

# 剣道のバイオメカニクス的研究

## 第6報 打撃動作における押し手と引き手の効果

脇田 裕久\*・八木 規夫\*・細野 信幸\*\*

### A Biomechanical Study of Kendo.

#### No.6: The Effects of the Pushing Hand and the Pulling Hand on Striking Movement.

Hirohisa WAKITA\*, Norio YAGI\* and Nobuyuki HOSONO\*\*

#### 研究目的

剣道における面打撃動作の指導をする場合、初心者には肩関節を支点として竹刀を振り上げ、両肘関節を伸展させて打撃する方法が多くとられる(第3種挺子: 57頁の資料参照)。この打撃方法は、振り上げ動作を大きくすると打撃強度があるものの相手の反応を容易にし、振り上げ動作を小さくすると有効打突に必要な打撃強度が得にくい。

一方、熟練者の打撃方法は、右手を支点にして左手で竹刀を回転させて振り上げ(第1種挺子: 57頁の資料参照)、振り下ろし動作では右手を相手の喉元へ突き出し(押し手)、左手は自分の鳩尾に引く(引き手)動作を行う偶力を用いるため、振り上げ動作が小さくしかも強度のある打撃動作である。この動作は、薄い布巾を左手の小指で引き、右手の小指でわずかに絞りこむという動作と類似しているため古くから「茶巾絞りの要領で打つ」と説明されてきている<sup>1)</sup>。

また、森田<sup>2)</sup>によると、「脊柱を隔てて対角線上にある手足は、常に同方向に動き、人が歩いたり走ったりする場合、右手を出した時は左脚を出し、左手を出した時は右脚を出しており、この対角線動作を打撃動作の中で有効に行うことがより良い打撃につながる」としている。このことは、左手を前に押し出しながら右足を踏み出し、左手を引きながら左足を送り出すことになり、相反性神経支配に基づく合理的な動作であることを示唆している。しかしながら、これまで肩関節を支点とする第3種の挺子を用いた打撃動作と左手操作による押し手と引き手を用いた打撃動作の比較について運動学的に検討した報告は見受けられない。

本研究は、男子大学生の剣道経験者を対象として、肩関節を中心とした打撃動作と左手操作による押し手と引き手を用いた打撃動作を比較し、両動作のパフォーマンスに及ぼす影響について運動学的観点から比較・検討することを目的とした。

#### 研究方法

実験は、三次元解析が可能にするために2台のビデオカメラ(Handycam Video 8 sony 社製)を左右の斜め前方に設置し、キャリブレーションボール(200cm×200cmの立方体)と2台のカメラを同期させるための光信号を撮影した。キャリブレーションボールは、打撃目標物の中心を通る鉛直線が地面と接する点を中心に設置し、踏み込み開始線から110cm離れた地点を原点とし、打撃方向をX、水平座標をY、鉛直座標をZとした。

実験方法は、三重大学剣道部男子(剣道の平均経験年数10.±4.1年、取得段位2~3段、平均段位2.9±0.7)8名を対象とし、重量530g、長さ118cmの竹刀を用いて、中段構から被験者の右足先端部に設置した開始線から水平距離210cm、高さ170cmの打撃目標物に向かって次の2条件による面打撃動作を各2試行ずつ実施させた。第1は、肩関節を支点として竹刀を振り上げ(第3種挺子)、両肘関節を伸展する打撃方法(以下、条件①と略す)であり、第2は右手を支点にして左手で竹刀を回転させて振り上げ(第1種挺子)、振り下ろし動作は右手を相手の喉元へ突き出し(押し手)、左手は自分の鳩尾に引く(引き手)動作による打撃方法(以下、条件②と略す)である。なお、被験者の身体的特性は、年齢20.7±1.9歳、身長175.1±2.8cm、体重66.9±4.6kgである。

分析は、左右2方向から同期撮影した映像から、パー

\* 三重大学教育学部

\*\* 鈴鹿工業高等専門学校

ソナルコンピュータにより、被験者の頭頂・鼻・首・肩関節・肘関節・大転子・膝関節・足関節・踵・足先端（遠位指節骨）および竹刀の先端と柄頭にマークを貼付し、各ポイントマークの座標を読み取り、DLT法を用いた三次元座標を算出した。なお、データは、各被験者の打撃時を基準に打撃前 567msec から打撃後 350msec についての平均値および標準偏差を算出し、対応のある差の検定（t 検定）を用いて統計処理を行った。

### III 結 果

#### 1. 上肢

##### 1) 手関節角度変化（前腕と竹刀先端とのなす角）

右手関節角度の時系列的変化を図 1 に示した。条件①の右手関節角度は、振り上げ動作開始時が 108.5° の最小値を示し、打撃後 50msec が 147.7° の最大値を示した。条件②の右手関節角度は、振り上げ動作開始時が 93.3° の最小値を示し、打撃後 67msec が 152.7° の最大値を示した。条件②の右手関節角度は、条件①

に比較して振り上げ動作が最大で 15.2° 大きく撓屈し、打撃後では 5.0° 大きく尺屈し、振り下ろし動作開始時の 120~50msec と打撃後の 330~350msec において両条件間に 5% 水準で有意な差が認められた。

条件①における左手関節角度の時系列的变化（図 2）は、振り下ろし動作開始時が 82.8° の最小値を示し、打撃後 50msec が 130.6° の最大値を示した。条件②の左手関節角度は、振り下ろし動作開始時が 62.7° の最小値を示し、打撃後 50msec が 136.4° の最大値を示した。条件②の左手関節角度は、条件①に比較して振り上げ動作では最大で 20.1° 大きく撓屈し、打撃後が 5.8° 大きく尺屈した。両条件間には、打撃前 180~50msec に 1~5% 水準と打撃後の 50~70msec に 5% 水準の有意な差が認められた。

##### 2) 肘関節角度変化（上腕と前腕のなす角）

右肘関節角度の時系列的变化を図 3 に示した。条件①の右肘関節角度は、振り下ろし動作開始時が 127° の最小値を示し、打撃後 50msec が 157.3° の最大値を

