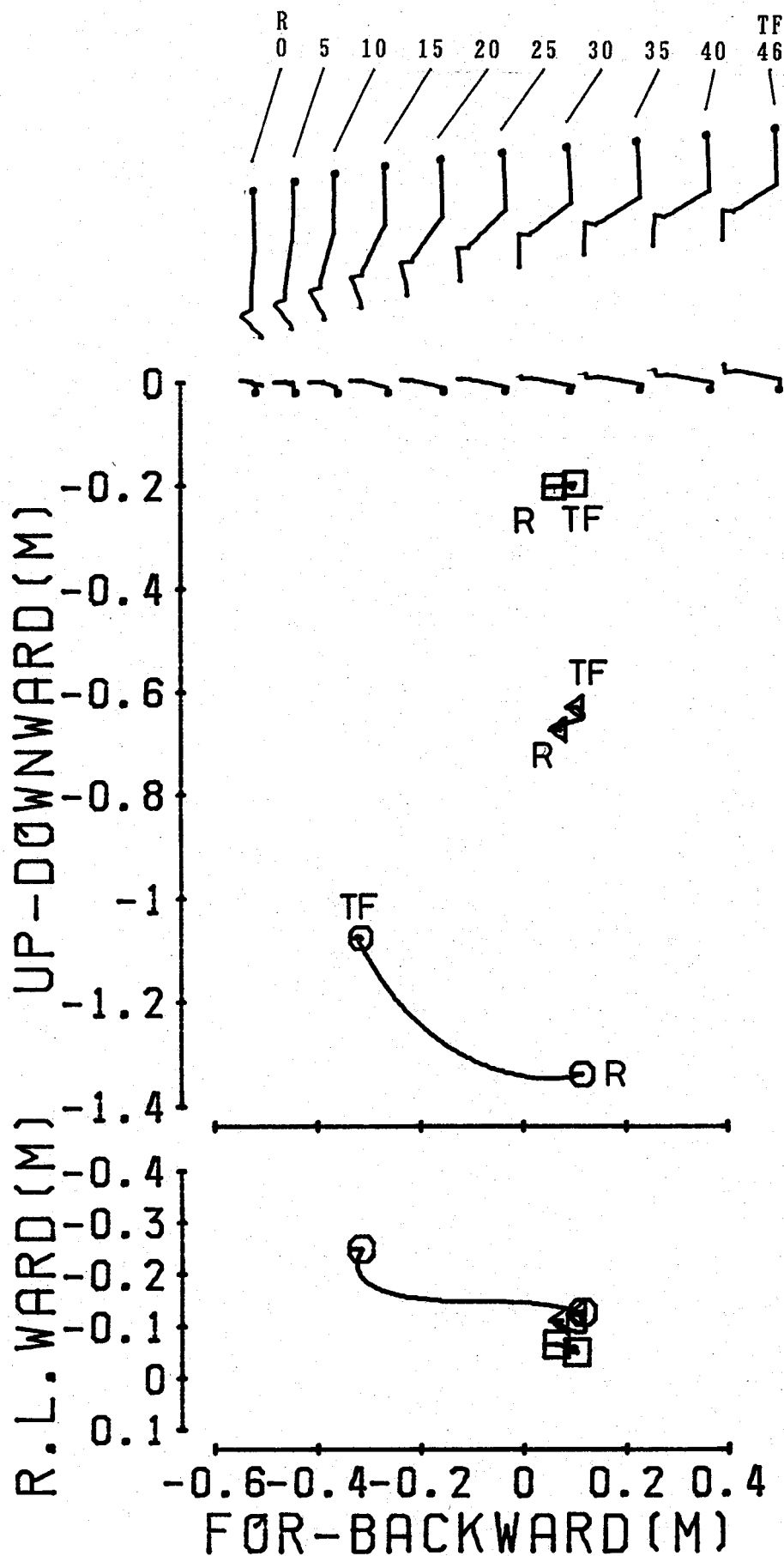


図7-1-5 バックスイング期間における左脚の動き（上図は真横から，
下図は真上から見たもので，○の線は左足先，△は左膝，□
は左腰の動きを示す）

表 7-1-5 バックスイングにおける左足の角度 (deg.)

	R	5	10	15	20	25	30	35	40	TF
左大腿角度 (水平角度)	88.8 (11.1)	91.7 (9.8)	91.8 (9.0)	90.5 (8.8)	88.9 (9.1)	87.6 (9.4)	87.0 (9.2)	87.2 (9.5)	87.8 (10.1)	89.3 (10.2)
	11.8 (5.9)	10.3 (6.4)	9.7 (5.7)	9.1 (5.4)	9.5 (5.1)	10.3 (4.8)	10.8 (4.5)	11.5 (4.6)	12.6 (5.2)	14.3 (5.9)
左下腿角度 (水平角度)	95.2 (12.0)	98.8 (13.0)	106.1 (13.3)	114.9 (13.3)	123.3 (13.6)	131.0 (14.6)	137.2 (15.8)	141.0 (15.9)	142.5 (16.0)	141.3 (16.8)
	12.3 (8.6)	14.5 (10.5)	20.8 (12.6)	29.9 (13.7)	39.3 (14.8)	48.1 (16.1)	55.6 (17.0)	60.8 (17.2)	62.9 (17.3)	60.9 (17.9)
左腰関節角度	165.1 (9.2)	162.3 (9.3)	161.8 (9.4)	162.5 (9.0)	163.2 (8.6)	163.4 (8.0)	163.3 (8.2)	161.8 (8.1)	158.9 (8.3)	154.4 (8.5)
左膝関節角度	170.7 (5.6)	169.3 (7.1)	162.9 (12.2)	151.9 (15.6)	140.6 (18.1)	130.5 (20.1)	122.5 (21.3)	117.6 (22.0)	116.5 (22.6)	120.6 (23.2)

R: 離地時

TF: 胴体のフォアスイング開始時

水平角度: スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

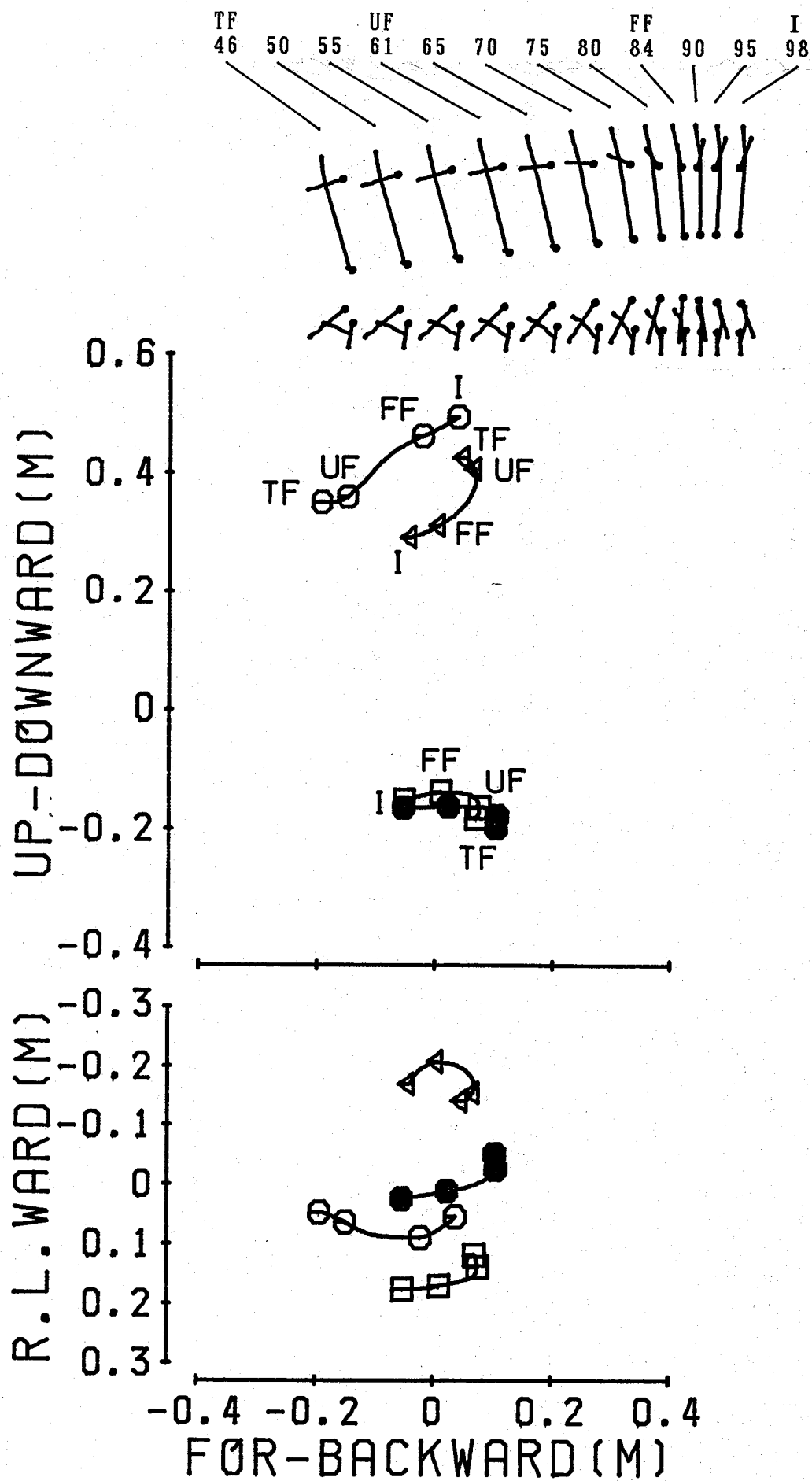


図 7-2-1 フォアスイング期間における胴体の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は右腰，●は左腰の動きを示す）

表 7-2-1 フォアスイングにおける胴体の角度 (deg.)

	TF 46	50	55	UF 61	65	70	75	80	FF 84	90	95	I 98
肩 角 度 (水平角度)	138.2 (19.2)	137.8 (18.9)	136.2 (19.7)	133.3 (21.3)	130.2 (22.0)	124.0 (22.6)	115.6 (23.1)	104.6 (21.8)	95.1 (20.1)	83.9 (22.3)	77.7 (23.5)	75.7 (23.3)
	76.8 (6.9)	76.5 (7.7)	77.5 (8.6)	81.4 (9.3)	85.3 (9.9)	92.1 (10.2)	100.8 (9.5)	109.5 (9.5)	115.3 (9.8)	121.4 (9.6)	125.1 (9.7)	126.8 (9.6)
腰 角 度 (水平角度)	102.2 (26.4)	102.1 (27.4)	102.1 (28.4)	101.7 (28.8)	100.8 (29.4)	99.6 (30.0)	99.0 (30.8)	97.9 (30.1)	95.9 (29.1)	93.0 (28.3)	90.6 (27.7)	89.7 (27.5)
	94.7 (3.7)	94.8 (3.7)	94.8 (3.8)	94.6 (4.2)	94.8 (4.4)	95.5 (4.3)	96.7 (5.0)	97.5 (5.2)	97.5 (5.0)	96.6 (4.8)	95.1 (4.9)	94.2 (5.3)
胴 角 度 (水平角度)	105.3 (4.5)	105.5 (4.4)	105.3 (4.6)	104.4 (5.7)	103.3 (6.7)	101.2 (7.8)	98.0 (8.6)	94.2 (9.5)	91.1 (10.3)	87.0 (10.5)	84.1 (10.5)	83.0 (10.6)
	161.1 (4.7)	160.5 (4.4)	160.0 (4.2)	160.0 (4.4)	160.0 (4.9)	160.3 (5.6)	160.9 (6.0)	161.1 (6.3)	160.7 (6.1)	160.0 (5.7)	159.6 (5.7)	159.5 (6.0)

TF：胴体のフォアスイング開始時

UF：上腕のフォアスイング開始時

FF：前腕のフォアスイング開始時

I：インパクト時

水平角度：スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度：鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

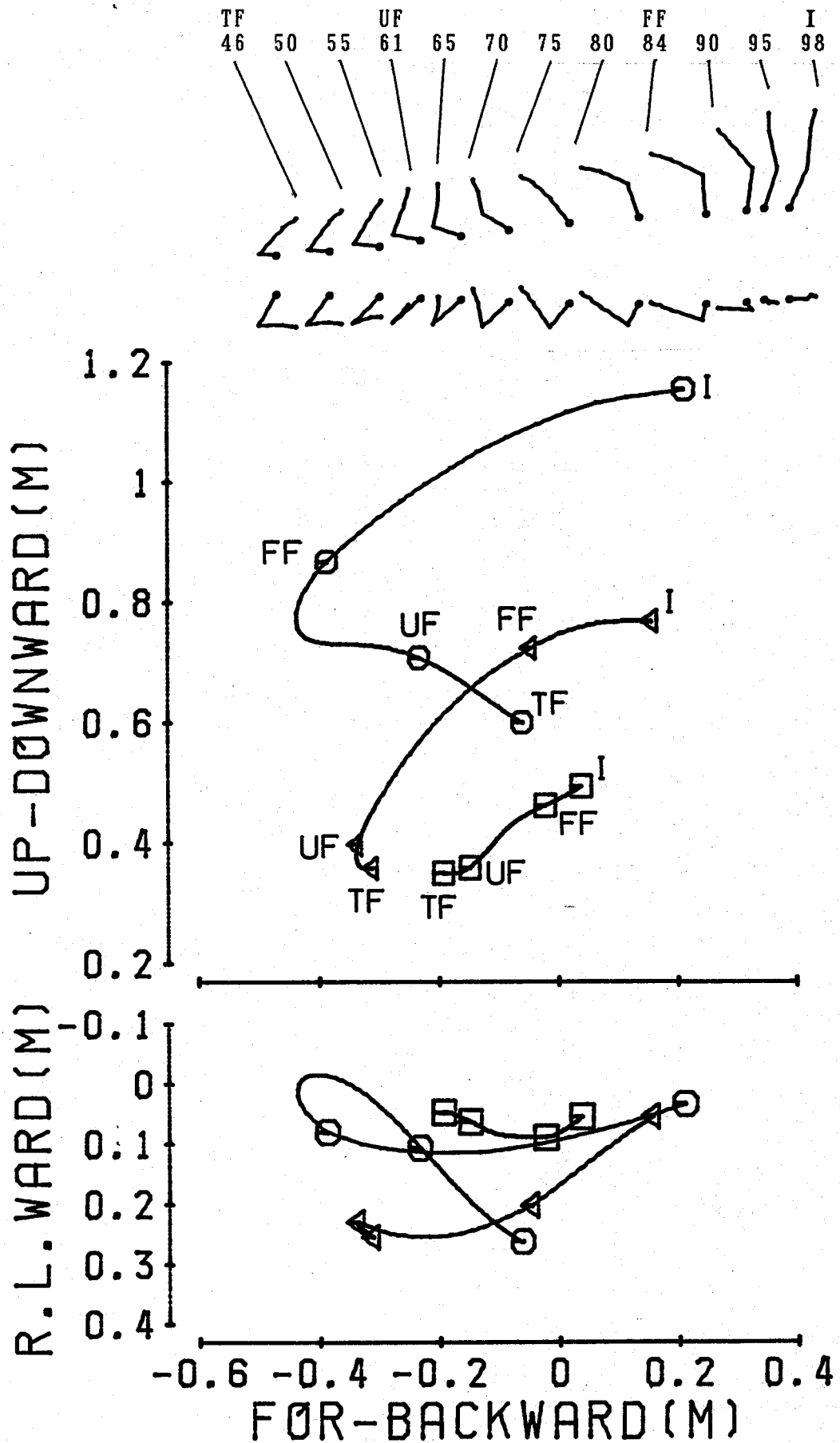


図7-2-2 フォアスイング期間における右腕の動き（上図は真横から，
下図は真上から見たもので，○の線は右手先，△は右肘，□
は右肩の動きを示す）

表 7-2-2 フォアスイングにおける右腕の角度 (deg.)

	TF 46	50	55	UF 61	65	70	75	80	FF 84	90	95	I 98
右上腕角度 (水平角度)	117.7 (29.0)	122.5 (28.5)	128.0 (28.2)	131.0 (28.3)	129.9 (28.2)	124.9 (27.4)	115.1 (24.7)	102.8 (22.2)	92.8 (21.7)	81.3 (22.6)	72.3 (18.9)	66.8 (16.8)
(鉛直角度)	92.1 (19.6)	92.3 (18.4)	93.6 (17.2)	96.7 (16.8)	102.1 (17.0)	110.7 (17.0)	122.8 (16.3)	137.2 (15.5)	148.0 (16.3)	156.7 (16.3)	156.5 (17.7)	151.7 (16.8)
右前腕角度 (水平角度)	50.7 (21.8)	55.9 (21.6)	63.5 (22.1)	74.1 (23.6)	83.0 (24.5)	97.5 (24.5)	115.9 (22.7)	135.5 (18.3)	143.8 (18.5)	127.3 (14.7)	100.9 (13.4)	85.2 (14.3)
(鉛直角度)	132.7 (13.5)	136.9 (13.9)	140.7 (15.6)	141.0 (18.4)	137.8 (21.3)	127.6 (21.9)	115.6 (20.9)	109.3 (17.3)	113.8 (16.2)	134.0 (14.1)	158.8 (9.7)	163.8 (10.3)
右肩関節角度	94.9 (20.9)	96.1 (19.0)	98.4 (16.9)	101.9 (15.1)	104.7 (14.8)	109.7 (15.1)	116.3 (15.3)	125.2 (15.0)	133.3 (15.6)	142.2 (15.6)	147.4 (16.7)	147.7 (16.6)
右肘関節角度	72.8 (12.9)	70.8 (11.1)	69.6 (9.9)	71.1 (11.2)	75.4 (12.5)	82.6 (13.5)	91.6 (15.0)	101.6 (16.1)	110.7 (18.9)	125.8 (19.2)	144.9 (14.5)	155.3 (12.9)

TF: 胴体のフォアスイング開始時

UF: 上腕のフォアスイング開始時

FF: 前腕のフォアスイング開始時

I: インパクト時

水平角度: スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

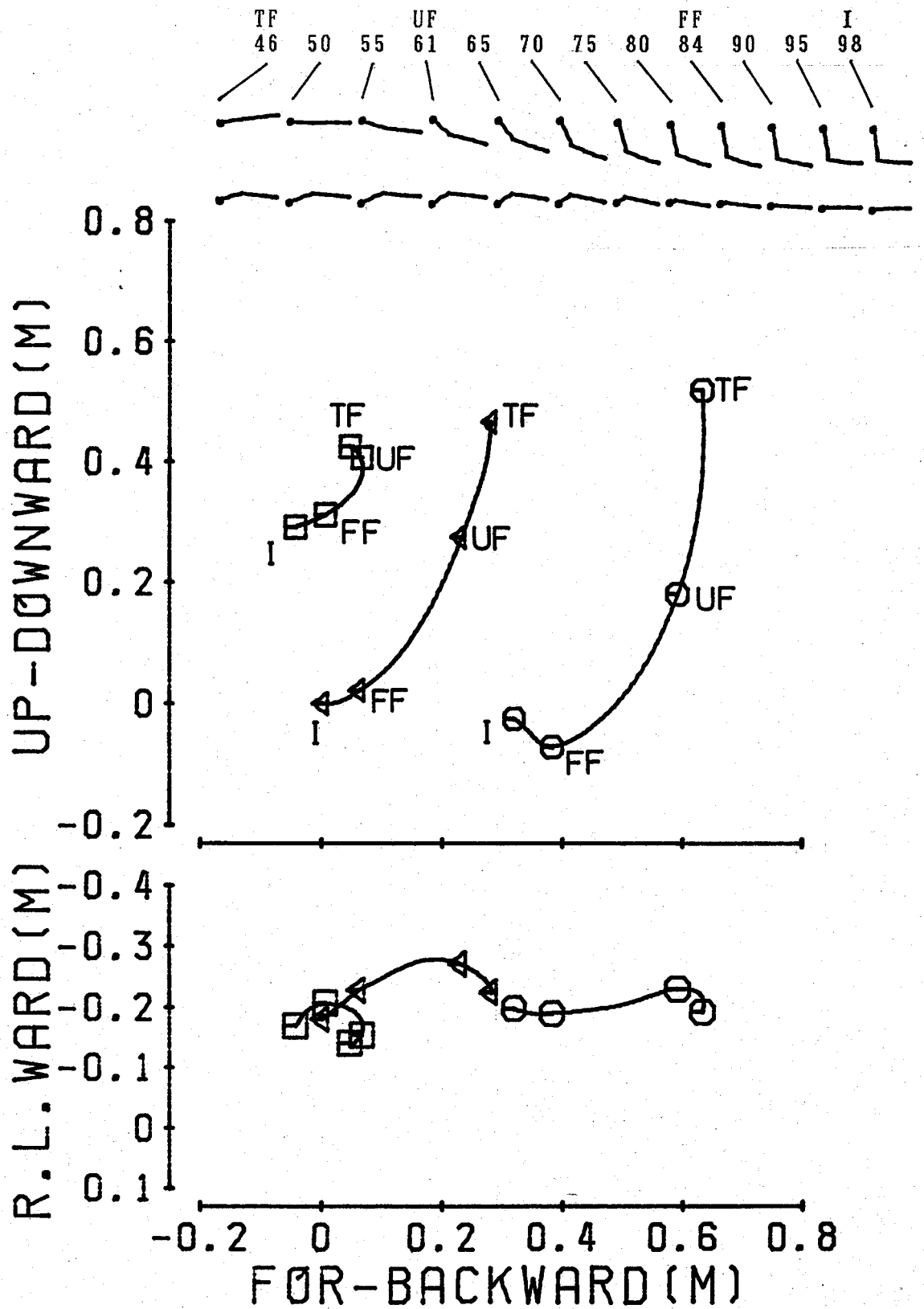


図7-2-3 フォアスイング期間における左腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は左手先，△は左肘，□は左肩の動きを示す）

表 7-2-3 フォアスイングにおける左腕の角度 (deg.)

	TF 46	50	55	UF 61	65	70	75	80	FF 84	90	95	I 98
左上腕角度 (水平角度)	37.8 (18.2)	40.2 (17.5)	45.1 (18.9)	53.8 (21.3)	59.9 (23.2)	67.8 (21.7)	74.2 (18.8)	77.9 (16.7)	79.6 (16.0)	79.8 (17.1)	80.9 (19.0)	81.9 (20.4)
(鉛直角度)	95.7 (29.0)	86.8 (29.0)	74.9 (28.6)	60.2 (26.6)	50.0 (23.5)	37.5 (19.0)	27.4 (15.4)	21.2 (13.4)	19.2 (12.1)	19.9 (11.7)	21.8 (11.8)	22.9 (12.5)
左前腕角度 (水平角度)	33.5 (19.8)	31.6 (19.5)	31.8 (17.1)	33.7 (15.8)	35.2 (16.7)	37.2 (18.2)	38.8 (19.3)	38.6 (21.5)	37.3 (23.4)	35.7 (24.5)	35.5 (23.4)	36.6 (22.5)
(鉛直角度)	99.0 (25.7)	92.8 (25.0)	85.1 (22.9)	77.3 (19.4)	73.5 (18.0)	71.0 (17.0)	70.7 (17.0)	72.2 (18.3)	75.0 (20.0)	79.4 (21.3)	83.6 (21.3)	85.9 (21.5)
左肩関節角度	84.2 (27.3)	76.5 (26.7)	67.1 (25.4)	56.9 (22.2)	50.0 (19.0)	41.9 (15.3)	35.1 (12.3)	29.9 (10.8)	27.4 (10.8)	27.3 (12.4)	28.6 (14.7)	29.2 (15.9)
左肘関節角度	151.0 (16.2)	147.5 (17.8)	142.5 (20.1)	134.8 (21.1)	129.9 (21.6)	125.4 (21.7)	122.7 (21.4)	121.2 (22.6)	118.5 (23.4)	114.6 (23.1)	109.5 (21.1)	106.6 (20.6)

TF : 胴体のフォアスイング開始時

UF : 上腕のフォアスイング開始時

FF : 前腕のフォアスイング開始時

I : インパクト時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

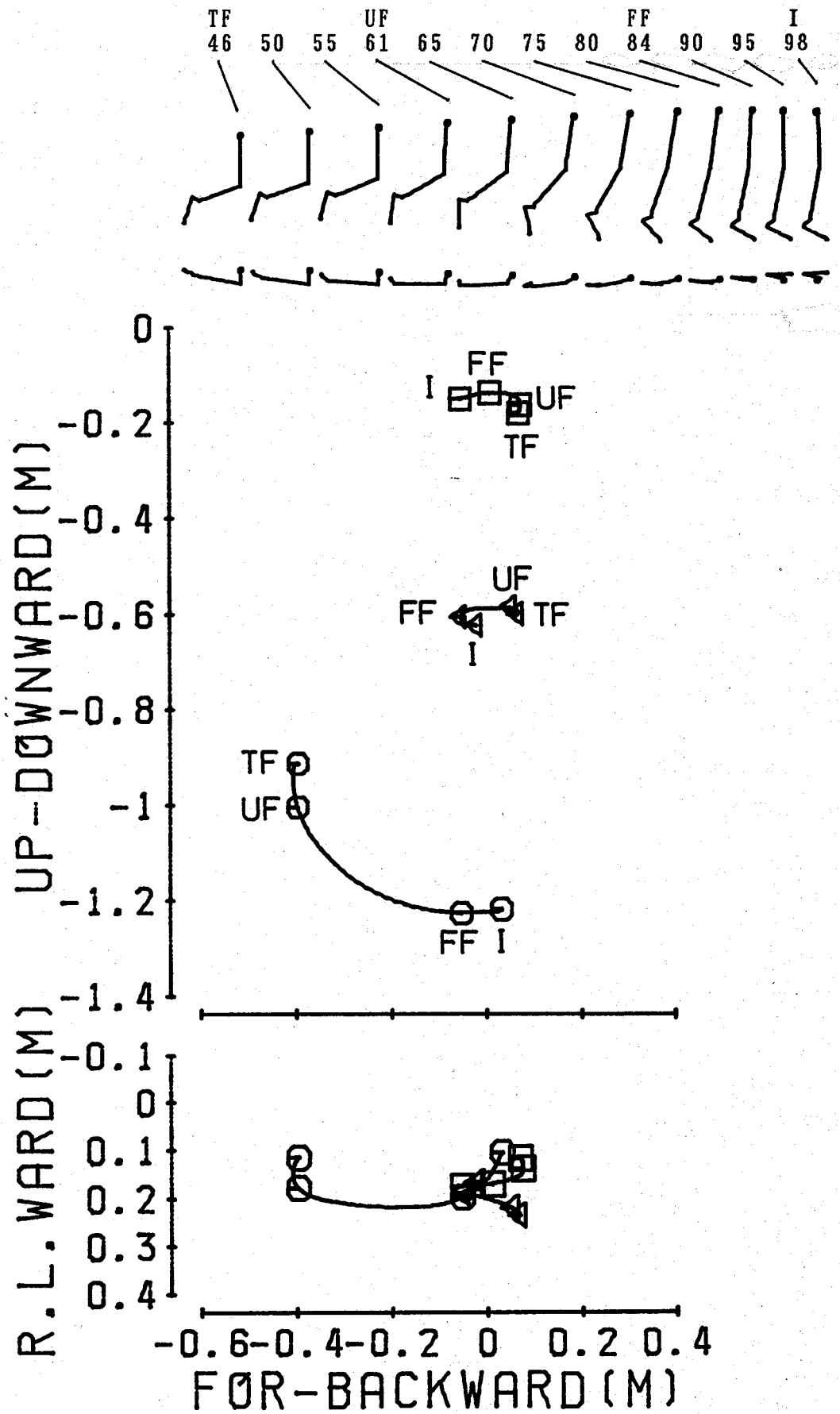


図7-2-4 フォアスイング期間における右脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右足先，△は右膝，□は右腰の動きを示す）

表 7-2-4 フォアスイングにおける右脚の角度 (deg.)

	TF 46	50	55	UF 61	65	70	75	80	FF 84	90	95	I 98
右大腿角度 (水平角度)	90.2 (13.2)	90.4 (13.0)	91.1 (12.7)	93.0 (12.5)	95.2 (12.3)	98.2 (11.9)	99.9 (11.2)	99.2 (10.7)	97.2 (10.8)	93.0 (10.3)	88.5 (9.9)	85.9 (9.8)
	21.4 (10.2)	20.9 (11.0)	19.7 (11.5)	18.5 (9.8)	17.7 (8.4)	16.8 (8.4)	16.2 (8.6)	14.6 (9.1)	12.8 (9.1)	10.4 (7.7)	10.1 (6.2)	10.7 (6.0)
右下腿角度 (水平角度)	143.0 (20.0)	143.8 (17.1)	144.0 (14.6)	141.4 (14.2)	136.7 (14.0)	128.1 (14.8)	117.3 (12.6)	108.4 (10.0)	103.8 (9.2)	101.0 (10.3)	100.5 (11.8)	100.4 (12.8)
	71.8 (27.4)	71.8 (24.9)	69.6 (22.3)	63.0 (20.5)	56.2 (20.2)	45.2 (19.2)	33.2 (17.2)	23.8 (14.7)	20.0 (12.3)	18.9 (10.8)	19.2 (11.5)	19.6 (12.1)
右腰関節角度	158.4 (11.3)	158.0 (11.2)	157.7 (11.1)	157.9 (11.5)	157.3 (11.6)	155.8 (11.3)	155.4 (9.9)	156.6 (8.0)	157.5 (6.4)	158.3 (5.0)	157.4 (7.3)	156.2 (9.3)
右膝関節角度	104.3 (29.1)	105.3 (26.8)	109.6 (25.4)	119.6 (25.7)	129.6 (25.7)	144.4 (24.1)	157.3 (20.1)	163.9 (15.3)	165.8 (13.7)	165.7 (13.6)	163.1 (14.9)	160.9 (15.8)

TF: 胴体のフォアスイング開始時

UF: 上腕のフォアスイング開始時

FF: 前腕のフォアスイング開始時

I: インパクト時

水平角度: スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

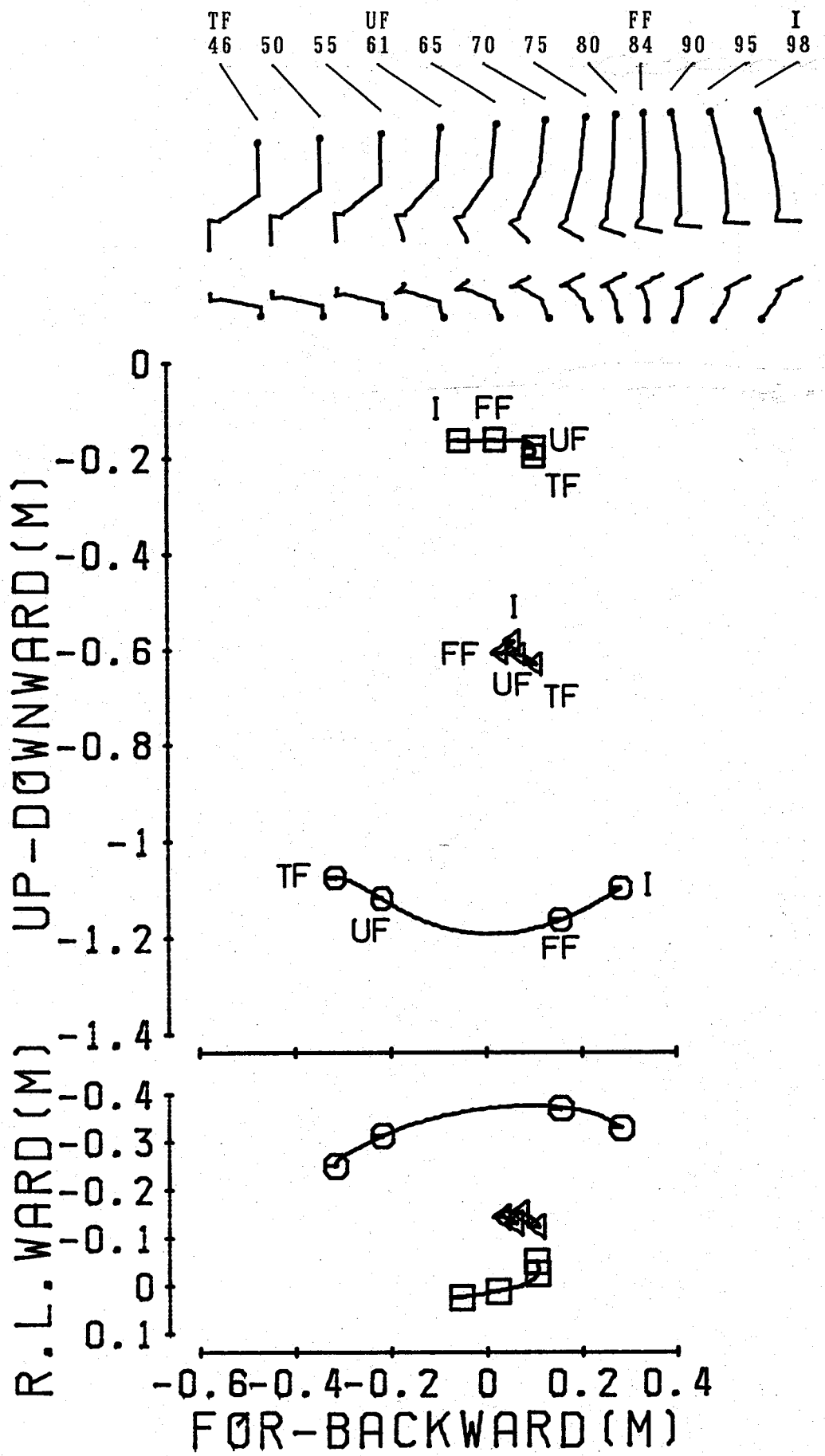


図 7-2-5 フォアスイング期間における左脚の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ○の線は左足先, △は左膝, □は左腰の動きを示す)

表 7-2-5 フォアスイングにおける左脚の角度 (deg.)

	TF 46	50	55	UF 61	65	70	75	80	FF 84	90	95	I 98
左大腿角度 (水平角度)	89.3 (10.2)	90.1 (9.6)	91.8 (9.0)	94.1 (9.3)	95.6 (10.0)	96.6 (10.8)	95.7 (11.9)	92.3 (13.3)	88.4 (14.9)	82.8 (15.1)	78.2 (14.8)	75.7 (14.7)
(鉛直角度)	14.3 (5.9)	15.3 (6.5)	16.8 (7.4)	19.3 (7.2)	21.2 (6.6)	23.0 (6.5)	23.7 (6.7)	23.9 (6.9)	24.3 (7.1)	25.6 (7.7)	27.3 (8.7)	28.5 (9.6)
左下腿角度 (水平角度)	141.3 (16.8)	140.6 (16.3)	137.2 (16.5)	129.6 (16.7)	123.0 (16.3)	113.8 (15.4)	105.3 (15.4)	98.8 (15.8)	94.5 (16.3)	88.8 (16.7)	85.0 (17.5)	83.3 (18.1)
(鉛直角度)	60.9 (17.9)	60.2 (16.7)	56.9 (16.7)	49.6 (16.4)	43.2 (14.3)	34.9 (10.3)	28.5 (7.6)	24.8 (6.8)	22.8 (8.0)	21.3 (9.5)	21.1 (10.8)	21.1 (11.7)
左腰関節角度	154.4 (8.5)	151.7 (8.8)	148.2 (9.1)	144.4 (9.0)	142.1 (9.4)	139.8 (9.7)	139.3 (8.9)	139.4 (8.7)	139.0 (9.2)	137.6 (10.1)	135.7 (11.0)	134.6 (12.1)
左膝関節角度	120.6 (23.2)	122.8 (20.9)	128.7 (19.8)	139.7 (18.8)	148.7 (16.2)	159.8 (12.3)	167.0 (10.4)	169.1 (10.4)	168.2 (10.9)	166.5 (13.1)	164.2 (15.1)	162.9 (16.3)

TF: 胴体のフォアスイング開始時

UF: 上腕のフォアスイング開始時

FF: 前腕のフォアスイング開始時

I: インパクト時

水平角度: スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度: 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

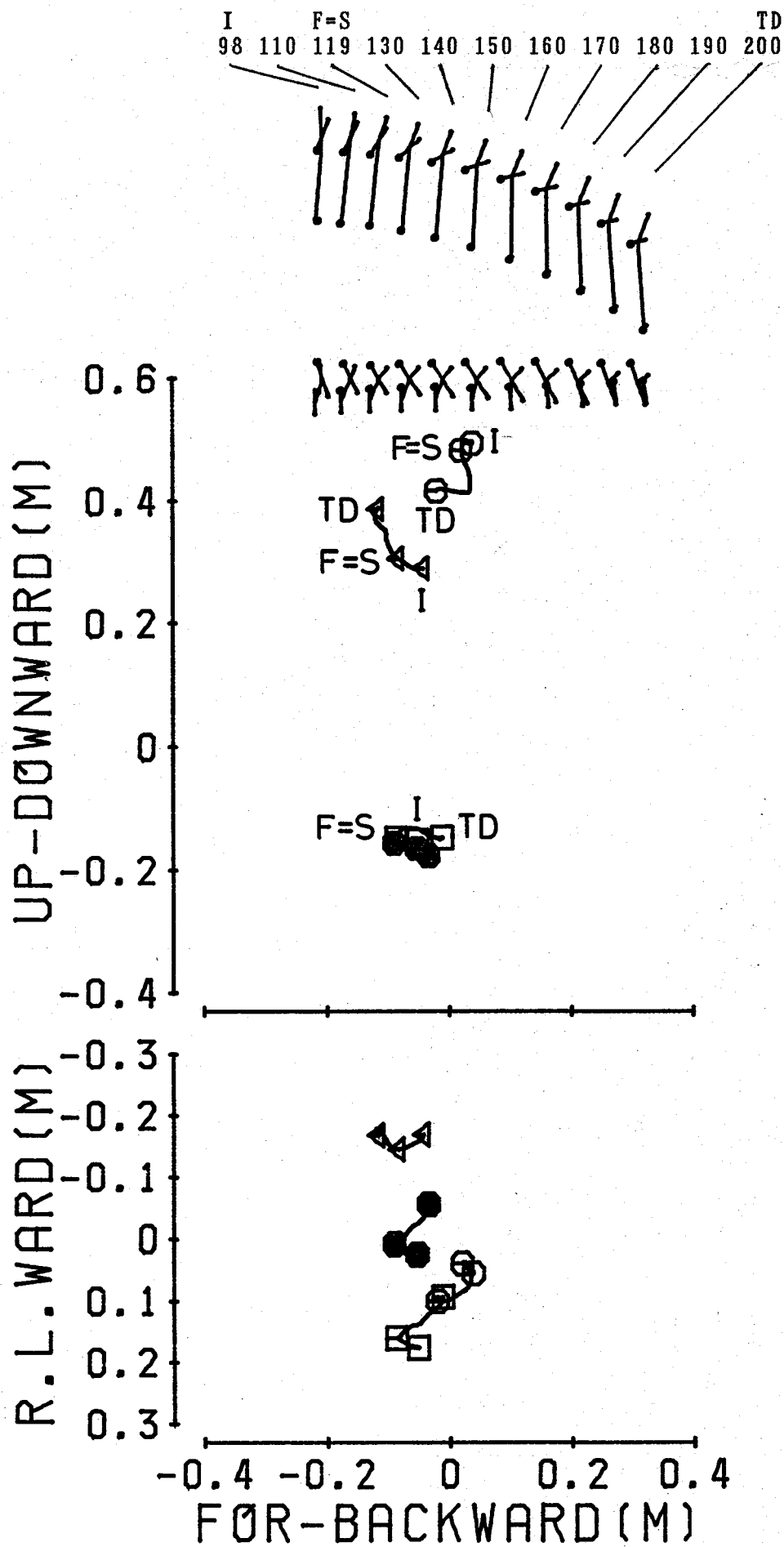


図 7-3-1 フォロースルー期間における胴体の動き（上図は真横から，
下図は真上から見たもので，○の線は右肩，△は左肩，□は
右腰，●は左腰の動きを示す）

表 7-3-1 フォロースルーにおける胴体の角度 (deg.)

	I	110	F=S	130	140	150	160	170	180	190	TD
肩 角 度 (水平角度)	98										
	75.7 (23.3)	72.8 (23.8)	69.2 (25.9)	63.6 (26.0)	62.2 (26.6)	62.6 (27.0)	63.6 (26.5)	66.2 (26.0)	69.8 (27.7)	72.8 (28.5)	74.2 (29.5)
肩 角 度 (鉛直角度)		126.8 (9.6)	125.2 (12.5)	115.0 (14.3)	106.3 (14.2)	100.5 (13.9)	97.3 (14.0)	95.9 (13.5)	95.0 (12.1)	94.8 (10.9)	94.9 (10.0)
		89.7 (27.5)	89.2 (26.7)	89.1 (25.5)	85.1 (23.7)	84.0 (24.4)	82.4 (22.7)	83.3 (21.2)	83.0 (21.9)	83.1 (23.2)	81.6 (24.7)
腰 角 度 (水平角度)		94.2 (5.3)	92.0 (6.3)	92.6 (5.9)	94.0 (6.2)	95.0 (9.0)	96.7 (10.2)	96.6 (10.3)	96.0 (8.3)	96.9 (7.2)	99.3 (7.7)
		83.0 (10.6)	82.3 (11.7)	82.0 (12.1)	83.0 (13.4)	83.9 (14.3)	85.5 (14.6)	87.4 (13.9)	89.1 (13.7)	90.6 (13.1)	92.5 (12.1)
胴 角 度 (水平角度)		159.5 (6.0)	159.9 (7.1)	160.0 (7.4)	158.9 (8.3)	159.2 (8.8)	160.5 (8.5)	161.8 (8.1)	162.9 (8.0)	164.0 (7.9)	164.6 (7.4)

I : インパクト時

F=S : 手先が肩の高さまでフォロースルーされた瞬間

TD : 着地時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

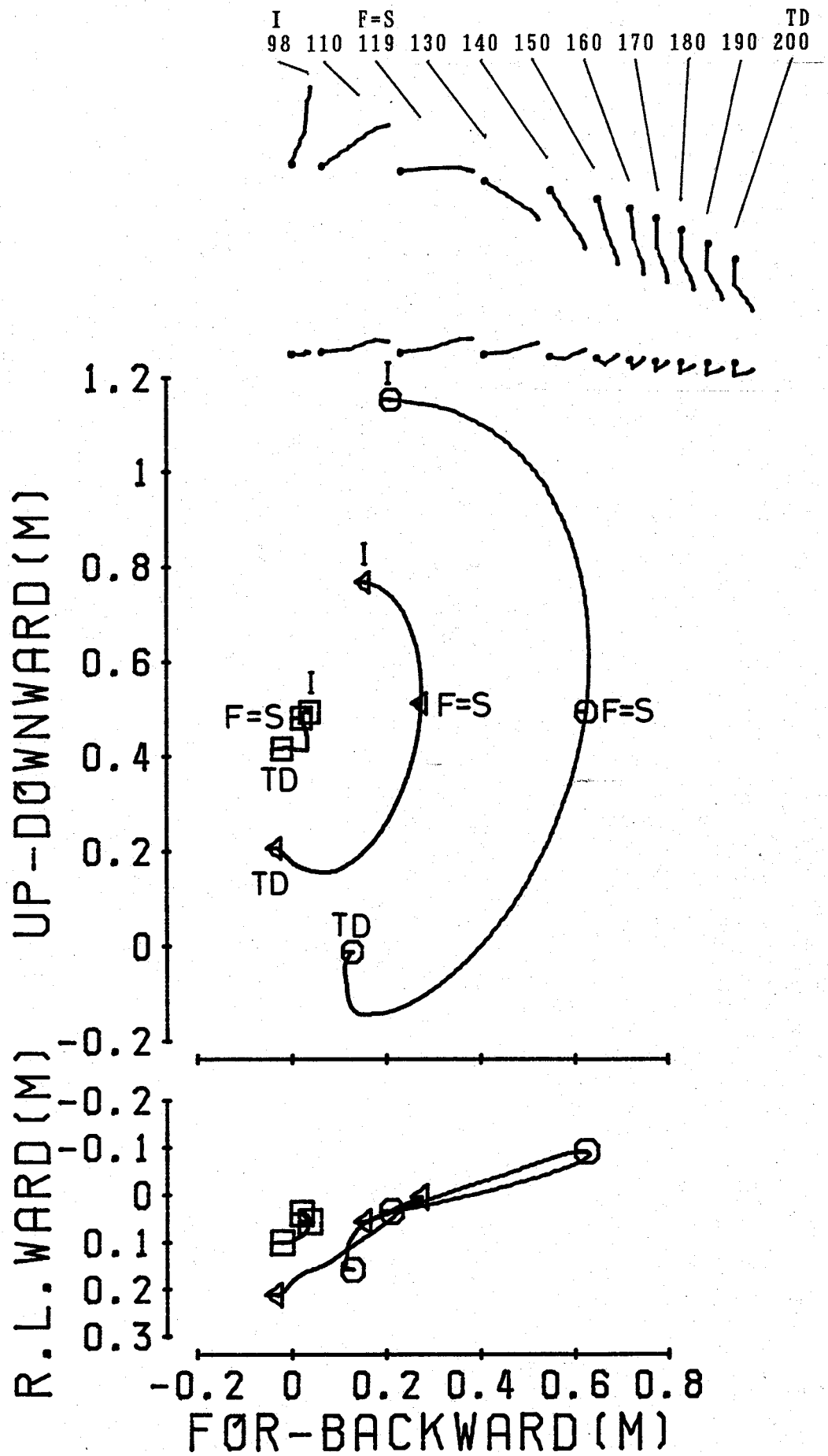


図7-3-2 フォロースルー期間における右腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右手先，△は右肘，□は右肩の動きを示す）

表 7-3-2 フォロースルーにおける右腕の角度 (deg.)