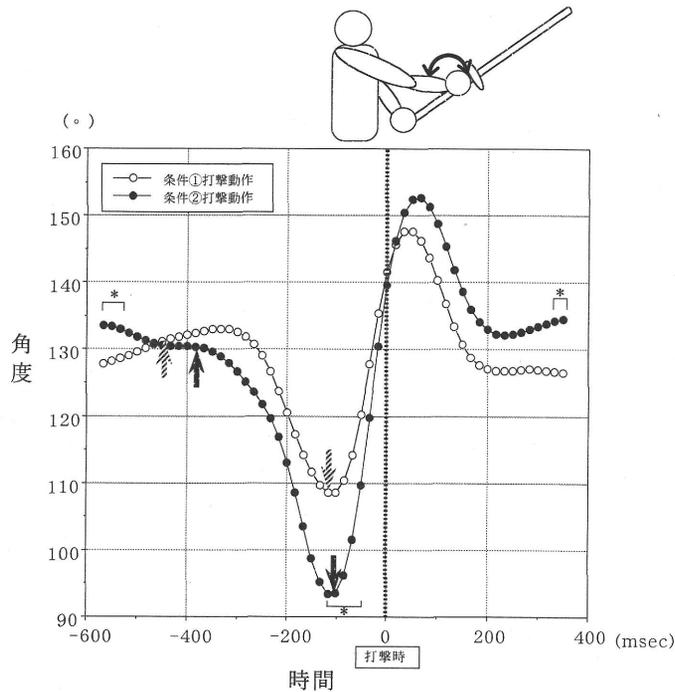
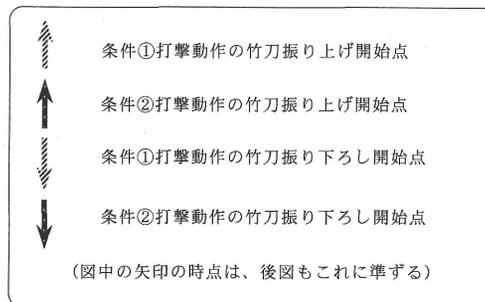


図 1 右手関節角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$



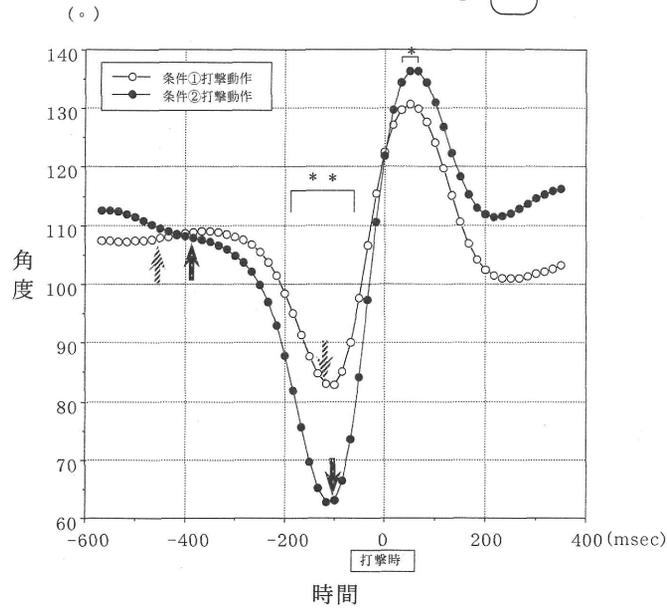
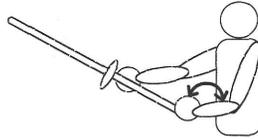


図2 左手関節角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$   
\*\* :  $p < 0.01 \sim 0.05$

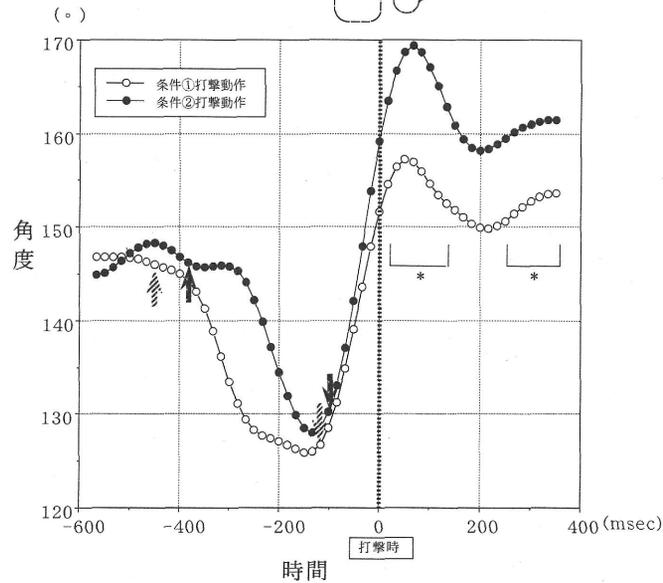
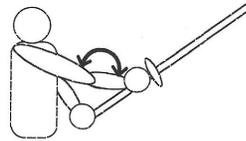


図3 右肘関節角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$

示した。条件②の右肘関節角度は、振り下ろし動作開始時が  $130.2^\circ$  であり、打撃後  $67\text{msec}$  が  $169.3^\circ$  の最大値を示した。条件②の右肘関節角度は、条件①に比較して振り上げ動作時の屈曲開始が遅延し、打撃後には

最大  $12.0^\circ$  大きい値を示し、両条件間には打撃後  $17 \sim 130\text{msec}$  と  $250 \sim 350\text{msec}$  において 5% 水準で有意な差が認められた。

条件①の左肘関節角度の時系列的変化 (図4) は、

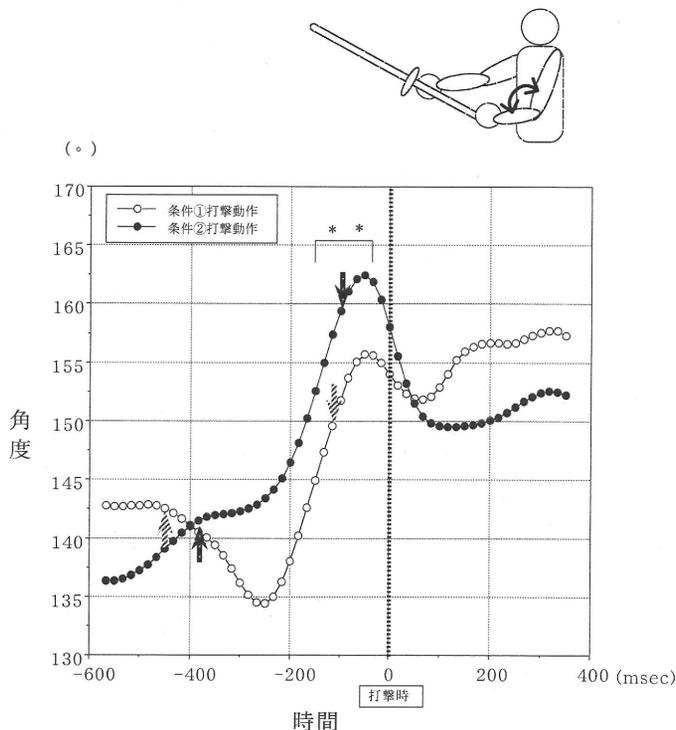


図4 左肘関節角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$

打撃前 250msec で  $134.5^\circ$  の最小値を示し、打撃前 33msec が  $155.6^\circ$  の最大値を示した。条件②の左肘関節角度は、振り上げ動作開始時が  $141.7^\circ$  であり、打撃前 50msec が  $162.5^\circ$  の最大値を示した。条件①の左肘関節角度は、振り上げ動作開始後に屈曲と伸展動作が認められるのに対し、条件②の左肘関節角度は中段構えから打撃直前まで伸展動作であり、その後急激な屈曲動作を示した。両条件間には、打撃前 133~50msec に 1~5%水準の有意な差が認められた。

### 3) 肩関節角度変化 (大転子と肩を結ぶ直線と上腕のなす角度)

右肩関節角度の時系列的変化を図5に示した。条件①の右肩関節角度は、振り下ろし動作開始時が  $92.1^\circ$ 、打撃後 270msec が  $125.7^\circ$  の最大値を示した。条件②の右肩関節角度は、振り下ろし動作開始時が  $79.5^\circ$ 、打撃後 250msec が  $123.8^\circ$  の最大値を示した。条件①の右肩関節角度は、振り下ろし動作時まで急激な伸展がみられ、その後鈍化する傾向にあったが、条件②では振り上げ動作から振り下ろし動作まで一定の角度で増加する傾向を示した。両条件間には、打撃前 180~80msec の間に 1~5%、打撃後 16~150msec において 5%水準で有意な差が認められた。

条件①の左肩関節角度の時系列的変化 (図6) は、振り上げ動作開始時が  $22.5^\circ$ 、振り下ろし動作開始時が  $83.8^\circ$ 、打撃時が  $87.6^\circ$  であり、条件②の左肩関節

角度は、条件①と類似した傾向にあるが、打撃直前まで小さい角度で変化した。両条件間には、打撃前 570~520msec と 280~260msec において両条件間に 5%水準で有意な差が認められた。

### 4) 手関節の軌跡

矢状面からみた右手関節軌跡の変化を図7に示した。条件①の右手関節軌跡は、中段構えから振り下ろし動作開始まで上昇した後、打撃時まで下降した。条件②の右手関節の軌跡は中段構えからやや下降するが打撃時まで上昇する傾向を示した。条件②の右手関節軌跡は、条件①と比較して各局面とも低く、より直線的な変化を示し、両条件間には打撃後の水平座標値に 5%水準で有意差が認められた。

条件①における左手関節の軌跡 (図8) は、中段構えから振り下ろし動作開始まで上昇した後、打撃直前まで下降した。条件②の左手関節の軌跡は中段構えから振り下ろし動作まで一度下降した後打撃時まで上昇する傾向を示した。条件②の左手関節軌跡は、条件①と比較して打撃局面まで低く、より直線的な変化を示し、両条件間には打撃時前の鉛直座標値に 1~5%水準で有意差が認められた。

## 2. 下肢

### 1) 右足関節角度変化 (下腿と遠位指節骨)

右足関節角度の時系列的変化を図9に示した。条件

剣道のバイオメカニクス的研究

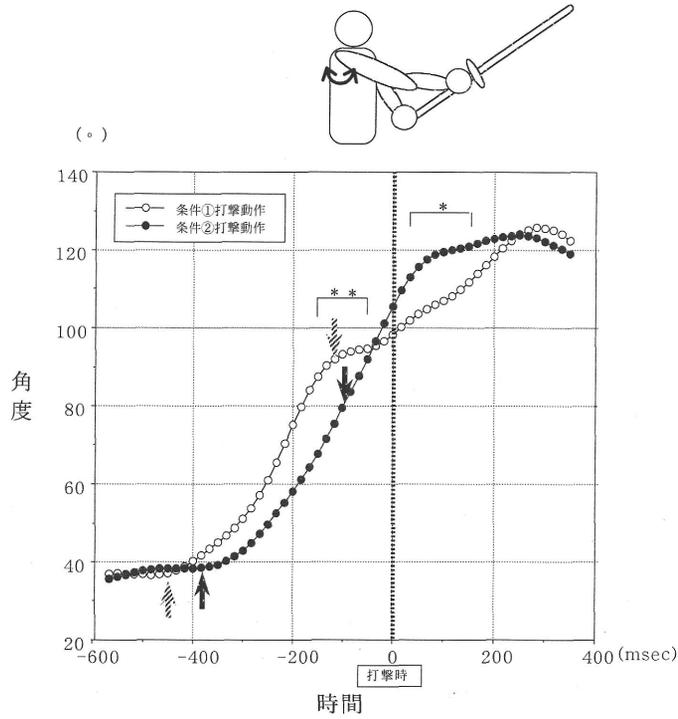


図5 右肩関節角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$   
 \*\* :  $p < 0.01 \sim 0.05$