	I	110	F=S	130	140	150	160	170	180	190	TD
右 上 腕 角 度 (水平角度)	98										200
	66.8 (16.8)	42.1 (10.3)	28.4 (16.7)	44.2 (14.3)	63.3 (11.4)	77.0 (14.4)	84.9 (17.9)	89.3 (25.8)	91.8 (29.7)	92.6 (31.5)	93.1 (32.0)
(鉛直角度)	151.7 (16.8)	122.2 (9.6)	95.1 (7.9)	63.0 (12.2)	41.1 (13.0)	29.7 (13.3)	27.1 (14.2)	30.9 (15.8)	36.2 (16.6)	40.7 (17.0)	42.7 (17.5)
	85.2 (14.3)	43.3 (12.2)	28.7 (21.6)	46.1 (19.5)	63.5 (21.5)	71.8 (19.9)	73.4 (20.5)	71.4 (21.6)	70.4 (20.3)	68.5 (21.1)	64.5 (22.4)
右 前 腕 角 度 (水平角度)	163.8 (10.3)	121.2 (7.2)	91.8 (7.7)	63.5 (14.9)	46.2 (21.4)	40.6 (18.3)	38.3 (19.1)	39.7 (20.2)	43.6 (21.4)	47.7 (24.9)	52.6 (27.7)
	147.7 (16.6)	127.1 (11.4)	102.4 (8.8)	70.0 (12.6)	45.7 (15.0)	30.8 (14.2)	25.3 (14.4)	26.8 (16.4)	30.1 (17.1)	34.3 (17.0)	36.8 (16.0)
右 肩 関 節 角 度	155.3 (12.9)	164.6 (12.4)	163.2 (14.1)	159.9 (19.5)	150.5 (21.6)	143.6 (23.1)	138.3 (24.6)	131.5 (26.3)	124.9 (29.4)	119.7 (34.0)	116.2 (36.6)

I : インパクト時

F=S : 手先が肩の高さまでフォロースルーされた瞬間

TD : 着地時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きベクトルが身体各部分となす角度

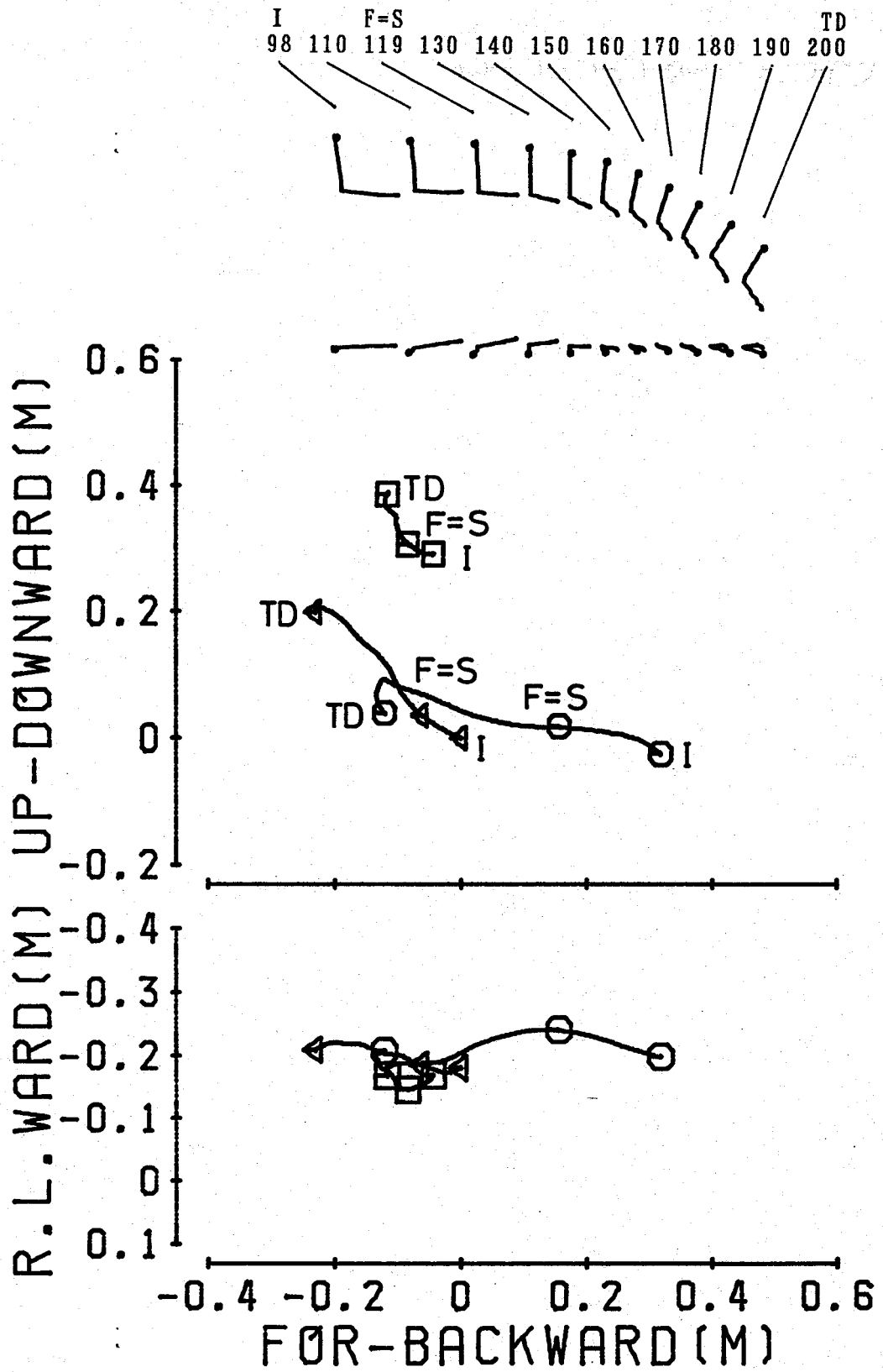


図7-3-3 フォロースルー期間における左腕の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は左手先，△は左肘，□は左肩の動きを示す）

表 7-3-3 フォロースルーにおける左腕の角度 (deg.)

	I	110	F=S	130	140	150	160	170	180	190	TD	200
左上腕角度 (水平角度)	81.9 (20.4)	84.1 (22.2)	85.3 (24.0)	87.4 (25.9)	89.2 (28.9)	93.7 (34.0)	98.1 (35.3)	103.5 (30.3)	109.7 (26.2)	113.4 (24.5)	113.9 (24.1)	
	22.9 (12.5)	26.9 (15.0)	29.8 (16.0)	32.2 (19.9)	34.1 (21.9)	39.7 (24.1)	42.5 (23.4)	45.9 (24.0)	50.2 (24.0)	51.4 (23.6)	49.6 (23.3)	
左前腕角度 (水平角度)	36.6 (22.5)	46.1 (28.0)	53.2 (27.8)	61.8 (32.9)	67.3 (38.6)	71.5 (39.1)	73.0 (36.7)	73.8 (37.8)	70.9 (38.0)	68.7 (36.0)	66.5 (35.8)	
	85.9 (21.5)	90.1 (31.8)	90.1 (41.6)	85.2 (47.6)	79.6 (46.4)	75.3 (43.8)	71.0 (39.5)	70.5 (35.9)	68.4 (31.7)	65.0 (28.7)	58.6 (25.2)	
左肩関節角度	29.2 (15.9)	32.0 (17.2)	35.5 (16.9)	38.9 (19.2)	40.3 (24.1)	44.7 (25.9)	47.6 (24.6)	49.8 (23.1)	52.1 (23.1)	53.0 (22.5)	50.9 (22.0)	
左肘関節角度	106.6 (20.6)	101.2 (27.5)	100.4 (32.2)	102.7 (37.3)	105.2 (42.0)	103.8 (41.9)	102.3 (39.4)	97.2 (39.2)	94.4 (39.7)	93.1 (37.9)	96.8 (35.2)	

I : インパクト時

F=S : 手先が肩の高さまでフォロースルーされた瞬間

TD : 着地時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

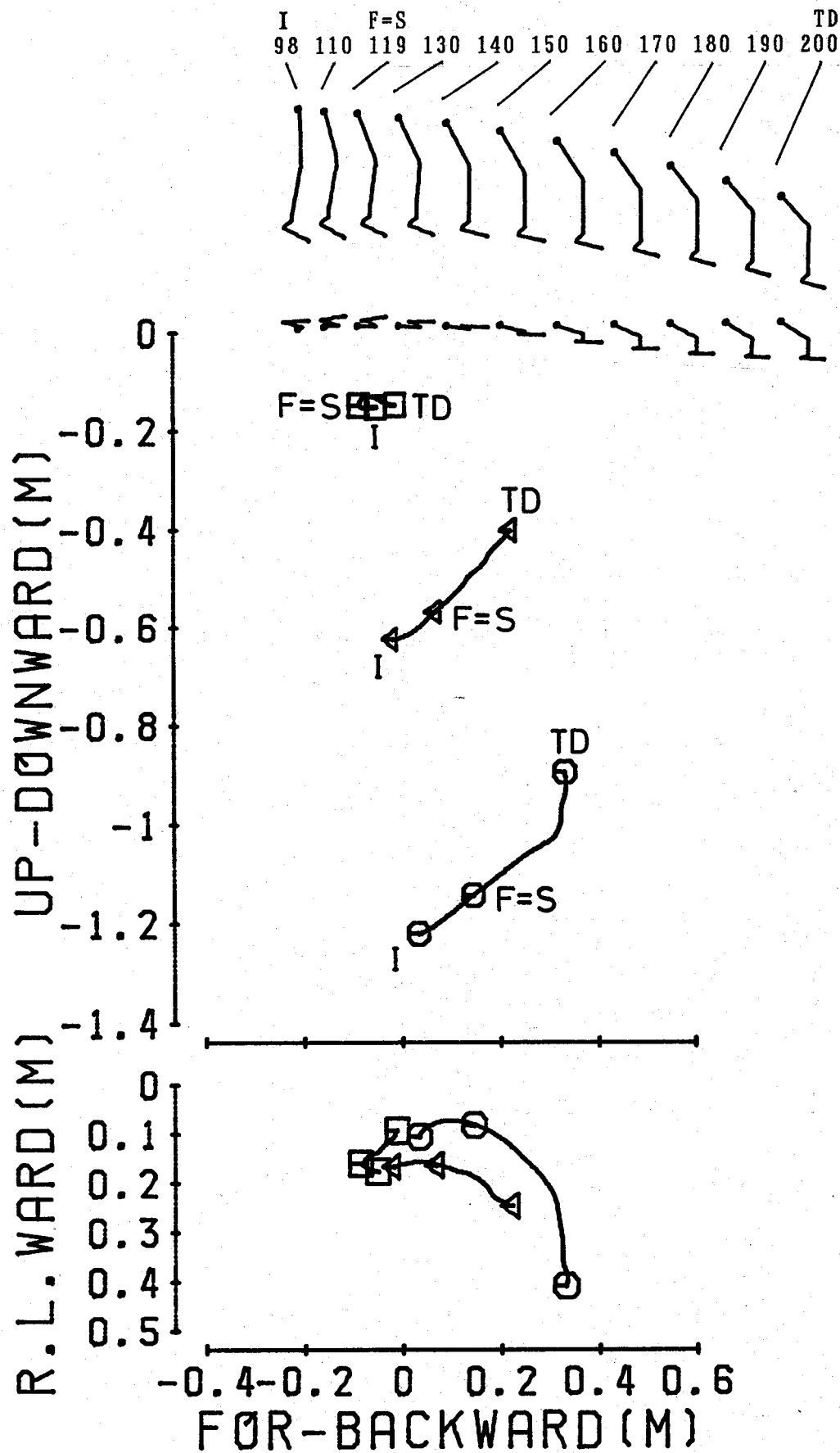


図7-3-4 フォロースルー期間における右脚の動き（上図は真横から，下図は真上から見たもので，○の線は右足先，△は右膝，□は右腰の動きを示す）

表 7-3-4 フォロースルーにおける右脚の角度 (deg.)

	I	110	F=S	130	140	150	160	170	180	190	TD
右大腿角度 (水平角度)	98										
	85.9 (9.8)	75.5 (12.0)	70.1 (14.7)	66.6 (16.5)	64.6 (16.9)	63.8 (17.2)	62.7 (16.7)	62.2 (16.6)	61.9 (17.2)	60.9 (17.7)	60.1 (17.0)
(鉛直角度)		10.7 (6.0)	23.6 (14.9)	28.5 (17.8)	32.2 (19.9)	35.9 (22.8)	39.5 (26.4)	42.4 (29.7)	45.2 (32.7)	48.1 (34.9)	50.9 (36.0)
	100.4 (12.8)	99.7 (15.4)	96.9 (17.4)	93.9 (19.0)	91.6 (19.3)	89.6 (17.8)	89.9 (16.8)	89.7 (18.1)	90.1 (21.6)	91.4 (24.3)	93.1 (26.1)
右下腿角度 (水平角度)		19.6 (12.1)	21.1 (16.7)	21.3 (17.4)	21.3 (16.5)	19.9 (15.4)	20.5 (14.3)	22.3 (15.0)	25.1 (18.9)	26.8 (22.8)	28.3 (24.6)
	156.2 (9.3)	148.2 (15.2)	143.3 (18.4)	139.3 (22.6)	137.2 (25.1)	135.3 (27.4)	134.8 (30.0)	134.7 (33.5)	134.2 (35.6)	134.0 (37.9)	132.2 (38.8)
右腰関節角度		160.9 (15.8)	146.5 (26.4)	144.0 (30.3)	142.7 (32.0)	142.0 (30.8)	139.5 (29.5)	138.3 (28.8)	137.0 (31.3)	135.9 (34.4)	133.3 (36.0)
右膝関節角度											

I : インパクト時

F=S : 手先が肩の高さまでフォロースルーされた瞬間

TD : 着地時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

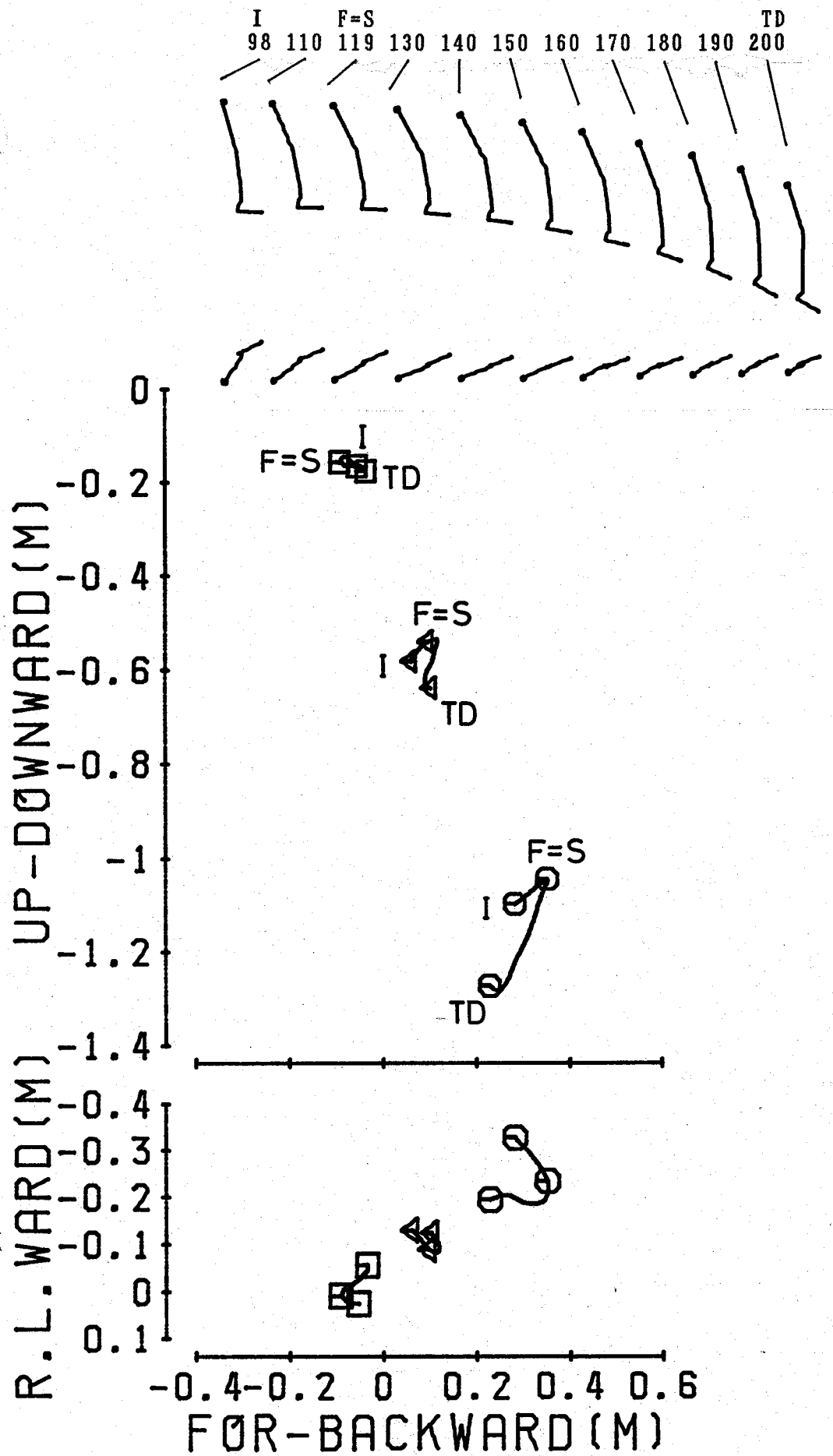


図 7-3-5 フォロースルー期間における左脚の動き (上図は真横から, 下図は真上から見たもので, ○の線は左足先, △は左膝, □は左腰の動きを示す)

表 7-3-5 フォロースルーにおける左脚の角度 (deg.)

	I	110	F-S	130	140	150	160	170	180	190	TD
左大腿角度 (水平角度)	75.7 (14.7)	68.7 (16.0)	65.8 (16.1)	64.1 (16.1)	64.1 (15.8)	66.3 (15.9)	68.6 (14.7)	71.2 (13.6)	74.1 (12.1)	75.1 (10.2)	73.5 (9.7)
	28.5 (9.6)	31.7 (13.1)	32.4 (14.2)	32.5 (14.6)	32.0 (14.4)	31.0 (14.0)	28.9 (12.5)	26.2 (10.9)	22.9 (9.3)	20.0 (8.3)	20.2 (8.2)
左下腿角度 (水平角度)	83.3 (18.1)	80.2 (19.4)	79.8 (21.0)	80.9 (20.2)	82.0 (18.0)	82.9 (16.1)	82.8 (13.8)	84.1 (10.6)	85.2 (8.5)	86.2 (7.0)	90.5 (7.8)
	21.1 (11.7)	21.5 (13.6)	21.7 (14.8)	19.3 (14.9)	16.5 (13.7)	15.2 (11.8)	14.1 (10.0)	11.5 (7.5)	9.8 (5.4)	8.9 (4.8)	9.5 (4.6)
左腰関節角度	134.6 (12.1)	132.6 (16.6)	132.9 (18.3)	133.4 (21.0)	133.8 (21.6)	134.5 (21.8)	137.8 (19.4)	142.2 (17.2)	146.7 (15.0)	151.8 (12.5)	153.6 (11.0)
左膝関節角度	162.9 (16.3)	157.7 (20.5)	155.8 (22.8)	156.7 (24.2)	156.2 (21.6)	155.5 (19.4)	156.9 (17.6)	158.8 (14.0)	161.2 (10.1)	163.6 (8.4)	158.6 (8.3)

I : インパクト時

F = S : 手先が肩の高さまでフォロースルーされた瞬間

TD : 着地時

水平角度 : スイング局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルが身体各部分となす角度

鉛直角度 : 鉛直下向きのベクトルが身体各部分となす角度

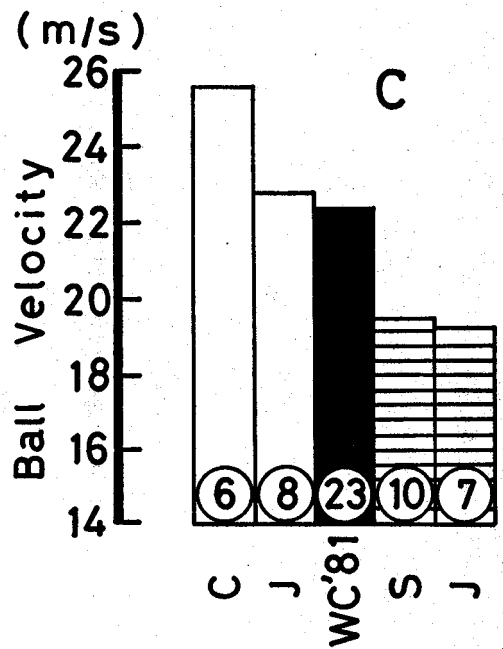
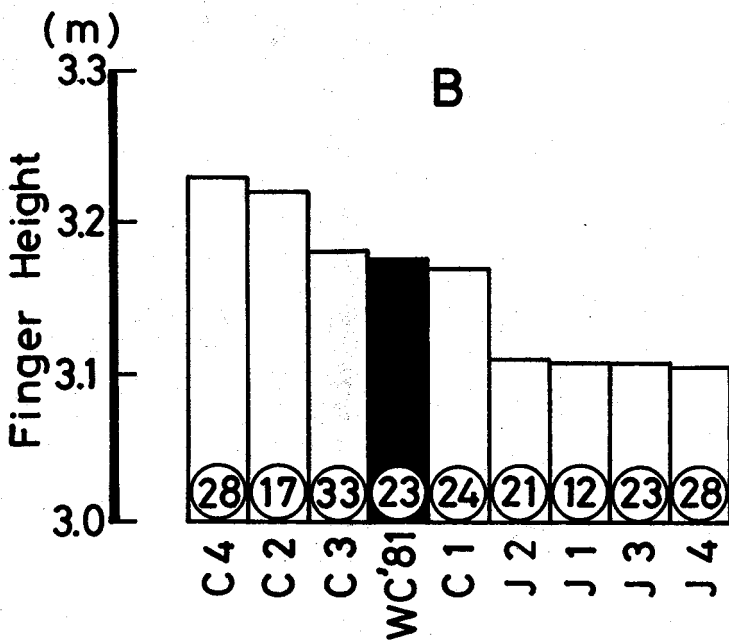
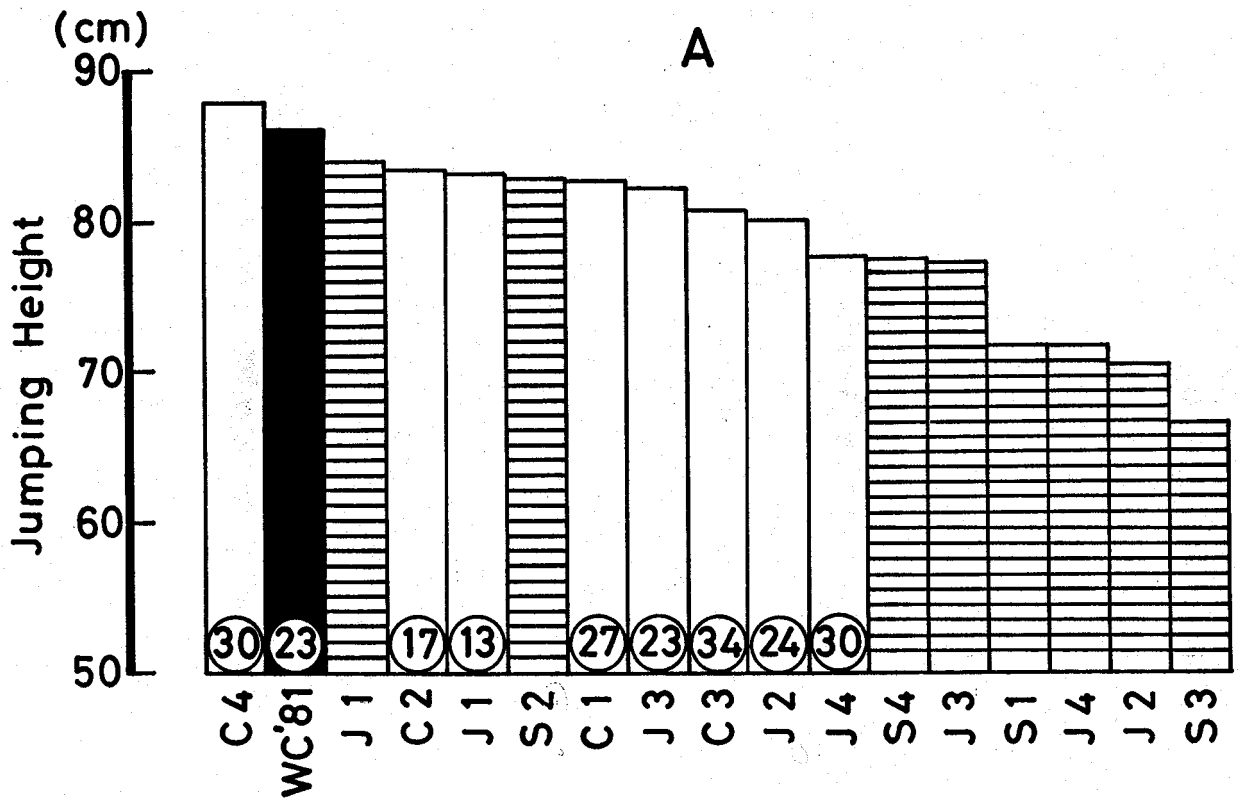


図7-4-1 一流選手がゲーム中に発揮したスパイクの運動成果 (A は跳躍高 B はインパクト時の手先の高さ, C はインパクト直後のボール速度についてみたものである。白棒グラフは日本・キューバ対抗 (砂本他, 1980), 横線グラフは日本・ソ連対抗 (砂本他, 1979), 黒棒グラフは本研究の結果であり, 丸の中の数値は試技数を示す)

表8 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歩前における上腕最大角度(deg)		踏切1歩前上腕角度最大値(deg)		踏切1歩前上腕角度最小値(deg)		踏切1歩前胸体前屈開始時点 (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	
1 YU1	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 SU2	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 WA1	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 NA3	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 FU2	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 VI2	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 KU1	2.419	2.419	3.018	0.190	0.190	0.099	0.833	0.833	1.038	54	50	-0.051	-0.051	155	-0.102	0.011	
8 KU2	2.716	2.716	3.135	0.137	0.137	0.082	0.723	0.723	1.225	64	50	-0.071	-0.071	162	-0.092	0.037	
9 NA1	2.342	2.342	3.387	0.126	0.126	0.099	0.672	0.672	1.394	94	91	-0.020	-0.010	148	-0.133	0.028	
10 TA1	2.175	2.175	3.410	0.203	0.203	0.070	0.510	0.510	1.608	85	72	0	-0.041	152	-0.071	0.034	
11 TA2	2.304	2.304	3.391	0.133	0.133	0.041	0.720	0.720	1.362	80	57	0	0	158	-0.020	0.014	
12 FU1	3.160	3.160	4.014	0.200	0.200	0.084	0.847	0.847	1.609	117	111	-0.010	0	157	-0.092	0.019	
13 SI1	2.422	2.422	3.255	0.175	0.175	0.138	0.488	0.488	1.304	89	86	-0.061	-0.051	147	-0.235	0.073	
14 SI2	1.745	1.745	2.613	0.216	0.216	0.152	0.558	0.558	1.260	85	87	0	-0.020	155	-0.123	0.046	
15 SU1	2.016	2.016	2.888	0.047	0.047	0.094	0.517	0.517	1.401	112	100	-0.061	-0.031	148	-0.184	0.080	
16 SA1	2.016	2.016	3.161	0.051	0.051	0.080	0.927	0.927	1.754	99	122	-0.020	-0.020	147	-0.082	0.055	
17 SA2	2.363	2.363	3.947	0.041	0.041	0.043	0.521	0.521	1.676	97	112	0	0	155	-0.061	0.039	
18 YA2	2.867	2.867	4.394	0.079	0.079	0.094	1.221	1.221	1.645	117	124	0	0	147	-0.092	0.002	
19 VI1	3.990	3.990	3.990	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	1.737	95	92	0	-0.031	148	-0.123	0.038	
20 ZI1	3.029	3.029	3.029	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	1.481	107	94	-0.031	-0.010	154	-0.010	0.001	
21 NA2	3.250	3.250	3.250	0.072	0.072	0.072	1.227	1.227	1.227	109	101	-0.020	-0.020	147	-0.112	0.046	
22 NA4	2.732	2.732	2.732	0.100	0.100	0.100	1.207	1.207	1.207	99	102	-0.041	-0.041	150	-0.102	0.037	
23 YA1	2.730	2.730	2.730	0.039	0.039	0.039	1.056	1.056	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)	

上腕および胸体前屈角度：上腕および胸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胸体前屈開始時点：踏切開始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

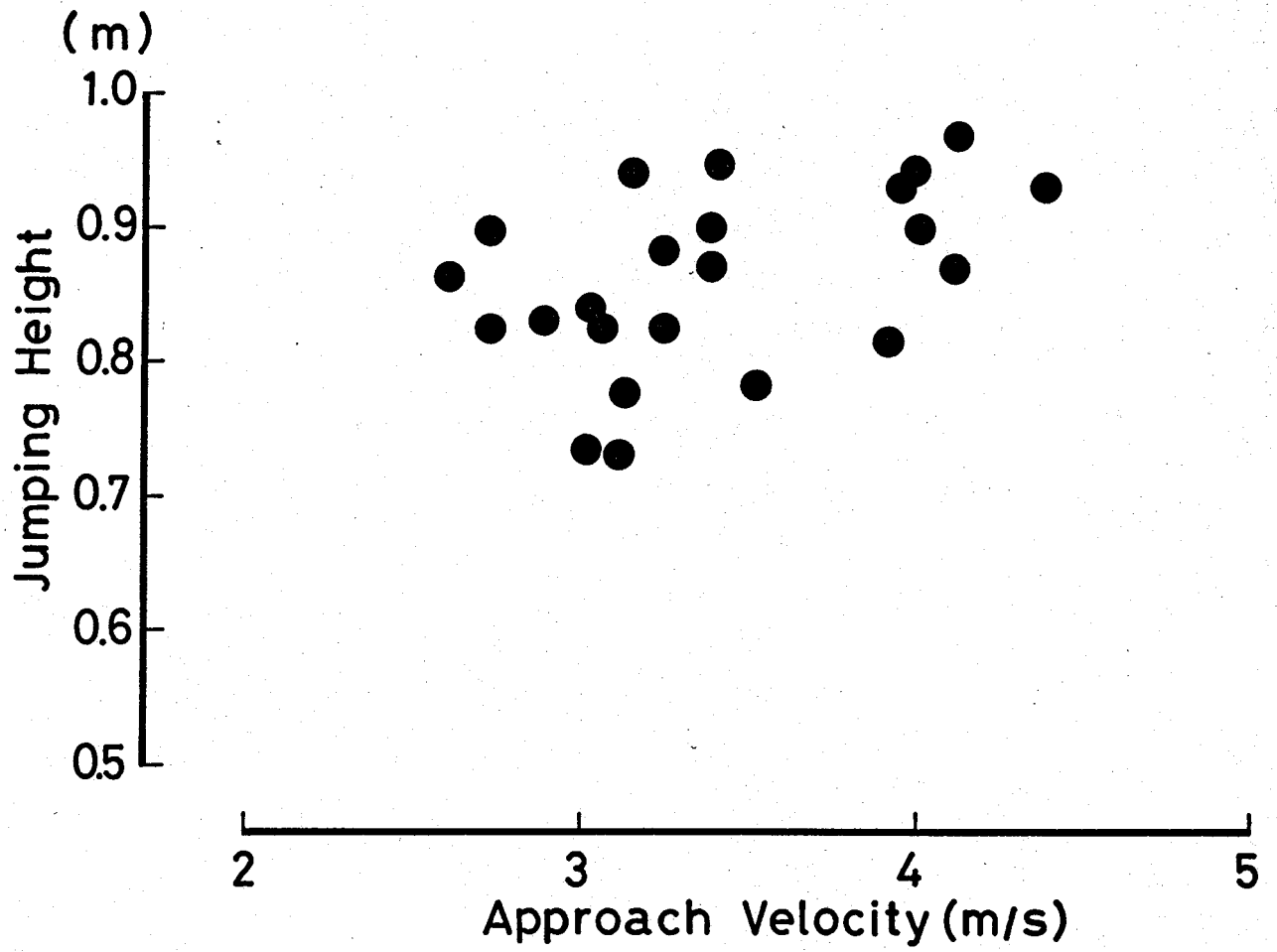


図 8 - 1 跳躍高と踏切に移行した瞬間の助走速度の関係

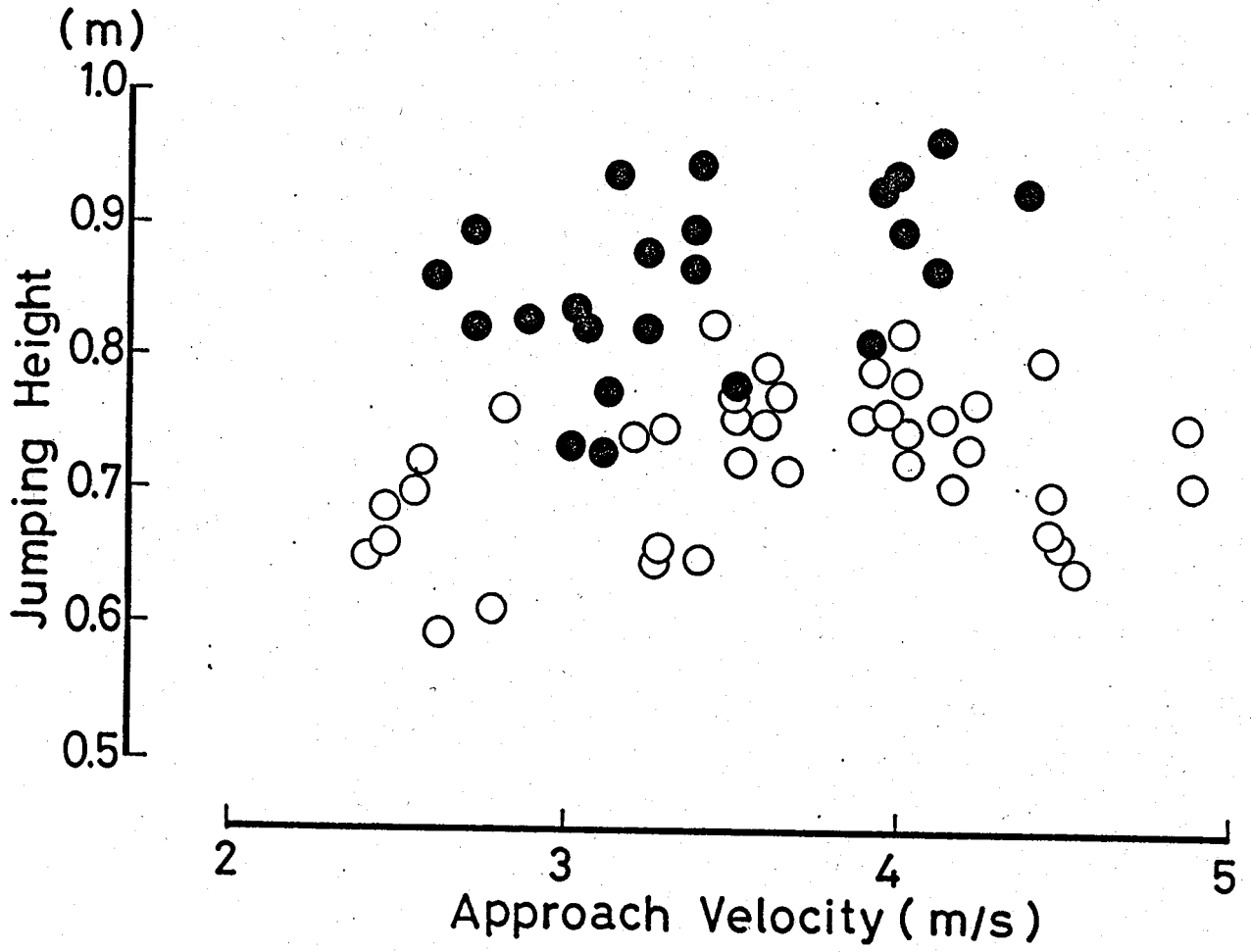


図 8-2 一流選手および大学男子選手 (橋原他, 1983)²³⁾ による跳躍高と助走速度との関係

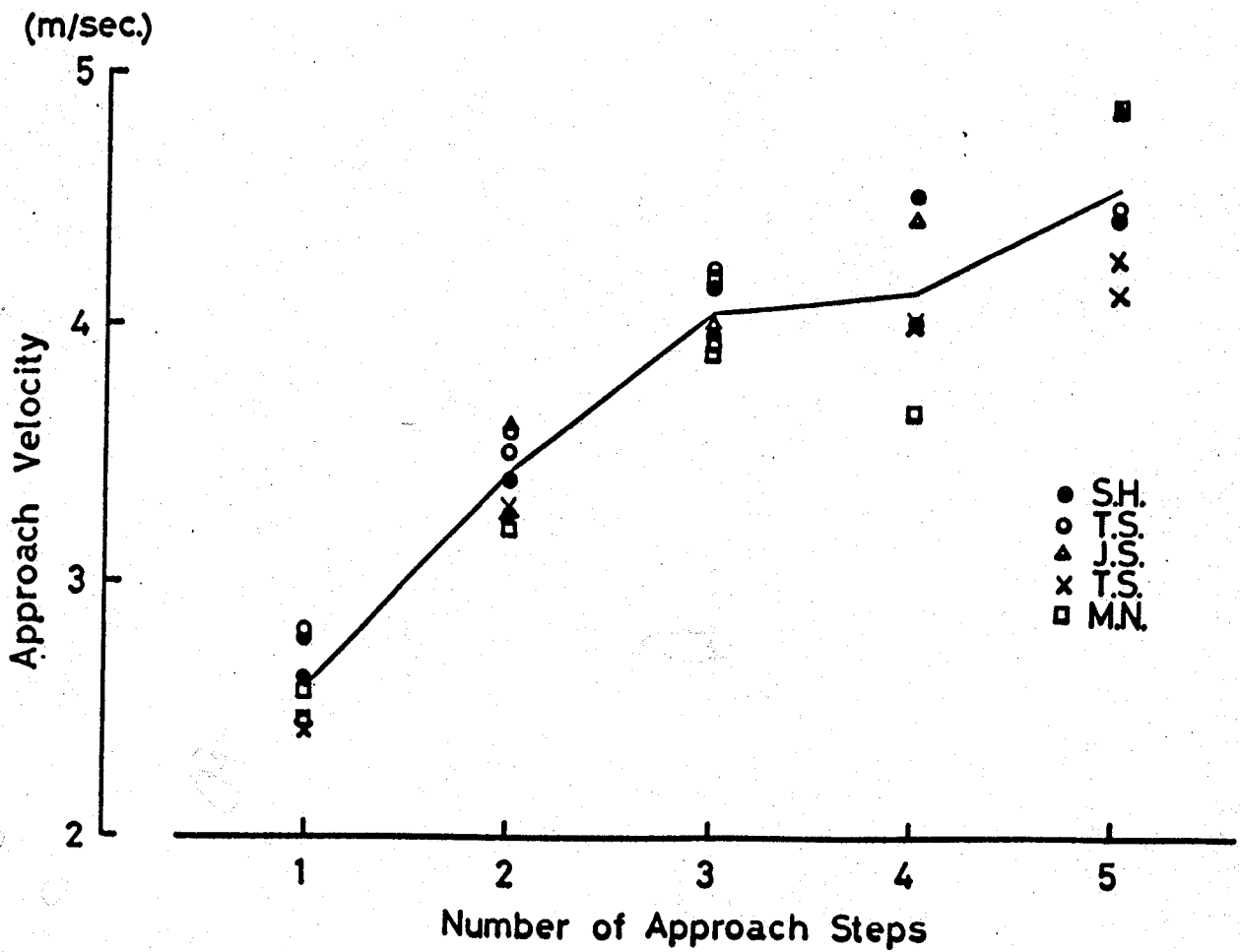


図8-3 大学男子選手による助走歩数と助走速度の関係 (橋原他, 1983)²³⁾

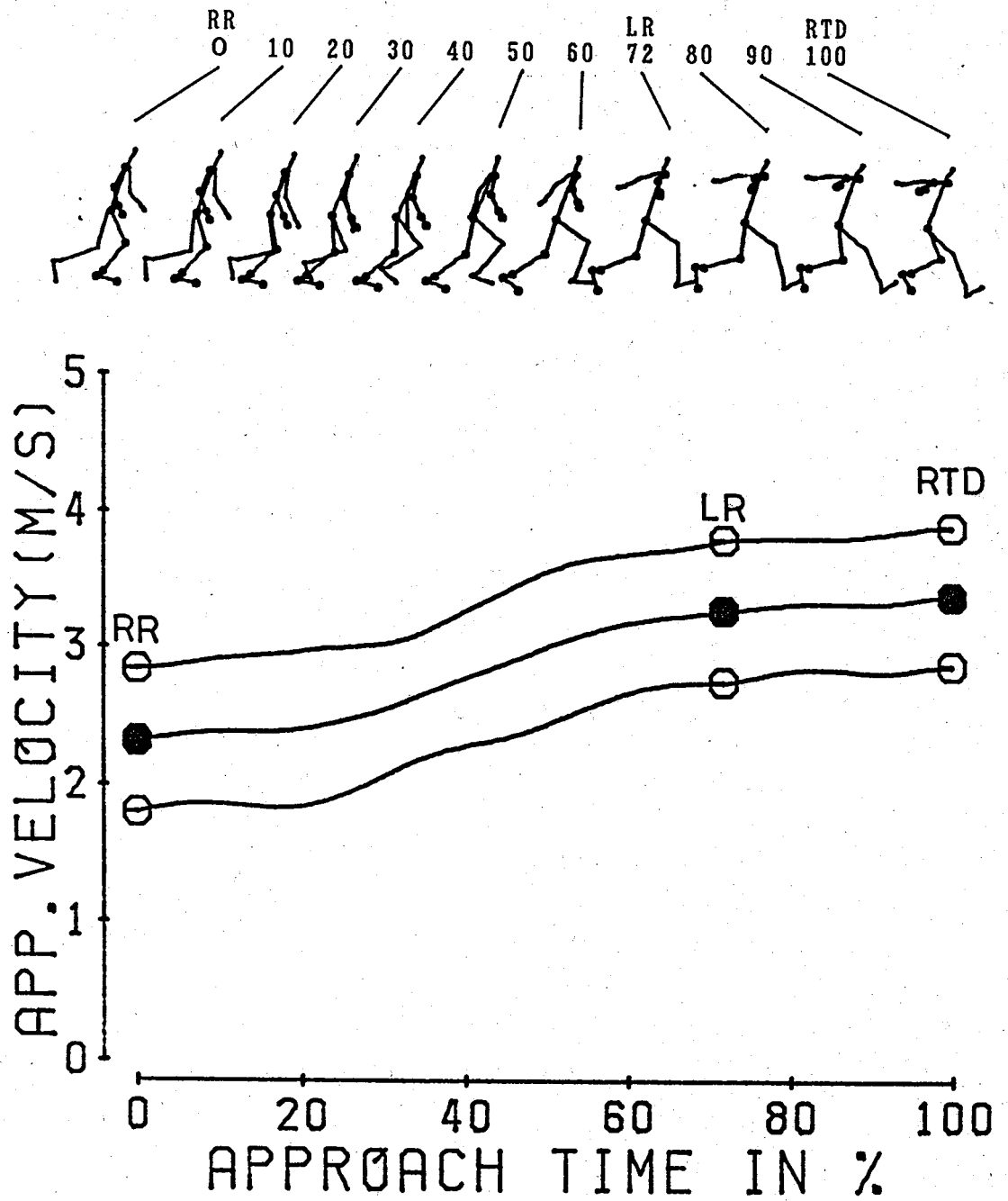


図8-4 踏切1歩前の助走速度変化 (●の線は平均値, ○の線は±1SD)

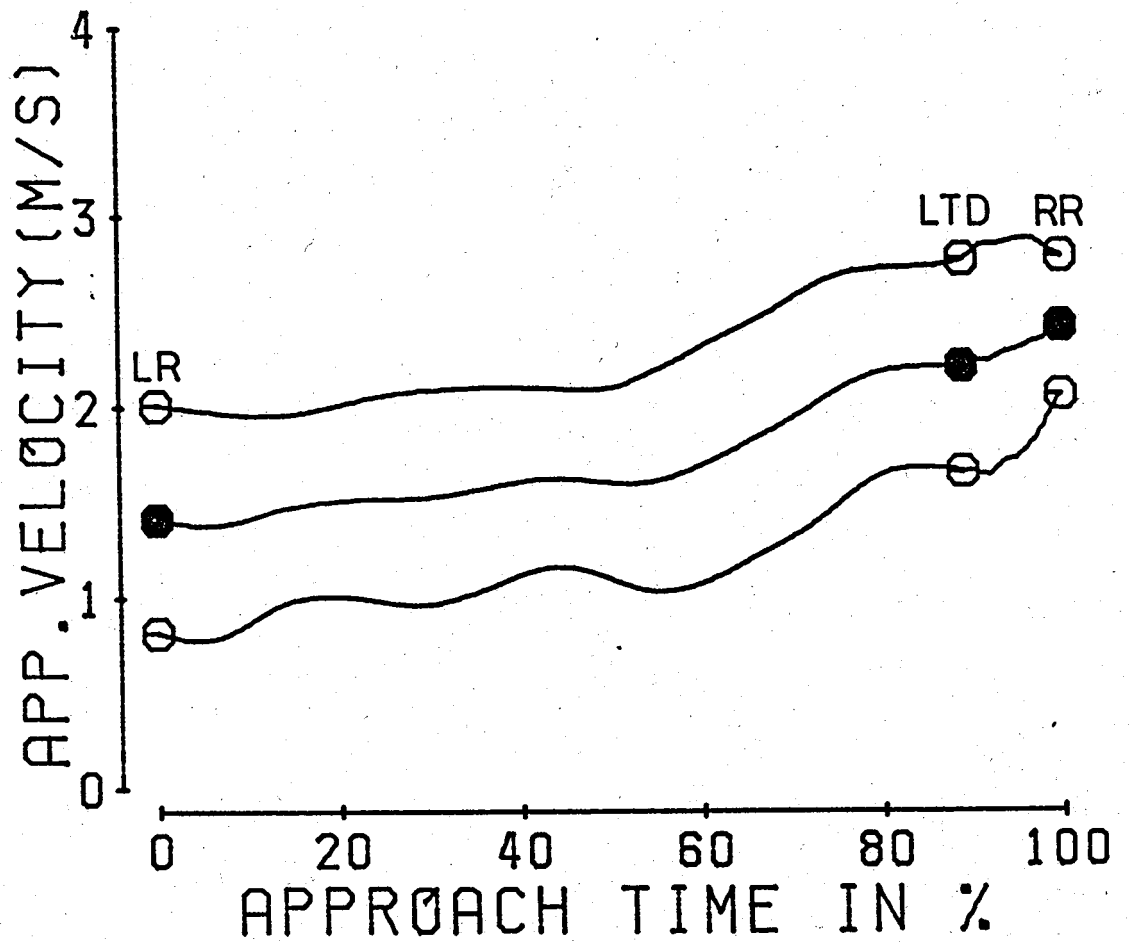
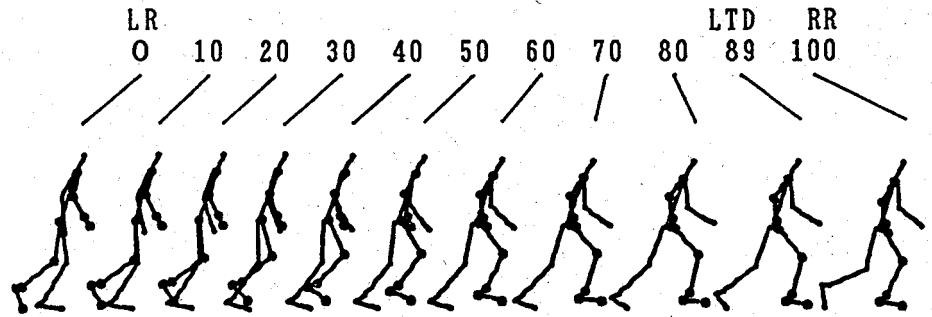


図8-5 踏切2歩前の助走速度変化 (●の線は平均値, ○の線は±1SD)

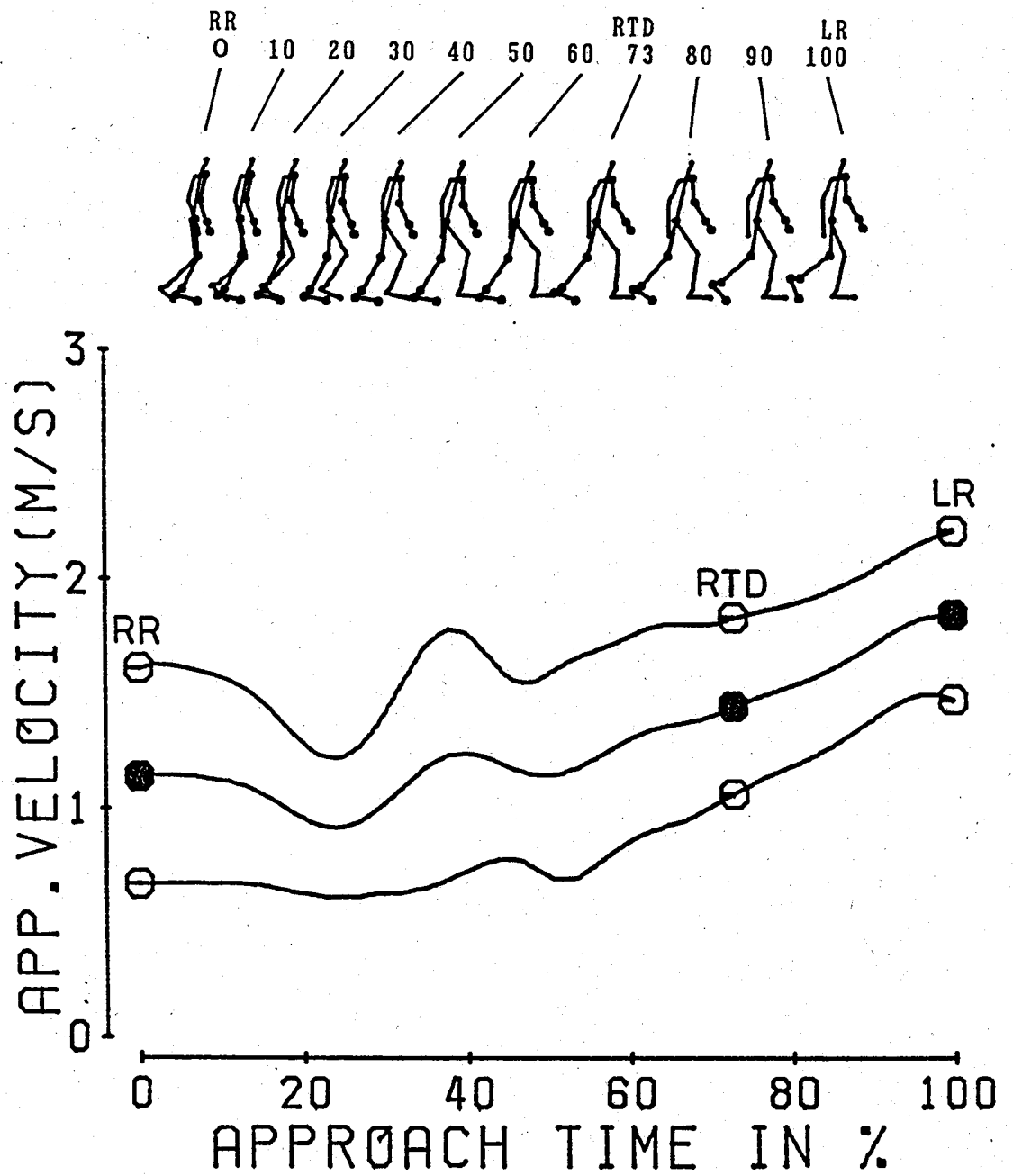


図 8-6 踏切 3 歩前の助走速度変化 (●の線は平均値, ○の線は±1SD)

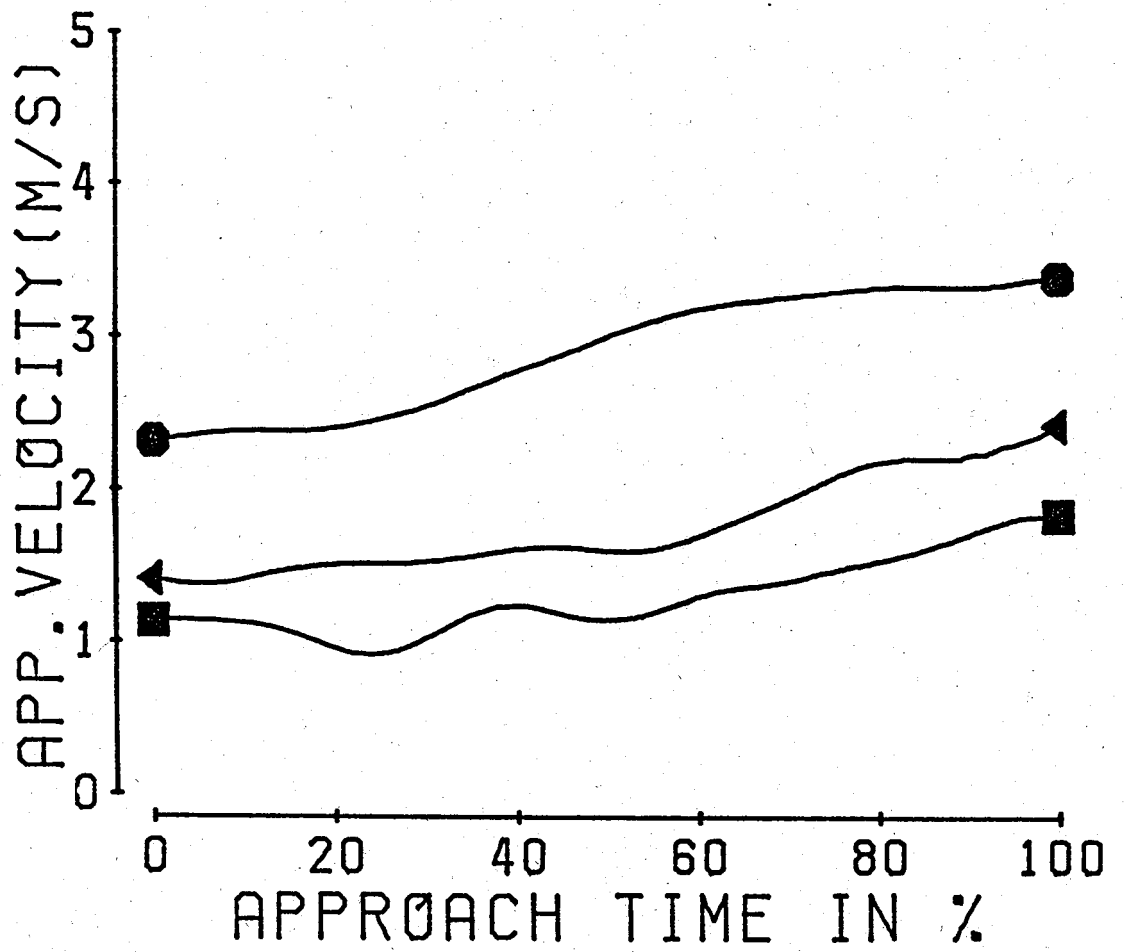


図8-7 各助走歩数ごとの助走速度変化の比較 (●の線は踏切1歩前, ▲は踏切2歩前, ■は踏切3歩前)

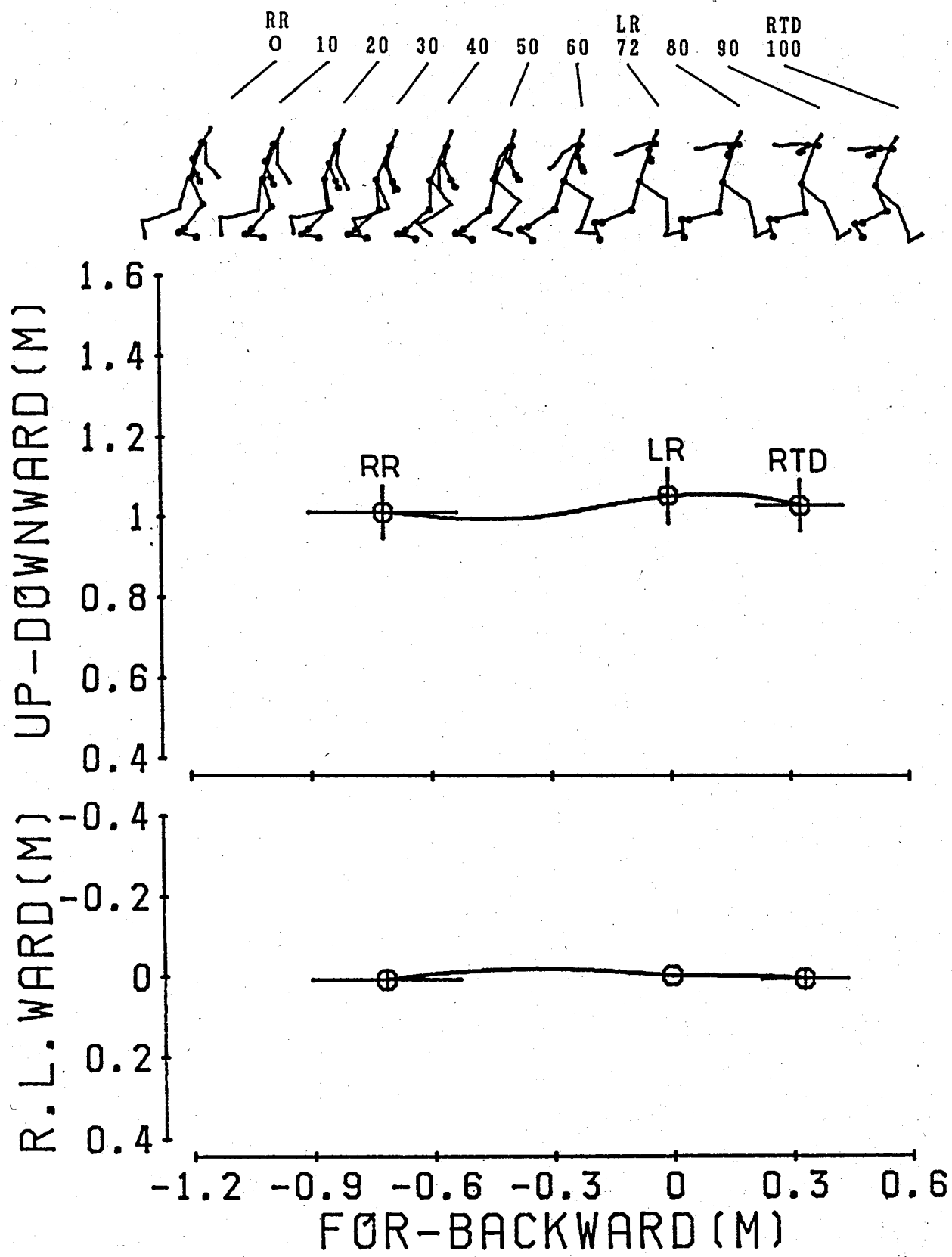


図 8-8 踏切 1 歩前の身体重心の動き (平均)

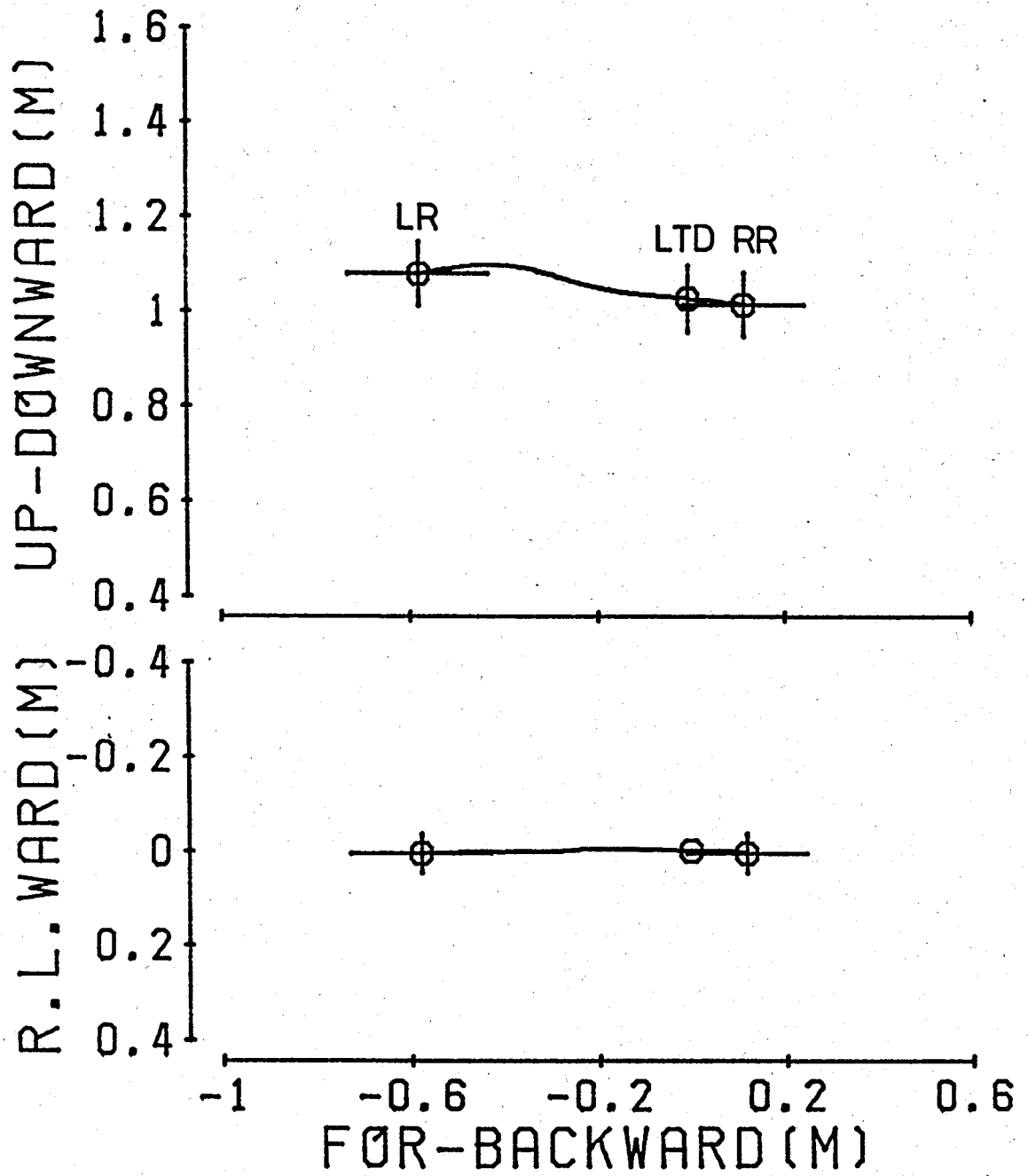
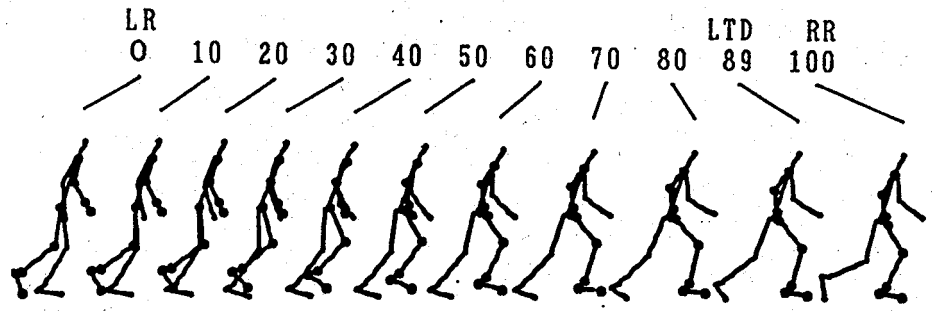


図8-9 踏切2歩前の身体重心の動き(平均)

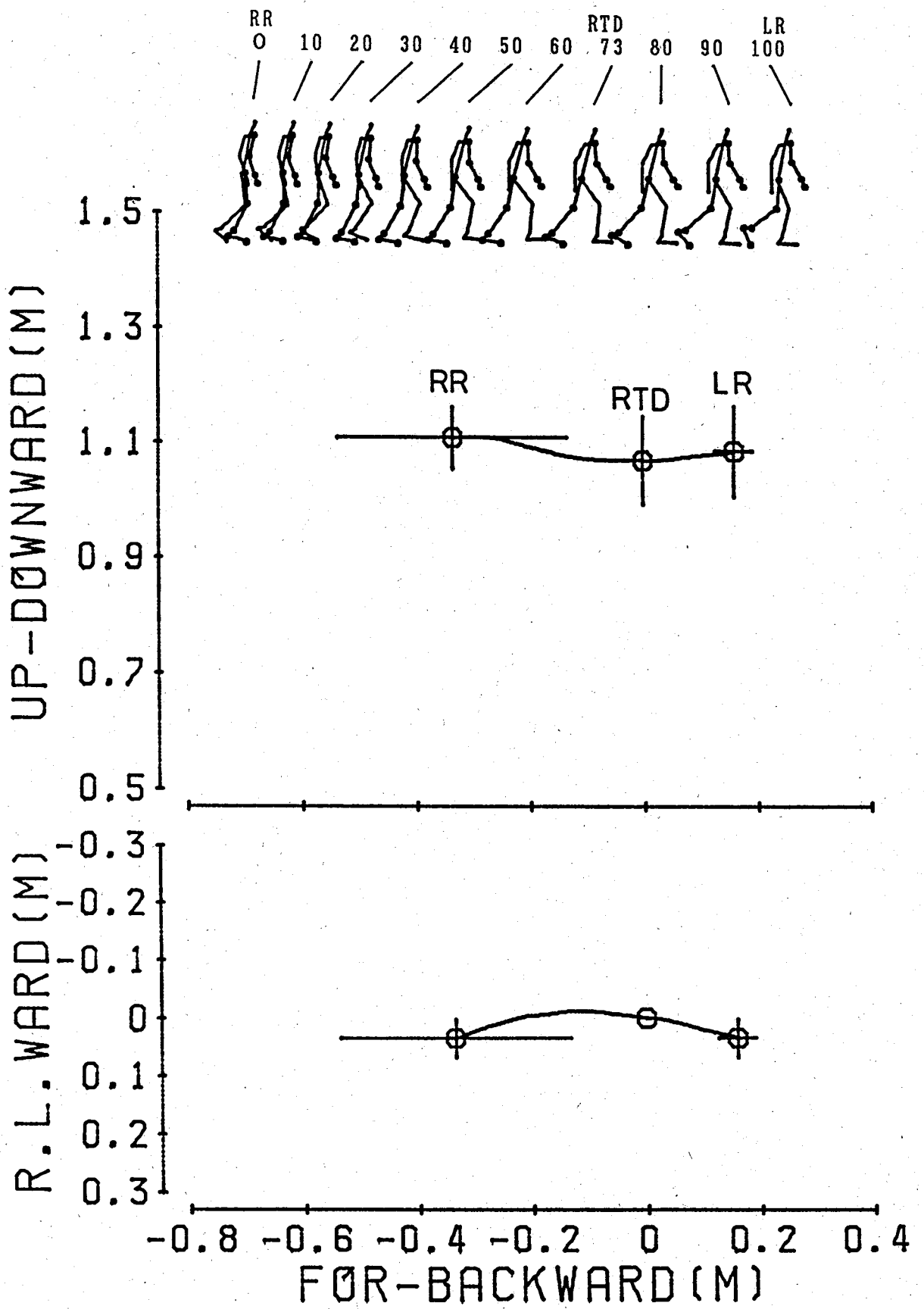


図 8-10 踏切 3 歩前の身体重心の動き (平均)

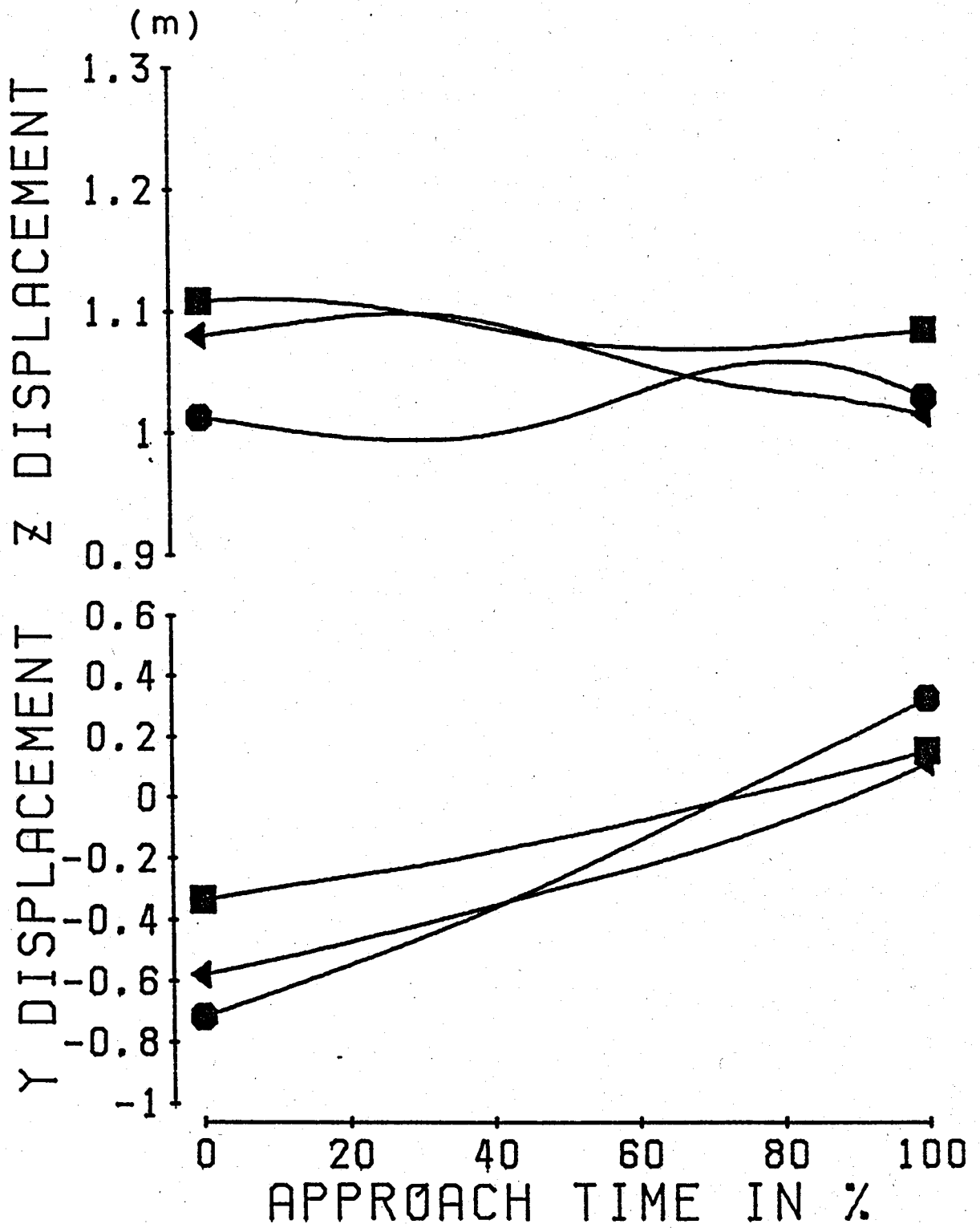


図8-11 各助走歩数ごとの身体重心の動きの比較（上図は鉛直変位，下図は水平変位についてみたもので，●の線は踏切1歩前，▲は踏切2歩前，■は踏切3歩前を示す）

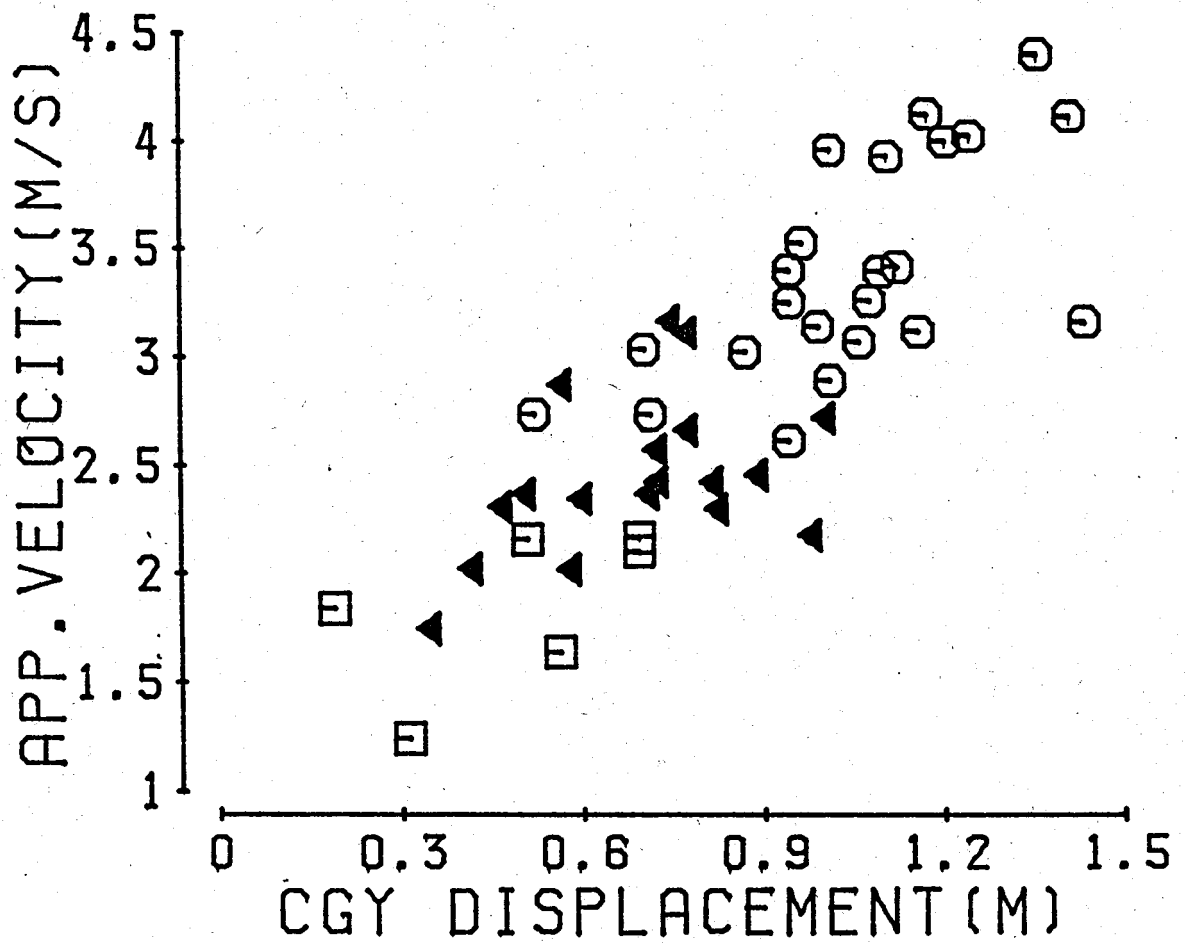


図8-12 各助走歩数ごとの身体重心の水平変位と助走速度との関係
 (○は踏切1歩前, ▲は踏切2歩前, □は踏切3歩前の場合)

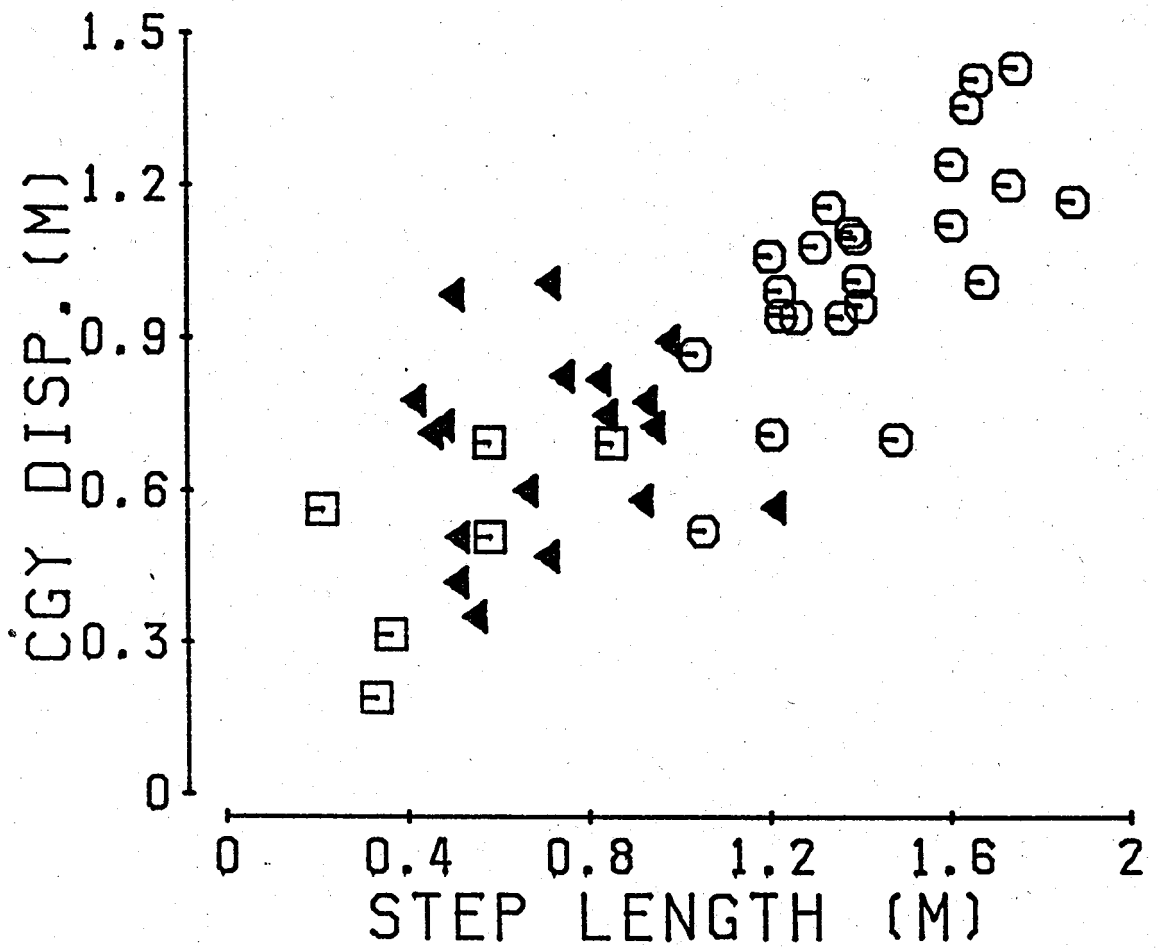


図8-13 各助走歩数ごとの歩幅と身体重心の水平変位との関係
 (○は踏切1歩前, ▲は踏切2歩前, □は踏切3歩前の場合)

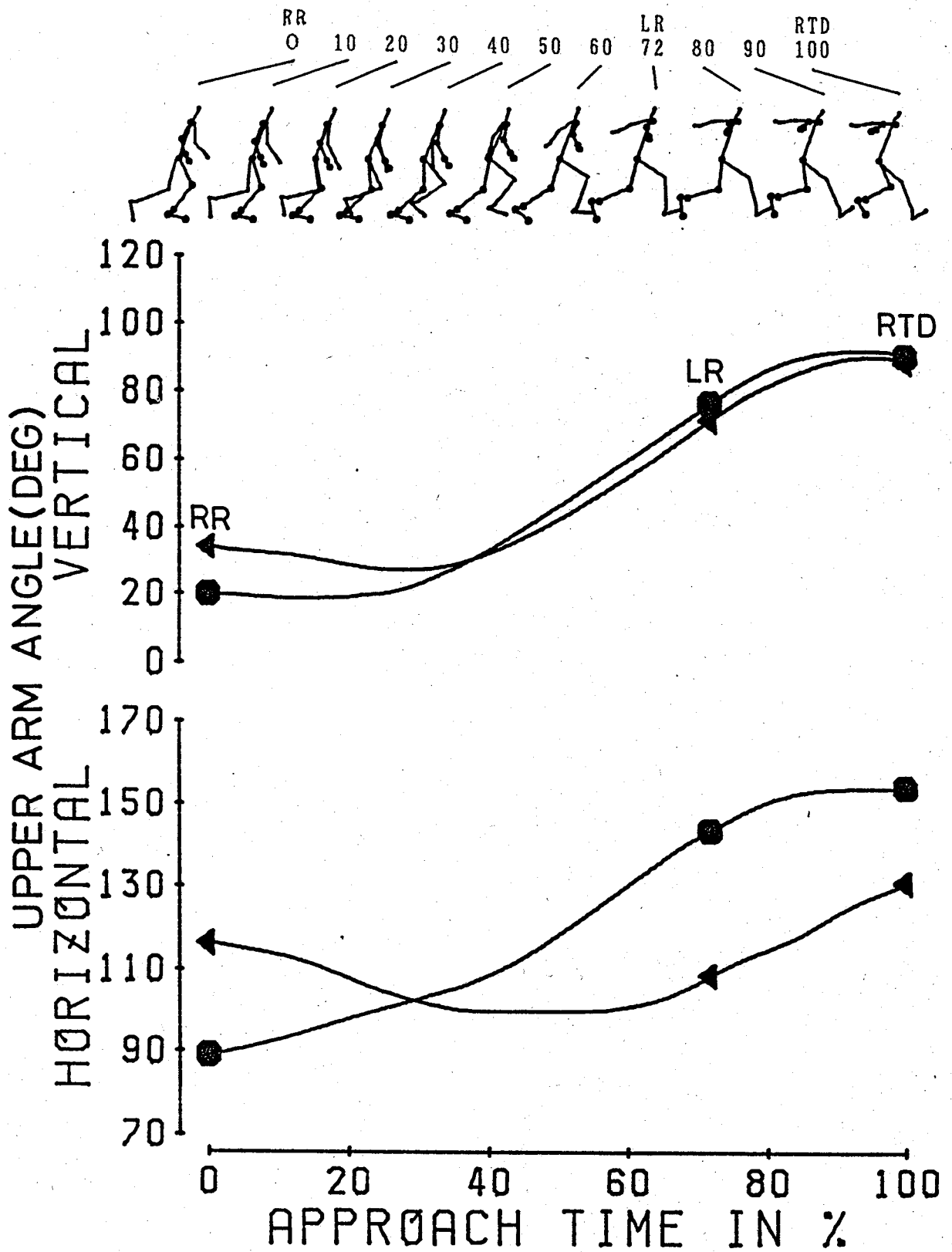


図8-14 踏切1歩前における上腕の角度変化（上図は鉛直下向きのベクトルが上腕となす角度，下図は水平前向きのベクトルが上腕となす角度を示し，●の線は右，▲は左上腕角度）

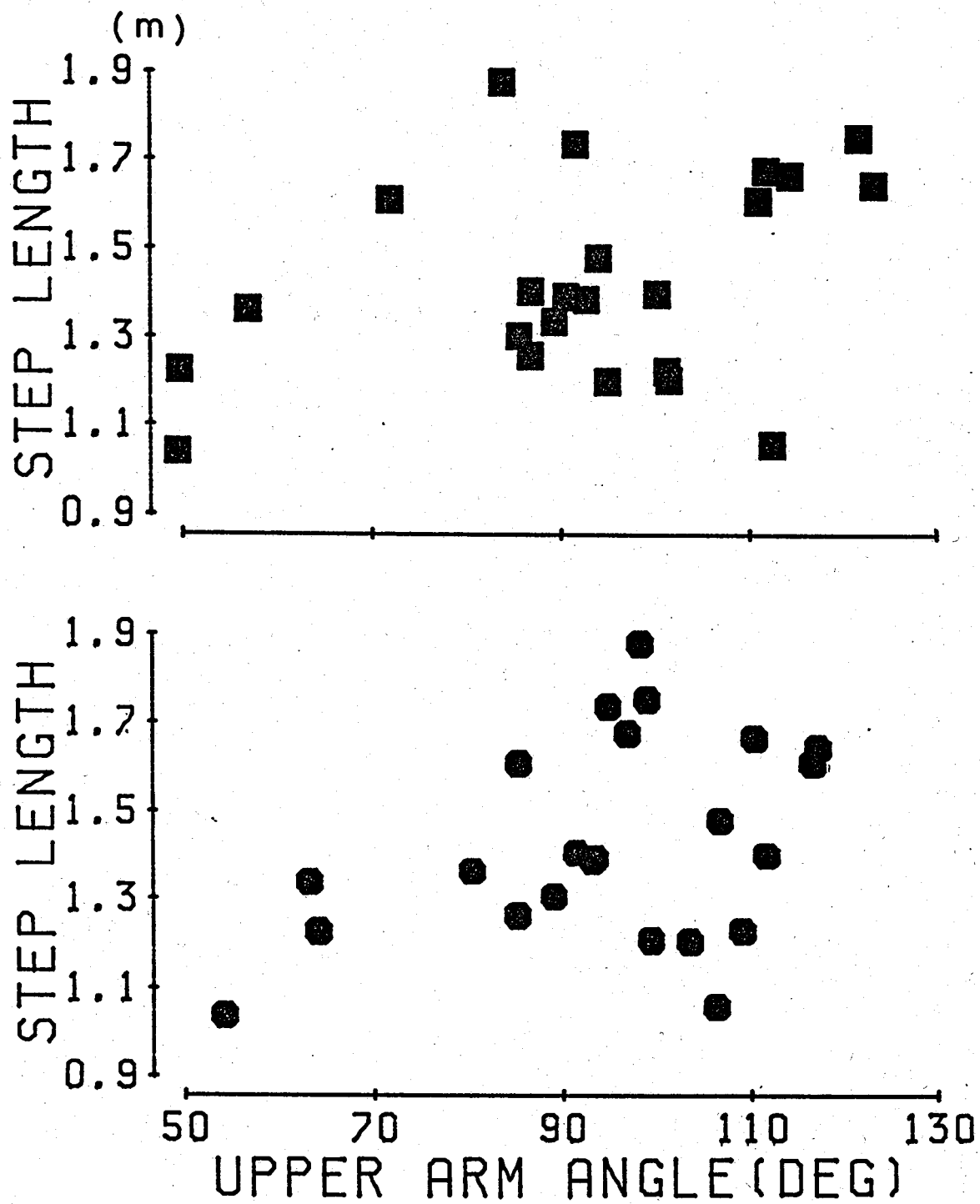


図 8-15 踏切 1 歩前における上腕の最大振り上げ角度と歩幅の関係
 (上図は左上腕, 下図は右上腕の場合)