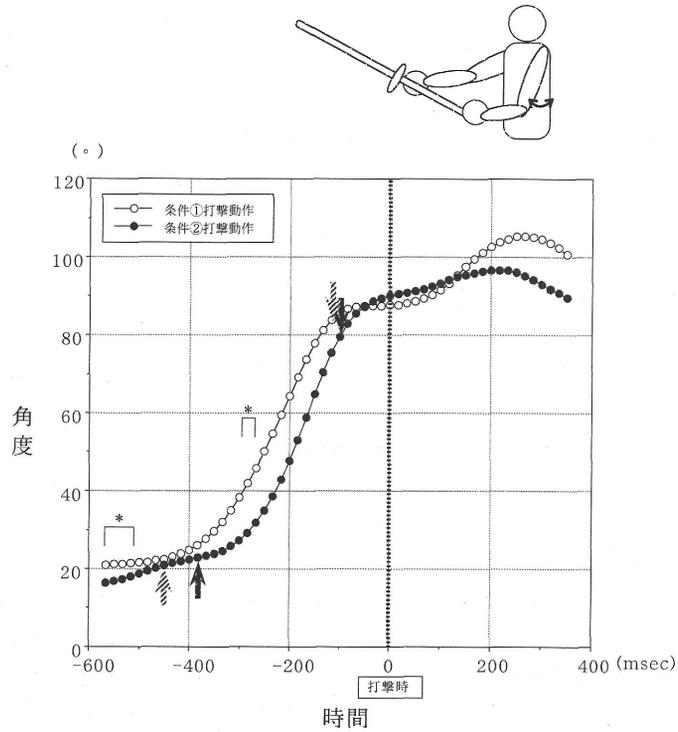


図6 左肩関節角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$

①の右足関節角度は、振り上げ動作開始時が  $90.8^\circ$ 、振り下ろし動作開始時が  $93.2^\circ$ 、打撃時が  $100.2^\circ$  であった。条件②の右足関節角度は、振り上げ動作開始時が  $88.9^\circ$ 、振り下ろし動作開始時が  $99.3^\circ$ 、打撃時が

$101.3^\circ$  であった。条件②の右足関節角度は、条件①に比較して振り上げ動作から打撃まで底屈が大きく、両条件間には打撃時前  $230 \sim 83 \text{ msec}$  に  $1 \sim 5\%$  水準で有意な差が認められた。

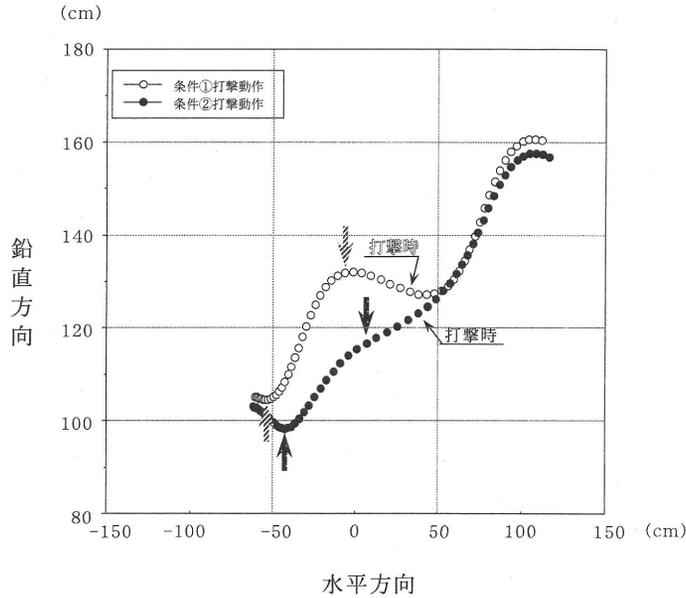


図7 右手関節の軌跡

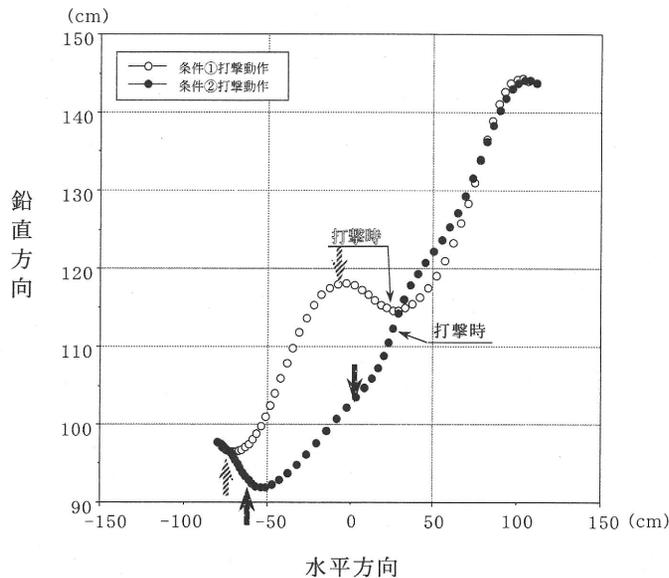


図8 左手関節の軌跡

条件①の左足関節角度の時系列的変化は、振り上げ動作開始時が  $94.7^\circ$ 、振り下ろし動作の開始時が  $93.8^\circ$ 、打撃時が  $138^\circ$  であり、条件②における左足関節角度は、条件①と極めて類似した角度変化であり、両条件間に有意差は認められなかった。

2) 膝関節角度変化 (大腿と下腿のなす角)

条件①の右膝関節角度は、振り上げ動作開始時が  $14.0^\circ$ 、振り下ろし動作開始時が  $105.5^\circ$ 、打撃時が  $104.7^\circ$  であり、条件②の右膝関節角度は、条件①と極めて類似した変化であり、両条件間に有意差は認められなかった。

条件①の左膝関節角度は、振り上げ動作開始時が  $160.4^\circ$ 、振り下ろし動作開始時が  $147.8^\circ$ 、打撃時が  $170.1^\circ$  であり、条件②の左膝関節角度は条件①に比較して振り上げ動作開始まで大きく、打撃後に小さくなる傾向にあった。両条件間には、打撃前 530~480 msec の間に 1~5%、打撃後 120~160msec に 5%水準で有意差が認められた。

3) 股関節角度変化 (大転子と肩を結ぶ直線と大腿のなす角度)