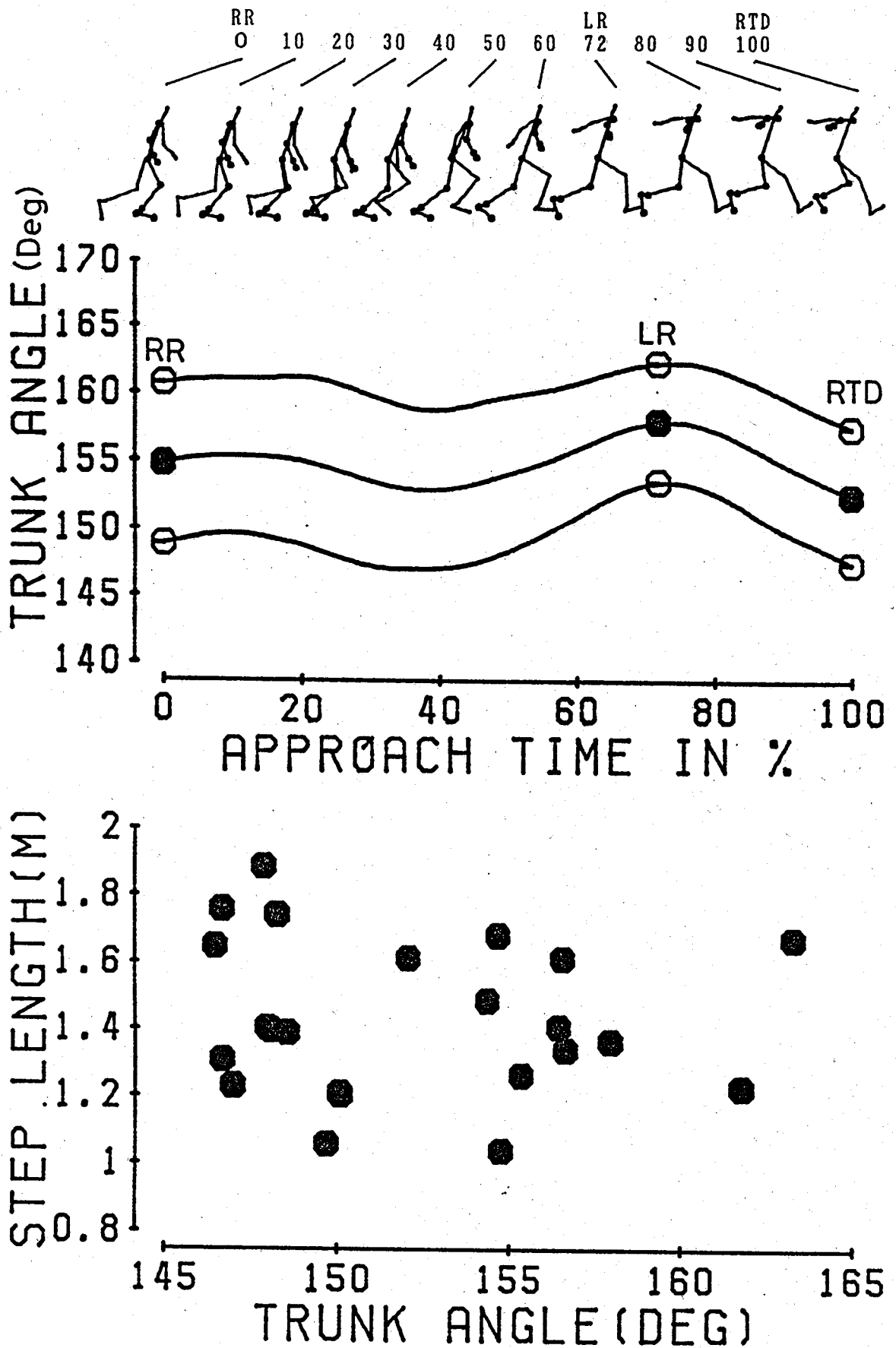


図8-16 上図：踏切1歩前における胴体の鉛直角度変化（●の線は平均値，○の線は±1SD）
 下図：踏切1歩前における胴体の最大前屈角度と歩幅の関係

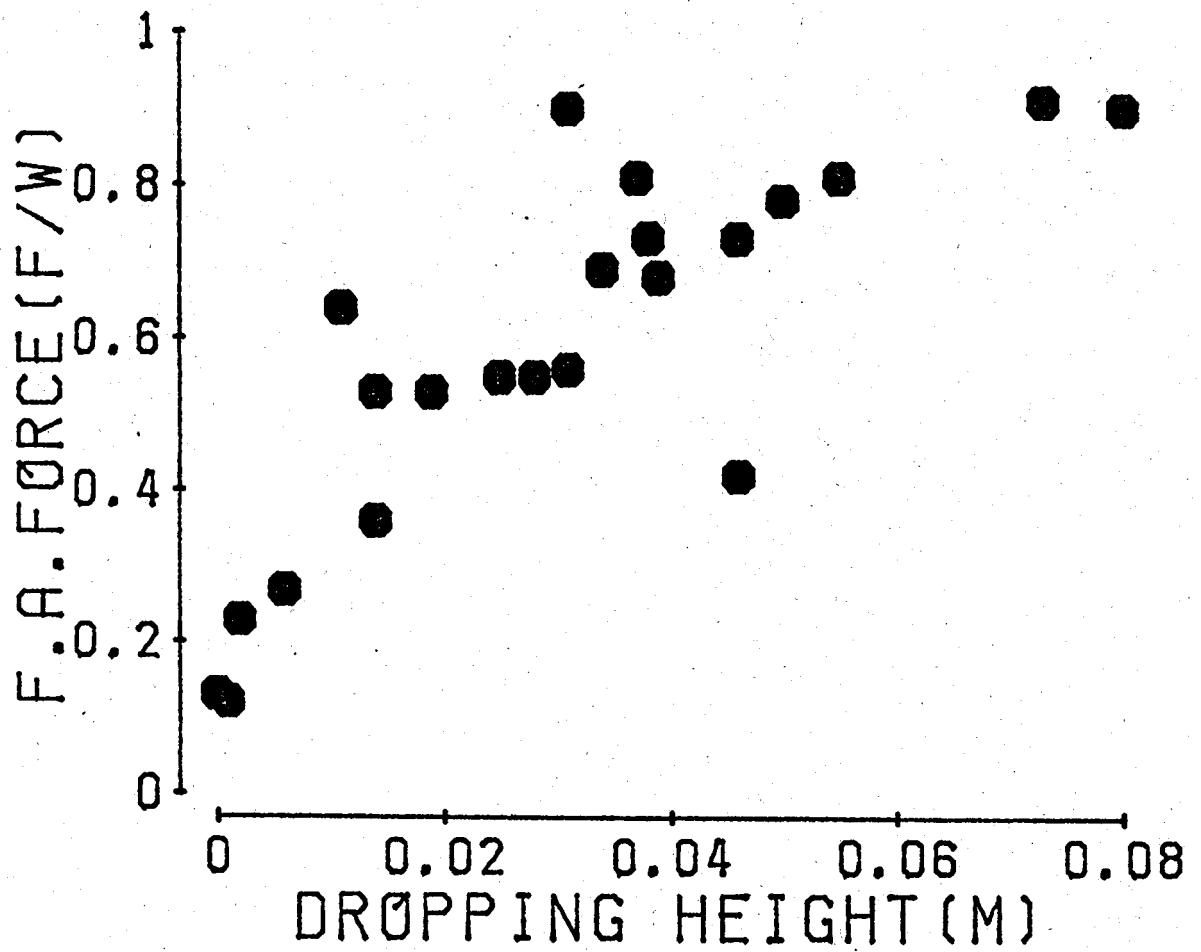


図 8 - 1 7 跳び降り高と踏切前半の鉛直平均力との関係

表9-1 踏切局面における各種測定項目のまとめ

試技名	最大重心高		脚躍高		CG鉛直速度 最大値(m/s)	CG鉛直速度最 大値出現時点 (sec)	離地時CG鉛直速 度とCG鉛直速度 最大値の差(m/s)	CG鉛直変位 (m)	脚の各関節角度変位(deg)		脚の各 関節左	
	(m)	H2	HW	H2					腰 右	膝 右		足 右
1 YU1	1.924	0.218	0.564	3.424	-0.010	0.404	61	67	58	65	66	58
2 SU2	1.955	0.202	0.623	3.396	-0.010	0.412	79	66	69	62	58	56
3 WA1	1.884	0.223	0.507	3.213	-0.031	0.353	67	59	47	53	50	53
4 NA3	1.986	0.211	0.604	3.442	0	0.368	53	64	46	29	65	39
5 FU2	1.977	0.208	0.662	3.757	-0.020	0.477	65	53	64	33	58	49
6 VI2	2.116	0.243	0.725	3.717	-0.020	0.428	85	71	72	65	51	58
7 KU1	1.884	0.225	0.511	3.262	-0.020	0.304	34	43	52	60	49	49
8 KU2	1.925	0.220	0.557	3.424	-0.020	0.330	36	45	55	47	43	39
9 NA1	2.042	0.248	0.623	3.685	-0.020	0.407	52	66	75	51	66	49
10 TA1	2.090	0.219	0.729	4.048	-0.020	0.464	65	80	81	47	54	50
11 TA2	2.042	0.230	0.670	3.878	-0.020	0.489	67	56	82	49	75	64
12 FU1	2.006	0.220	0.679	3.944	-0.020	0.445	61	60	70	36	71	50
13 SI1	1.996	0.236	0.589	3.598	-0.020	0.414	40	67	55	59	58	43
14 SI2	2.035	0.279	0.585	3.283	-0.031	0.429	38	70	79	62	66	49
15 SU1	1.961	0.256	0.575	3.544	-0.020	0.439	76	83	73	66	66	60
16 SA1	2.110	0.248	0.691	3.996	-0.041	0.552	86	81	92	73	64	69
17 SA2	2.101	0.297	0.633	3.836	-0.041	0.523	73	61	73	60	60	57
18 YA2	2.026	0.276	0.655	3.798	-0.020	0.457	53	76	65	39	74	65
19 VI1	2.090	0.262	0.680	3.939	-0.020	0.499	64	60	70	70	70	54
20 ZI1	1.982	0.257	0.583	3.522	-0.020	0.401	58	42	61	60	58	55
21 NA2	2.054	0.234	0.649	3.438	-0.031	0.439	76	77	73	64	67	60
22 NA4	1.996	0.200	0.625	3.644	-0.020	0.371	69	56	77	50	71	58
23 YA1	1.993	0.227	0.671	3.821	-0.020	0.380	70	56	65	46	59	47
平均	2.008	0.236	0.626	3.635	-0.022	0.425	62	63	68	54	62	54
SD	(0.068)	(0.026)	(0.061)	(0.249)	(0.009)	(0.060)	(15)	(12)	(12)	(12)	(8)	(8)

HW: 離地時重心上昇高

H2: 空中での重心上昇高

CG鉛直速度最大値出現時点: 離地時を0時点として示したもので、負の記号は離地前を意味する
脚の各関節角度変位: 各関節の最大屈曲時から離地時までの関節角度変位

表9-2 踏切局面における各種測定項目のまとめ

試技名	最大屈曲時膝 関節角度(deg)		膝関節最大屈曲 出現時点(sec)		鉛直平均力 (体重当り)		スタンス (m)	踏込角 (deg)	踏込時 離地時	後傾角(deg)	角変位	踏切角 (deg)	跳躍角 (deg)
	右	左	右	左	前半	後半							
1 YU1	100	106	0.061	0.071	0.55	1.77	0.267	-12	-18	18	36	46	59
2 SU2	88	109	0.041	0.041	0.56	1.75	0.511	-13	-18	9	27	54	71
3 WA1	112	106	0.071	0.092	0.13	1.60	0.274	-1	-12	15	27	42	55
4 NA3	110	141	0.041	0.092	0.90	1.85	0.823	-14	-8	23	31	35	56
5 FU2	87	122	0.051	0.061	0.78	1.95	0.454	-14	-25	12	37	59	78
6 VI2	103	107	0.061	0.041	0.53	1.81	0.385	-9	-28	7	35	49	76
7 KU1	122	118	0.031	0	0.64	2.09	0.174	-9	-9	12	21	44	60
8 KU2	119	119	0.051	0.061	0.81	2.19	0.213	-10	-12	8	20	49	64
9 NA1	100	120	0.041	0.061	0.55	1.92	0.593	-11	-16	11	27	52	68
10 TA1	91	130	0.010	0.133	0.69	1.72	0.824	-13	-19	19	38	43	67
11 TA2	95	127	0.031	0.153	0.36	1.56	0.779	-8	-17	22	39	40	65
12 FU1	89	128	0.082	0.112	0.53	1.91	0.548	-8	-25	11	36	44	63
13 SI1	113	112	-0.010	0.071	0.91	1.88	0.742	-20	-6	24	30	45	62
14 SI2	96	111	0.020	0.061	0.42	1.67	0.762	-17	-5	26	31	48	54
15 SU1	93	105	0.051	0.071	0.90	1.67	0.508	-17	-15	6	21	54	71
16 SA1	85	103	0.051	0.082	0.81	1.56	0.542	-16	-20	4	24	65	79
17 SA2	102	116	0.041	0.061	0.68	1.66	0.502	-12	-28	5	33	68	79
18 YA2	99	130	0.123	0.163	0.23	1.42	0.652	-3	-23	34	57	29	56
19 VI1	101	107	0.092	0.031	0.73	1.70	0.470	-12	-25	12	37	47	62
20 ZI1	111	109	0.071	0.071	0.12	1.76	0.154	-2	-19	8	27	50	67
21 NA2	101	108	0.010	0.031	0.73	1.68	0.457	-16	-15	13	28	52	69
22 NA4	100	124	0.051	0.061	0.81	2.19	0.479	-18	-13	6	19	57	71
23 YA1	107	122	0.061	0.102	0.27	2.03	0.606	-7	-16	11	27	47	70
平均	101	117	0.049	0.075	0.59	1.80	0.510	-11	-17	14	31	49	66
SD	(10)	(10)	(0.029)	(0.039)	(0.24)	(0.20)	(0.201)	(5)	(7)	(8)	(8)	(9)	(8)

膝関節最大屈曲出現時点：前半終了時を0時点として示したもので、負の記号は前半終了時前を意味する
スタンス：両踵間の距離

相関係数	H 2	J H	df = 21
H w	0.063	0.437	
H 2		0.925	

H w : 離地時重心上昇高
 H 2 : 空中での重心上昇高
 J H : 跳躍高 (H w + H 2)

図 9 - 1 跳躍高に関する相関係数

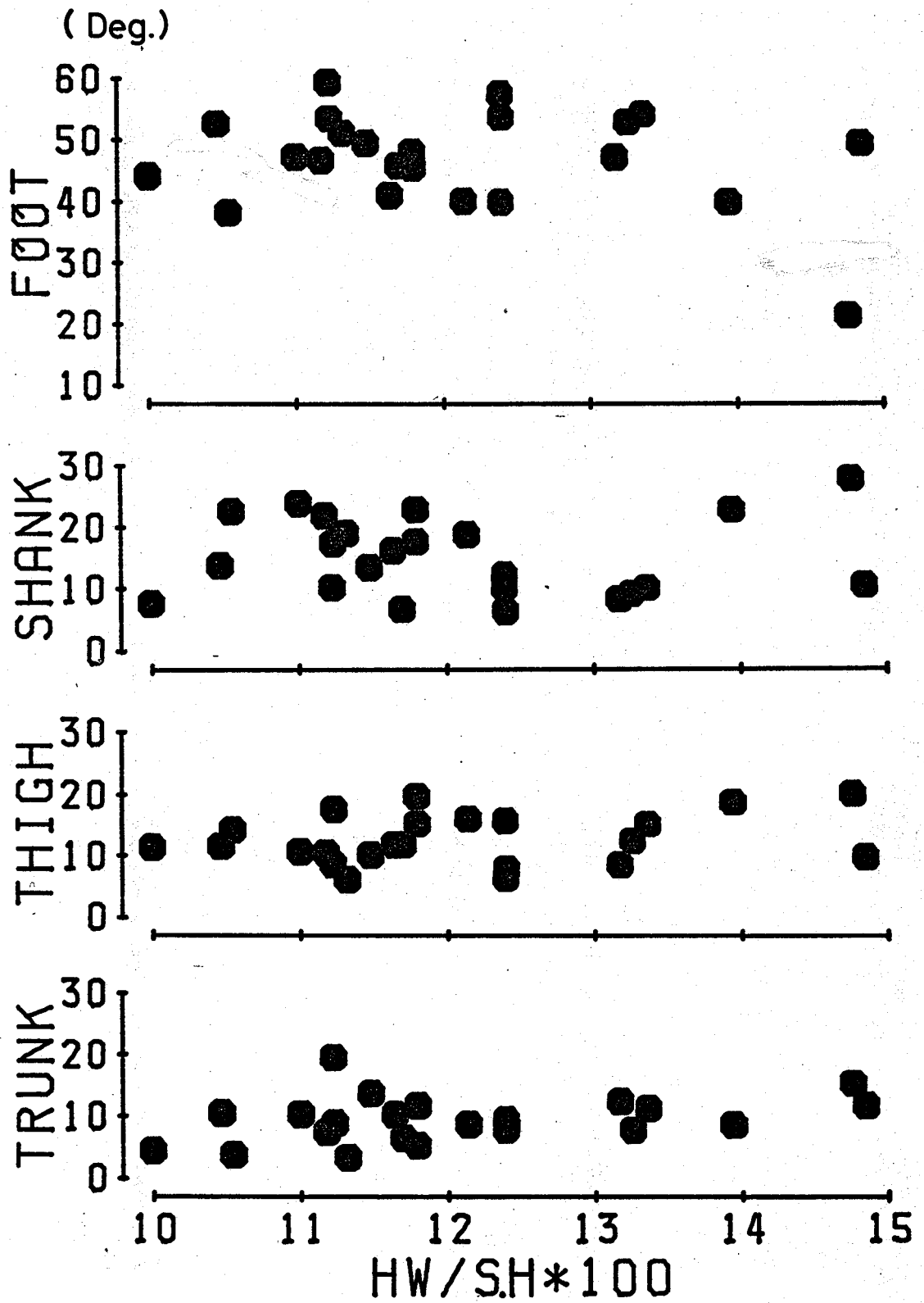


図 9-2 HW指数 (離地時重心上昇高を身長に対する割合で示したもの) と、離地時における胴体および下肢各部分が下向き鉛直線となす角度との関係

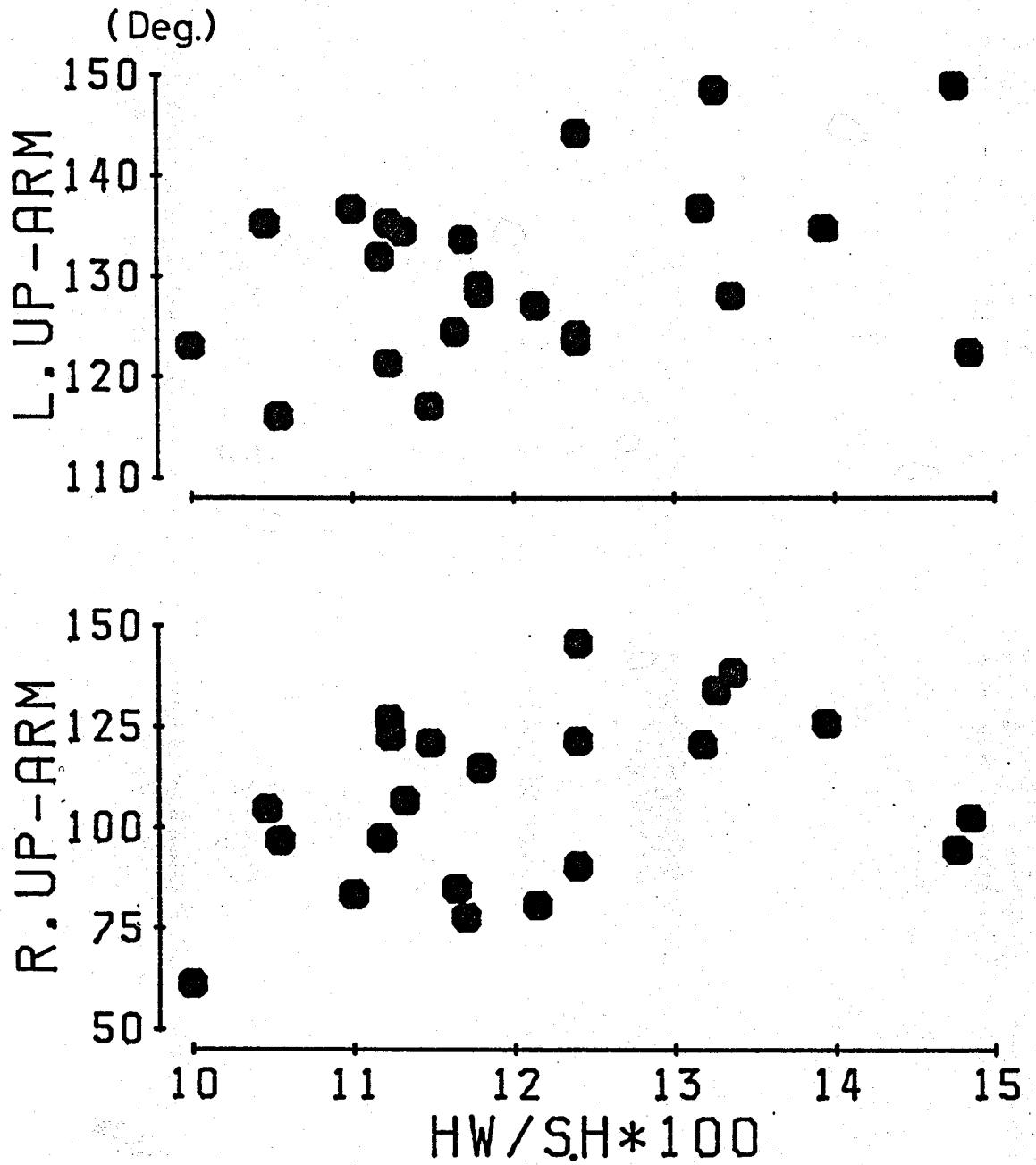


図9-3 HW指数と離地時における上腕が下向き鉛直線となす角度との関係

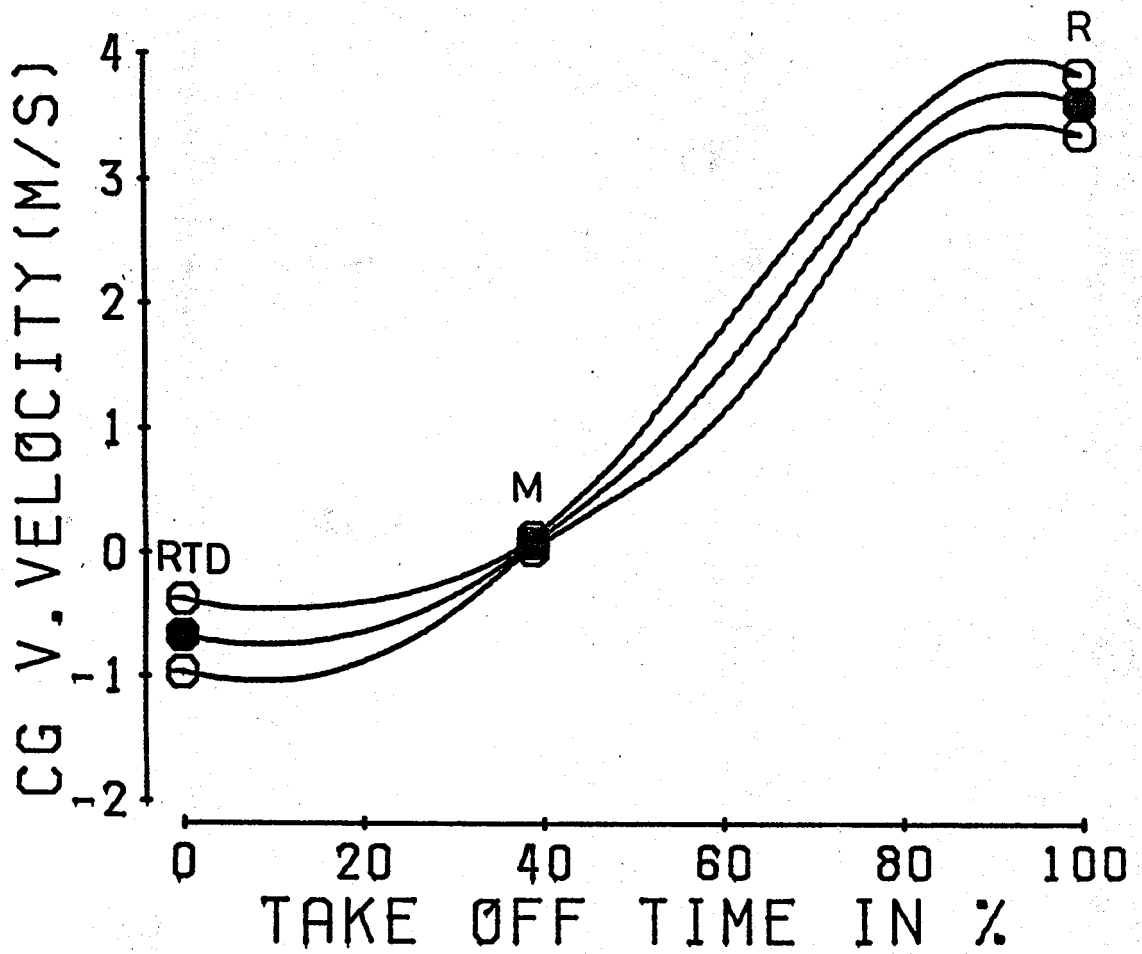
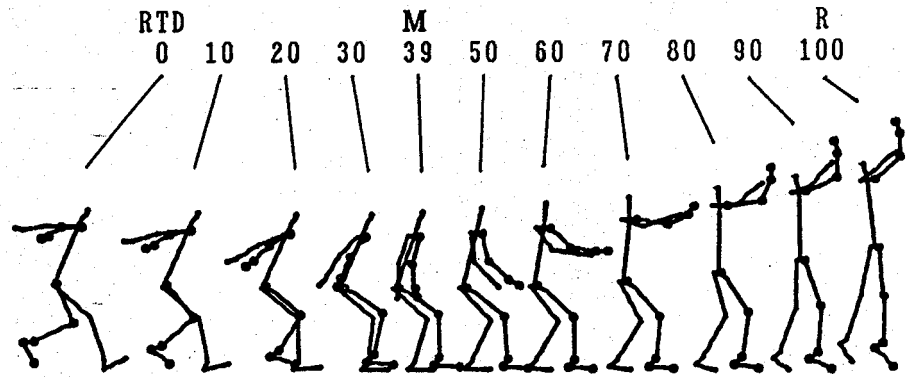


図9-4 踏切局面における身体重心の鉛直速度変化 (●の線は平均値, ○の線は±1SDを示す)

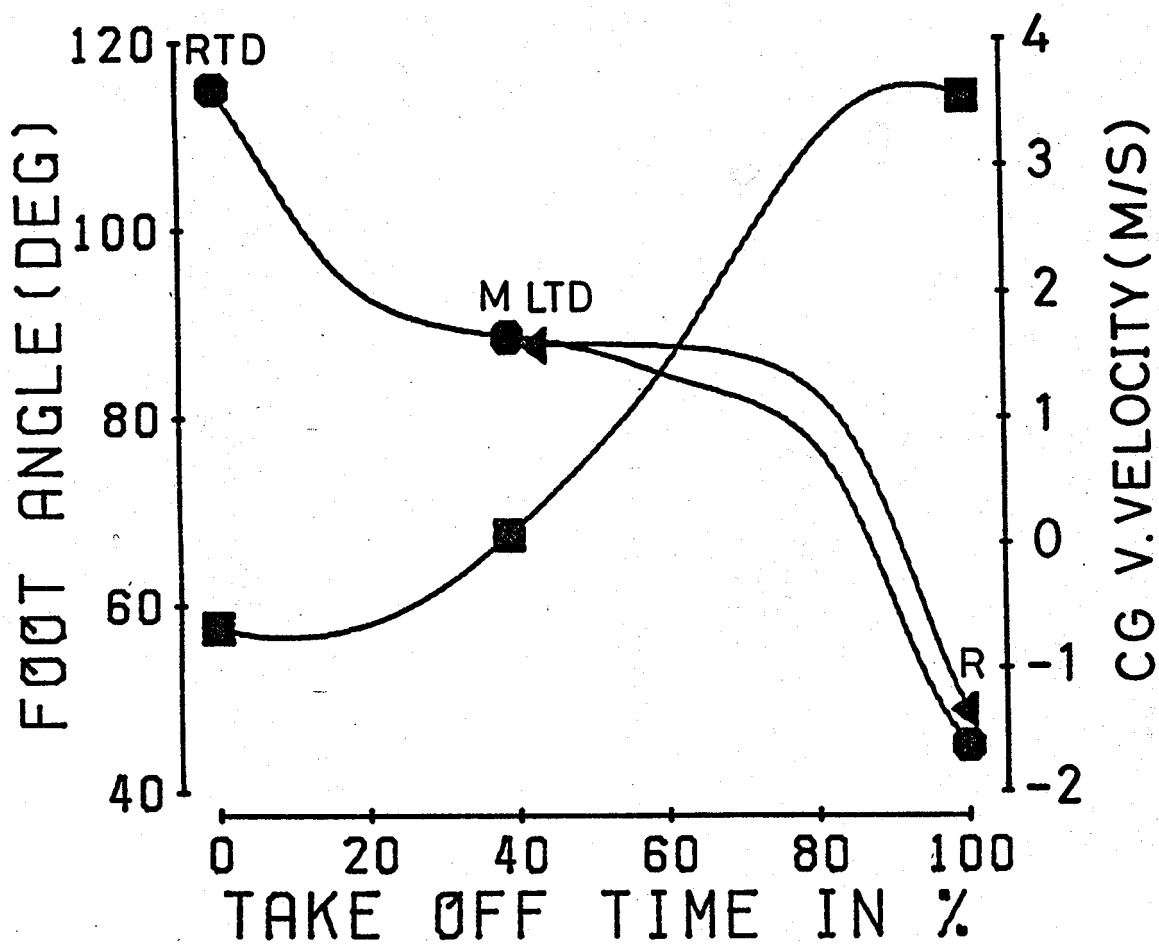
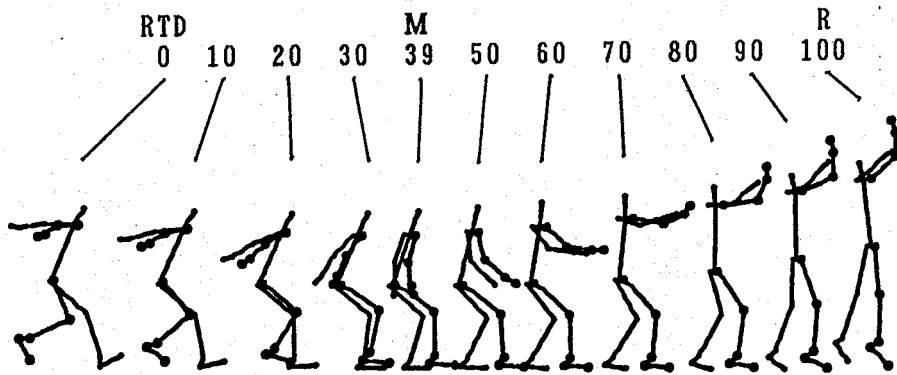


図9-5 踏切局面における身体重心の鉛直速度変化(■の線)と、接地中の足角度変化(●の線は右足が下向き鉛直線となす角度, ▲の線は左足が下向き鉛直線となす角度)

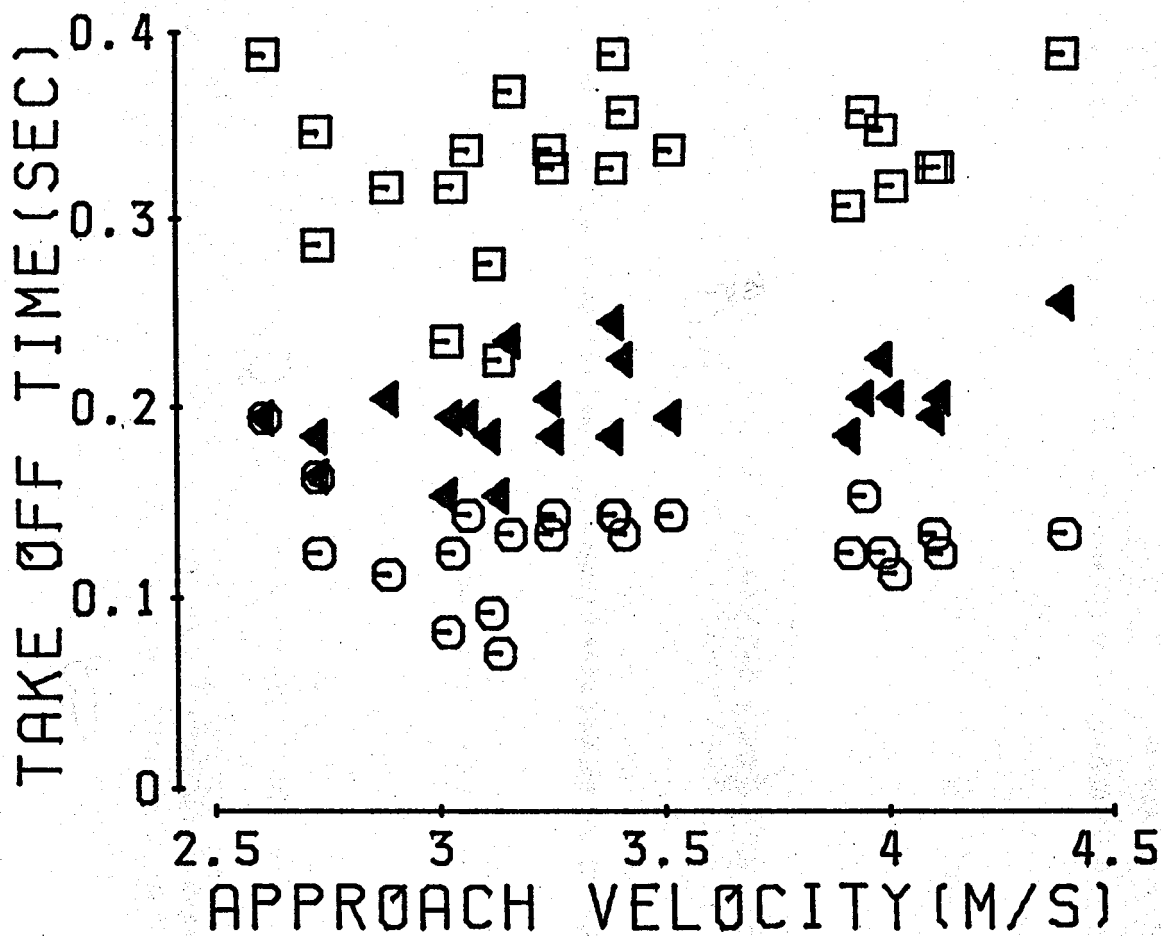


図 9-6 助走速度に対する踏切時間の関係 (○は前半時間, ▲は後半時間
□は踏切時間全体の場合)

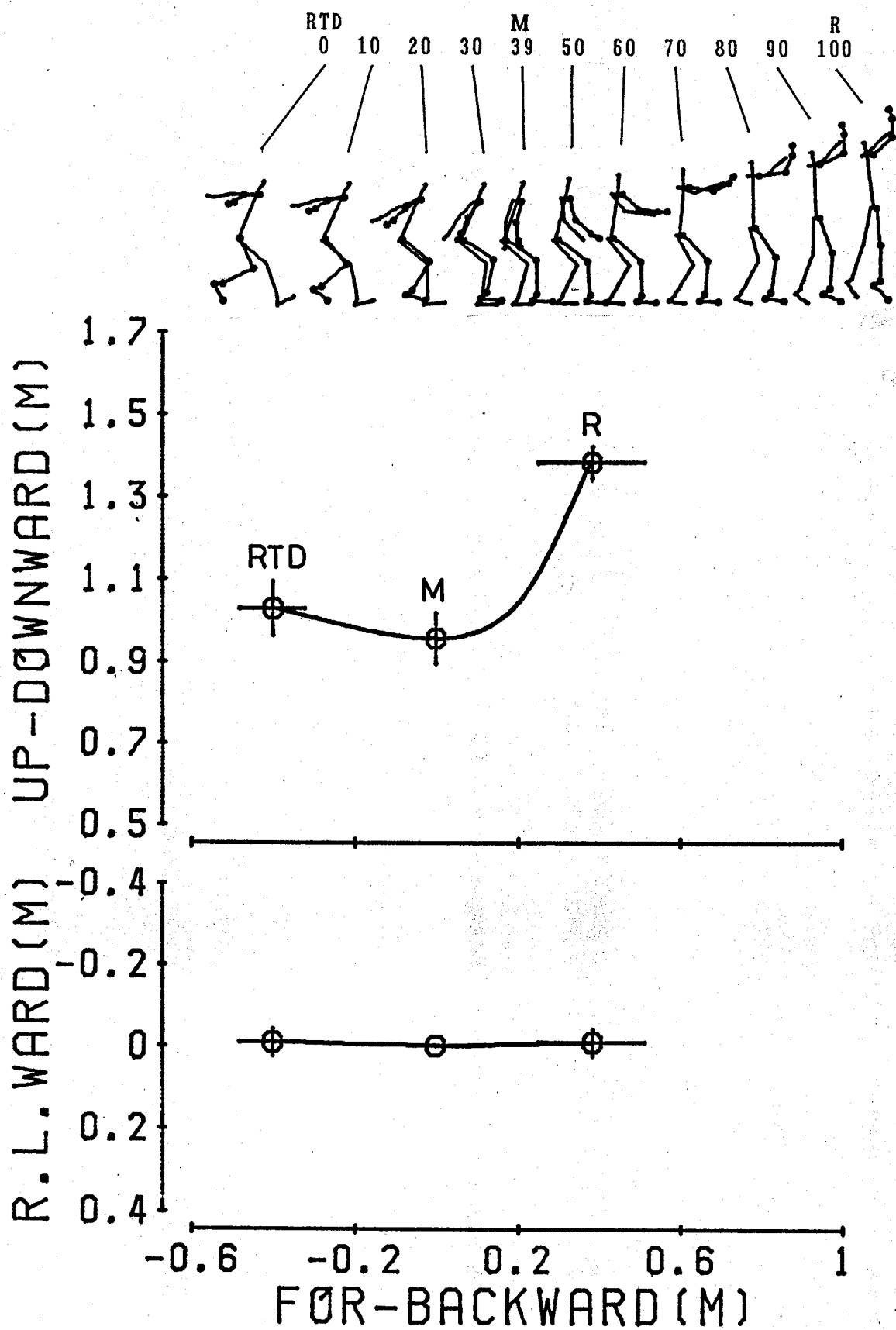


図 9-7 踏切局面における身体重心の動き (平均)

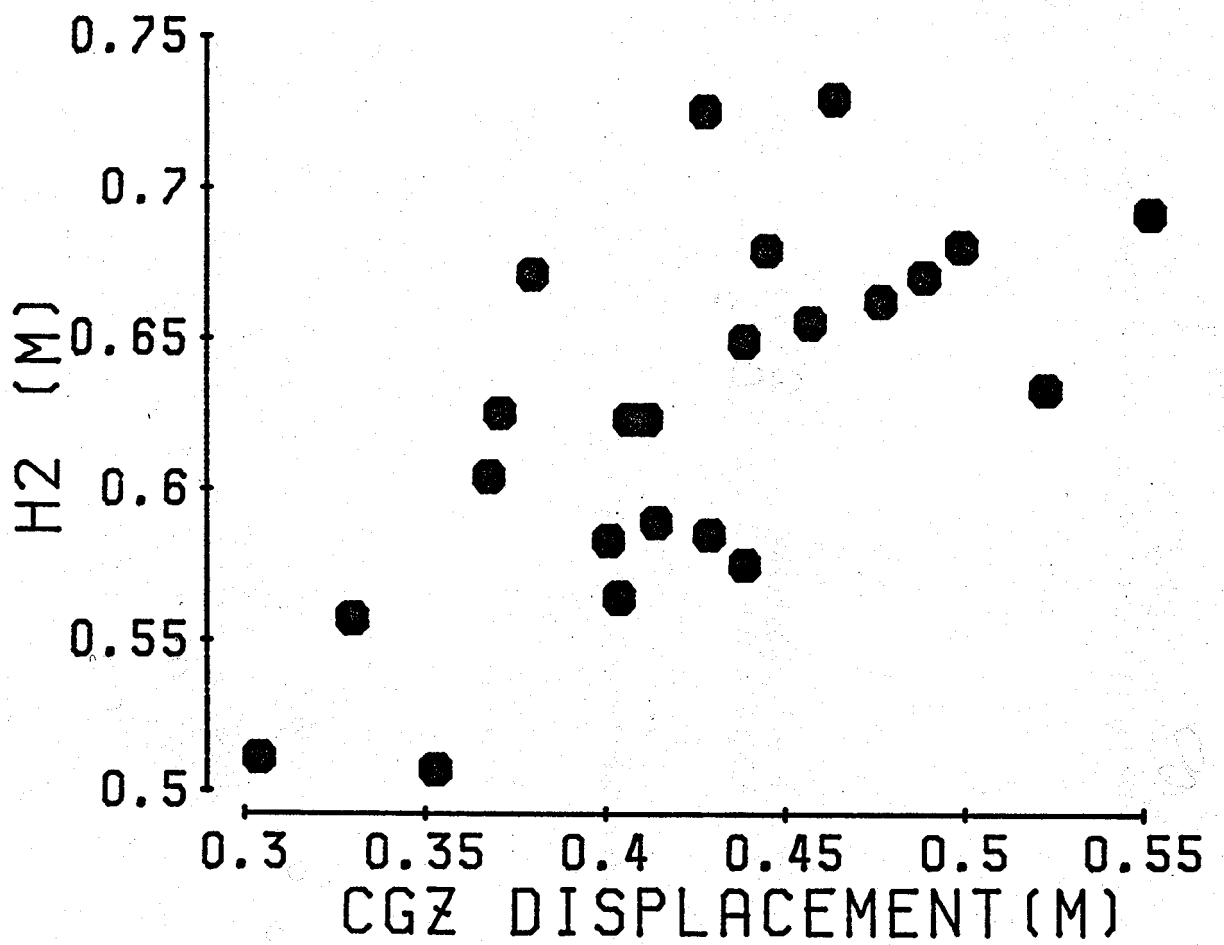


図 9 - 8 身体重心の鉛直変位と空中での重心上昇高との関係 (鉛直変位は離地時重心高から前半終了時重心高を差し引いた値)

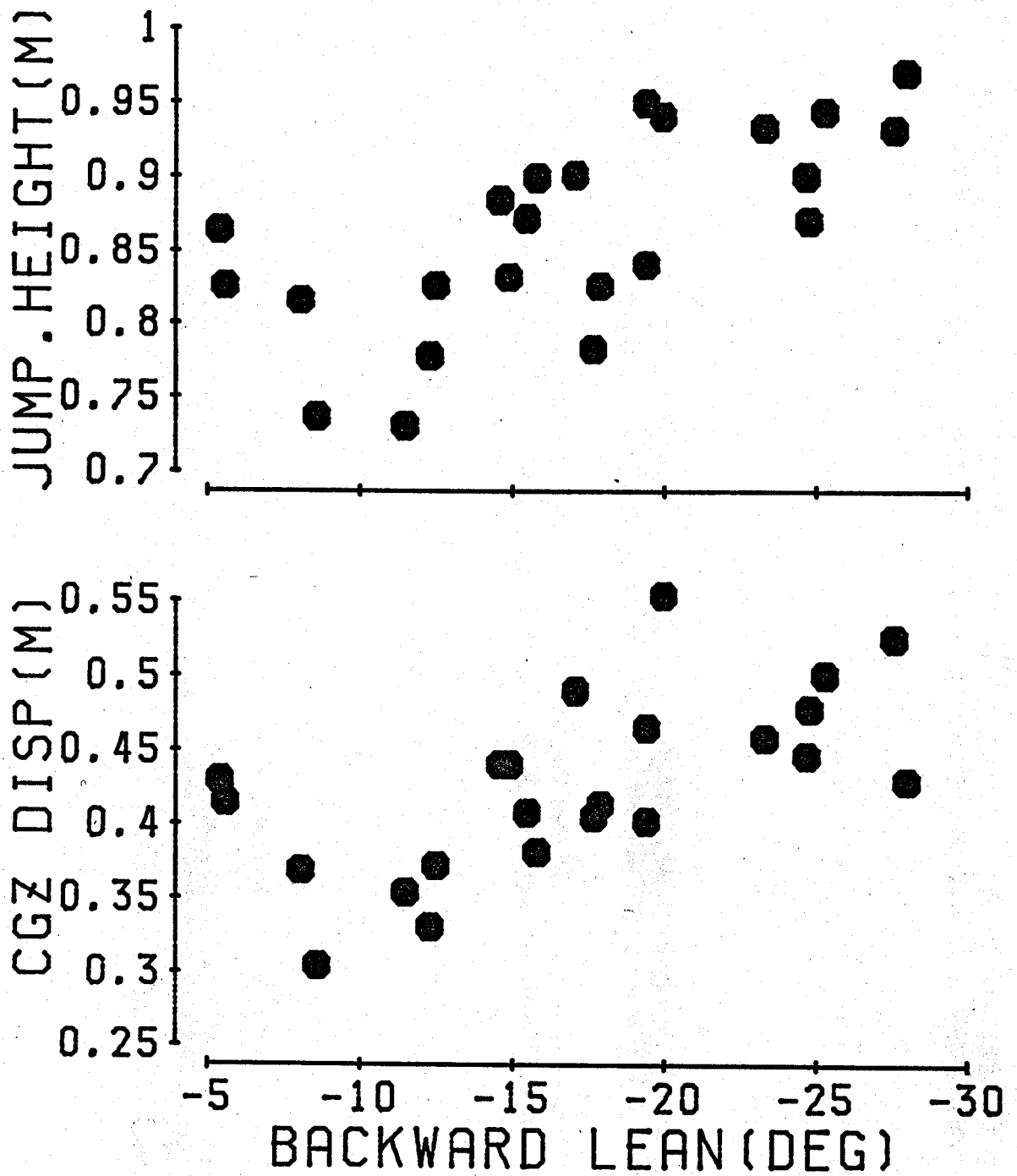


図9-9 後傾角に対する身体重心の鉛直変位（下図），および跳躍高（上図）の関係

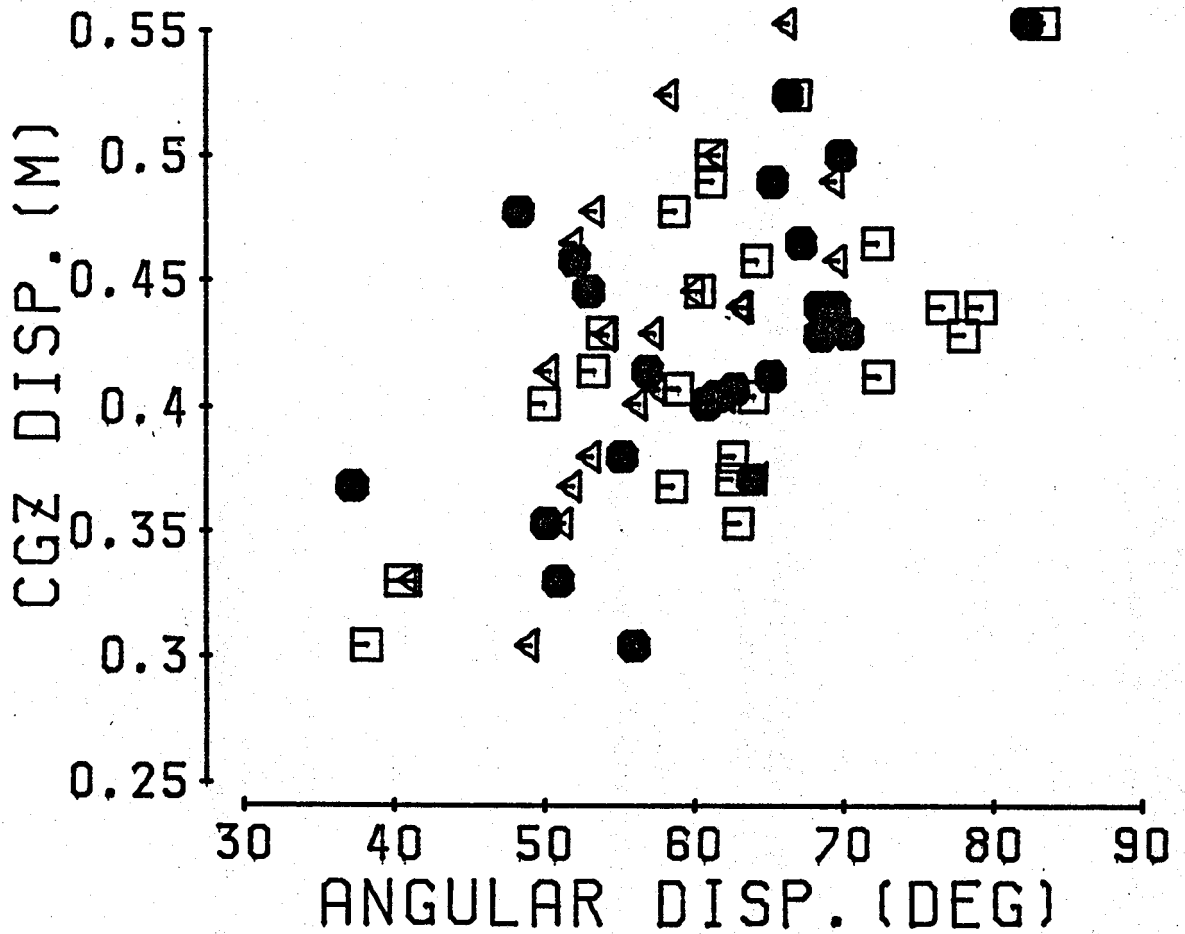


図 9-10 踏切局面における腰，膝，および足関節角度変位と，身体重心の鉛直変位との関係（□は腰，●は膝，△は足関節角度変位を示し，それぞれ左右の平均値である）

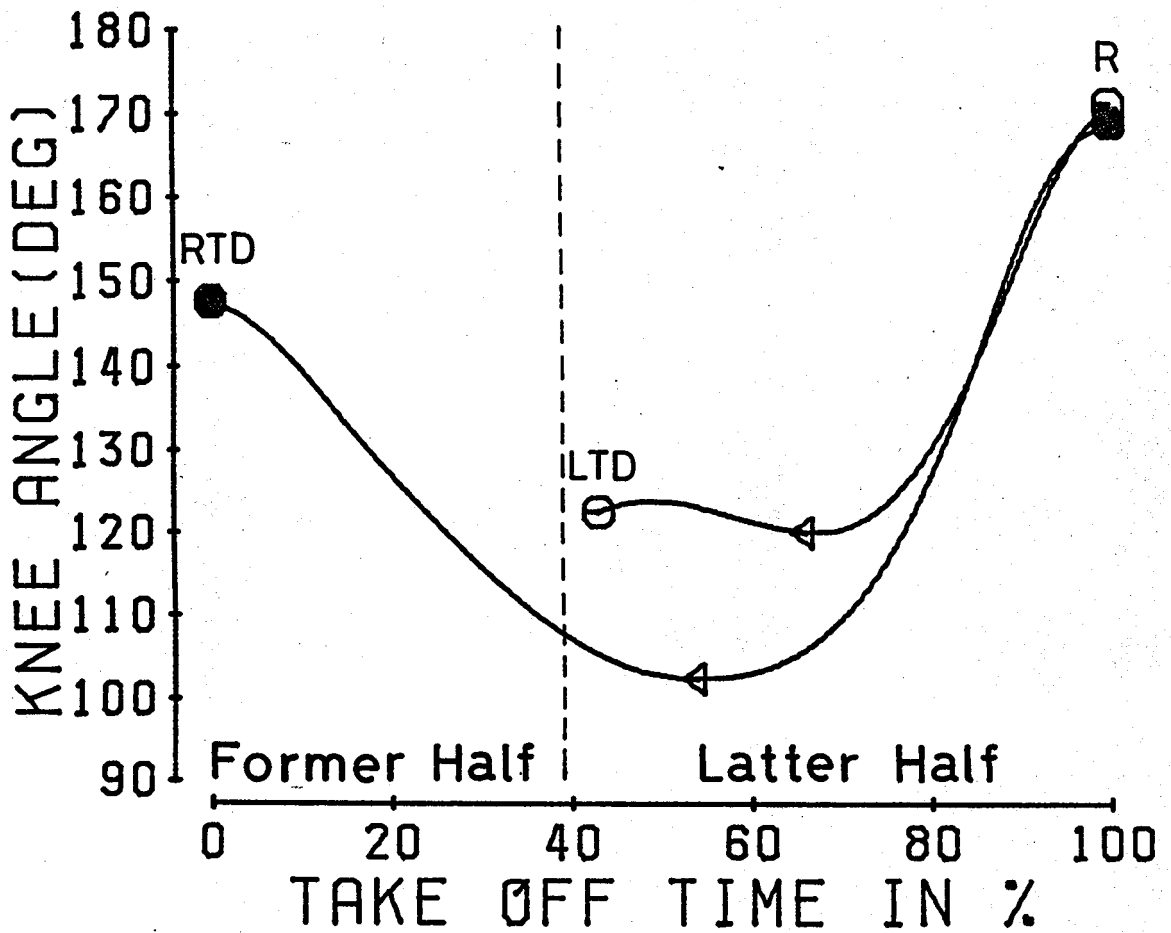
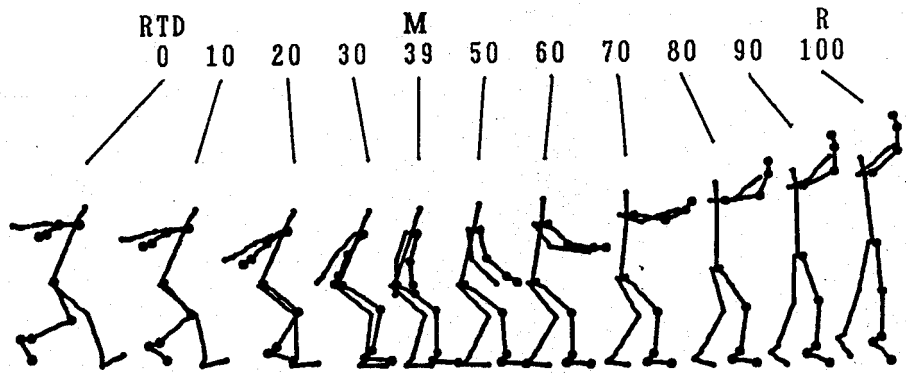
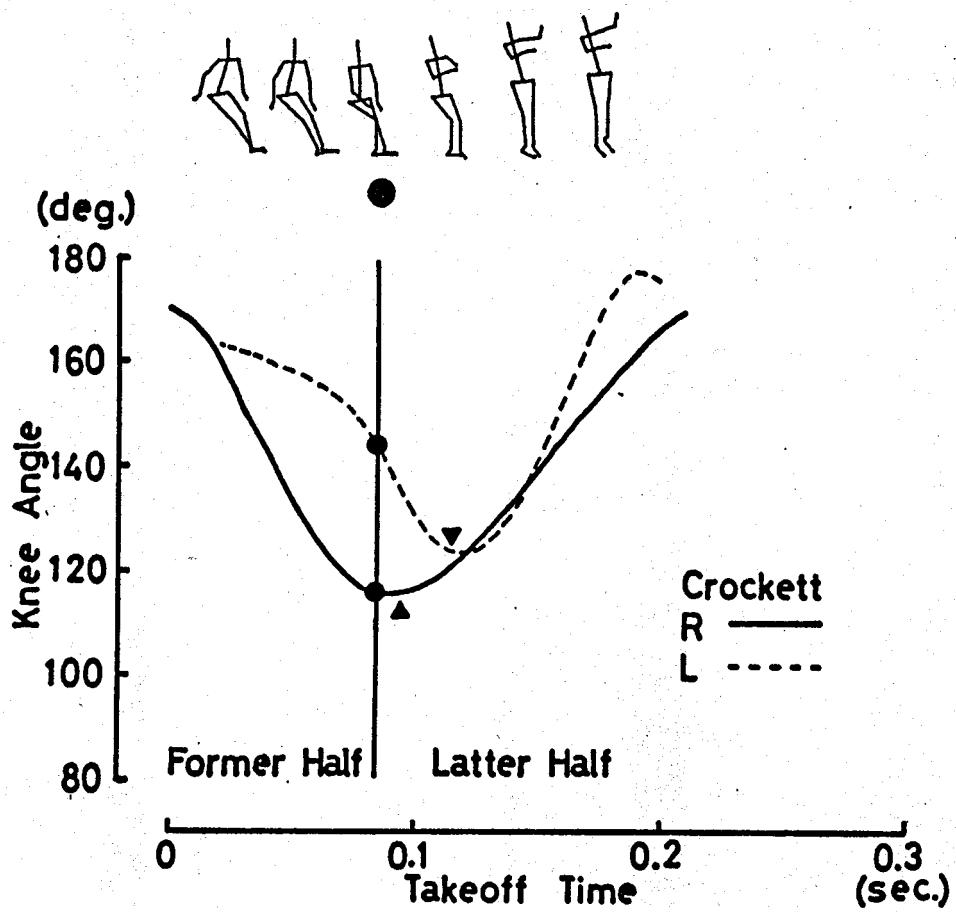


図9-11 接地中の膝関節角度変化からみた踏切脚の動き (●の線が右膝, ○の線が左膝を示し, △は各脚の最大屈曲時を示す)



24)
 図 9-12 Crockett (アメリカ女子選手) の踏切脚の動き (橋原, 1983)

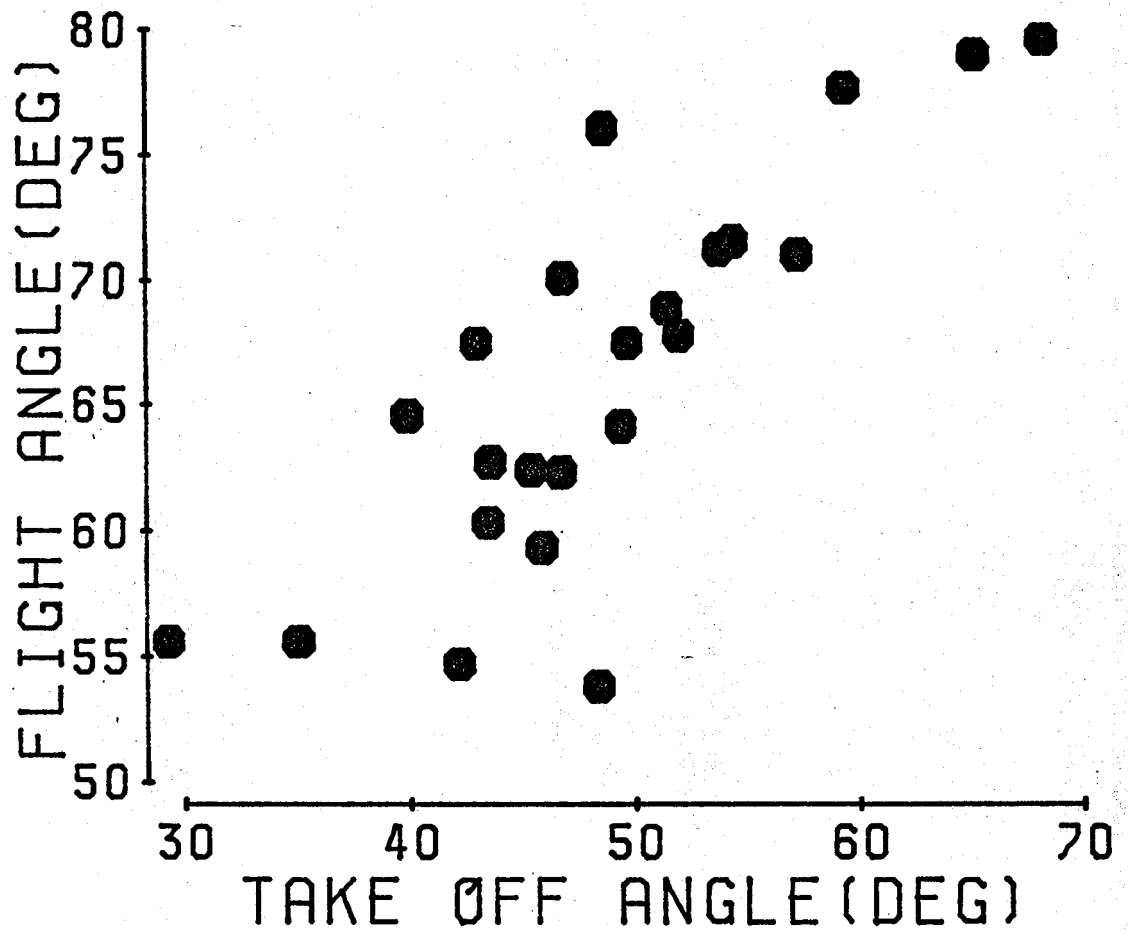


図 9-13 踏切角度と跳躍角の関係 (踏切角度とは身体重心の前半終了地点と離地地点を結ぶ線が水平面となす角度, 跳躍角とは離地時における身体重心の速度ベクトルが水平面となす角度)

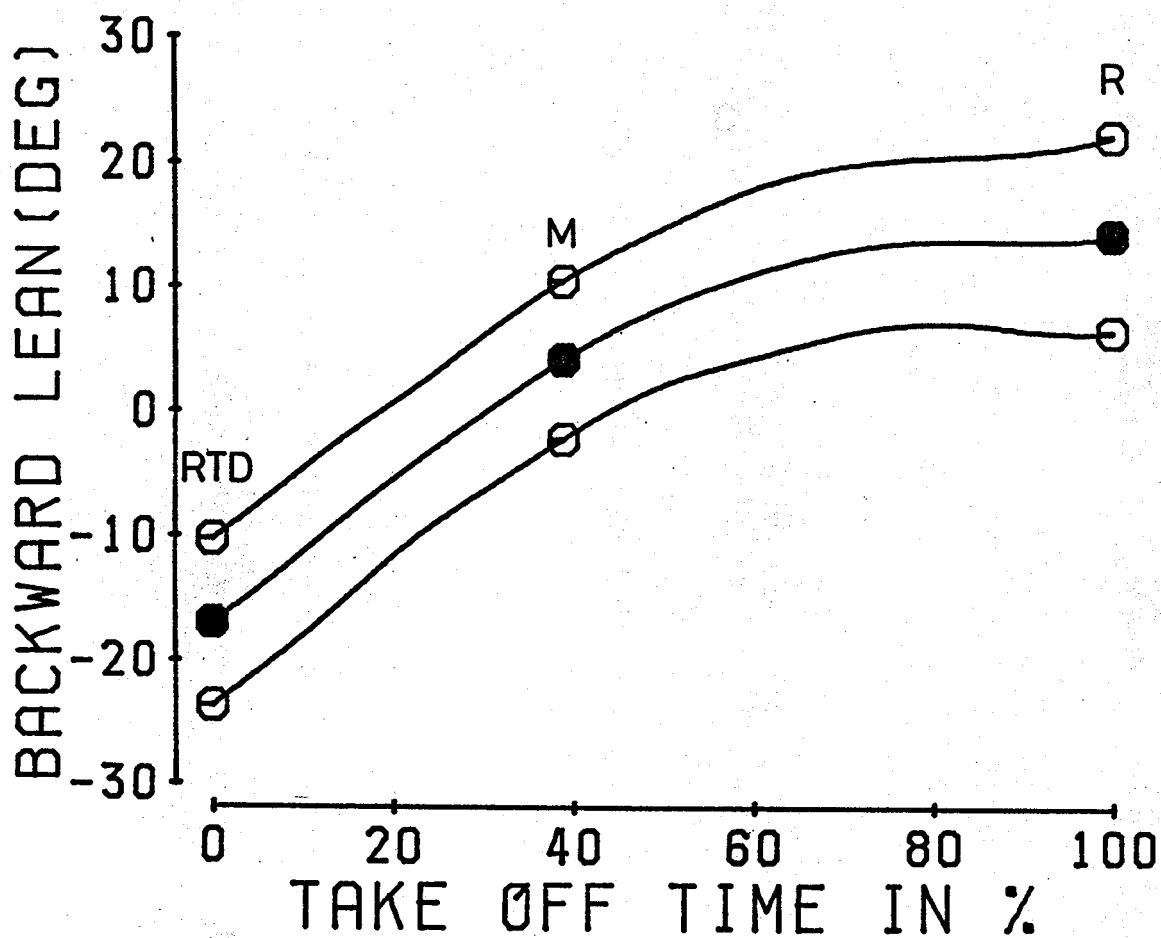
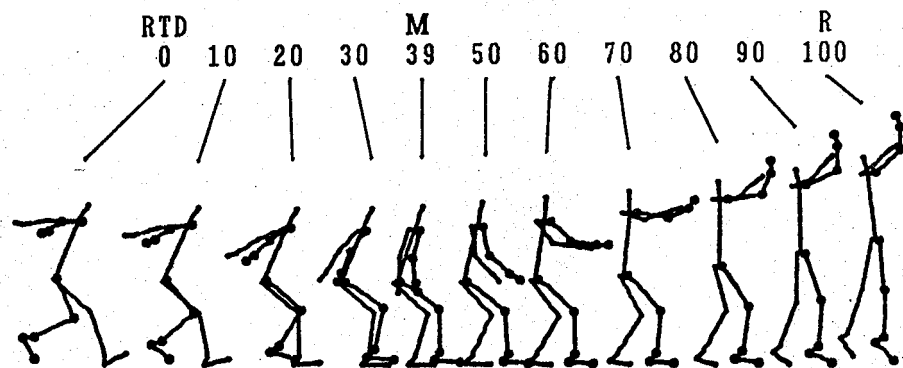


図9-14 踏切中の後傾角変化 (●の線は平均値, ○の線は±1SD を示す)

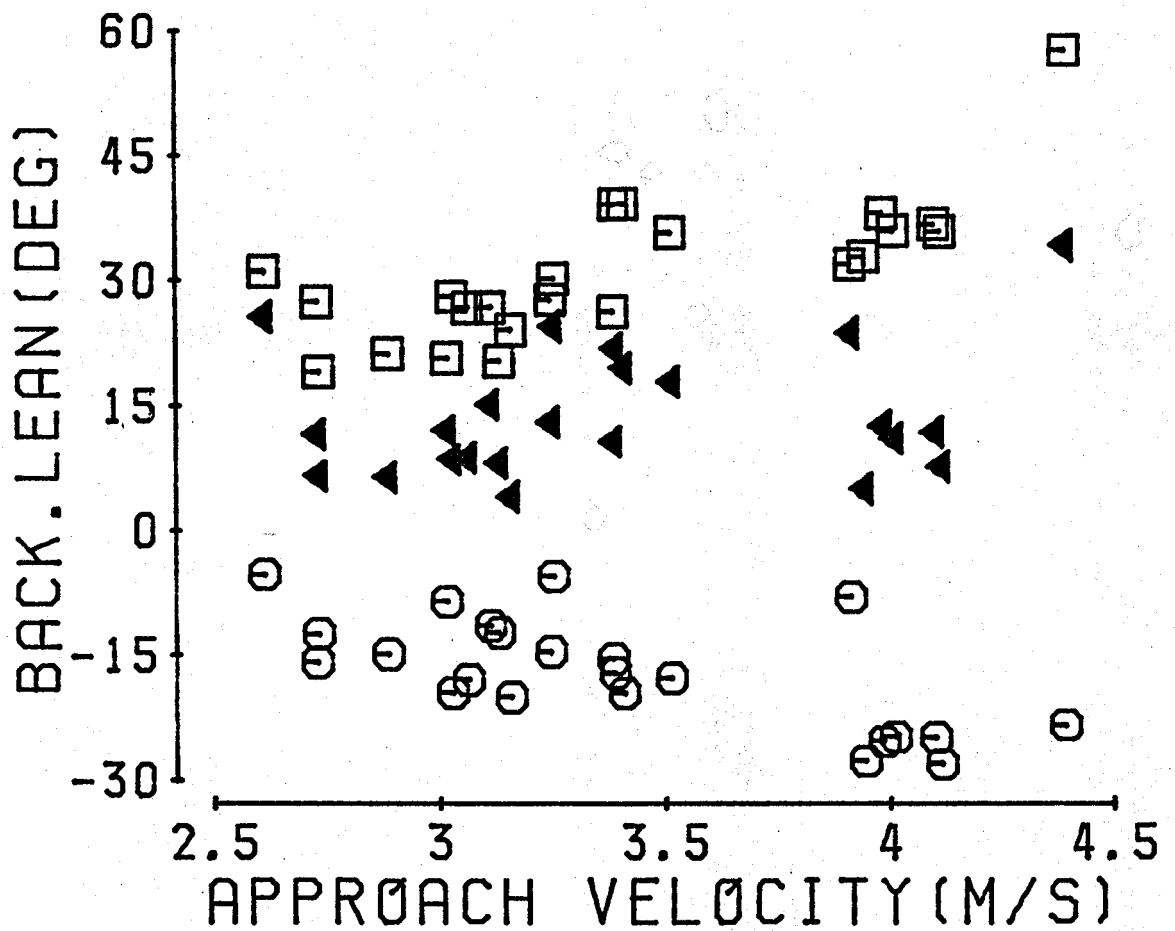


図 9-15 助走速度と踏切中の後傾角変位との関係 (○は踏切に移行した瞬間の後傾角, ▲は離地時の後傾角, □は踏切に移行した瞬間から離地時までの後傾角変位)

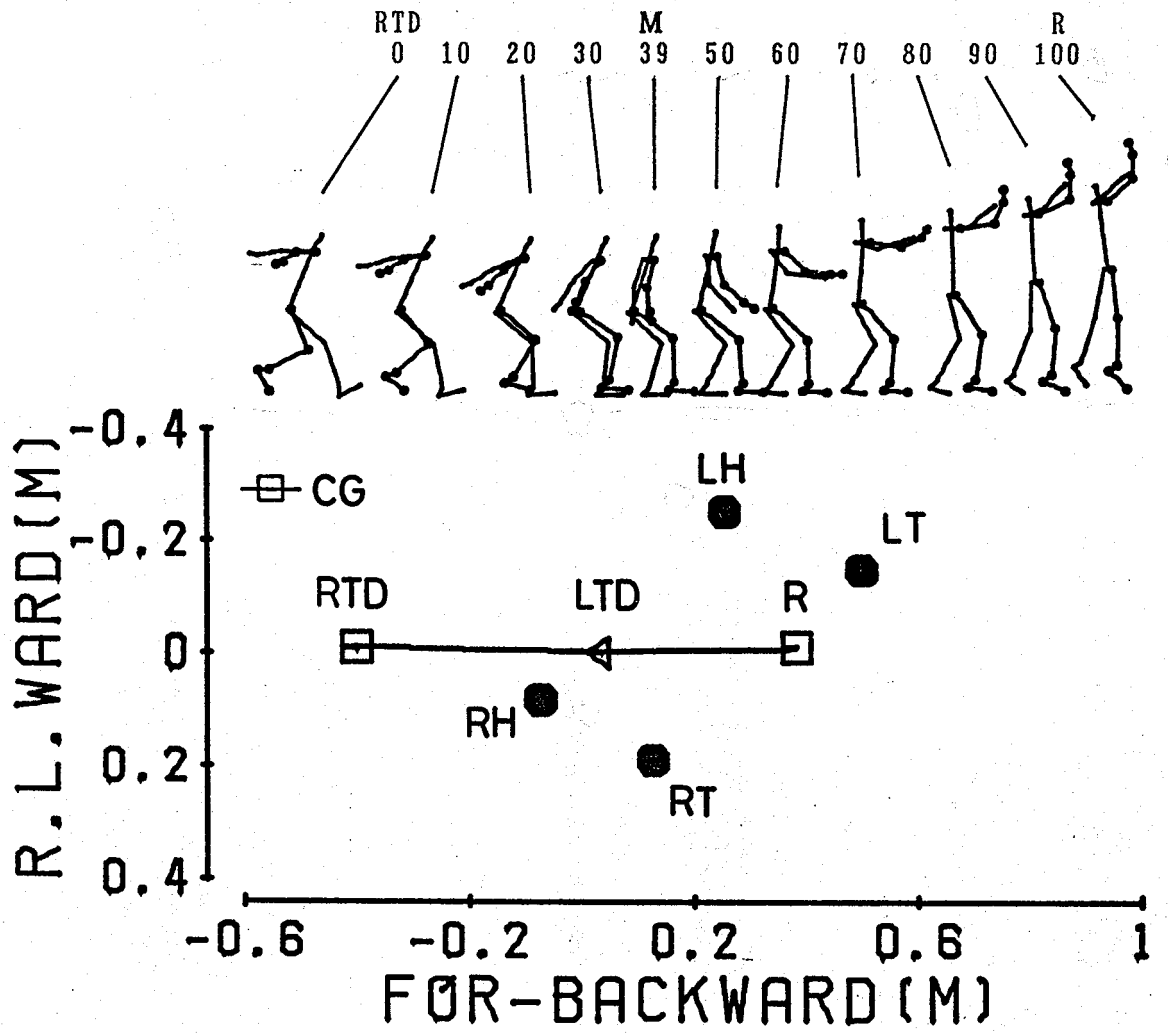


图 9 - 16 足部接地姿势 (RH: 右踵, RT: 右足先, LH: 左踵, LT: 左足先)

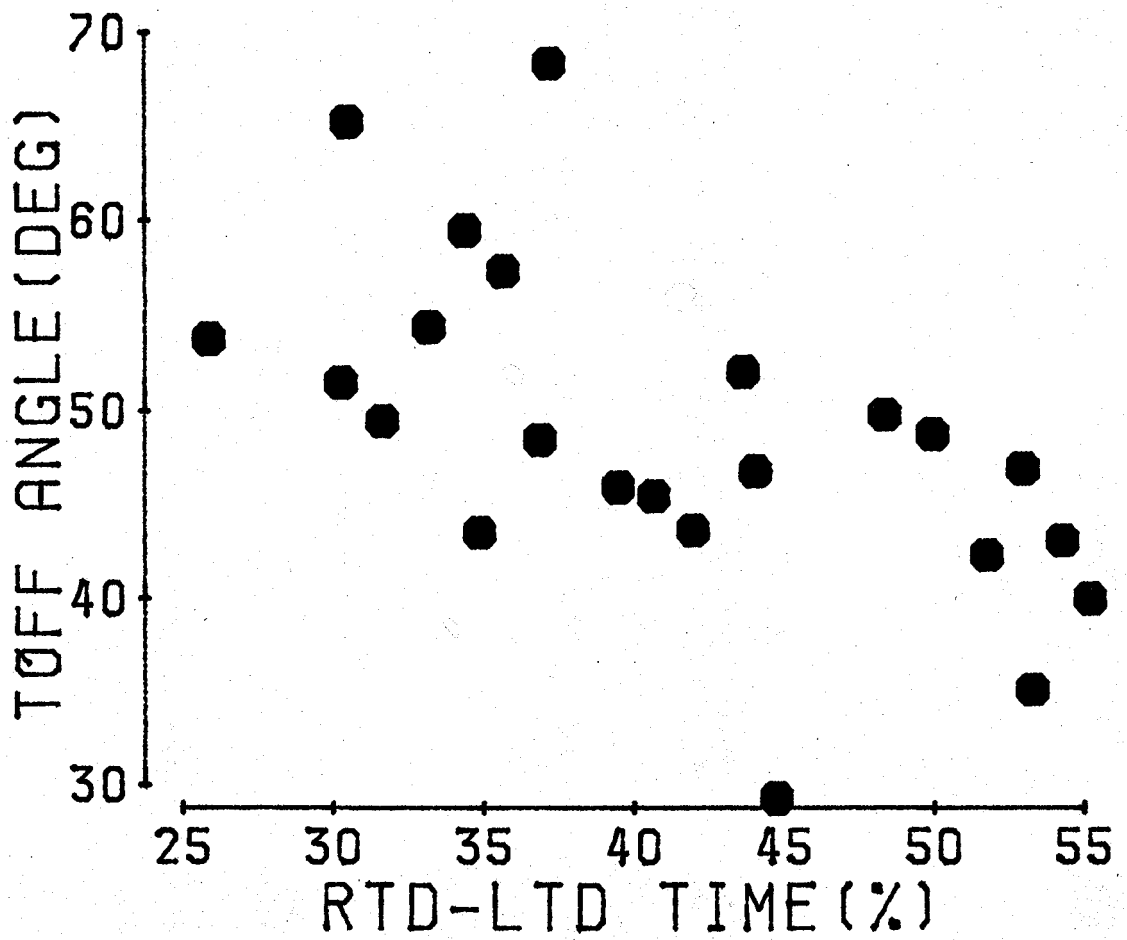


図 9 - 17 片足接地時間（踏切時間全体に対する割合）と踏切角度の関係

表10-1 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	左右	上下
1 YU1	3.134	0.704	1.210	-0.020	1.035	3.064	0.276	0.294	0.567	89	-11
2 SU2	3.182	0.752	1.227	0	1.349	3.075	0.159	0.284	0.578	94	-16
3 WA1	3.132	0.702	1.248	0	1.209	3.049	0.269	0.279	0.573	63	-9
4 NA3	3.097	0.667	1.111	-0.001	0.711	3.020	0.527	0.293	0.443	36	-19
5 FU2	3.206	0.776	1.229	0	1.335	3.164	0.226	0.292	0.656	66	-8
6 VI2	3.329	0.899	1.213	-0.004	1.345	3.261	0.037	0.262	0.586	47	-7
7 KU1	3.159	0.729	1.275	-0.002	1.298	3.070	-0.011	0.302	0.626	52	-7
8 KU2	3.200	0.770	1.275	-0.019	1.126	3.119	0.026	0.306	0.655	53	-5
9 NA1	3.266	0.836	1.224	0	1.309	3.236	0.179	0.286	0.594	33	-11
10 TA1	3.259	0.829	1.169	-0.011	1.098	3.190	0.120	0.210	0.573	24	-13
11 TA2	3.191	0.761	1.149	0	1.343	3.122	0.208	0.289	0.525	63	-11
12 FU1	3.116	0.686	1.110	-0.016	0.933	3.034	0.223	0.238	0.523	67	-15
13 SI1	3.225	0.795	1.229	-0.001	1.326	3.180	0.083	0.083	0.607	67	-11
14 SI2	3.294	0.864	1.259	-0.002	1.467	3.301	0.128	0.167	0.673	62	-6
15 SU1	3.090	0.660	1.129	-0.001	1.080	2.972	0.244	0.185	0.455	88	-15
16 SA1	3.160	0.730	1.050	-0.038	0.216	3.088	0.516	0.478	0.400	76	-33
17 SA2	3.102	0.672	1.001	-0.002	0.537	2.991	0.420	0.450	0.307	78	-39
18 YA2	2.932	0.502	0.906	-0.026	0.689	2.868	0.341	0.543	0.321	73	-17
19 VI1	3.250	0.820	1.160	0	0.671	3.253	0.029	0.208	0.604	31	-12
20 ZI1	3.184	0.754	1.202	-0.015	1.102	3.095	0.154	0.339	0.545	44	-9
21 NA2	3.218	0.788	1.164	-0.005	1.043	3.093	0.430	0.171	0.441	76	-21
22 NA4	3.159	0.729	1.163	-0.001	0.850	3.058	0.240	-0.008	0.490	61	-22
23 YA1	3.147	0.717	1.154	-0.021	0.823	3.087	0.342	0.265	0.579	69	-20
平均	3.175	0.745	1.168	-0.007	1.038	3.104	0.225	0.270	0.536	61	-15
SD	(0.083)	(0.083)	(0.089)	(0.041)	(0.318)	(0.102)	(0.152)	(0.118)	(0.100)	(19)	(8)

H3: 打撃時における手先の高さ
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
打撃時のボール位置: サイドライン(SL)とセンターラインの交点を原点として示したもの
打撃時の頭部中心に対するボール位置: 左肩から右肩に向う水平ベクトルがなす方向を右方向として示したもの
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

表10-2 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)		打球時CG速度の打球速度に対する割合(%)	跳躍距離(m)				
	水平	鉛直			合成	後傾時			打撃時	角変位		
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	4.766	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)

肩-腰角度：腰中点から右肩に向うベクトルが水平前向きへ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

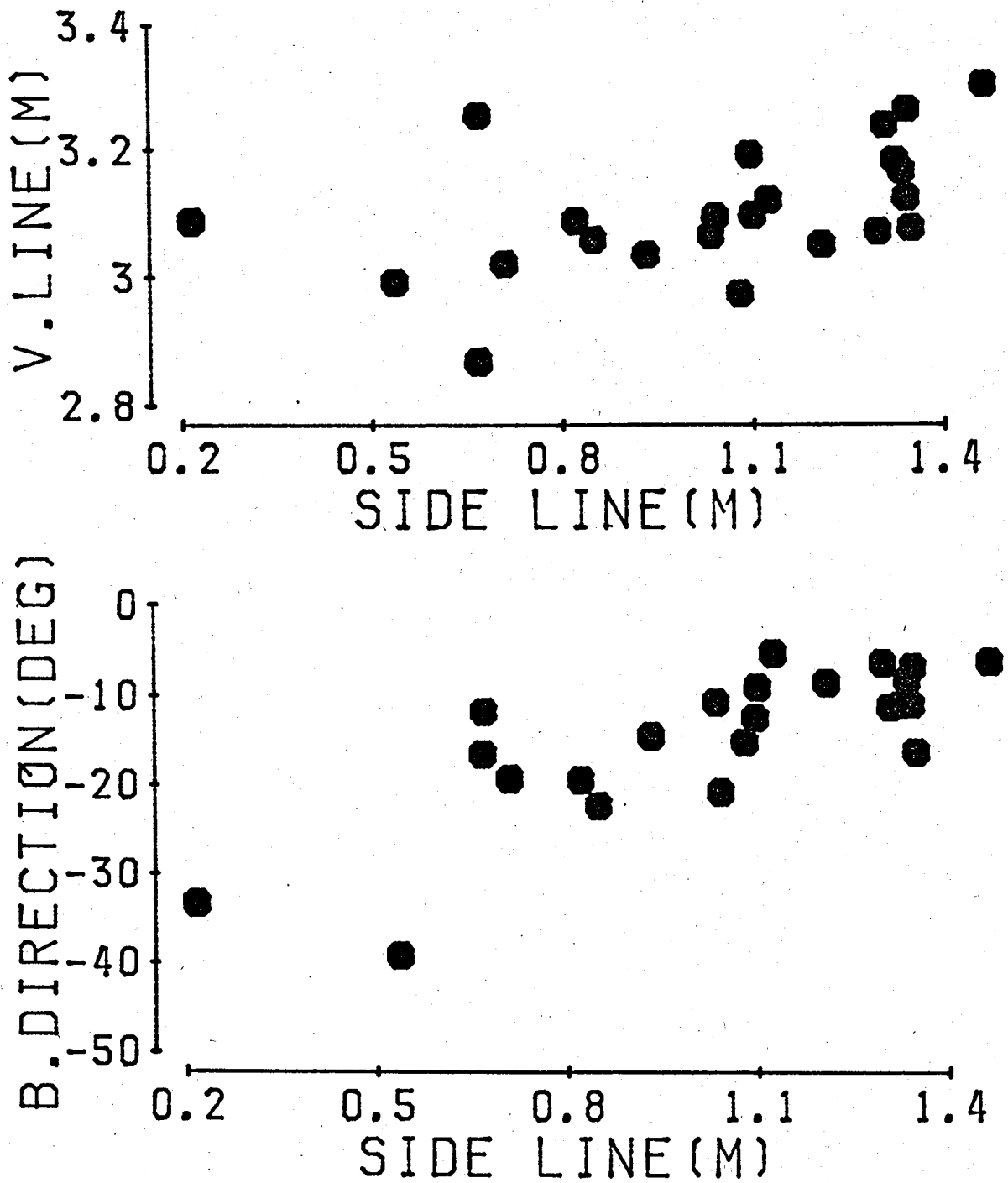


図10-1 上図：コート側方からみたインパクト時におけるボール位置
 下図：ボール位置（ネットからの距離）とインパクト直後の
 打球方向（水平面に対する角度）との関係