条件①の右股関節角度は、振り上げ動作開始時が  $160.3^\circ$ 、振り下ろし動作開始時が  $90.3^\circ$ 、打撃時が

剣道のバイオメカニクスの研究

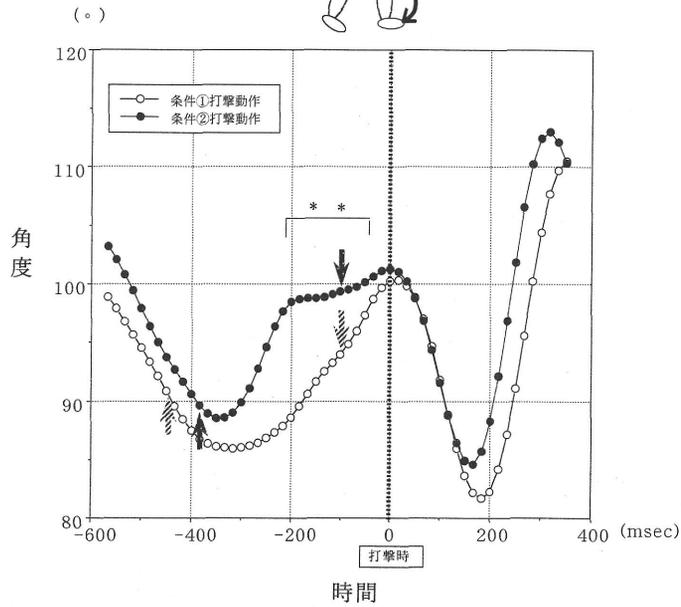
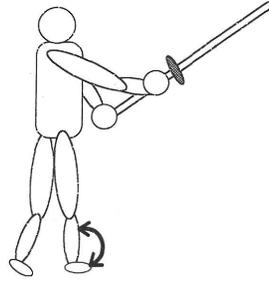


図9 右足関節角度の時系列的变化

\*\* :  $p < 0.01 \sim 0.05$

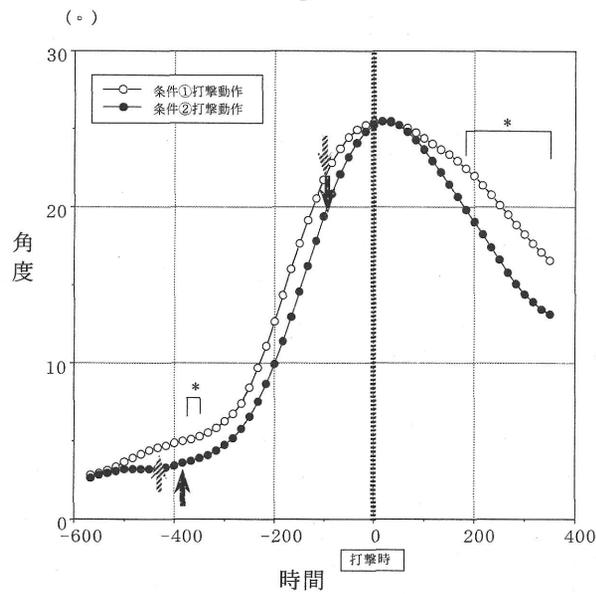
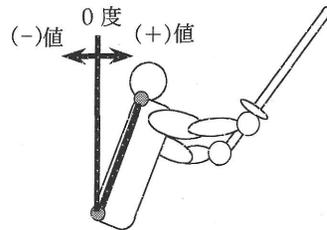


図10 脊柱角度の時系列的变化

\* :  $p < 0.05$

85.0°であり、条件②の右股関節角度は、条件①と極めて類似した角度変化であり、両条件間に有意差は認められなかった。

条件①の左股関節角度は、振り上げ動作開始時が165.1°、振り下ろし動作開始時が172.0°、打撃時が160.1°であり、条件②の左股関節角度は条件①と極めて類似した角度変化であり、両条件間に有意差は認められなかった。

#### 4) 足の水平移動距離

矢状面における踏み込み開始線から左右遠位指節骨の前方への水平移動距離を求めた。条件②の右足水平移動距離は条件①に比較して2.8cm大きく、左足の水平移動距離は右足着床後に大きい値を示したが、両条件間にはいずれも有意差は認められなかった。

### 3. 体幹

#### 1) 脊柱角度変化(鉛直線に対する頸部中点と大転子中点を結ぶ線分とのなす角)

脊柱角度の時系列的変化を図10に示した。条件①の脊柱角度は、振り上げ動作開始時が4.4°、振り下ろし動作開始時が20.6°、打撃時が25.4°、条件②の脊柱角度は、振り上げ動作開始時が3.75°、振り下ろし動作開始時が19.4°、打撃時が25.3°であった。条件②の脊柱角度は、条件①に比較して打撃前後とも常に小さい値を示し、より鉛直に近い姿勢で打撃動作で

あった。両条件間には、打撃前370~350msecと打撃時後の180~350msecにおいて両条件間に5%水準で有意な差が認められた。

#### 2) 体幹ひねり角度変化(左右の肩関節を結ぶ線分を基準として左右の大転子を結ぶ線分とのなす角度を算出し、大転子の線分が前方にある時を(+)値、後方にある時を(-)値とした)

体幹ひねり角度の時系列的変化を図11に示した。条件①の体幹のひねり角度は、振り上げ動作開始時が-1.1°、振り下ろし動作開始時が8.4°、打撃時が2.9°であり、条件②では振り上げ動作開始時が-1.5°、振り下ろし動作開始時が9.8°、打撃時が6.1°であった。条件②の体幹ひねり角度は、条件①に比較して振り下ろし動作開始までは小さく、その後打撃までは大きくなる傾向を示したが、両条件間に有意差は認められなかった。

### 4. 竹刀

#### 1) 竹刀先端軌跡

矢状面からみた竹刀先端軌跡の時系列的変化を図12に示した。条件①における竹刀先端の軌跡は、中段構えの座標(以下( )内はXYの座標を示す)が(27.5cm, 132.3cm)、振り下ろし動作開始時が(-26.8cm, 207.6cm)、打撃時が(96.9cm, 193cm)、条件②における竹刀先端の軌跡はそれぞれ(24.3cm,