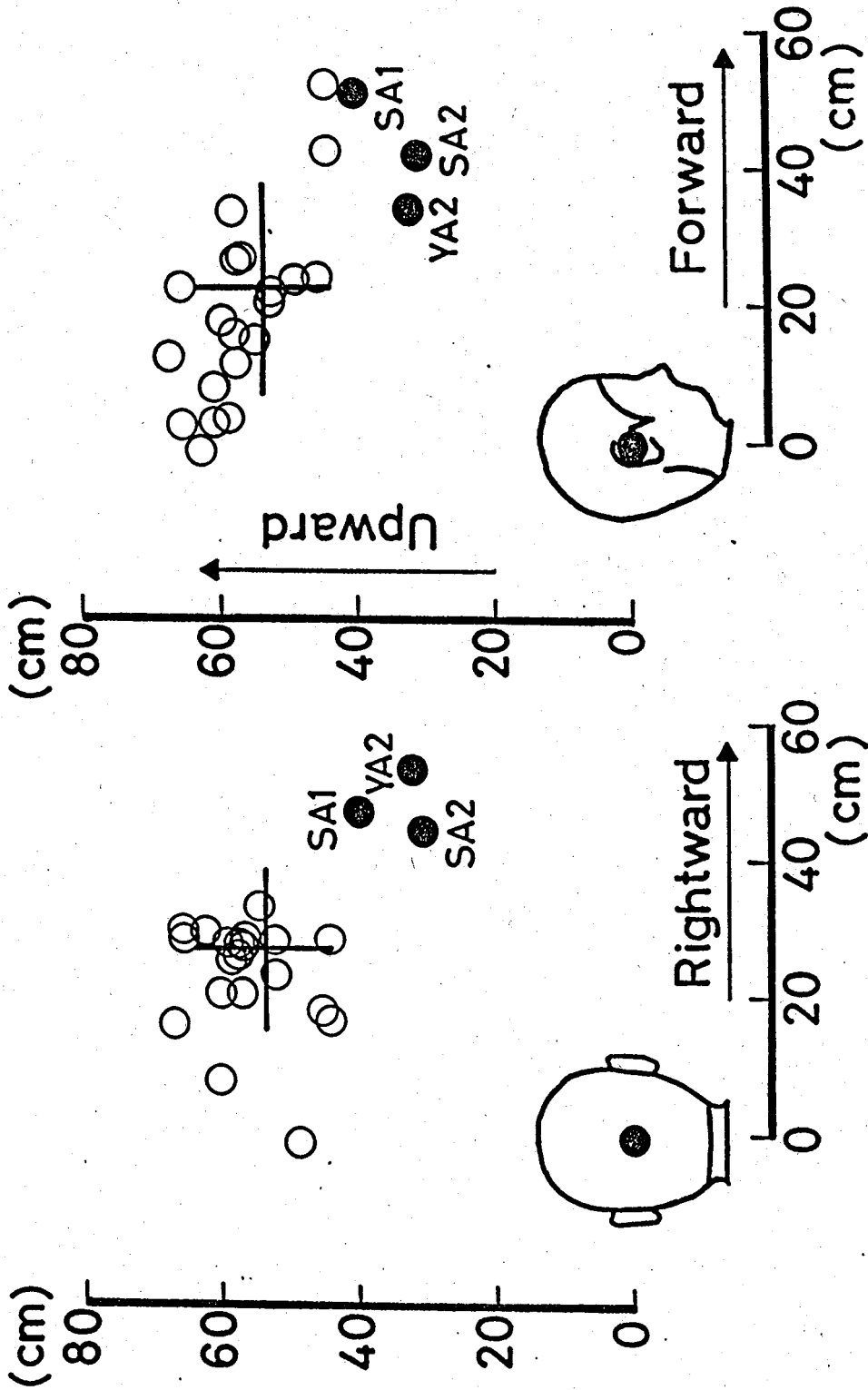


図10-2 各選手の打点位置（左図は後方から、右図は側方から見たもので、原点は頭部中心を示す。また十字の印は平均値である）

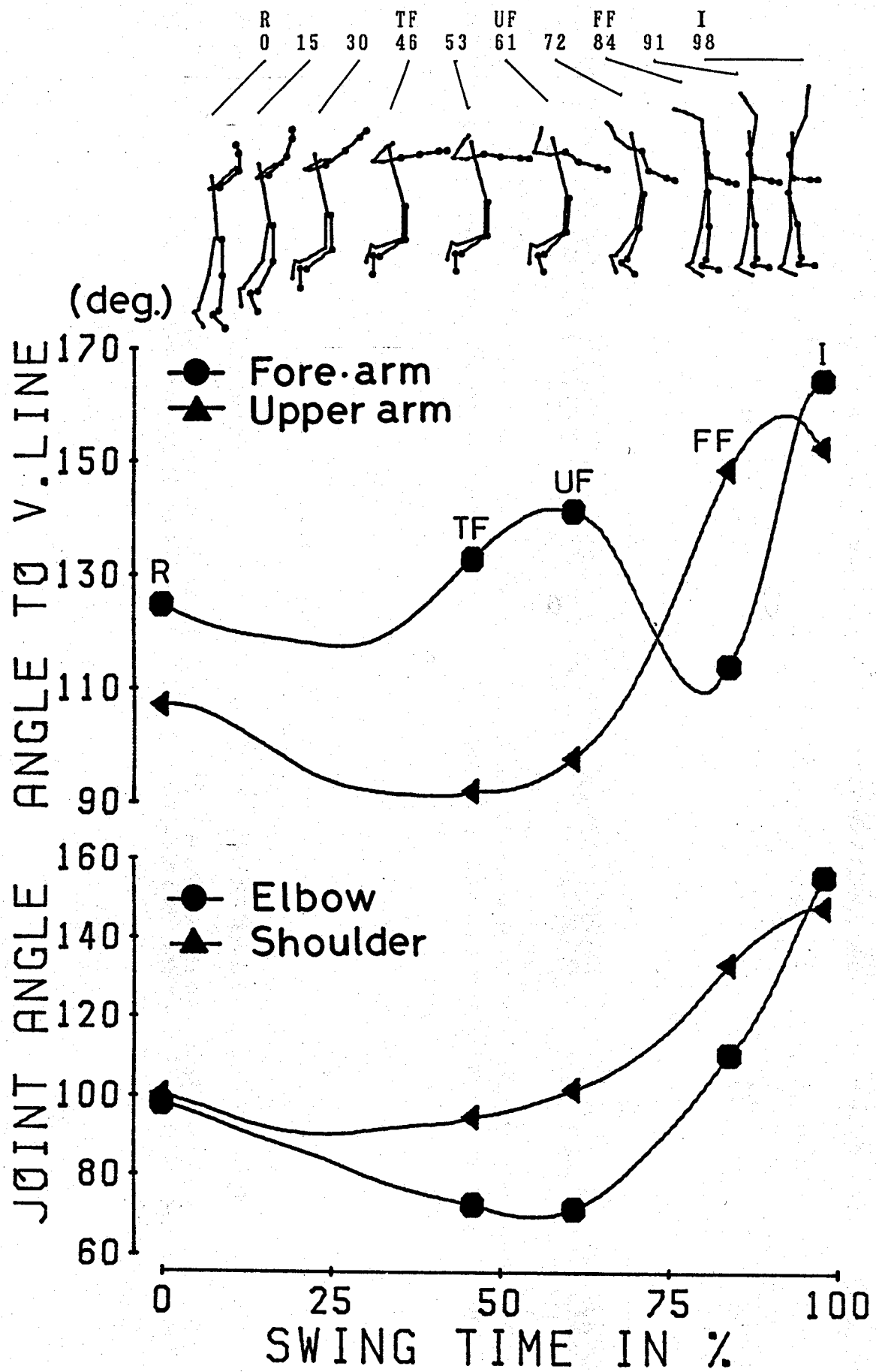


図 10-3 バックスイングおよびフォアスイング期間における右前腕，上腕角度変化（上図）と右肘，肩関節角度変化（下図）

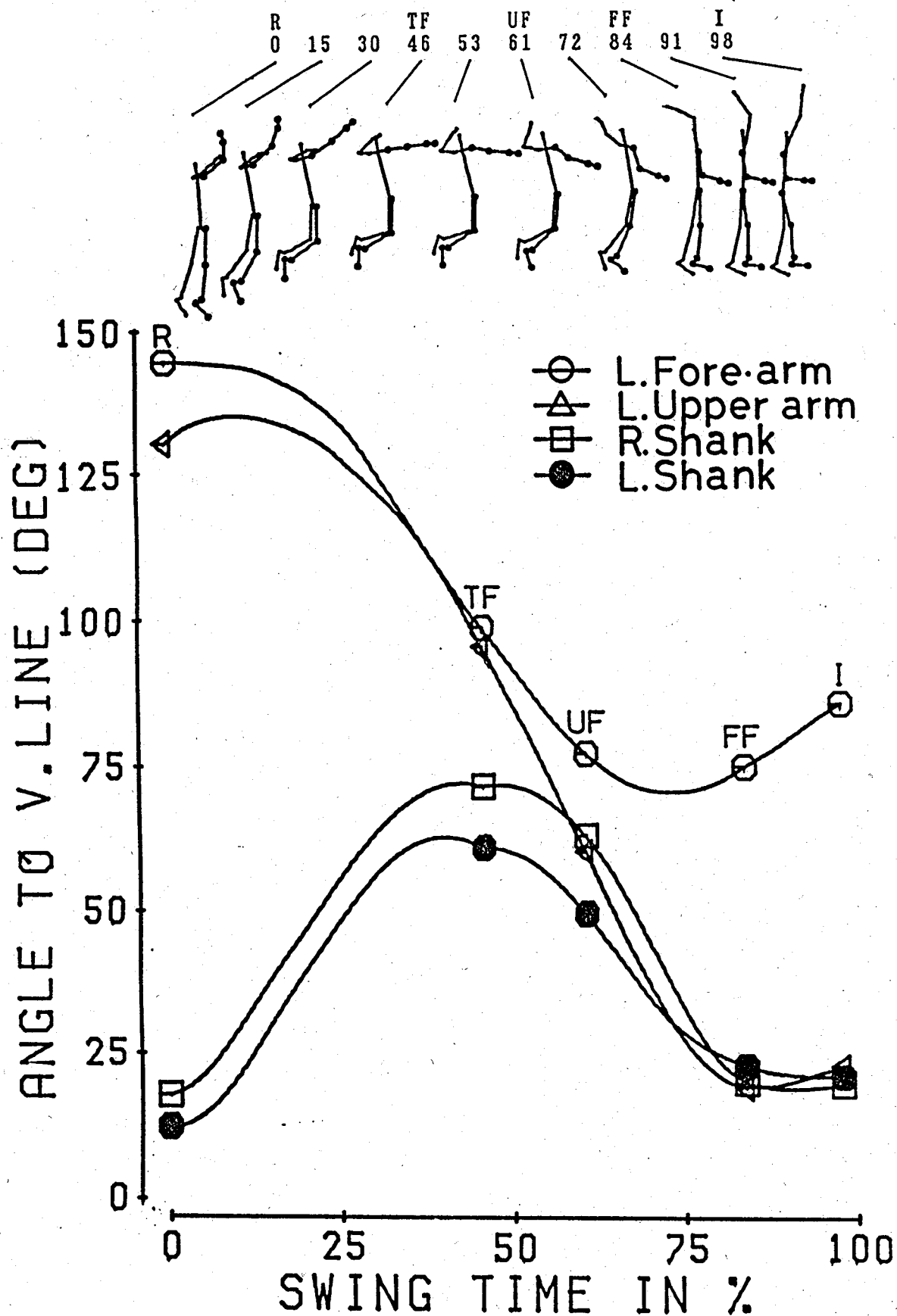


図10-4 バックスイングおよびフォアスイング期間における左腕と下腿の角度変化

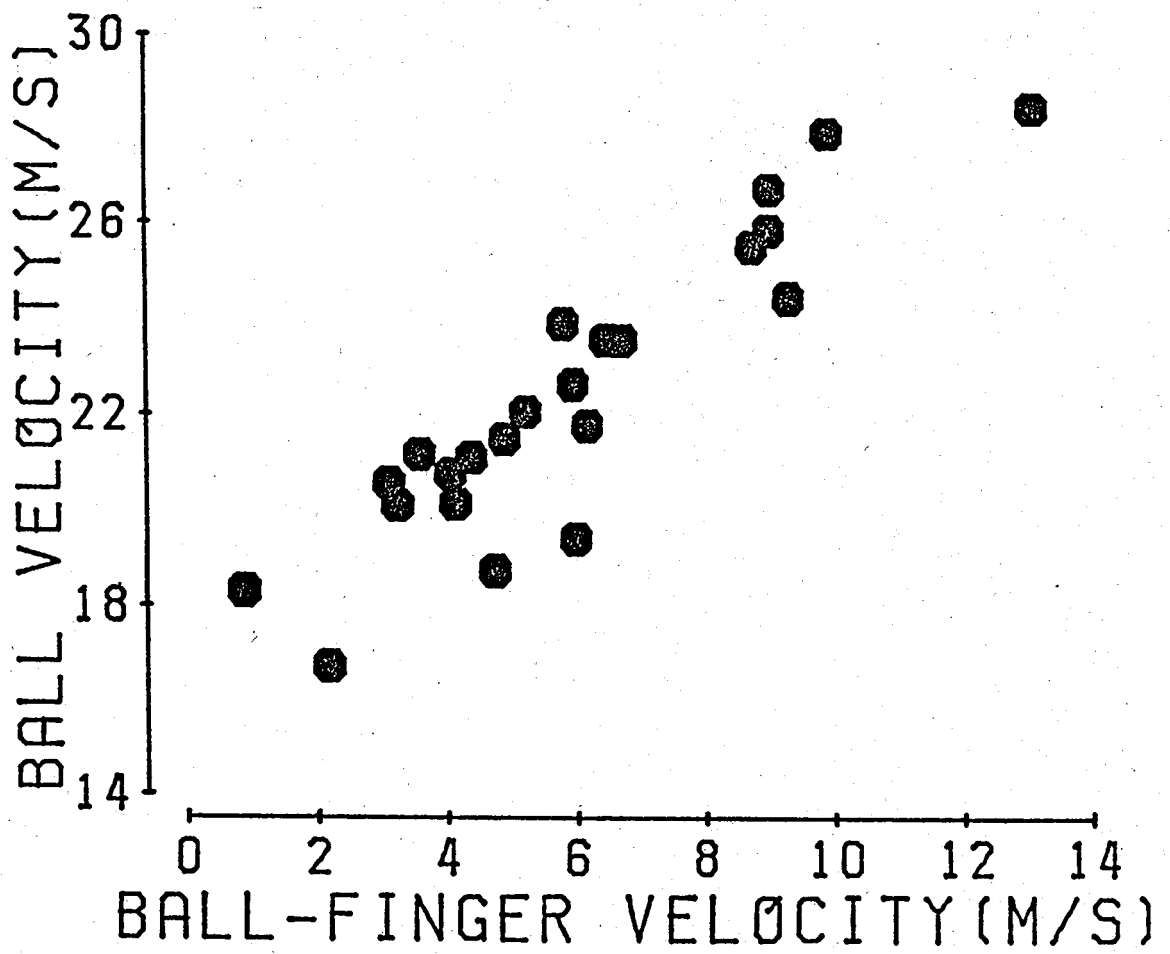


図 10-5 インパクト直後のボール速度からインパクト時の手先の速度を差し引いた値と、インパクト直後のボール速度との関係

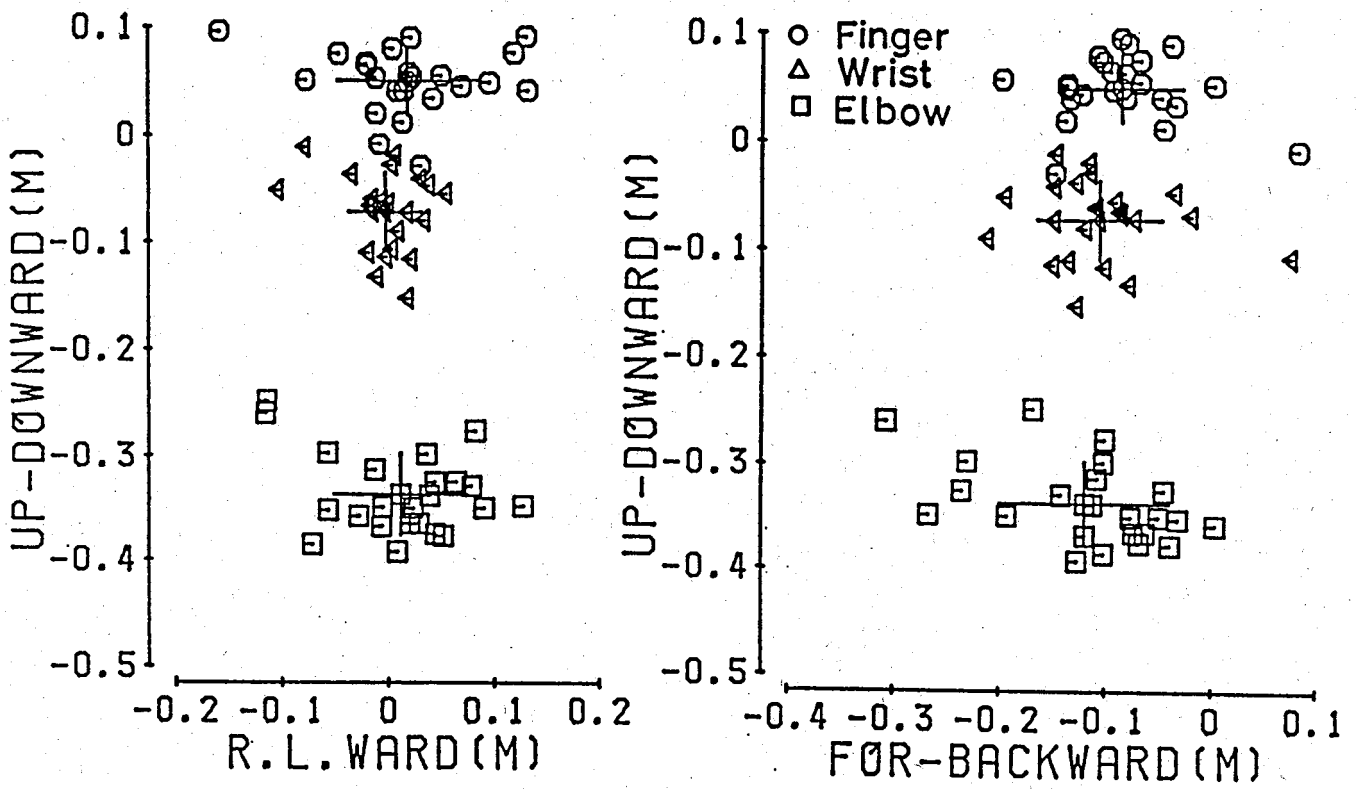


図 10-6 手および前腕のインパクト姿勢（左図は後方から，右図は側方から見たもので，原点はボール中心を示す。また十字の印は各部位の平均値である）

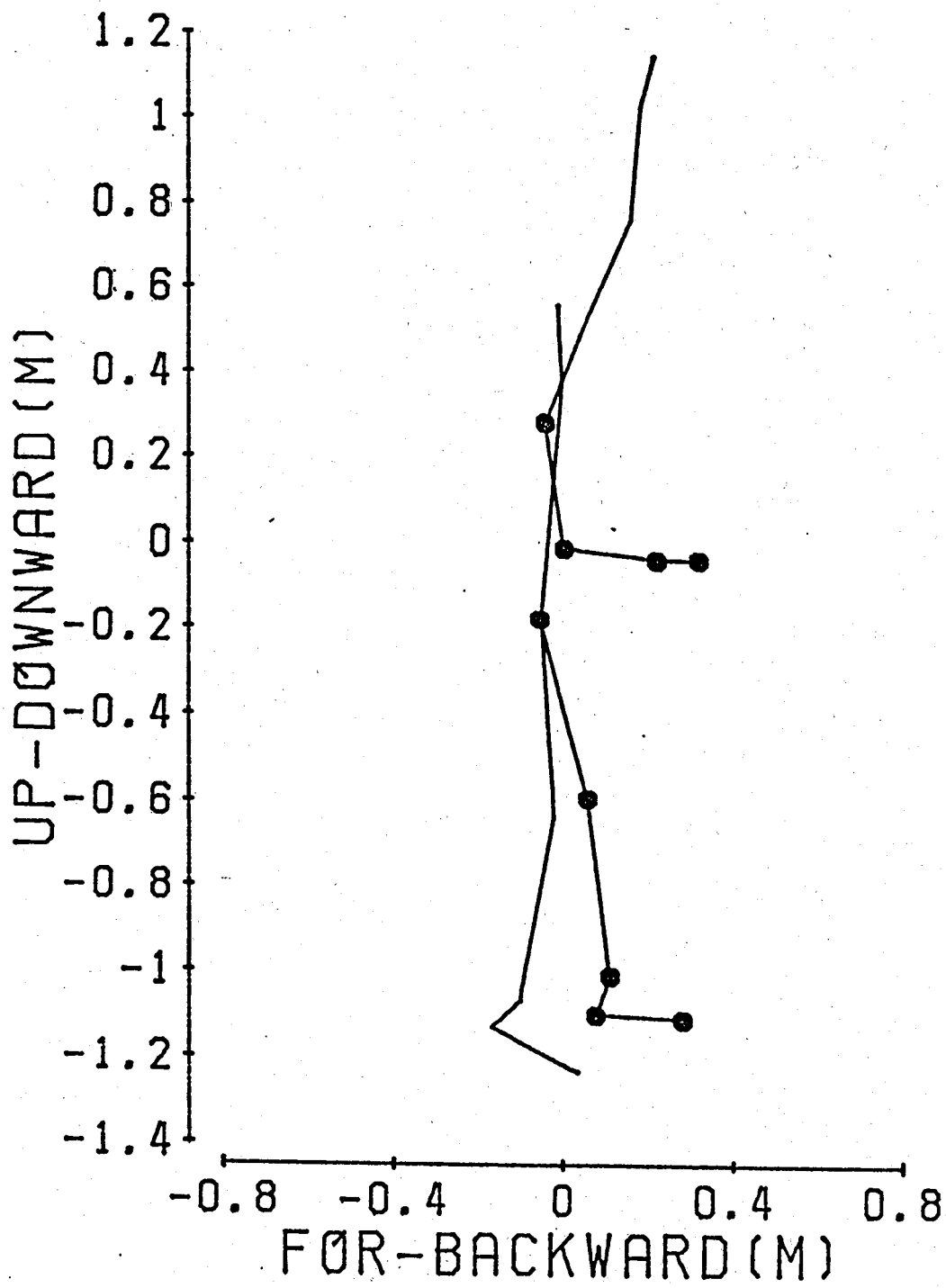


図 10-7 身体各部分のインパクト姿勢 (原点は身体重心の位置, 黒丸の付いている部分は左の腕と脚である)

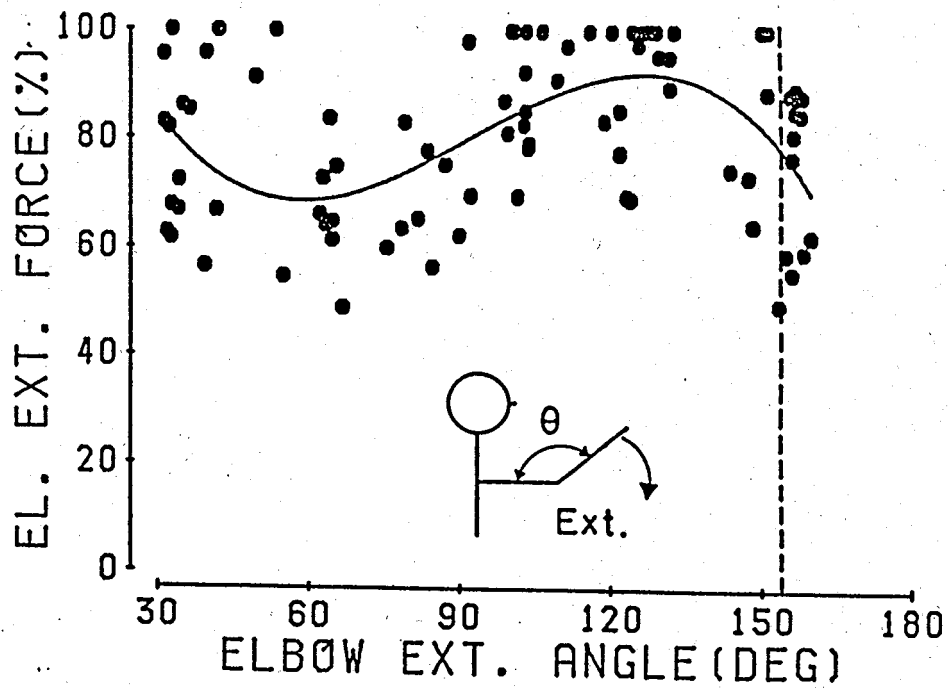
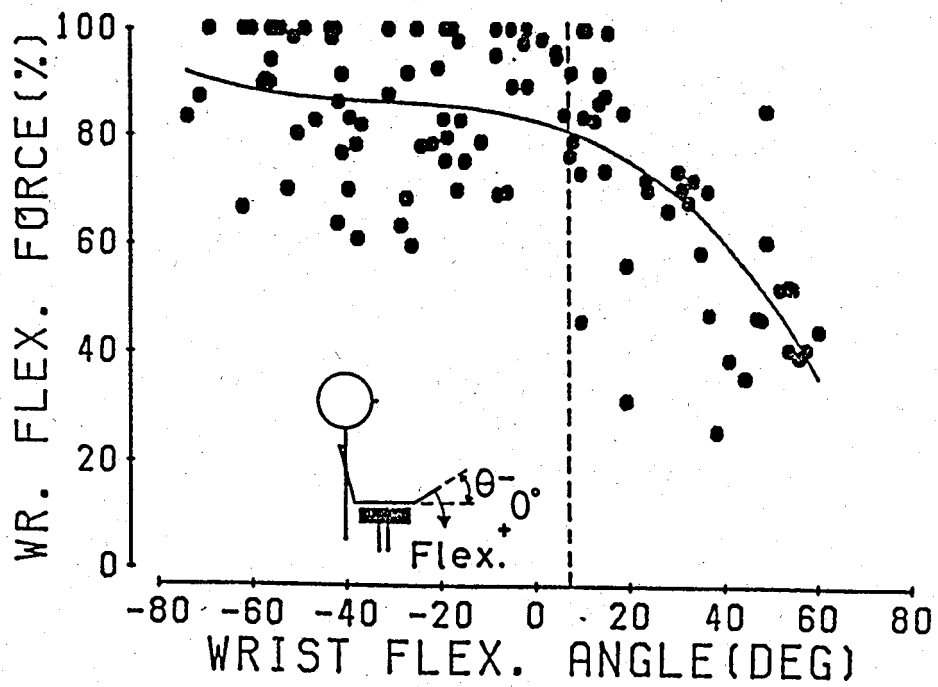


図 10-8

上図：インパクト時手関節角度（破線）と静的手屈曲力の関係
 下図：インパクト時肘関節角度（破線）と静的肘伸展力の関係

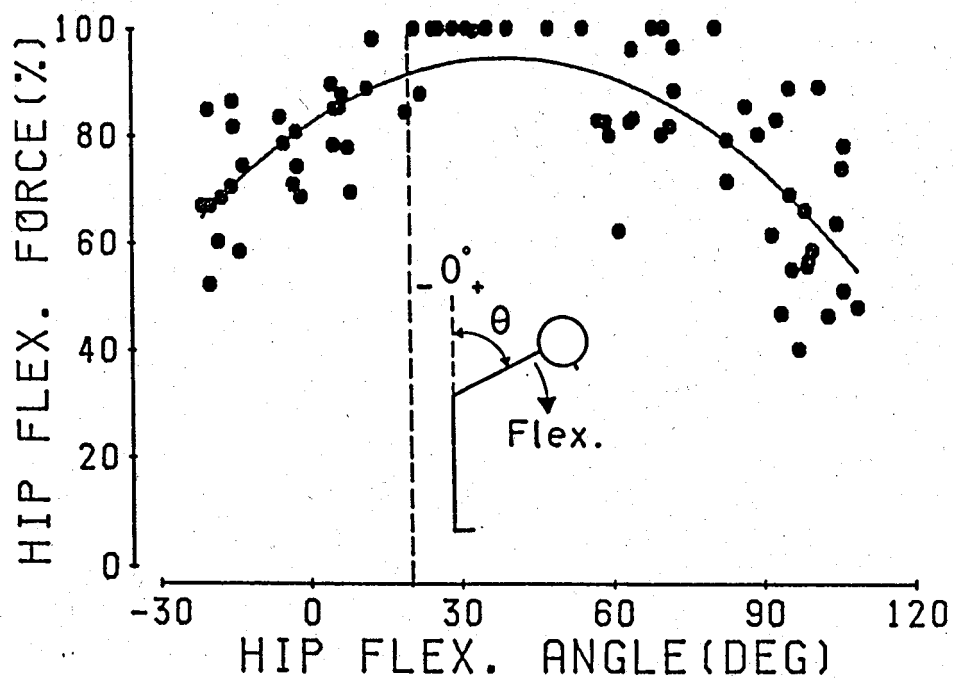
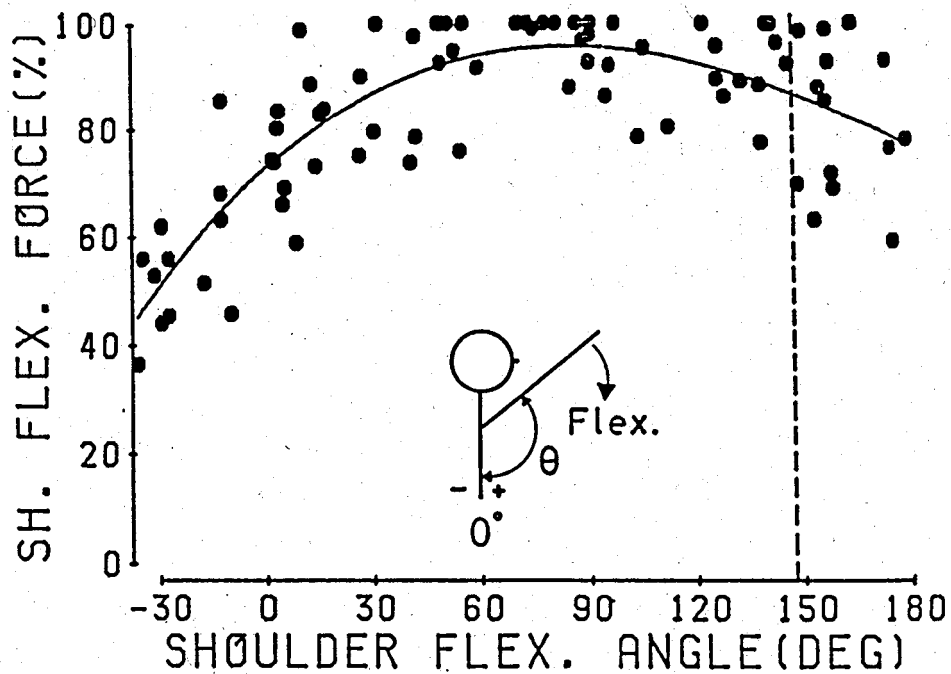


図 10-9

上図：インパクト時肩関節角度（破線）と静的肩屈曲力の関係
 下図：インパクト時腰関節角度（破線）と静的腰屈曲力の関係

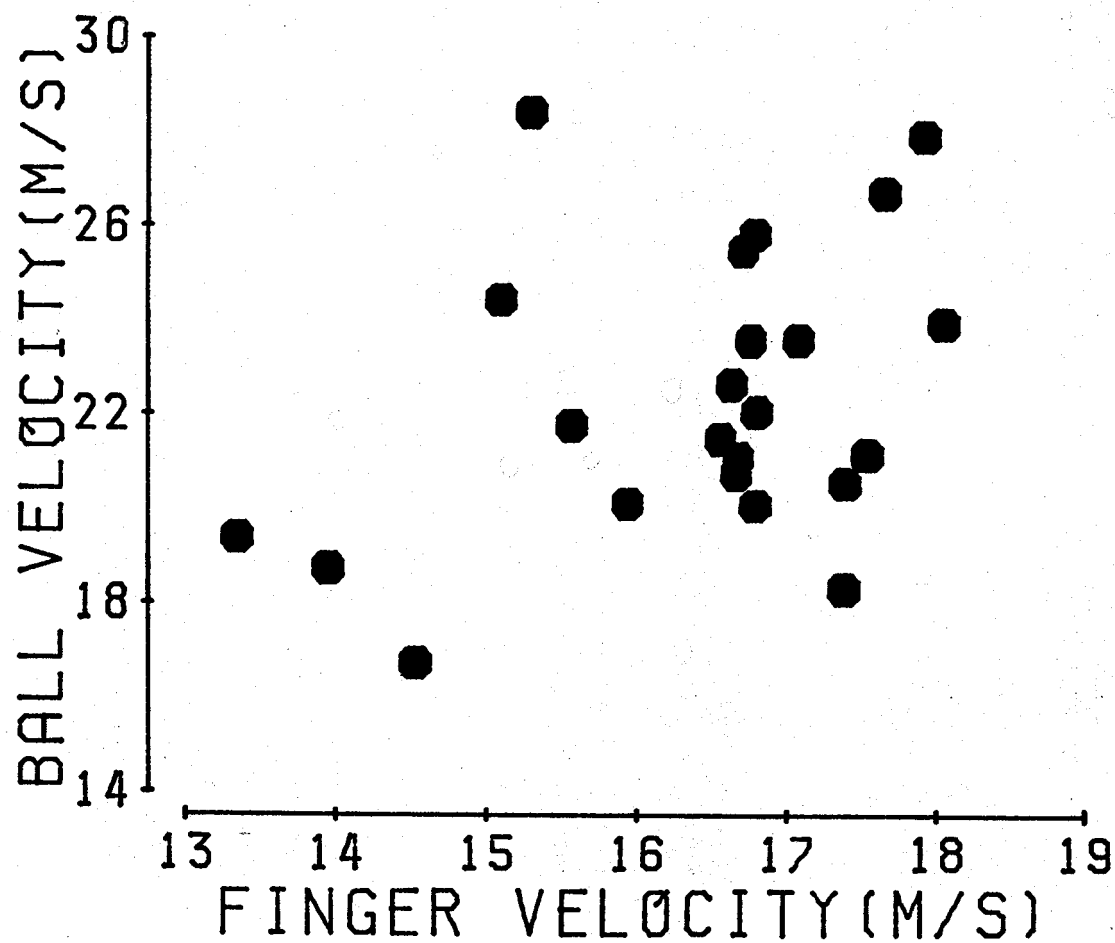


図 10-10 インパクト時における手先の速度と、インパクト直後のボール速度との関係

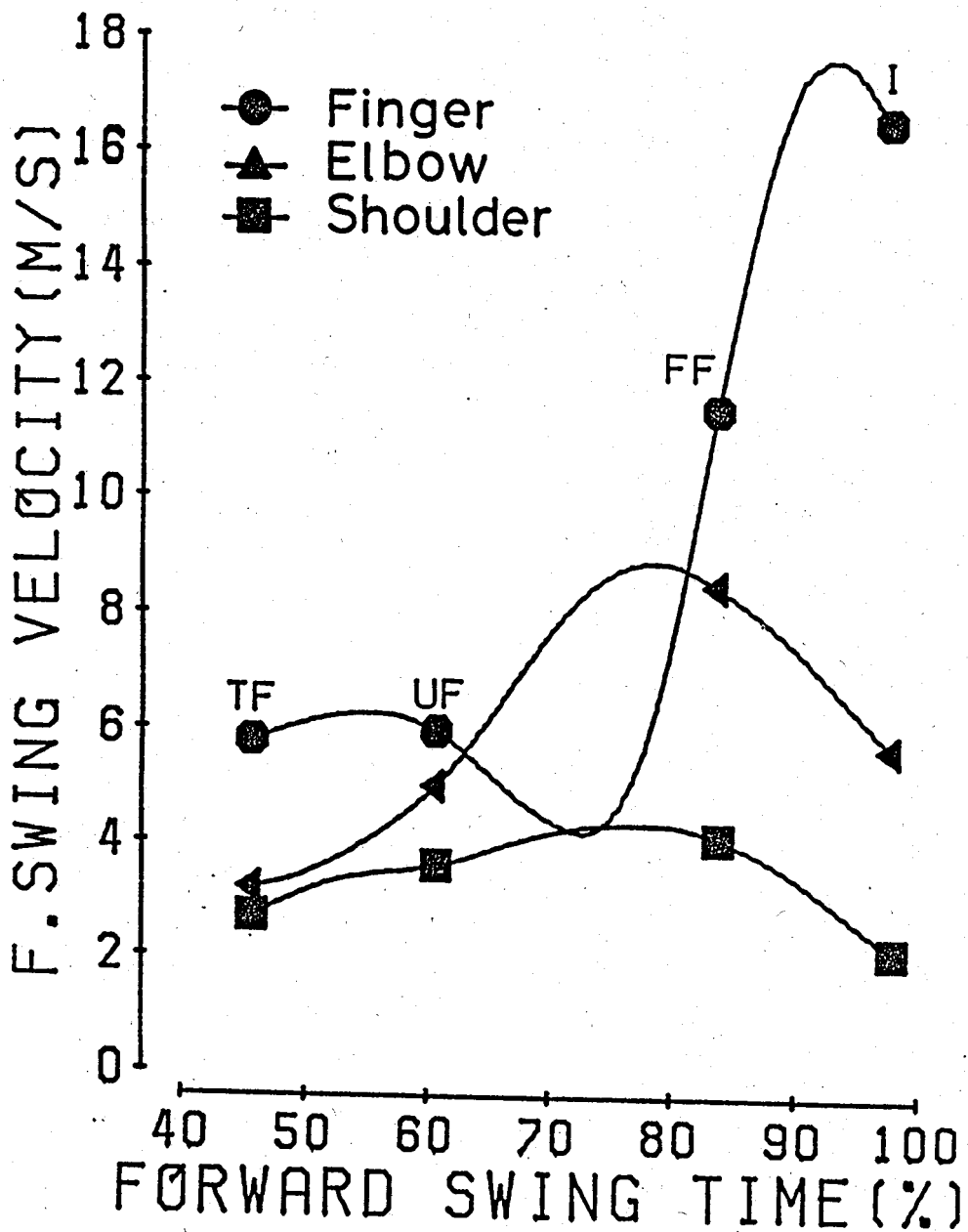
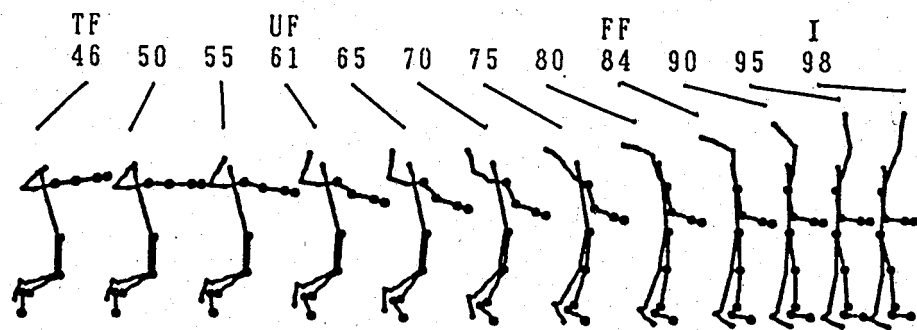


図10-11 フォアスイングにおける右腕各部位の速度変化(平均)

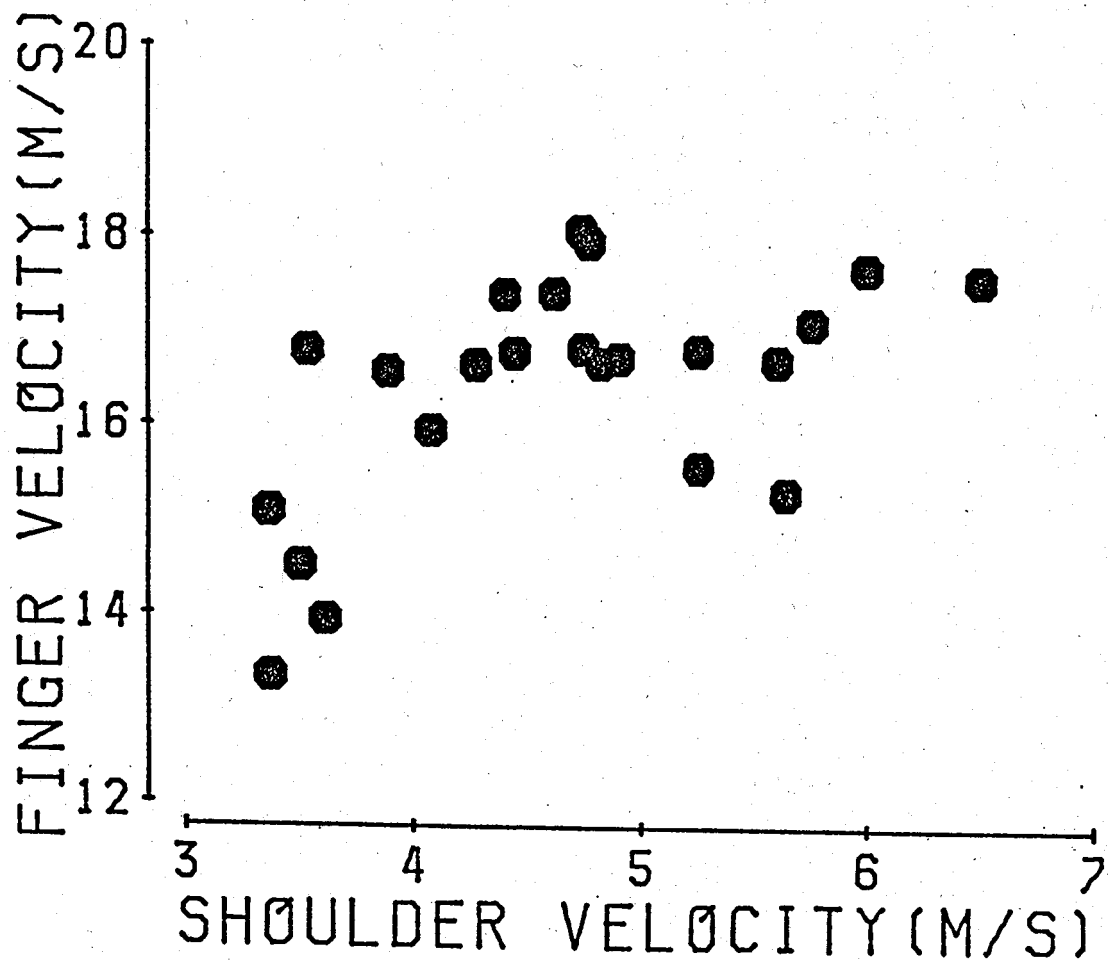


図10-12 肩の最大速度とインパクト時の手先の速度との関係

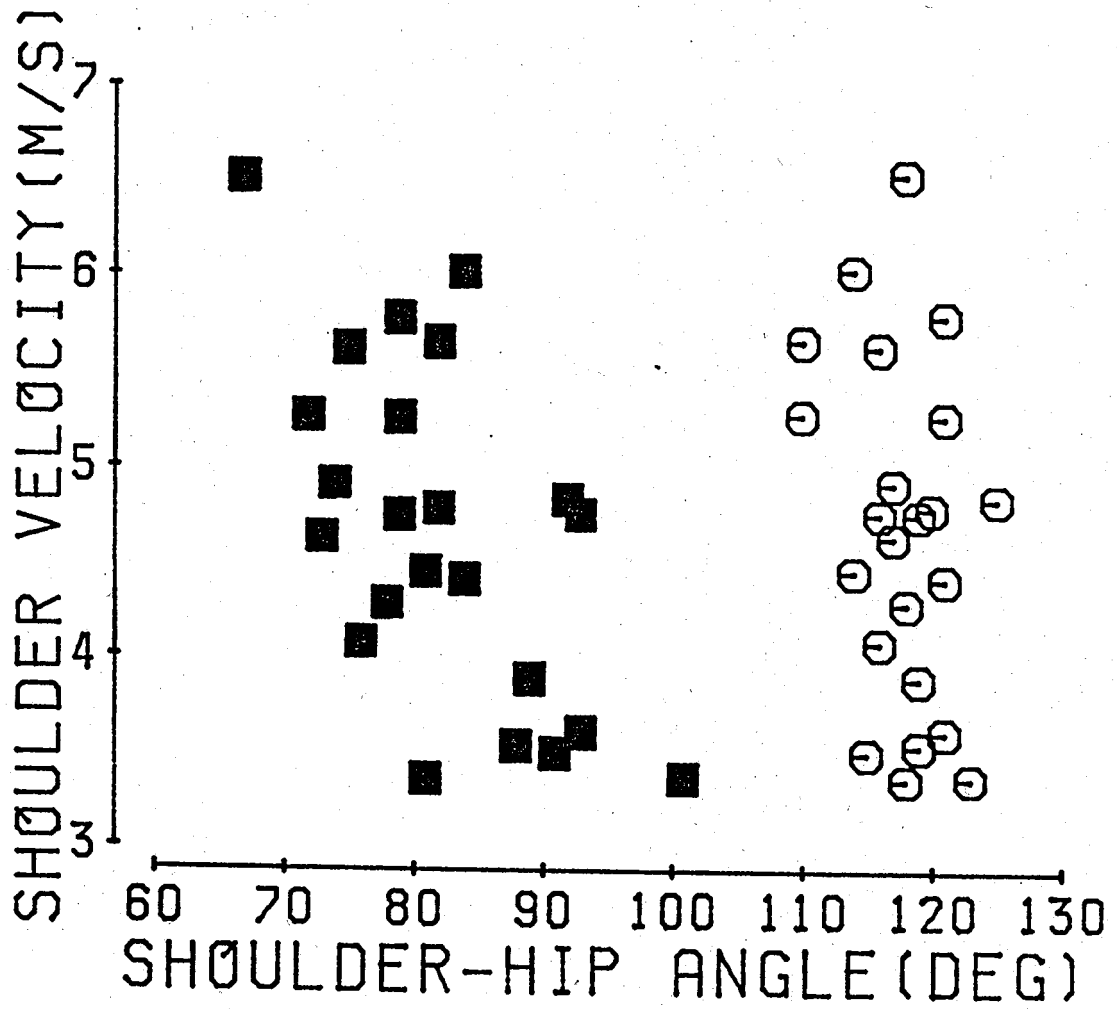


図10-13 胴体の最大後傾時 (○) およびインパクト時 (■) における肩-腰角度と肩の最大速度との関係

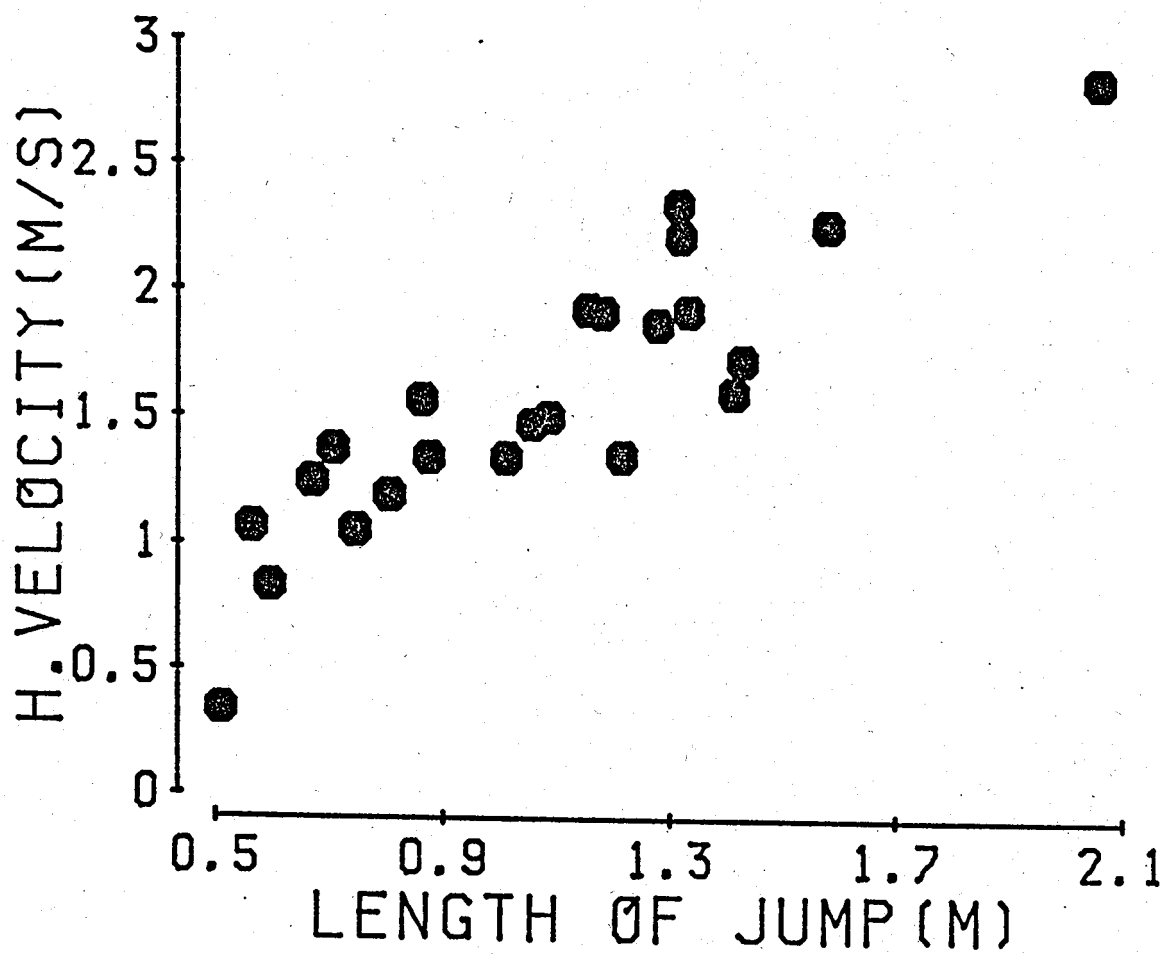


図10-14 跳躍距離とインパクト時における身体重心の速度（水平成分）との関係

資料A

規格化・平均化&スティックピクチャープログラム
(シャープMZ80Bマイクロコンピューター用)

DA CONV

DA STN

DA M&SD

WHOLE BODY STICK PICTURE

SEGMENT STICK PICTURE

1. DACONVプログラム

DACONVプログラムは運動局面開始地点から終了地点に向う身体重心の水平ベクトルがネットとなす角度をもとに、身体各部位の変位データを座標変換するプログラムである。

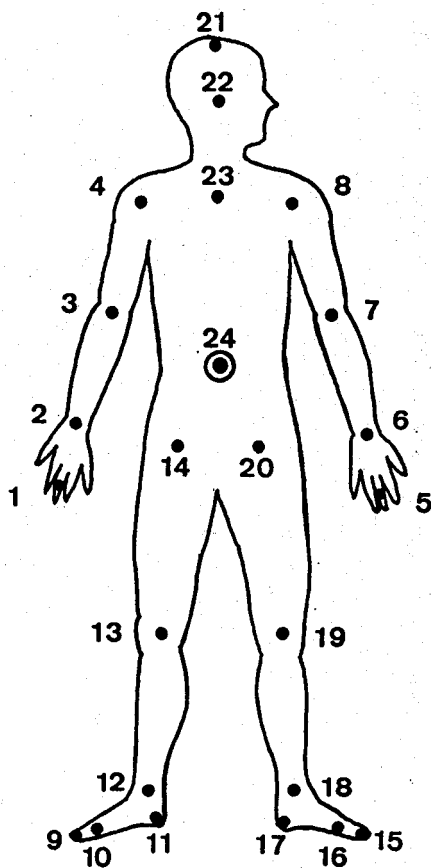
DN\$: 分析試技名

P : 身体部位番号 (下図の1~23番)

SF : 運動局面開始コマ番号

EF : 運動局面終了コマ番号

F : 原点 (0,0,0)とする身体重心のコマ番号 (下図の24番は身体重心)




```

1 REM#####
2 REM###
3 REM###
4 REM#####
10 TEMPO7:DEF FNE(Z)=-ATN(Z/SQR(1-Z*Z))+PI/2
20 INPUT" DATA NAME ";DN$
25 INPUT" NO. OF SEGMENT ";P
30 INPUT"NO. OF START FRAME ";SF
40 INPUT"NO. OF END FRAME ";EF
50 INPUT"NO. OF (O,O,Z) FRAME ";F
100 REM#####
110 WOPEN#3,FD1@1,DN$:INPUT#3,NS,NE
120 NF=NE-NS+1:NP=24
130 DIM X(NP,NF),XX(NF),Y(NP,NF),Z(NP,NF),ZZ(NF)
140 FORI=1TONP:FORJ=1TONF:INPUT#3,X(I,J),Y(I,J),Z(I,J):NEXTJ:NEXTI:CLOSE#3
150 S=SF-NS+1:E=EF-NS+1:F=F-NS+1
160 FORJ=STOE
170 XX(J-S+1)=X(P,J)-X(NP,F):YY(J-S+1)=Y(P,J)-Y(NP,F):ZZ(J-S+1)=Z(P,J)
180 NEXTJ
185 REM##### ANGLE TO NET FROM CG-DATA #####
190 AX=X(NP,E)-X(NP,S):AY=Y(NP,E)-Y(NP,S):BX=O:BY=1
192 R=(AX*BX+AY*BY)/SQR((AX*AX+AY*AY)*(BX*BX+BY*BY))
194 IFAX<=0THEN SI=1
196 IFAX>0THEN SI=-1
198 AN=FNE(R)*SI
200 REM##### DATA CONVERSION #####
210 NF=EF-SF+1
220 FORI=1TONF
230 X(O,I)=COS(AN)*XX(I)+SIN(AN)*YY(I)
240 Y(O,I)=-SIN(AN)*XX(I)+COS(AN)*YY(I)
250 NEXTI
300 REM##### DATA SAVE #####
310 PRINT:PRINT" DID YOU INSERT THE DATA-DISK ? (YES-Y KEY)"
320 GET YY$:IFYY$=""THEN320
330 IFYY$="Y"THEN400
340 MUSIC"G":GOTO310
400 WOPEN#3,FD2@1,DN$+STR$(P)+"X"
410 PRINT#3,SF,EF:FORI=1TONF:PRINT#3,X(O,I):NEXTI:CLOSE#3
420 WOPEN#3,FD2@1,DN$+STR$(P)+"Y"

```

```

430 PRINT#3,SF,EF:FORI=1TONF:PRINT#3,Y(O,I):NEXTI:CLOSE#3
440 WOPEN#3,FD201,DN$+STR$(P)+"Z"
450 PRINT#3,SF,EF:FORI=1TONF:PRINT#3,ZZ(I):NEXTI:CLOSE#3
500 PRINT:PRINT"SAVED DATA NAME =" ;DN$+STR$(P)+"X,Y,Z"
510 PRINT"START FRAME =" ;SF
520 PRINT" END FRAME =" ;EF
530 PRINT" N OF FRAME =" ;NF
535 PRINT"NET ANGLE =" ;INT((AN*180/PI)*1000+.5)/1000
700 REM#### PRINT OUT #####
710 PRINT:PRINT" PRINT OUT ? (YES-Y, NO-N KEY)"
720 GET YY$:IFYY$=" "THEN720
730 IFYY$="Y"THEN750
735 IFYY$="N"THEN810
740 MUSIC"G":GOTO710
750 PRINT/P:PRINT/P:"DATA NAME =" ;DN$
760 PRINT/P:"DIZIT.POINT =" ;P
770 PRINT/P:PRINT/P " NO.":TAB(11):"( X )":TAB(21):"( Y )":TAB(31):"( Z )":PRIN
T/P
780 FR=SF:FORI=1TONF
790 PRINT/P FR:TAB(10);INT(X(O,I)*1000+.5)/1000:TAB(20);INT(Y(O,I)*1000+.5)/100
0:TAB(30);INT(ZZ(I)*1000+.5)/1000
800 FR=FR+1:NEXTI
810 END

```

2. DASTNプログラム

DASTNプログラムはラグランジェの一次補間公式を使用して、データを規格化するプログラムである。

DN\$: 分析試技名

MT : 運動局面において分割される期間の数 (例えば、踏切局面を前半と後半に分割する場合、 $MT = 2$ となる)

SF(I) : 期間開始コマ番号

EF(I) : 期間終了コマ番号

ND(I) : 1期間において規格化するデータ数 (%)

ここで I : 各分割期間番号


```

400 KK=KK+ND(M)
410 NEXTM
420 PRINT:PRINT"DISK NO.2 IS IN, PUSH ( Y ) KEY"
430 GET YY$:IFYY$=""THEN430
440 IFYY$="Y"THEN500
450 GOTO420
500 REM##### DATA SAVE #####
510 WOPEN#3,FD2@1,DN$+"-STN"
520 PRINT#3,KK+1:FORI=OTOKK:PRINT#3,Y(I):NEXTI:CLOSE#3
530 PRINT:PRINT"WILL YOU PRINT THE RESULT ? (YES→Y, NO→N KEY)"
540 GET P$:IFP$=""THEN540
550 IFP$="Y"THEN600
560 IFP$="N"THEN790
570 GOTO530
600 REM##### PRINT OUT ##### DATA NAME FOR SAVE =";DN$+"-STN";" #####
610 PRINT/P:PRINT/P"##### DATA NAME FOR SAVE =";DN$+"-STN";" #####"
620 KK=O:FORM=1TOMT
630 PRINT/P:PRINT/P" MATCHING NO. =" ;M
640 PRINT/P" NO. OF START FRAME =" ;SF(M)
650 PRINT/P" NO. OF END FRAME =" ;EF(M)
660 PRINT/P" N OF DIVISION =" ;ND(M)
670 PRINT/P:PRINT/P"NO." ;TAB(13);"Y" ;TAB(21);"NO." ;TAB(28);"Y" ;
680 PRINT/P:PRINT/P"NO." ;TAB(43);"Y" ;TAB(51);"NO." ;TAB(58);"Y" ;
690 PRINT/P:PRINT/P"NO." ;TAB(73);"Y"
700 J=INT(ND(M)/5):FORI=OTQJ-1
710 PRINT/P:PRINT/P" I+KK ;TAB(10) ;INT(Y(I+KK)*1000+.5)/1000 ;
720 PRINT/P:PRINT/P" I+J+KK ;TAB(25) ;INT(Y(I+J+KK)*1000+.5)/1000 ;
730 PRINT/P:PRINT/P" I+J*2+KK ;TAB(40) ;INT(Y(I+J*2+KK)*1000+.5)/1000 ;
740 PRINT/P:PRINT/P" I+J*3+KK ;TAB(55) ;INT(Y(I+J*3+KK)*1000+.5)/1000 ;
750 PRINT/P:PRINT/P" I+J*4+KK ;TAB(70) ;INT(Y(I+J*4+KK)*1000+.5)/1000
760 NEXTI
764 R=O
766 PRINT/P:PRINT/P" J*5+R+KK ;TAB(70) ;INT(Y(J*5+R+KK)*1000+.5)/1000
768 IFJ*5+R>=ND(M)THEN770
769 R=R+1:GOTO766
770 KK=KK+ND(M)
780 NEXTM
790 PRINT:PRINT"SAVED DATA NAME = " ;DN$+"-STN"
800 END