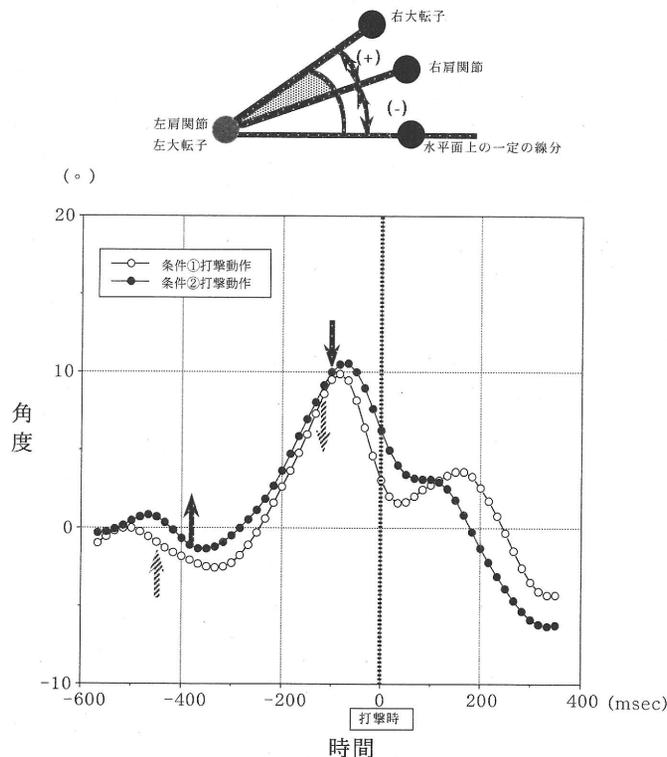


図11 体幹ひねり角度の時系列的変化

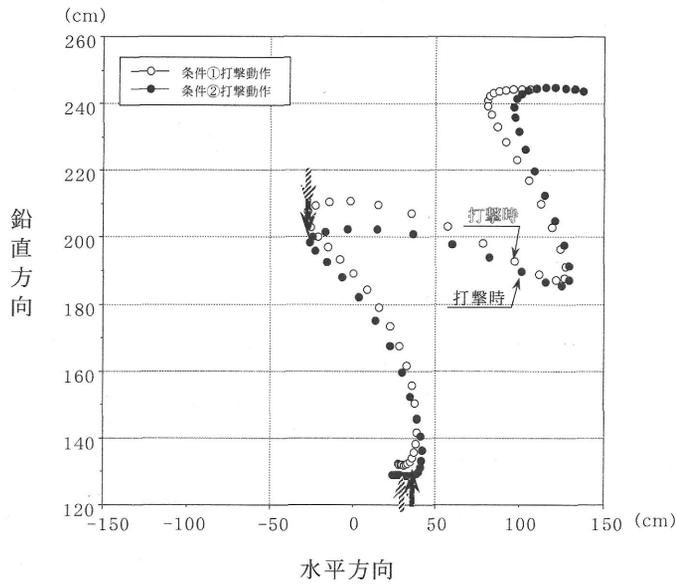


図12 竹刀先端の軌跡

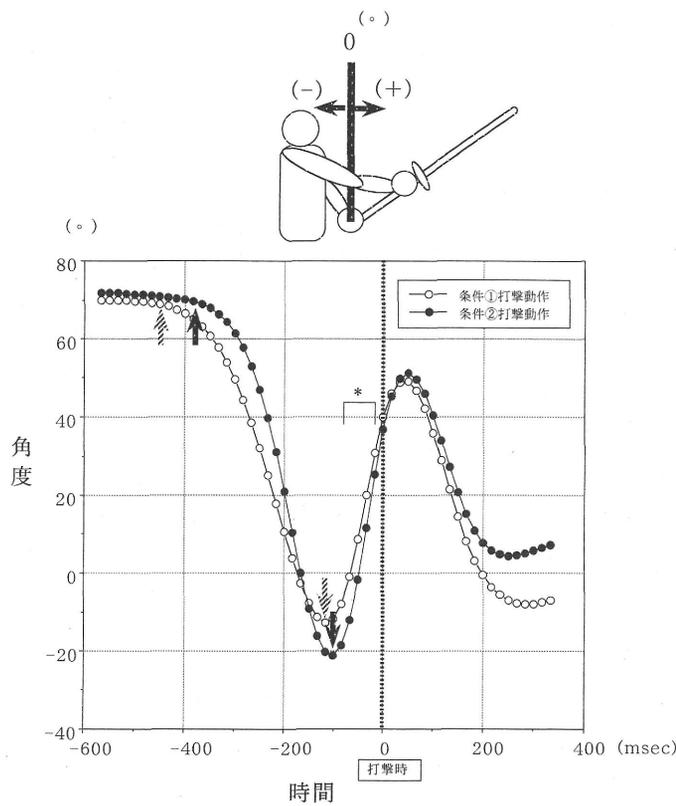


図13 竹刀回転角度の時系列的変化

\* :  $p < 0.05$

129cm)、(-25.7cm, 198.3cm)、(101cm, 189.7cm)であった。条件②は、条件①に比較して上方への振り上げが少なく、振り下ろし動作時に5%水準と、打撃後の前方向の移動が大きく、最終時では5%水準の有意差が認められた。

## 2) 竹刀回転角度変化

矢状面からみた竹刀回転角度の時系列的変化を図13に示した。条件①の竹刀回転角度は、打撃前450msecから竹刀の振り上げ動作による竹刀の回転を開始し、振り下ろし動作時が $-12.9^\circ$ の最小値を示し、打撃時が $39.9^\circ$ 、打撃後50msecが $49.1^\circ$ の最大値をを

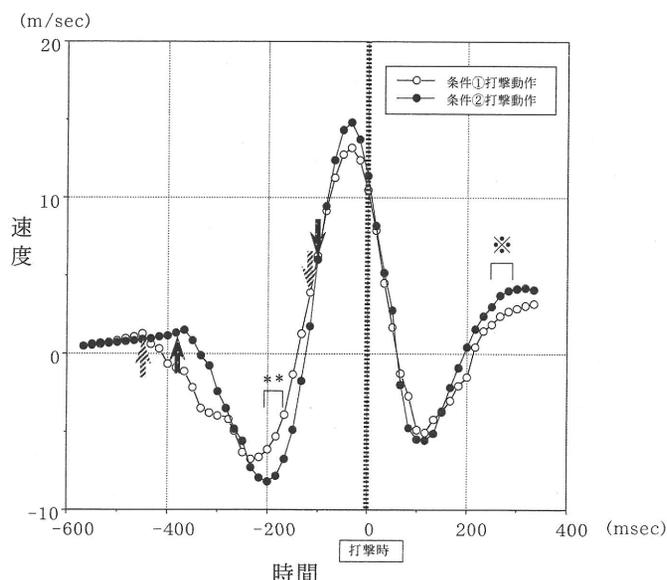


図 14 竹刀先端速度の時系列的変化

\*\* :  $p < 0.01 \sim 0.05$

示した。条件②の竹刀回転角度は、打撃前 380msec から竹刀の振り上げ動作による竹刀の回転を開始し、振り下ろし動作時が  $-21.2^\circ$  の最小値を示し、打撃時が  $36.9^\circ$ 、打撃後 50msec が  $51.2^\circ$  の最大値を示した。