```

3. DAM & SDプログラム

DAM & SDプログラムは規格化した時刻ごと（1%ずつ）データを加算し、その平均値と標準偏差を求めるプログラムである。

SD\$: データセーブ名

NS : 分析試技数

DN\$(I) : 分析試技名

ここでI : 各分析試技番号

```

1 REM##### DAM&SD #####
2 REM## ( MEAN & STANDARD DEVIATION OF DASTN-DATA ) #####
3 REM## #####
4 REM#####
10 INPUT"DATA NAME FOR SAVE =" ;SN$
20 INPUT"N OF SUMMATION DATA NAME =" ;NS;DIM DN$(NS)
30 FORI=1TONS:PRINT(" ;I ; )"
40 INPUT"DATA NAME =" ;DN$(I)
50 NEXTI
100 REM##### DATA CALL , MEAN & SD #####
110 FORS=1TONS:ROPEN#3,FD1@1,DN$(S)+"-STN":INPUT#3,N:NF=N-1
120 DIM X(NF),S(NF),SS(NF),M(NF),SD(NF)
130 FORI=OTONF:INPUT#3,X(I):NEXTI:CLOSE#3
140 FORJ=OTONF:S(J)=S(J)+X(J):SS(J)=SS(J)+X(J)*X(J):NEXTJ
150 NEXTS
160 FORI=OTONF
170 M(I)=S(I)/NS
180 SD(I)=SQR(SS(I)/(NS-1)-M(I)*M(I)*(NS-1))
190 NEXTI
500 REM##### DATA SAVE #####
501 PRINT:PRINT"DISK NO.2 IS IN, PUSH ( Y ) KEY"
502 GET YY$:IFYY$=""THEN502
503 IFYY$="Y"THEN510
504 GOTO501
510 WOPEN#3,FD2@1,SN$+"M":PRINT#3,N:FORI=OTONF:PRINT#3,M(I):NEXTI:CLOSE#3
520 WOPEN#3,FD2@1,SN$+"SD":PRINT#3,N:FORI=OTONF:PRINT#3,M(I)+SD(I):NEXTI:CLOSE#
3
530 WOPEN#3,FD2@1,SN$+"-SD":PRINT#3,N:FORI=OTONF:PRINT#3,M(I)-SD(I):NEXTI:CLOSE
#3
600 REM##### PRINT OUT #####
601 PRINT:PRINT"WILL YOU PRINT THE RESULT ? (YES-Y, NO-N KEY)"
602 GET P$:IFP$=""THEN602
603 IFP$="Y"THEN610
604 IFP$="N"THEN910
610 INPUT"N OF MATCHING PHASE =" ;MP;DIM MF(MP)
612 FORI=OTOMP:INPUT"MATCHING FRAME =" ;MF(I):NEXTI
620 PRINT/P:PRINT/P"##### DATA NAME FOR SAVE =" ;SN$;"M,+SD,-SD #####"
625 PRINT/P"----- MEAN -----"

```

```

630 K=0:FORP=1TOMP
640 PRINT/P:PRINT/P"SUMMATION PHASE(";P;" )"
700 PRINT/PTAB(6);"NO.";TAB(13);"M";TAB(21);"NO.";TAB(28);"M";
710 PRINT/PTAB(36);"NO.";TAB(43);"M";TAB(51);"NO.";TAB(58);"M";
720 PRINT/PTAB(66);"NO.";TAB(73);"M"
730 J=INT((MF(P)-MF(P-1))/5):FORI=OTOJ-1
740 PRINT/PTAB(5);I+K;TAB(10);INT(M(I+K)*1000+.5)/1000;
750 PRINT/PTAB(20);I+J+K;TAB(25);INT(M(I+J+K)*1000+.5)/1000;
760 PRINT/PTAB(35);I+J*2+K;TAB(40);INT(M(I+J*2+K)*1000+.5)/1000;
770 PRINT/PTAB(50);I+J*3+K;TAB(55);INT(M(I+J*3+K)*1000+.5)/1000;
780 PRINT/PTAB(65);I+J*4+K;TAB(70);INT(M(I+J*4+K)*1000+.5)/1000:NEXTI
784 R=0
786 PRINT/PTAB(65);J*5+R+K;TAB(70);INT(M(J*5+R+K)*1000+.5)/1000
788 IFJ*5+R>=(MF(P)-MF(P-1))THEN790
789 R=R+1:GOTO786
790 K=K+(MF(P)-MF(P-1))
792 NEXTP
793 PRINT/P"----- S.D -----"
-----"
794 K=0:FORP=1TOMP
796 PRINT/P:PRINT/P"SUMMATION PHASE(";P;" )"
800 PRINT/PTAB(6);"NO.";TAB(13);"SD";TAB(21);"NO.";TAB(28);"SD";
810 PRINT/PTAB(36);"NO.";TAB(43);"SD";TAB(51);"NO.";TAB(58);"SD";
820 PRINT/PTAB(66);"NO.";TAB(73);"SD"
830 J=INT((MF(P)-MF(P-1))/5):FORI=OTOJ-1
840 PRINT/PTAB(5);I+K;TAB(10);INT(SD(I+K)*1000+.5)/1000;
850 PRINT/PTAB(20);I+J+K;TAB(25);INT(SD(I+J+K)*1000+.5)/1000;
860 PRINT/PTAB(35);I+J*2+K;TAB(40);INT(SD(I+J*2+K)*1000+.5)/1000;
870 PRINT/PTAB(50);I+J*3+K;TAB(55);INT(SD(I+J*3+K)*1000+.5)/1000;
880 PRINT/PTAB(65);I+J*4+K;TAB(70);INT(SD(I+J*4+K)*1000+.5)/1000:NEXTI
884 R=0
886 PRINT/PTAB(65);J*5+R+K;TAB(70);INT(SD(J*5+R+K)*1000+.5)/1000
888 IFJ*5+R>=(MF(P)-MF(P-1))THEN890
889 R=R+1:GOTO886
890 K=K+(MF(P)-MF(P-1))
900 NEXTP
910 END

```


4. WHOLE BODY STICK PICTUREプログラム

WHOLE BODY STICK PICTUREプログラムは規格化・平均化した身体各部位の変位データをもとに、側方からみた全身のスティックピクチャーを描くプログラムである。

NS : 描きたいスティックピクチャーの数

F (I) : 描きたいスティックピクチャーの時刻 (%)

ここで I : 各スティックピクチャーの番号

LE : スティックピクチャーの大きさ

```

1 REM##### WHOLE BODY STICK PICTURE#####
2 REM### ( Y-Z PLANE )#####
3 REM########
4 REM#####
30 INPUT " N OF STICK =";NS;DIM Y(21,NS),Z(21,NS),MI(NS),MA(NS),F(NS)
35 FOR I=1 TONS:PRINT("I;";" ): INPUT " NO. OF % (0~200) =";F(I);NEXT I
80 REM### DATA CALLING #####
90 FOR I=1 TO 9
100 ROPE#3,FD101,STR$(I)+"YM": INPUT#3,N: DIM DY(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3,DY(J): NE
XTJ: CLOSE#3
101 ROPE#3,FD101,STR$(I)+"ZM": INPUT#3,N: DIM DZ(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3,DZ(J): NE
XTJ: CLOSE#3
102 FOR J=1 TONS: K=F(J): Y(I,J)=DY(K): Z(I,J)=DZ(K): NEXT J: NEXT I
103 FOR I=10 TO 14
104 ROPE#3,FD101,STR$(I+1)+"YM": INPUT#3,N: FOR J=OTON-1: INPUT#3,DY(J): NEXT J: CLOS
E#3
105 ROPE#3,FD101,STR$(I+1)+"ZM": INPUT#3,N: FOR J=OTON-1: INPUT#3,DZ(J): NEXT J: CLOS
E#3
106 FOR J=1 TONS: K=F(J): Y(I,J)=DY(K): Z(I,J)=DZ(K): NEXT J: NEXT I
107 FOR I=15 TO 18
108 ROPE#3,FD101,STR$(I+2)+"YM": INPUT#3,N: FOR J=OTON-1: INPUT#3,DY(J): NEXT J: CLOS
E#3
109 ROPE#3,FD101,STR$(I+2)+"ZM": INPUT#3,N: FOR J=OTON-1: INPUT#3,DZ(J): NEXT J: CLOS
E#3
110 FOR J=1 TONS: K=F(J): Y(I,J)=DY(K): Z(I,J)=DZ(K): NEXT J: NEXT I
111 ROPE#3,FD101,"22YM": INPUT#3,N: FOR J=OTON-1: INPUT#3,DY(J): NEXT J: CLOSE#3
112 ROPE#3,FD101,"22ZM": INPUT#3,N: FOR J=OTON-1: INPUT#3,DZ(J): NEXT J: CLOSE#3
113 FOR J=1 TONS: K=F(J): Y(19,J)=DY(K): Z(19,J)=DZ(K): NEXT J
200 REM### MA & MI OF EACH PICTURE #####
210 FOR J=1 TONS: MA=Y(1,J): MI=Y(1,J)
220 FOR I=2 TO 19
230 IF MI > Y(I,J) THEN MI=Y(I,J)
240 IF MA < Y(I,J) THEN MA=Y(I,J)
250 NEXT I
260 MA(J)=MA: MI(J)=MI
270 NEXT J

```

```

300 REM#### CENTER POINTS OF SHOULDER & HIP #####
310 FORJ=1TONS
320 Y(20,J)=(Y(4,J)+Y(8,J))/2:Z(20,J)=(Z(4,J)+Z(8,J))/2
330 Y(21,J)=(Y(13,J)+Y(18,J))/2:Z(21,J)=(Z(13,J)+Z(18,J))/2
340 NEXTJ
400 REM#### DATA SCALE #####
401 INPUT" LENGTH FOR 1 M (CM) =" ;LE
402 LE=LE*100
410 XO=0:NP=21
420 FORJ=1TONS
430 FORI=1TONF
440 Y(I,J)=INT((Y(I,J)-MI(J))*LE+XO)
450 Z(I,J)=INT(Z(I,J)*LE+500)
460 NEXTI
470 XO=XO+(MA(J)-MI(J))*LE
480 NEXTJ
500 REM#### R.ARM STICK PICTURE #####
510 FORJ=1TONS
520 X=Y(1,J):Y=Z(1,J):GOSUB5030
530 FORI=2T04
540 X=Y(I,J):Y=Z(I,J):GOSUB5020
550 NEXTI
560 REM#### L.ARM STICK PICTURE #####
570 FORI=8T05STEP-1
580 X=Y(I,J):Y=Z(I,J):GOSUB5020
585 Z9$="S":Y=1:GOSUB5010
586 Z9$="N":Y=6:GOSUB5010
590 NEXTI
600 REM#### R.LEG STICK PICTURE #####
610 X=Y(9,J):Y=Z(9,J):GOSUB5030
620 FORI=10T013
630 X=Y(I,J):Y=Z(I,J):GOSUB5020
635 NEXTI
640 REM#### L.LEG STICK PICTURE #####
650 FORI=18T014STEP-1
660 X=Y(I,J):Y=Z(I,J):GOSUB5020
665 Z9$="S":Y=1:GOSUB5010
666 Z9$="N":Y=6:GOSUB5010
670 NEXTI

```

```

680 REM##### TORUSO STICK PICTURE #####
690 X=Y(19,J):Y=Z(19,J):GOSUB5030
700 X=Y(20,J):Y=Z(20,J):GOSUB5020
710 X=Y(21,J):Y=Z(21,J):GOSUB5020
720 NEXTJ
730 GOSUB5070
740 END
5000 REM##### MI PLOT OUTPUT SUBROUTINE #####
5010 Z1#=Z9#+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5020 Z1#="D"+STR$(INT(X))+", "+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5030 Z1#="M"+STR$(INT(X))+", "+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5040 Z1#="I"+STR$(INT(X))+", "+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5050 Z1#="R"+STR$(INT(X))+", "+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5060 Z1#="F"+Z$:GOTO6500
5070 Z1#="H":GOTO6500
5080 Z1#="X1", "+STR$(INT(X))+", "+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5090 Z1#="X0", "+STR$(INT(X))+", "+STR$(INT(Y)):GOTO6500
6500 REM##### I/O PORT SUBROUTINE #####
6510 Z5=14:Z6=Z5+1
6520 FORZ1=1TOLEN(Z1#)
6530 Z2=ASC(MID$(Z1#,Z1,1))
6540 GOSUB6550:NEXTZ1:Z2=13
6550 REM"CHECK BUSY & OUTPUT":OUT@Z5;0
6560 INP@Z5;Z3:IFZ3-INT(Z3/2)*2=1THEN6560
6570 OUT@Z6;Z2:OUT@Z5;255
6580 RETURN

```

5. SEGMENT STICK PICTURE プログラム

SEGMENT STICK PICTURE プログラムは規格化・平均化した身体各部位の変位データをもとに、上方および側方からみた身体各部分のスティックピクチャーを描くプログラムである。

NS : 描きたいスティックピクチャーの数

F (I) : 描きたいスティックピクチャーの時刻 (%)

ここで I : 各スティックピクチャーの番号

SG\$: 描きたい身体部分名 (RA : 右腕, LA : 左腕, RL : 右脚, LL : 左脚

T : 胴体である)

LE : スティックピクチャーの大きさ

```

1 REM##### SEGMENT##### STICK PICTURE#####
2 REM### ( X-Y, Y-Z PLANE )#####
3 REM########
5 REM##### NS: DIM X(7, NS), Y(7, NS), Z(7, NS), MA(NS), MI(NS), F(NS)#####
20 INPUT " N OF STICK = "; NS: DIM X(7, NS), Y(7, NS), Z(7, NS), MA(NS), MI(NS), F(NS)#####
30 FOR I=1 TONS: PRINT("I; "): INPUT " NO. OF % (0~200) = "; F(I): NEXT I#####
40 INPUT " SEGMENT NAME (RA, LA, RL, LL, T) = "; SG$#####
50 IF SG$="RA" THEN 150#####
60 IF SG$="LA" THEN 200#####
70 IF SG$="RL" THEN 250#####
80 IF SG$="LL" THEN 350#####
90 IF SG$="T" THEN 460#####
100 GOTO 40#####
150 REM##### R.ARM DATA CALLING#####
160 NP=4: FOR I=1 TONP: ROPEN#3, FD1@1, STR$(I)+"XM": INPUT#3, N: DIM DX(N): FOR J=OTON-1:#####
INPUT#3, DX(J): NEXT J: CLOSE#3#####
170 ROPEN#3, FD1@1, STR$(I)+"YM": INPUT#3, N: DIM DY(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DY(J): NE#####
XTJ: CLOSE#3#####
180 ROPEN#3, FD1@1, STR$(I)+"ZM": INPUT#3, N: DIM DZ(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DZ(J): NE#####
XTJ: CLOSE#3#####
190 FOR J=1 TONS: K=F(J): X(I, J)=DX(K): Y(I, J)=DY(K): Z(I, J)=DZ(K): NEXT J: NEXT I#####
195 GOTO 1000#####
200 REM##### L.ARM DATA CALLING#####
210 FOR I=1 TONP: ROPEN#3, FD1@1, STR$(I+4)+"XM": INPUT#3, N: DIM DX(N): FOR J=OTON-1: INP#####
UT#3, DX(J): NEXT J: CLOSE#3#####
220 ROPEN#3, FD1@1, STR$(I+4)+"YM": INPUT#3, N: DIM DY(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DY(J):#####
NEXT J: CLOSE#3#####
230 ROPEN#3, FD1@1, STR$(I+4)+"ZM": INPUT#3, N: DIM DZ(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DZ(J):#####
NEXT J: CLOSE#3#####
240 FOR J=1 TONS: K=F(J): X(I, J)=DX(K): Y(I, J)=DY(K): Z(I, J)=DZ(K): NEXT J: NEXT I#####
245 GOTO 1000#####
250 REM##### R.LEG DATA CALLING#####
260 ROPEN#3, FD1@1, "9XM": INPUT#3, N: DIM DX(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DX(J): NEXT J: CL#####
OSE#3#####
270 ROPEN#3, FD1@1, "9YM": INPUT#3, N: DIM DY(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DY(J): NEXT J: CL#####
OSE#3#####
280 ROPEN#3, FD1@1, "9ZM": INPUT#3, N: DIM DZ(N): FOR J=OTON-1: INPUT#3, DZ(J): NEXT J: CL#####
OSE#3#####
290 FOR J=1 TONS: K=F(J): X(1, J)=DX(K): Y(1, J)=DY(K): Z(1, J)=DZ(K): NEXT J#####

```

```

300 NF=5
310 FORI=2TONP:ROPEN#3,FD101,STR$(I+9)+"XM":INPUT#3,N:FORJ=OTON-1:INPUT#3,DX(J)
:NEXTJ:CLOSE#3
320 ROPEN#3,FD101,STR$(I+9)+"YM":INPUT#3,N:FORJ=OTON-1:INPUT#3,DY(J):NEXTJ:CLOS
E#3
330 ROPEN#3,FD101,STR$(I+9)+"ZM":INPUT#3,N:FORJ=OTON-1:INPUT#3,DZ(J):NEXTJ:CLOS
E#3
340 FORJ=1TONS:K=F(J):X(I,J)=DX(K):Y(I,J)=DY(K):Z(I,J)=DZ(K):NEXTJ:NEXTI
345 GOTO1000
350 REM#### L.LEG DATA CALLING #####
360 ROPEN#3,FD101,"15XM":INPUT#3,N:DIM DX(N):FOR J=OTON-1:INPUT#3,DX(J):NEXTJ:C
LOSE#3
370 ROPEN#3,FD101,"15YM":INPUT#3,N:DIM DY(N):FOR J=OTON-1:INPUT#3,DY(J):NEXTJ:C
LOSE#3
380 ROPEN#3,FD101,"15ZM":INPUT#3,N:DIM DZ(N):FOR J=OTON-1:INPUT#3,DZ(J):NEXTJ:C
LOSE#3
390 FORJ=1TONS:K=F(J):X(1,J)=DX(K):Y(1,J)=DY(K):Z(1,J)=DZ(K):NEXTJ
400 NF=5
410 FORI=2TONP
420 ROPEN#3,FD101,STR$(I+15)+"XM":INPUT#3,N:FORJ=OTON-1:INPUT#3,DX(J):NEXTJ:CLO
SE#3
430 ROPEN#3,FD101,STR$(I+15)+"YM":INPUT#3,N:FORJ=OTON-1:INPUT#3,DY(J):NEXTJ:CLO
SE#3
440 ROPEN#3,FD101,STR$(I+15)+"ZM":INPUT#3,N:FORJ=OTON-1:INPUT#3,DZ(J):NEXTJ:CLO
SE#3
450 FORJ=1TONS:K=F(J):X(I,J)=DX(K):Y(I,J)=DY(K):Z(I,J)=DZ(K):NEXTJ:NEXTI
455 GOTO1000
460 REM#### TORSO DATA CALLING #####
465 S=1:I=4:GOTO490
470 IFI=20THENI=22
471 IFI=14THENI=20
472 IFI=8THENI=14
473 IFI=4THENI=8
490 ROPEN#3,FD101,STR$(I)+"XM":INPUT#3,N:DIM DX(N):FORJ=OTON-1:INPUT#3,DX(J):NE
XTJ:CLOSE#3
500 ROPEN#3,FD101,STR$(I)+"YM":INPUT#3,N:DIM DY(N):FORJ=OTON-1:INPUT#3,DY(J):NE
XTJ:CLOSE#3
510 ROPEN#3,FD101,STR$(I)+"ZM":INPUT#3,N:DIM DZ(N):FORJ=OTON-1:INPUT#3,DZ(J):NE
XTJ:CLOSE#3

```

```
520 FORJ=1TONS:K=F(J):X(S,J)=DX(K):Y(S,J)=DY(K):Z(S,J)=DZ(K):NEXTJ
530 IFI=22THEN550
540 S=S+1:GOTO470
550 FORJ=1TONS
560 X(6,J)=(X(1,J)+X(2,J))/2
570 Y(6,J)=(Y(1,J)+Y(2,J))/2
580 Z(6,J)=(Z(1,J)+Z(2,J))/2
590 X(7,J)=(X(3,J)+X(4,J))/2
600 Y(7,J)=(Y(3,J)+Y(4,J))/2
610 Z(7,J)=(Z(3,J)+Z(4,J))/2
620 NEXTJ:NP=7
1000 REM##### DATA SCALE #####
1001 INPUT" LENGTH( cm ) FOR 1 m =" ;LE
1002 LE=LE*100
1010 FORJ=1TONS:MA=Y(1,J):MI=Y(1,J)
1020 FORI=1TONP
1030 IFMI>Y(I,J) THENMI=Y(I,J)
1040 IFMA<Y(I,J) THENMA=Y(I,J)
1050 NEXTI
1060 MA(J)=MA:MI(J)=MI
1070 NEXTJ
1071 XM=X(1,1):FORJ=1TONS:FORI=1TONP
1073 IFXM>X(I,J) THENXM=X(I,J)
1075 NEXTI:NEXTJ
1076 ZM=Z(1,1):FORJ=1TONS:FORI=1TONP
1077 IFZM>Z(I,J) THENZM=Z(I,J)
1078 NEXTI:NEXTJ
1080 XO=0
1090 FORJ=1TONS:FORI=1TONP
1100 Y(I,J)=INT((Y(I,J)-MI(J))*LE+XO)
1110 Z(I,J)=INT(100-XM*LE+(Z(I,J)-ZM)*LE+50)
1120 NEXTI:XO=XO+(MA(J)-MI(J))*LE+20:NEXTJ
1300 REM##### X-Y PLANE #####
1340 FORJ=1TONS:FORI=1TONP
1350 X(I,J)=INT(100-X(I,J)*LE)
1360 NEXTI:NEXTJ
1370 IFSG$="T" THEN1440
1380 FORJ=1TONS
```



```

1390 X=Y(1,J):Y=X(1,J):GOSUB5030
1400 FORI=2TONP
1410 X=Y(I,J):Y=X(I,J):GOSUB5020
1420 NEXTI
1421 Z9#="S":Y=1:GOSUB5010
1422 Z9#="N":Y=6:GOSUB5010
1423 NEXTJ
1430 GOT01621
1440 FORJ=1TONS
1450 X=Y(1,J):Y=X(1,J):GOSUB5030
1460 X=Y(2,J):Y=X(2,J):GOSUB5020
1461 Z9#="S":Y=1:GOSUB5010
1462 Z9#="N":Y=6:GOSUB5010
1470 X=Y(3,J):Y=X(3,J):GOSUB5030
1480 X=Y(4,J):Y=X(4,J):GOSUB5020
1481 Z9#="S":Y=1:GOSUB5010
1482 Z9#="N":Y=6:GOSUB5010
1490 X=Y(5,J):Y=X(5,J):GOSUB5030
1500 FORI=6T07
1510 X=Y(I,J):Y=X(I,J):GOSUB5020
1520 NEXTI:NEXTJ
1621 REM#####Y-Z PLANE #####
1630 IFSG#="T" THEN1700
1640 FORJ=1TONS
1650 X=Y(1,J):Y=Z(1,J):GOSUB5030
1660 FORI=2TONP
1670 X=Y(I,J):Y=Z(I,J):GOSUB5020
1680 NEXTI
1681 Z9#="S":Y=1:GOSUB5010
1682 Z9#="N":Y=6:GOSUB5010
1690 NEXTJ:GOT01800
1700 FORJ=1TONS
1710 X=Y(1,J):Y=Z(1,J):GOSUB5030
1720 X=Y(2,J):Y=Z(2,J):GOSUB5020
1721 Z9#="S":Y=1:GOSUB5010
1722 Z9#="N":Y=6:GOSUB5010
1730 X=Y(3,J):Y=Z(3,J):GOSUB5030
1740 X=Y(4,J):Y=Z(4,J):GOSUB5020

```

```
1741 Z9$="S":Y=1:GOSUB5010
1742 Z9$="N":Y=6:GOSUB5010
1750 X=Y(5,J):Y=Z(5,J):GOSUB5030
1760 FORI=6TO7
1770 X=Y(I,J):Y=Z(I,J):GOSUB5020
1780 NEXTI
1790 NEXTJ
1800 GOSUB5070
1810 END
5000 REM#### MIPLOT OUTPUT SUBROUTINE #####
5010 Z1$=Z9$+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5020 Z1$="D"+STR$(INT(X))+","+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5030 Z1$="M"+STR$(INT(X))+","+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5040 Z1$="I"+STR$(INT(X))+","+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5050 Z1$="R"+STR$(INT(X))+","+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5060 Z1$="F"+Z$:GOTO6500
5070 Z1$="H":GOTO6500
5080 Z1$="X1","+STR$(INT(X))+","+STR$(INT(Y)):GOTO6500
5090 Z1$="X0","+STR$(INT(X))+","+STR$(INT(Y)):GOTO6500
6500 REM#### I/O PORT SUBROUTINE #####
6510 Z5=14:Z6=Z5+1
6520 FORZ1=1TOLEN(Z1$)
6530 Z2=ASC(MID$(Z1$,Z1,1))
6540 GOSUB6550:NEXTZ1:Z2=13
6550 REM"CHECK BUSY & OUTPUT":OUT@Z5,0
6560 INP@Z5,Z3:IFZ3-INT(Z3/2)*2=1THEN6560
6570 OUT@Z6,Z2:OUT@Z5,Z25
6580 RETURN
```

資料B

胴体および上肢関節角度と静的屈曲力・伸展力の関係

I 目的

本測定は、高い位置で強く打撃するためのスパイク技術に関する研究結果を解釈する場合の基礎的資料を得るために行ったものである。

II 方法

表B-1は本測定で用いた被験者の特徴を示したものである。被験者には、大学男子バレーボール選手14名、野球選手4名の合計18名を用いた。これらの身長は平均1.75m、体重は平均69kgであった。

図B-1は各測定姿勢を示したもので、上図左が手首、右が肘、下図左が肩、右が腰関節に関する測定姿勢である。手関節の測定では、立位で手を握り、回内した前腕を全身筋力測定台（竹井機器製）の肘掛けにベルトで固定した。肘関節の測定では、座位で前腕を回内し、上腕を肩の高さで水平に保ち、測定台の肘掛けにベルトで固定した。肩関節の測定では、座位で肘を伸ばして腕を回内し、胴体をベルトで固定した。腰関節の測定では立位で、伸展力の場合には大転子の高さで腰前部を、また屈曲力の場合には腰後部を測定台の横棒に当て、ベルトで固定した。なお足部は動かないように補助者が押えた。このような測定姿勢から各関節のほぼ全可動範囲にわたって、静的屈曲力、伸展力をそれぞれ5~7回測定した。

力の測定には直交ゲージを貼付した自作の歪測定器を用い、歪測定器を付けたワイヤーが屈曲あるいは伸展する身体部分と直角になるように調整した後（図B-2参照）、約2~3秒間全力で牽引させた。そして増幅器を介して電磁オシログラフに記録した力・時間曲線から力の最大値を読み取った。ここでワイヤーと屈曲あるいは伸展する身体部分がもし直角でない時は、後で求めるワイヤーと身体部分の角度をもとに、身体部分と直角をなす力の成分を補正して求めた。

関節角度の測定では、被験者の側方7mから16mmシネカメラで測定中の被験者を5コマ撮影した。そして撮影したフィルムをフィルム分析装置にかけ、得られた身体各部

位の座標をもとに手，肘，肩，腰の各関節角度を求めた。

Ⅲ 結果

1 手関節角度と手関節屈曲力・伸展力

図B-3は上述した測定法により得られた手関節角度と手関節屈曲力との関係を、上図は実測値で、下図は各被験者の最大値に対する割合で示したものである。また、図B-4は手関節角度と手関節伸展力の関係を図B-3と同様にして示したものである。

手関節屈曲力についてみると、手関節屈曲力の最大値は平均30.1kgであり、手関節角度が約-70度から10度までの広範囲で出現する。しかし、角度が約10度以上になると、手関節屈曲力は著しく低下し、50度付近では最大値の約30~50%になる。

手関節伸展力についてみると、手関節伸展力の最大値は平均18.7kgであり、手関節角度が約-60度から0度の範囲で出現する。角度が約0度以上になると、手関節伸展力は低下し、50度付近では約40~60%になる。また角度が約-60度以下でも手関節伸展力は著しく低下する。

2 肘関節角度と肘関節屈曲力・伸展力

図B-5, 6は肘関節角度と肘関節屈曲力，伸展力の関係をそれぞれ示したものである。

肘関節屈曲力についてみると、肘関節屈曲力の最大値は平均20.6kgであり、肘関節角度が約80~100度の比較的狭い範囲で出現する。角度が約100度以上では肘関節屈曲力は低下し、160度付近では約50~70%になる。また角度が約80度以下では肘関節屈曲力は著しく低下する。

肘関節伸展力についてみると、肘関節伸展力の最大値は平均24kgで、肘関節角度が

約 100～140 度で出現する。角度が約 140度以上では肘関節伸展力は著しく低下する。一方、角度が約 100度以下になると、肘関節伸展力は低下し、60度付近では約60～80%になる。また、角度が約60度以下では肘関節伸展力は再び増大し、被験者の中にはこの付近で最大値が出現するものもいた。

3 肩関節角度と肩関節屈曲力・伸展力

図 B - 7, 8 は肩関節角度と肩関節屈曲力, 伸展力の関係をそれぞれ示したものである。

肩関節屈曲力についてみると、肩関節屈曲力の最大値は平均34.2kgであり、肩関節角度が約50～140 度までの広範囲で出現する。角度が約 140度以上になると、肩関節屈曲力は低下する傾向がある。また角度が約50度以下でも肩関節屈曲力は低下し、-30度付近では約40～60%になる。

肩関節伸展力についてみると、肩関節伸展力の最大値は平均35.4kgであり、肩関節角度が約-30～10度の範囲で出現する。角度が約10～30度では肩関節伸展力は著しく低下し、約50～70%になる。角度が30度以上になると、約 140度までは肩関節伸展力は約50～70%で変化しないが、角度が約 140度以上では肩関節伸展力はさらに低下する傾向がある。

4 腰関節角度と腰関節屈曲力・伸展力

図 B - 9, 10 は腰関節角度と腰関節屈曲力, 伸展力の関係をそれぞれ示したものである。

腰関節屈曲力についてみると、腰関節屈曲力の最大値は平均49.9kgであり、腰関節角度が約20～70度で出現する。角度が約70度以上では腰関節屈曲力は低下し、100度付近では約50～70%になる。また角度が約20度以下になっても腰関節屈曲力は低下し、-20度付近では約60～80%になる。

腰関節伸展力についてみると、腰関節伸展力の最大値は平均75.6kgであり、腰関節

角度が約60～100度で出現し、角度が小さくなるにつれ、腰関節伸展力は低下する傾向がある。

Ⅳ 考察

本測定で得られた各関節角度と静的に発揮された力との関係において、手関節角度と手関節屈曲力および伸展力の関係については、これまで報告されたものはみあたらない。しかし、肘関節角度に対する肘関節屈曲力の関係は石田(1957)³⁾、Karpovichら(1965,1966)^{1,6)}、丹羽(1966)⁴⁾の結果と一致し、肘関節伸展力についてはSatoら(1968)⁵⁾の結果と一致した。そして肩関節角度に対する肩関節屈曲力および伸展力との関係はWilliamsら(1959)⁷⁾の結果と一致した。腰関節角度に対する腰関節屈曲力との関係は、これまでに報告されているWilliamsら、波多野(1972)²⁾の結果とは異なり、またWilliamsらと波多野の結果も同一ではなかった。これはWilliamsらの研究では立位で片膝を引き上げることにより、また波多野の研究ではSit-upにより腰関節を屈曲させており、各研究ごとに測定姿勢が違っているためであると思われる。同様に、腰関節伸展力についても測定姿勢が本研究と異なる丹羽のものとは違っていた。従って、本研究のように静的に発揮された力を動作と関連づけて検討するときは、できるだけ対象とする動きに近い姿勢で測定するように注意を払う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Doss, W.S. and P.V.Karpovich: Comparison of concentric, eccentric and isometric strength of elbow flexors, *J. Appl. Physiol.*, 20:351-353, 1965.
- 2) 波多野義郎: ケーブルテンシオメーター使用による各種筋力測定の結果について *体育学研究*, 17(2):89-95, 1972.
- 3) 石田俊丸: 万能力量計による筋力測定第(3)肘関節屈曲における測定方法の吟味 *体育学研究*, 2(7):76, 1957.
- 4) 丹羽昇: 関節角度からみた腕筋力, *体育学研究*, 5(1):190, 1966.
- 5) Sato, M. and Y. Sakai: Isometric and eccentric strength of elbow flexors and extensors, *J. Anthropol. Soc. Nippon*, 76:183-190, (Reported in *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12:435, 1984), 1968.
- 6) Singh, M. and P.V.Karpovich: Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors, *J. Appl. Physiol.*, 21:1435-1437, 1966.
- 7) Williams, M. and L. Stuzman: Strength variation through the range of joint motion, *The Physical Therapy Review*, 39:145-152, 1959.

表 B-1 被験者の特徴

被験者名	性別	年齢	身長(m)	体重(kg)	競技種目
1 Shinomura	男	23	1.76	75	volleyball
2 Gotou	男	22	1.77	77	volleyball
3 Sakuma	男	22	1.75	68	volleyball
4 Shide	男	22	1.74	73	volleyball
5 Takeda	男	21	1.80	69	volleyball
6 Takeda	男	21	1.82	70	volleyball
7 Miyazaki	男	21	1.88	68	volleyball
8 Kanazawa	男	21	1.83	69	volleyball
9 Maruyama	男	21	1.77	67	volleyball
10 Koide	男	20	1.61	57	volleyball
11 Fujii	男	20	1.75	68	volleyball
12 Yokosawa	男	20	1.70	60	volleyball
13 Honda	男	20	1.86	79	volleyball
14 Taneiti	男	19	1.80	80	volleyball
15 Oukawa	男	23	1.70	67	baseball
16 Shimizu	男	21	1.68	67	baseball
17 Shimizu	男	21	1.67	65	baseball
18 Hirose	男	21	1.69	64	baseball
平均		21	1.75	69	
S.D		(1)	(0.07)	(6)	

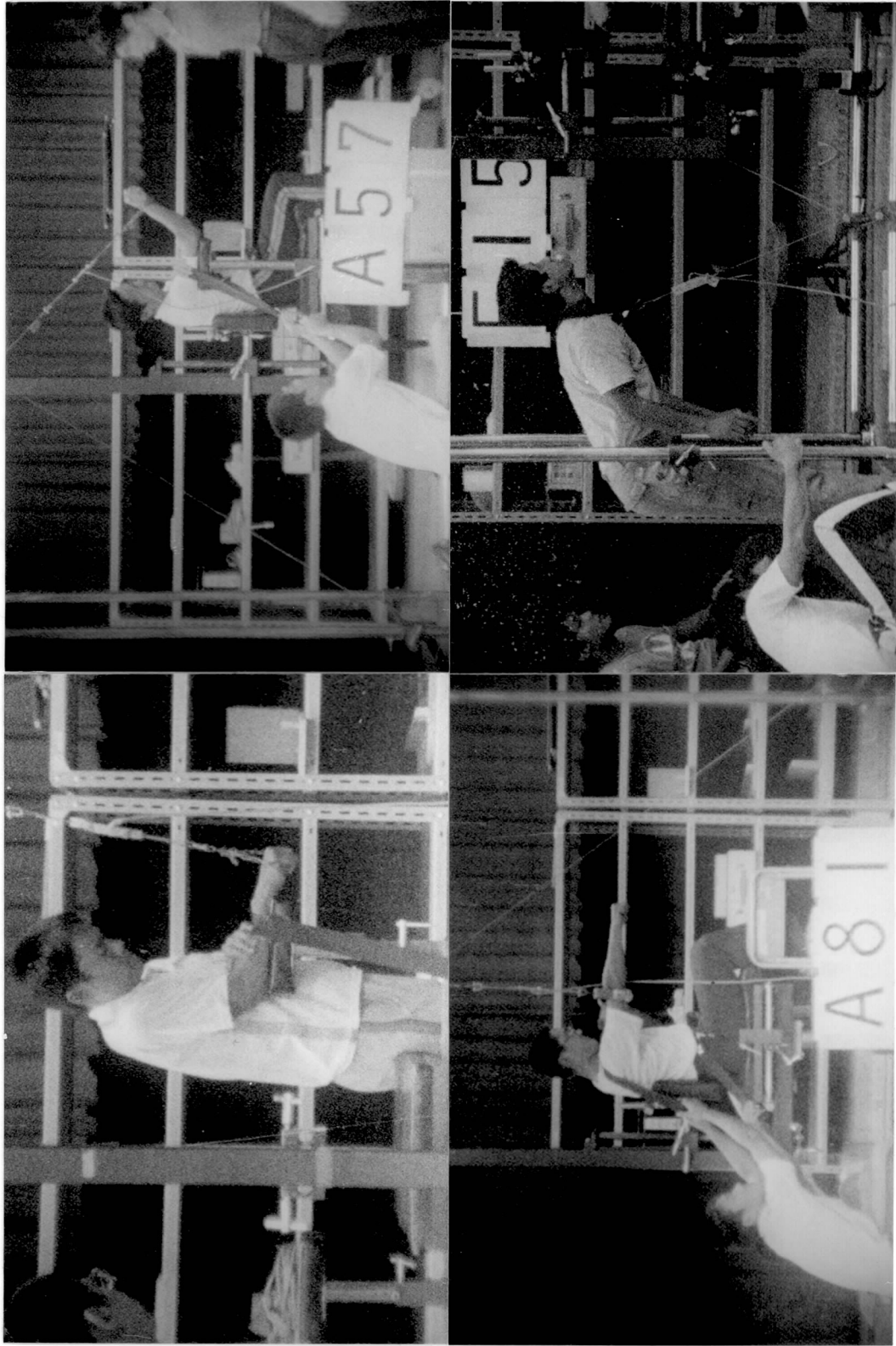


図 B-1 各種測定姿勢（上図左は手関節，右は肘関節，下図左は肩関節，
 右は腰関節に関する測定姿勢）

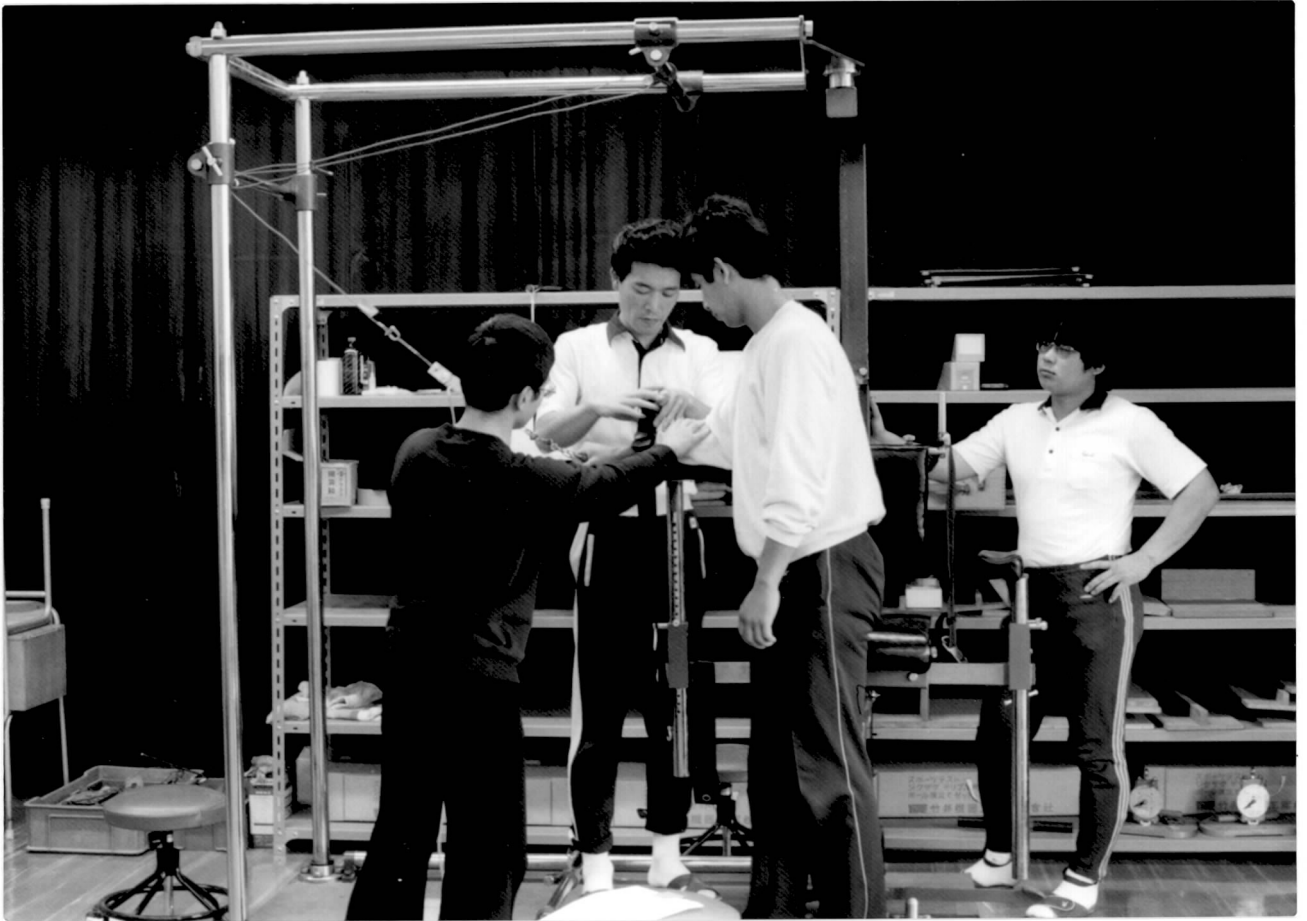
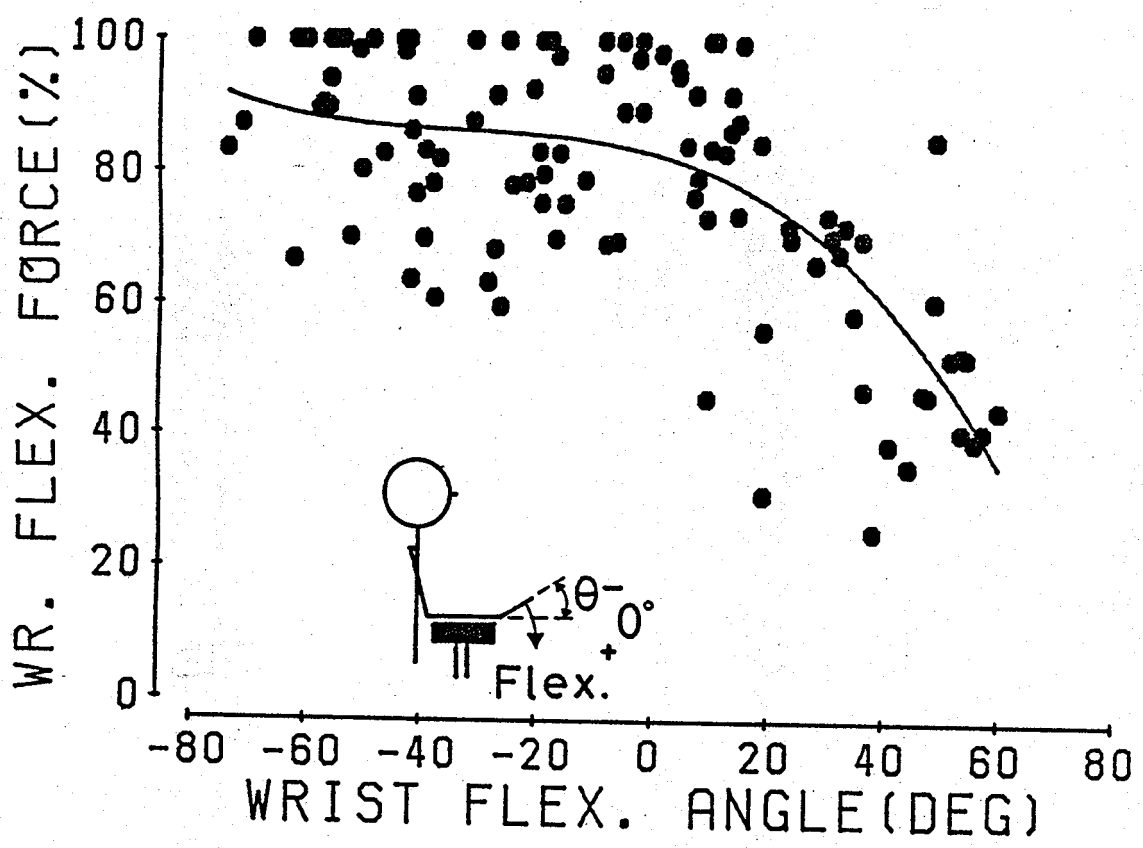
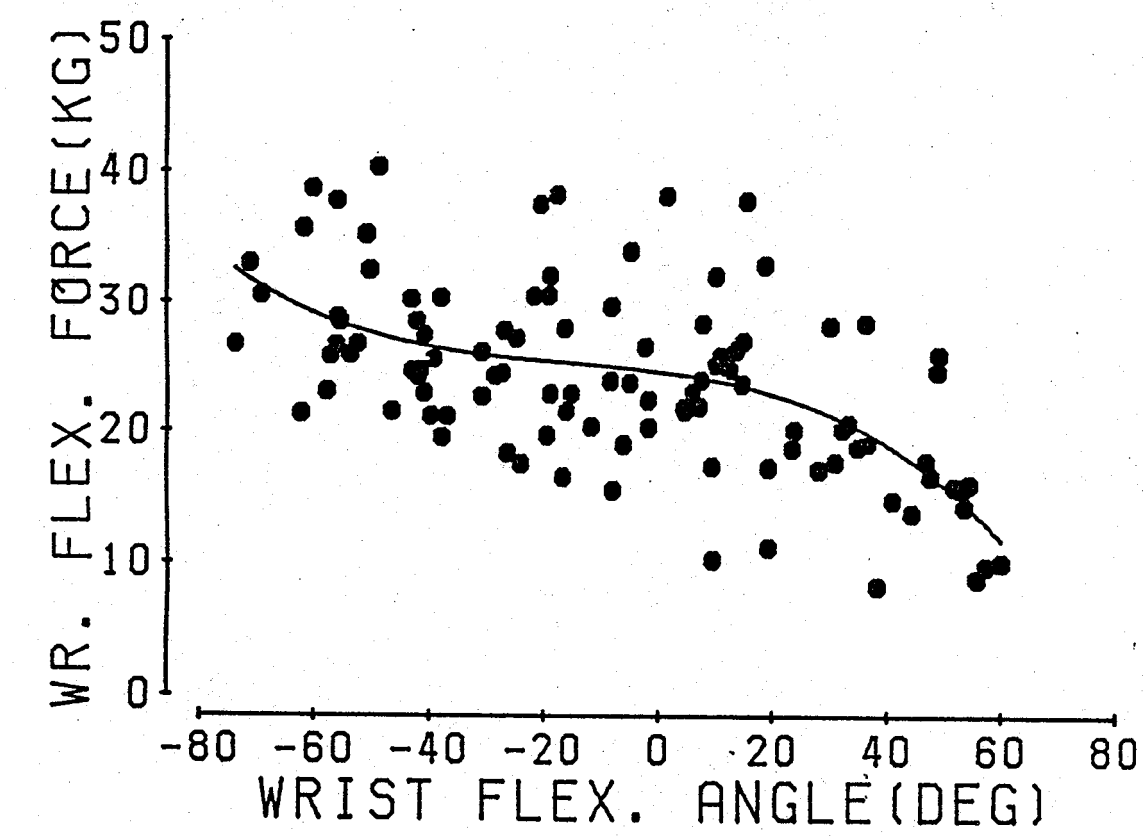