条件②における振り上げ動作の竹刀回転時間は、条件①に比較して 70msec 短縮し、 $10.4$  大きい回転角度を示し、両条件間には打撃前 67~17msec に 5%水準で有意な差が認められた。

### 3) 竹刀先端速度 (前方向の竹刀速度を+、後方に移動する竹刀速度を-とした)

竹刀先端速度の時系列的変化を図 14 に示した。条件①の竹刀先端速度は、振り上げ動作の最大値は 6.8m/sec、振り下ろし動作では打撃前 33msec で 13.2m/sec の最大値を示し、打撃時が 10.5m/sec であった。条件②における竹刀先端速度は、振り上げ動作の最大値は 8.2m/sec、振り下ろし動作は打撃前 33msec で 14.8m/sec の最大値を示し、打撃時が 11.4m/sec であった。

条件②の打撃動作は、条件①に比較して 1.4m/sec 速い振り上げであり、打撃前 220~180msec に 1%~5%水準で有意な差が認められた。条件②の振り下ろし動作は、条件①に比較して 1.3m/sec 速い振り下ろしであり、打撃後 270~320msec の間に 5%水準で有意な差が認められた。

## IV 論 議

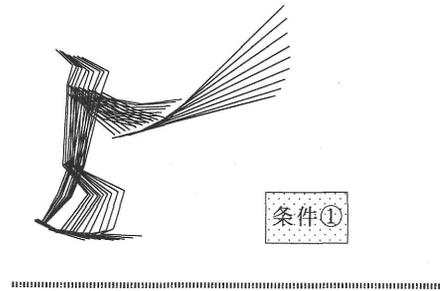
剣道における打撃動作に関する研究については、これまでに青山ら<sup>3)</sup>が未熟練者と熟練者の振り下ろし動

作を比較し、前者が餅つき型で後者が梶子型の動作であることを指摘している。また、打撃強度の弱い子どもを指導する場合には、第 3 種梶子である肩関節を使って竹刀を大きく振り上げ位置エネルギーを増大させる打撃方法を指導している<sup>4)</sup>。しかしながら、肩を支点とした大きな打撃動作は相手に察知されやすく、また打撃動作を小さくすると強度が低下し、いずれの動作も有効な打撃とはなりにくい。

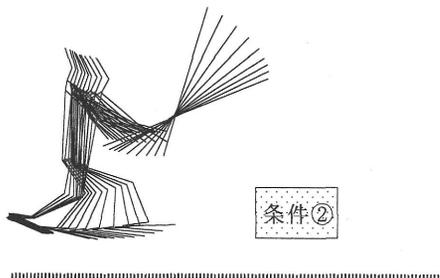
本研究は、剣道経験者の男子大学生を対象として、未熟練者に多く観察される第 3 種梶子動作を用いた打撃動作と熟練者に観察される第 1 種梶子を用いた振り上げ動作並びに柄中央を支点とした偶力(右手の押し手と左手の引き手)を用いた振り下ろし動作による打撃動作について動作学的な差異を比較、検討した。

本研究における振り上げ動作は、矢状面のスティックピクチャー(図 15)の典型例に示すように条件①では肩を支点とした動作であり、条件②では右手関節を支点とした振り上げ動作を行っていることが観察され、被験者が指示通りの動作を行っていることが確認された。振り上げ動作においては、条件②が条件①に比較して左右手関節の撓屈が大きく、左右の肘関節および肩関節の屈曲は小さかった。これらの関節角度変化は、条件②における左右手関節の軌跡が条件①に比較していずれの局面も低い位置を移動した直線的な動作になり、効率の良い動作であることを示唆している。

一方、振り下ろし動作については、図 16 の典型例に示すように、条件①は肩、肘関節を支点とした打撃動作であり、条件②では柄中央を支点とした打撃動作を行っていることが観察され、被験者が指示通りの動作を行っていることが確認された。条件②の右上肢関