図 B-2 測定準備風景（測定台の横棒を移動させ、歪測定器を付けたワイヤーが直角に牽引されるよう調整する）



図B-3 手関節角度と手関節屈曲力の関係

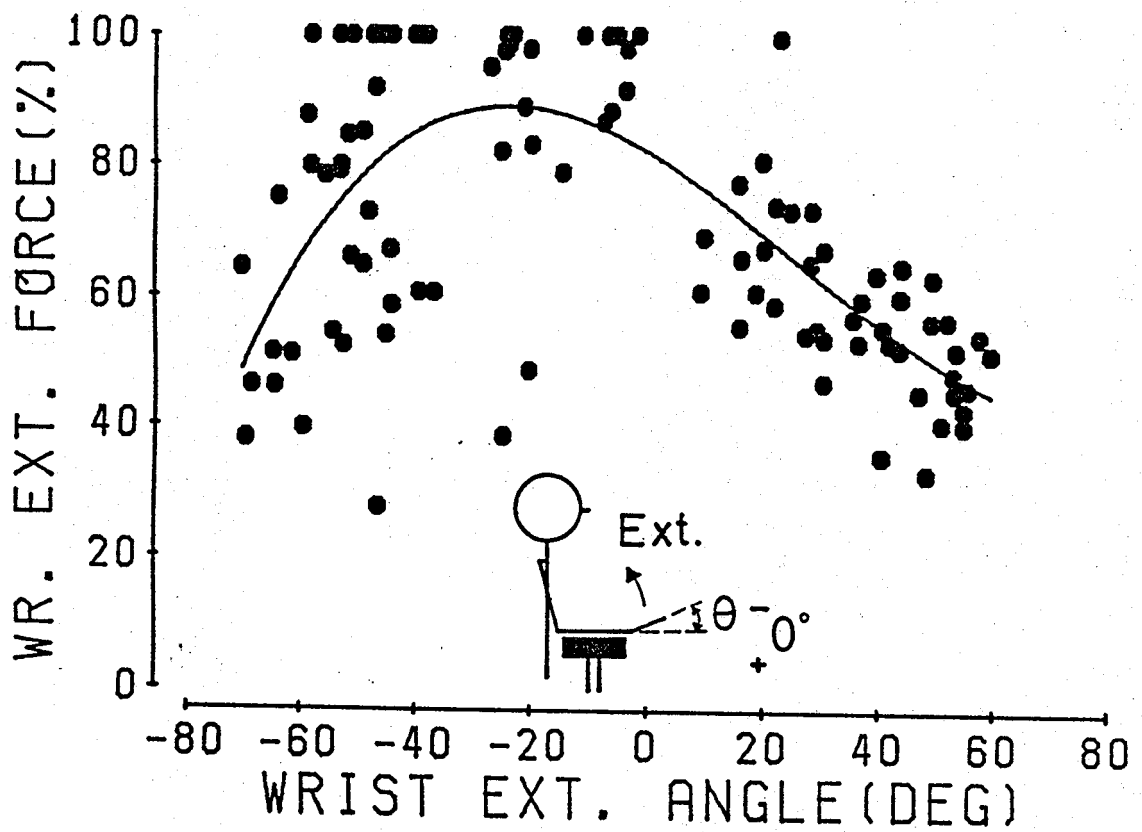
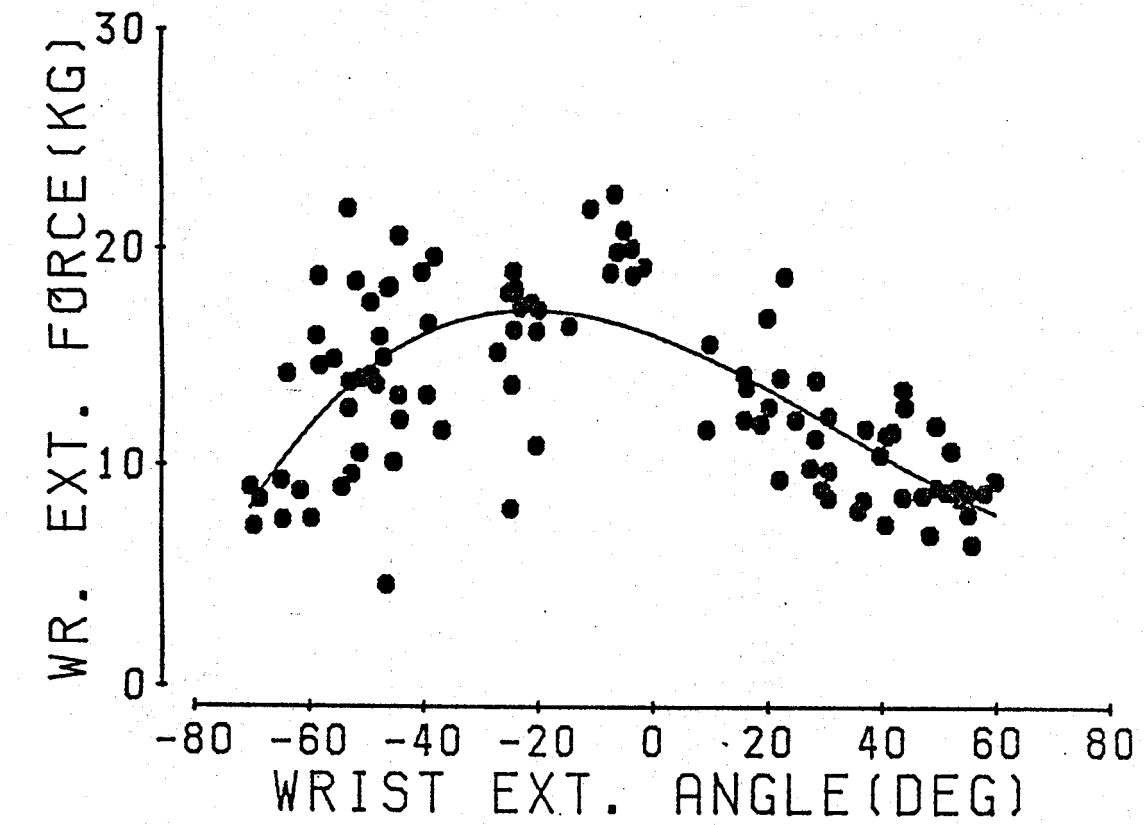
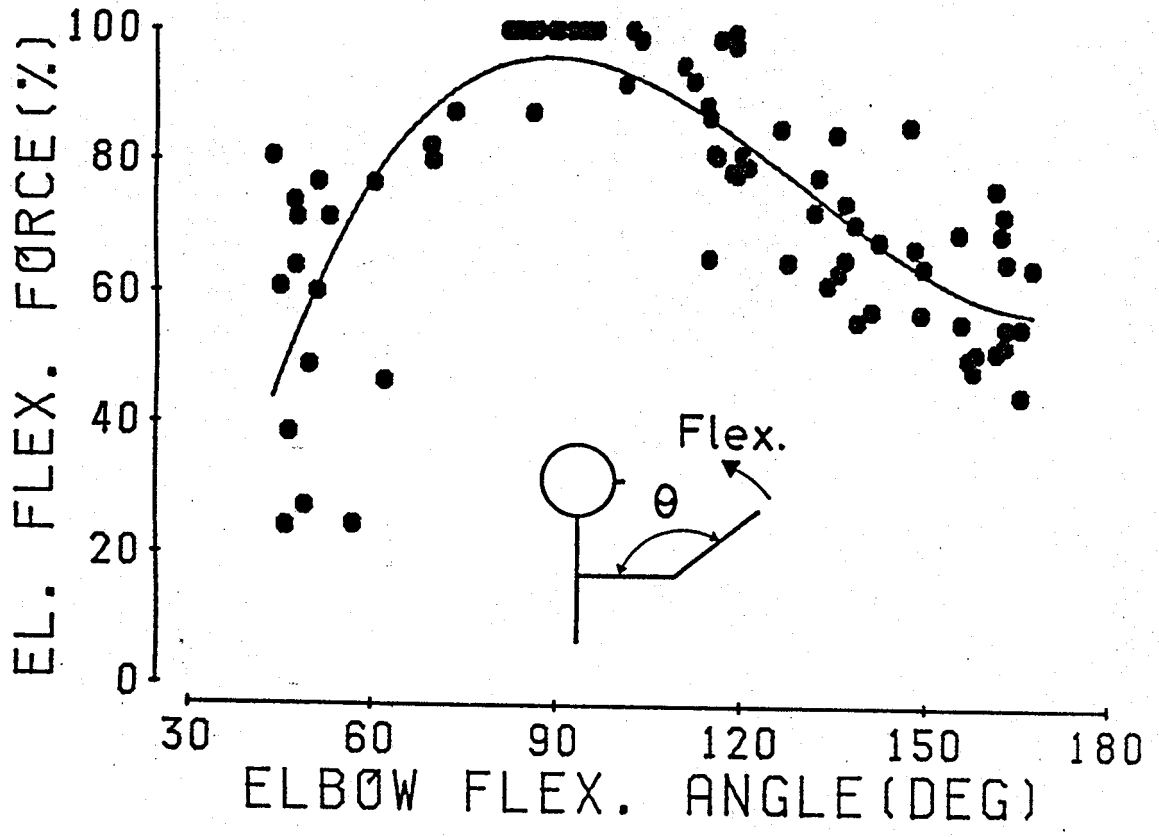
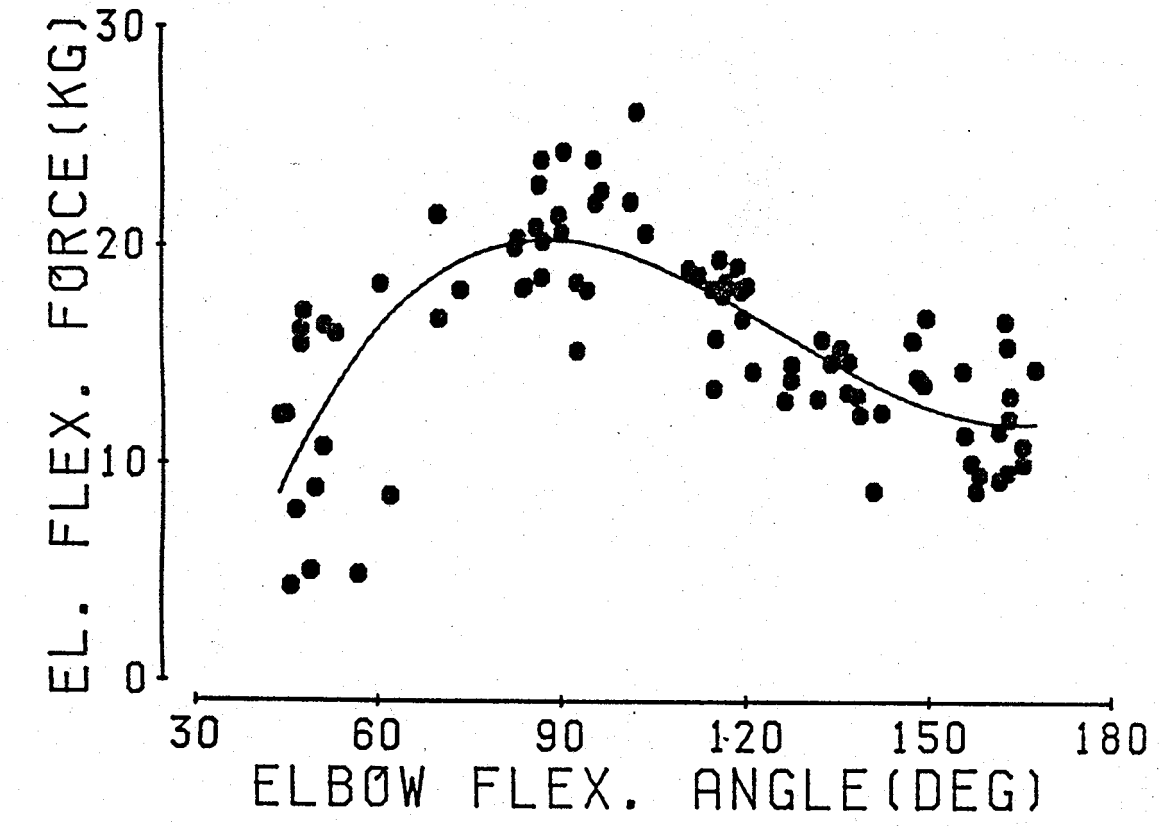


図 B-4 手関節角度と手関節伸展力の関係



図B-5 肘関節角度と肘関節屈曲力の関係

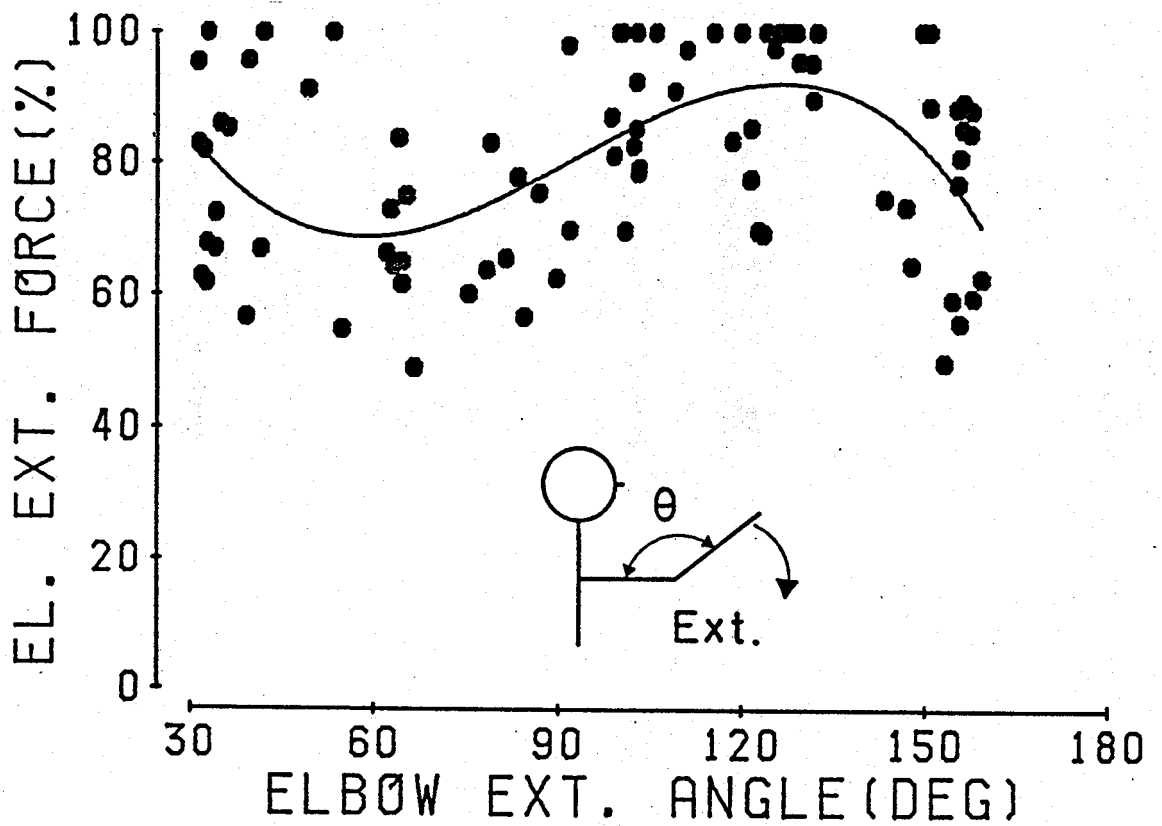
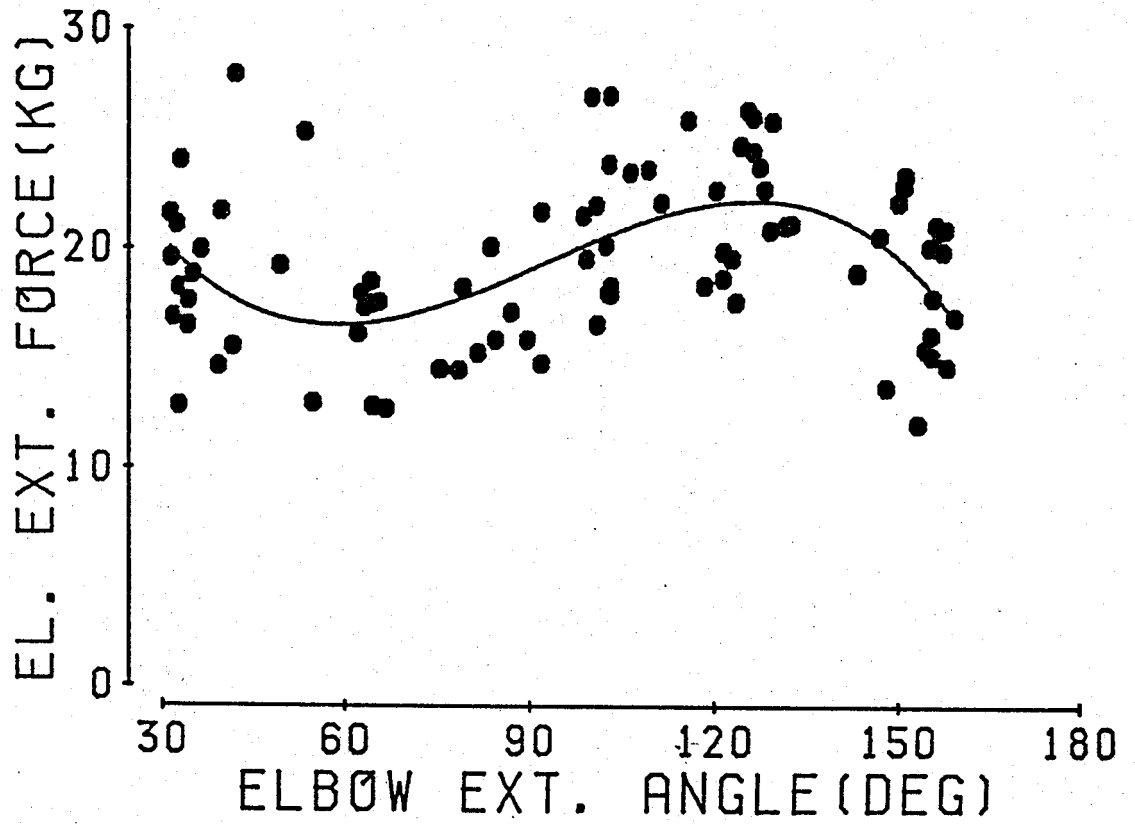
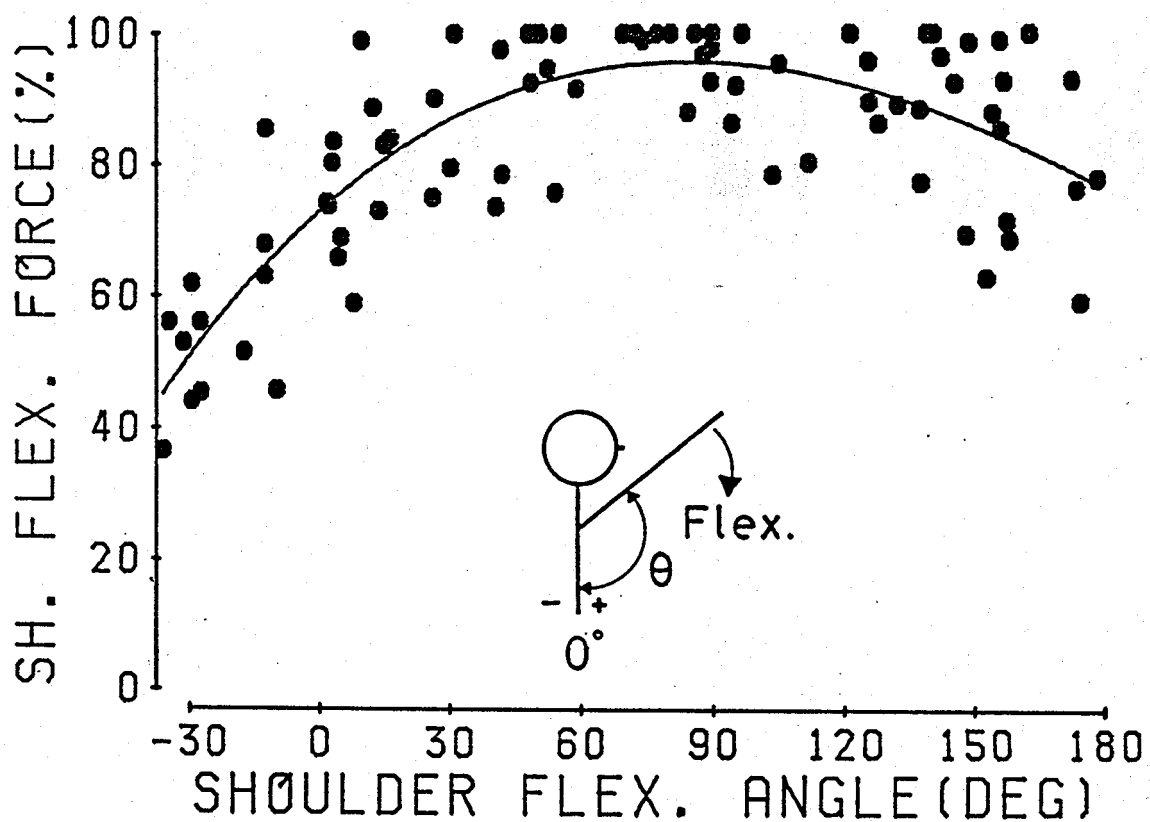
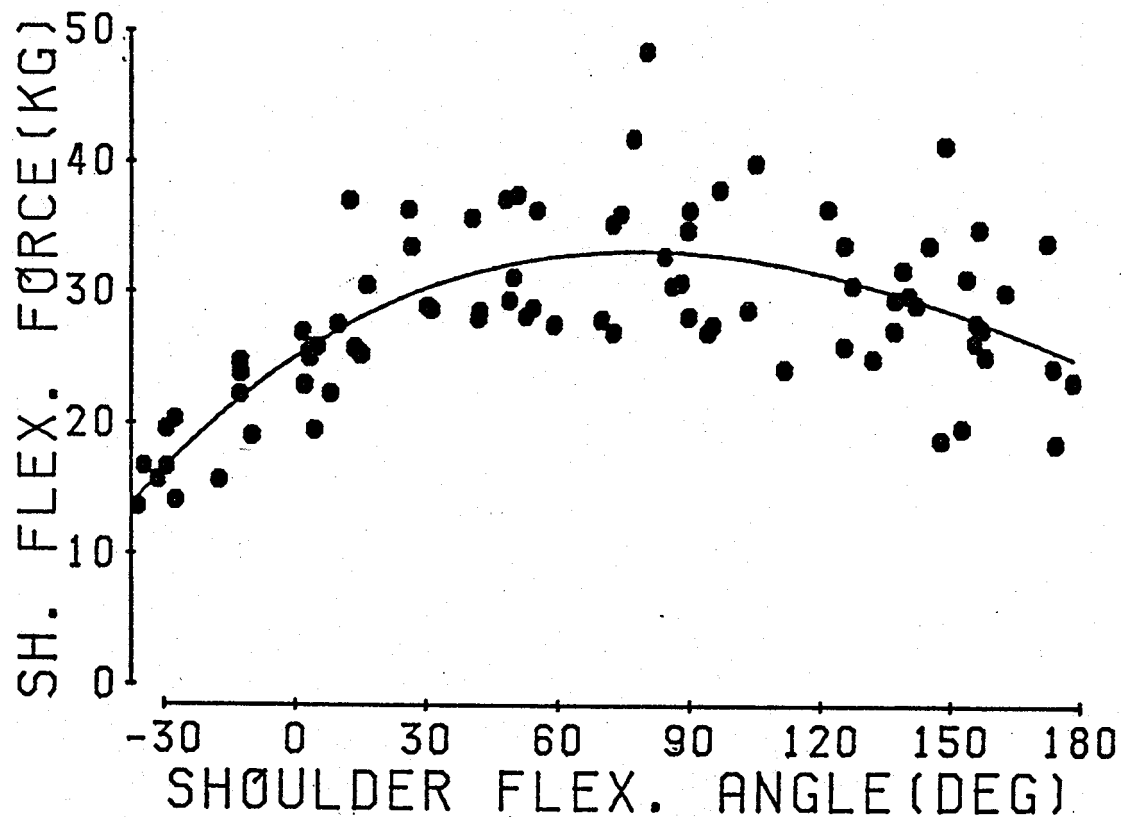


図 B-6 肘関節角度と肘関節伸展力の関係



図B-7 肩関節角度と肩関節屈曲力の関係

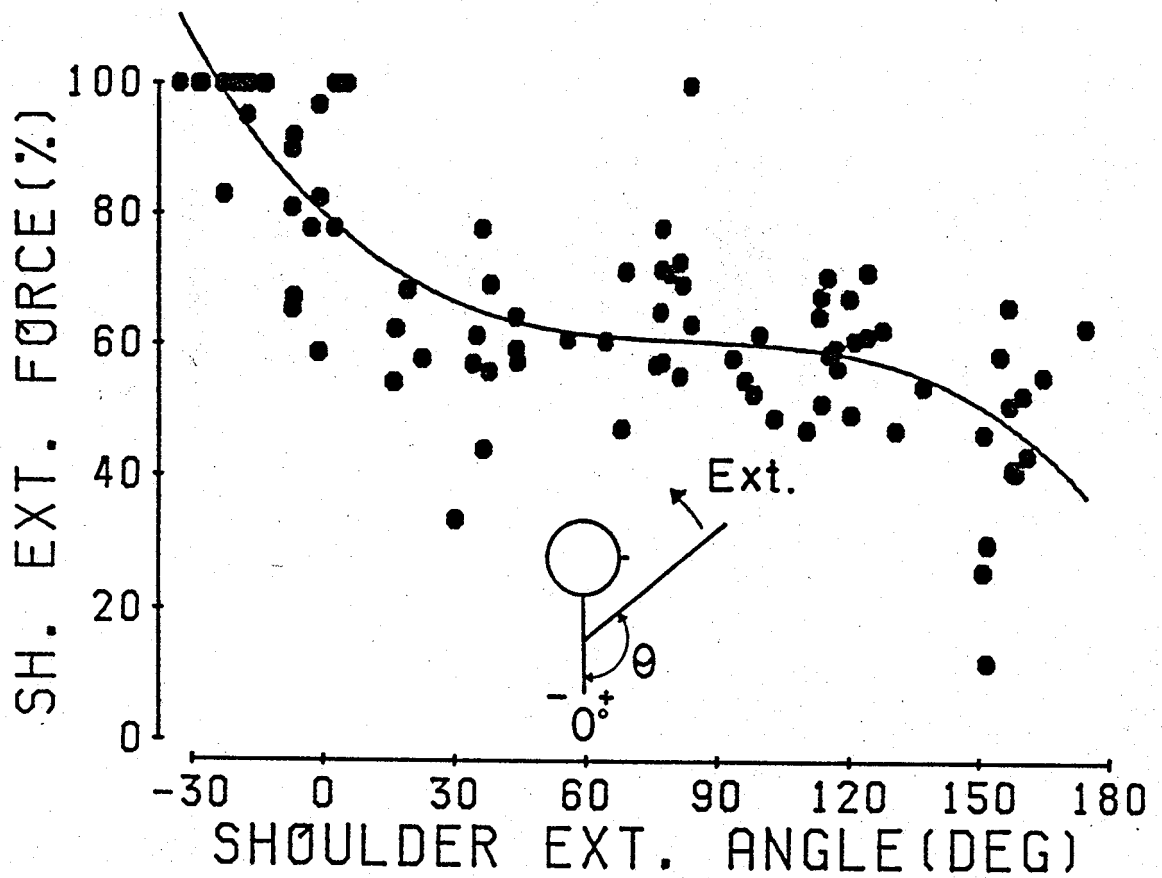
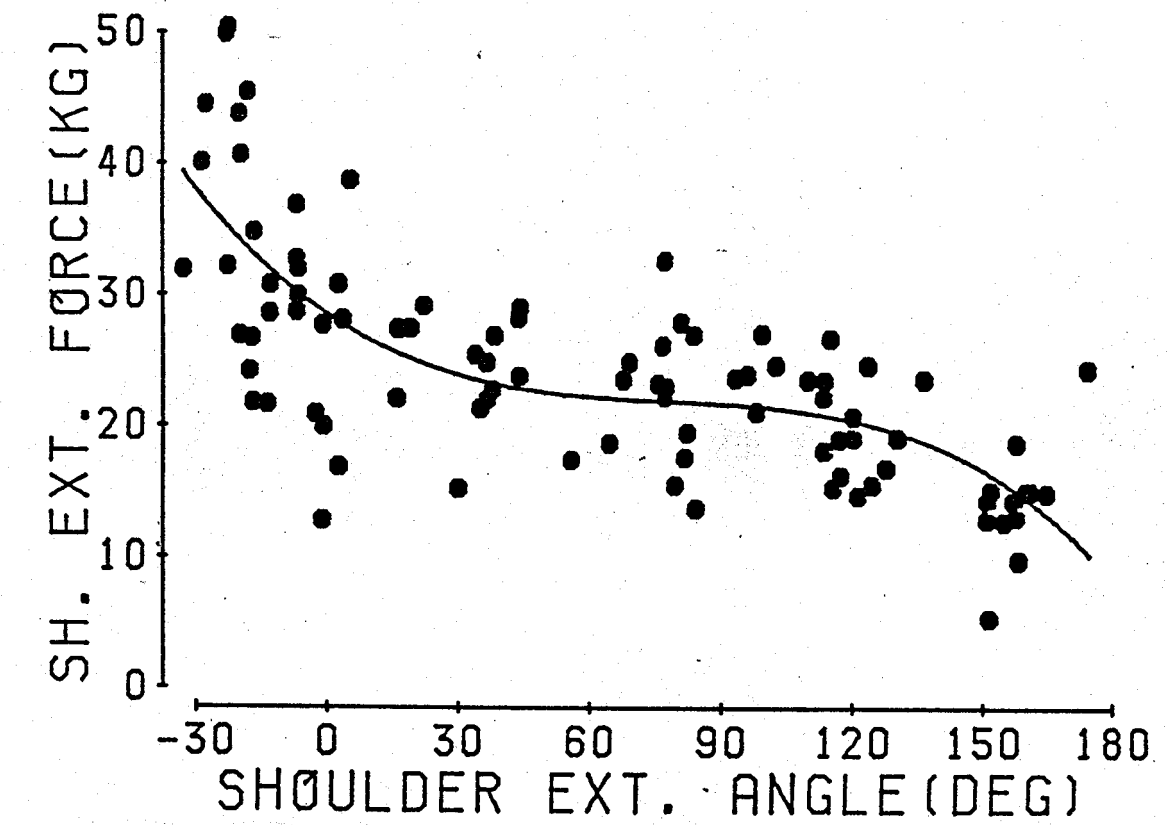


図 B-8 肩関節角度と肩関節伸展力の関係

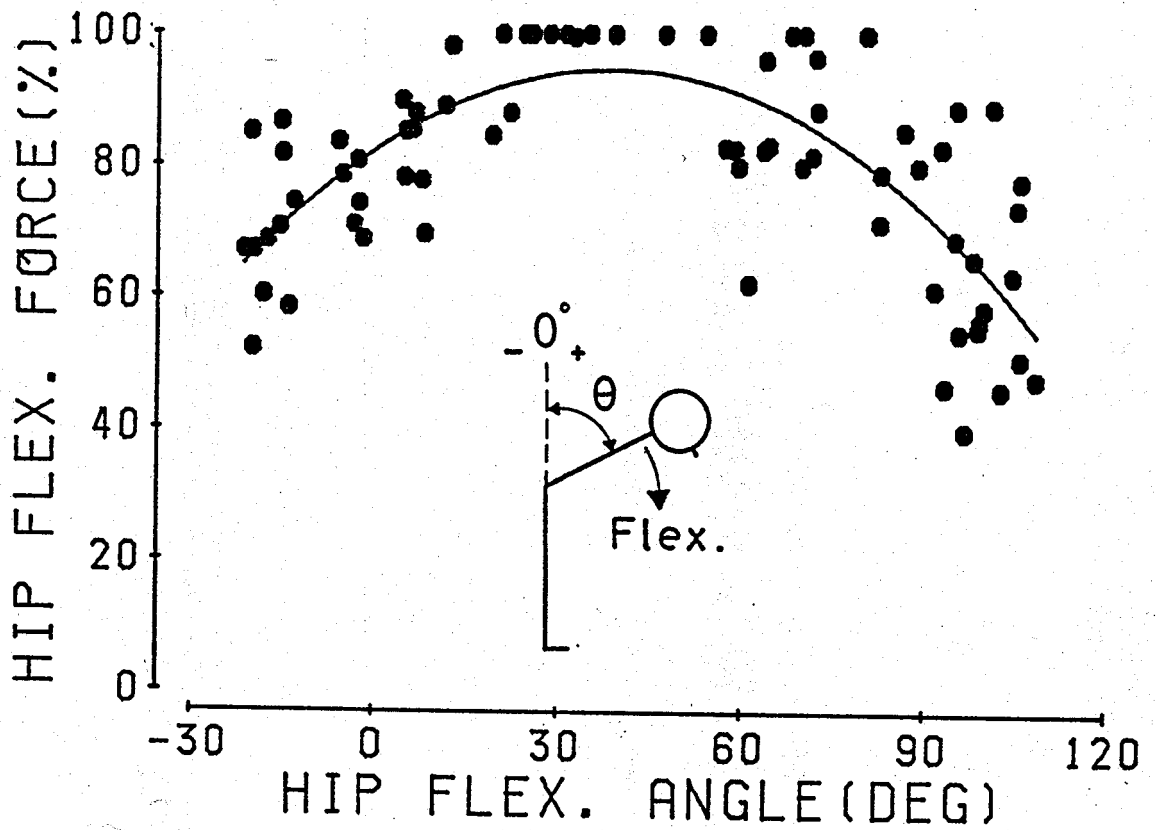
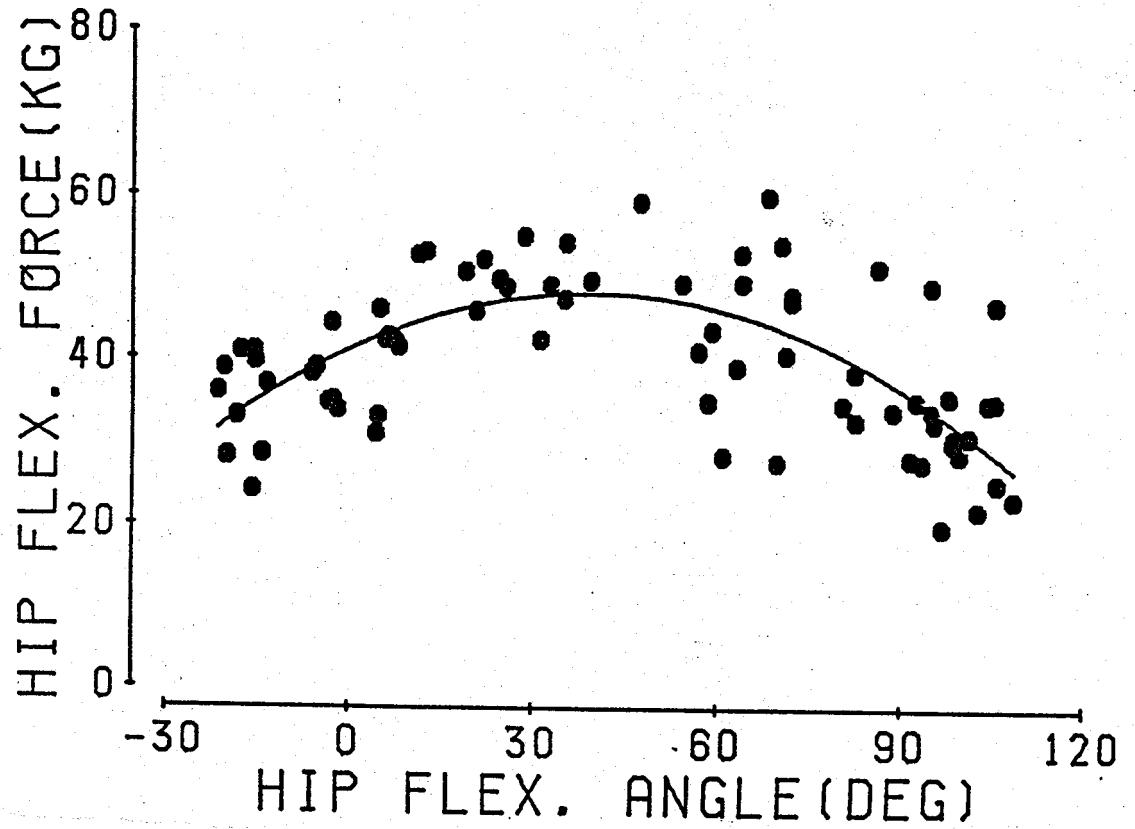


図 B-9 腰関節角度と腰関節屈曲力の関係

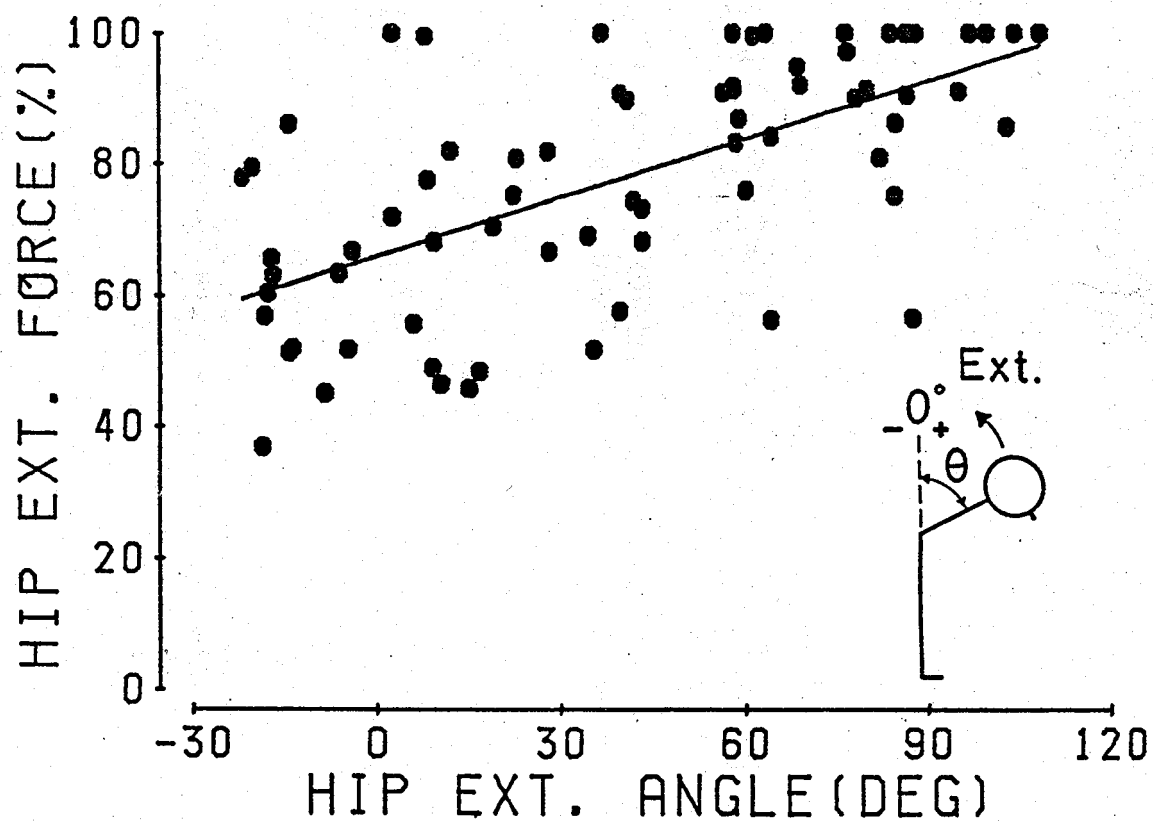
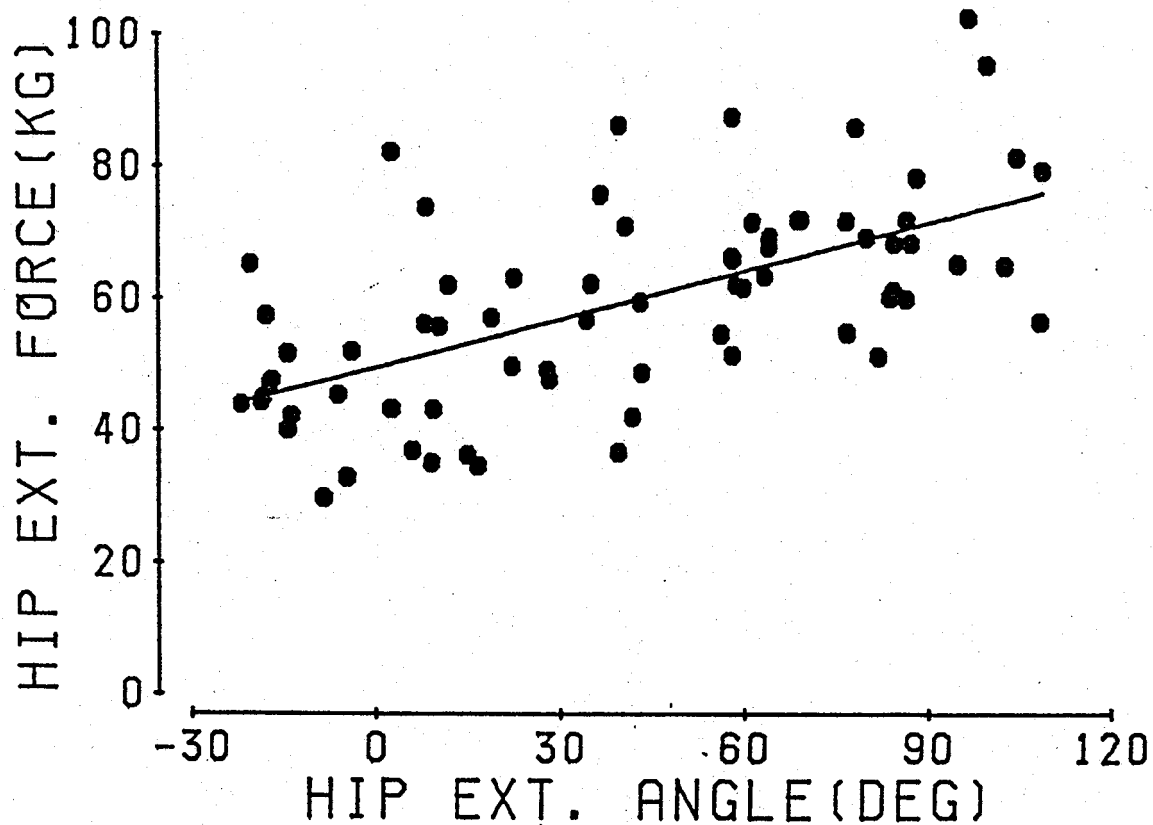


図 B-10 腰関節角度と腰関節伸展力の関係