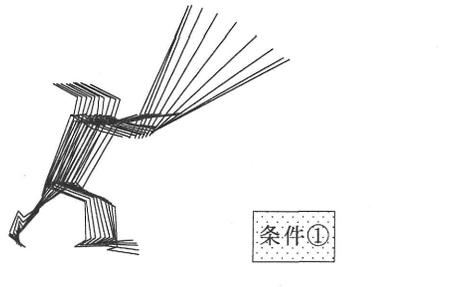


条件①

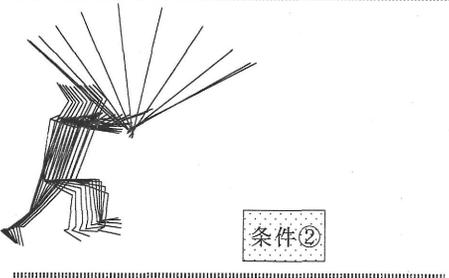


条件②

図 15 振り上げ動作時のスティックピクチャー



条件①



条件②

図 16 振り下ろし動作時のスティックピクチャー

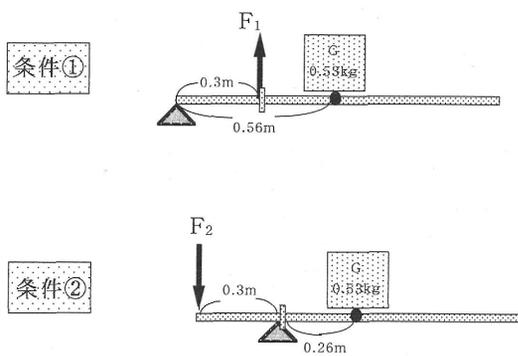


図 17 振り上げ動作における力学的比較

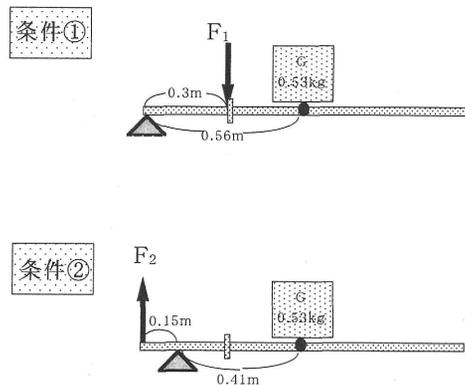


図 18 振り下ろし動作における力学的比較

節角度は、条件①に比較して打撃後に手関節の尺屈と肘関節および肩関節の伸展が大きい値を示し、前方への右上肢の強い押し出し動作が観察された。また、条件②の左上肢関節角度は、条件①に比較して手関節の尺屈が打撃後に大きく、肘関節では打撃直前に大きく伸展した後に大きな屈曲が認められ、左上肢の強い引き手動作が観察された。これらの動作は、条件②の振り下ろし動作が右上肢の押し手と左上肢の引き手の偶力を用いたより効率的な動作を行っていることを示唆している。

振り上げ動作における条件①と条件②の力学的な差異は、竹刀の静止条件では以下のように説明することができる(図 17)。条件①の振り上げ動作は、柄頭を支点とした第 3 種艇子であるので振り上げ動作の力のつり合い式は、 $0.53\text{kg}$  (竹刀重量)  $\times 0.56\text{m}$  (支点から竹刀重心までの距離)  $= 0.3\text{m}$  (力点)  $\times F_1$  であり、 $F_1 = 0.989\text{kg}$  となる。条件②の振り上げ動作は、右手を支点にして左手で押し出す第 1 種艇子であるので振

り上げ動作のつり合い式は  $0.53\text{kg} \times 0.26\text{m} = 0.3\text{m} \times F_2$  であり、 $F_2 = 0.459\text{kg}$  である。条件①を基準とした条件②の相対値は 49.1% であり、条件②における振り上げ動作は条件①の振り上げ動作の約 1/2 の力で振り上げることが可能であることを示している。また、条件①の慣性モーメント ( $I = mr^2$ ) は、 $I_1 = 0.53\text{kg} \times (0.56\text{m})^2 = 0.166\text{kgm}^2$ 、条件②の慣性モーメントは  $I_2 = 0.53\text{kg} \times (0.26\text{m})^2 = 0.036\text{kgm}^2$  である。条件①を基準とした条件②の相対値は、21.6% となり、条件①に比較して竹刀を 5 倍回転させやすくなる。このように条件②の打撃動作は、条件①に比較して力学的にも有利な動作であるといえよう。条件②におけるこのような振り上げ動作の力学的有利さは、条件①に比較して短時間で竹刀振り上げ速度を  $1.4\text{m/sec}$  も素速く行うことを可能にしている。

一方、振り下ろし動作についても条件①と条件②の力学的な差異を竹刀を静止した条件で次のように説明することができる(図 18)。条件①の振り下ろし動作

は、柄頭を支点とした第3種梃子であるので振り下ろし動作の力のつり合い式は、 $0.53\text{kg} \times 0.56\text{m} = 0.3\text{m} \times F_1$ であり、 $F_1 = 0.989\text{kg}$ となる。条件②は、柄中央を支点とした第1種梃子と考えると、 $0.53\text{kg} \times 0.41\text{m} = 0.15 \times F_2$ であり、 $F_2 = 144.9\text{kg}$ である。条件①を基準とした条件②の相対値は146.4%となり、条件②における振り下ろし動作は条件①に比較して力学的に不利となる。しかし、この時左右の偶力を用いて右上肢を伸展し左上肢を屈曲した動作を行うと、力が左右に均等に分散されそれぞれ約73%の力で遂行できることになる。このように条件②の打撃動作は条件①に比較して力学的に不利な動作をうまく克服した動作であるといえよう。また、振り下ろし動作時の慣性モーメントは、条件①が  $I_1 = 0.53\text{kg} \times 0.56\text{m}^2 = 0.166\text{kgm}^2$ 、条件②では  $I_2 = 0.53\text{kg} \times 0.41\text{m}^2 = 0.089\text{kgm}^2$ である。条件①を基準とした条件②の相対値は53.6%であり、条件②は条件①に比較して約2倍回転させやすくなる。条件②におけるこのような振り上げ動作の力学的有利さは、条件①に比較して短時間で竹刀振り下ろし速度を1.6m/secも速く行うことを可能にしている。なお、このような素早い打撃動作は、竹刀の振り上げ振り下ろしに要する動作時間を70msecも短縮できることができた。反応動作における一般人の動作開始時間が約200msecであることを考慮するならば、動作時間の短縮は、相手の予測や判断を遅延させることになり、相手に対してより有効な打撃を行うことを可能にすると考えられる。

剣道の中段構が右手右足を前にする「なんば姿勢」であるために左右上下肢の交叉性動作が理解されにくい。しかし、森田<sup>2)</sup>は、右手を出した時は左足が出て、左手を出した時は右足が出るという対角線運動が剣道の打撃動作において有効であるとしている。本研究における条件②の打撃動作は、左手を前に押し出して右足の踏み込み動作を行い、左手を鳩尾に引きながら左足を前に送り出す動作を強調した。本研究における右足関節の水平移動距離は、条件②が条件①に比較して2.8cm大きく、2.7%の増加であった。条件②における左足関節の水平移動距離は、条件①に比較して右足着地後から左足の移動距離が大きく、5.9%の増加であり、左足の引きつけが増大することが観察された。

以上のことから、条件②における打撃動作の「押し手」と「引き手」は、左右足関節の水平移動距離を増大させ、交叉性動作が有利に作用している結果となった。このような対角線運動の生理学的背景には、一側肢の主働筋への運動ニューロンからのインパルスの発射が脊髄を介して同側の拮抗筋の運動ニューロンには抑制的に作用し、対側肢の主働筋には抑制的、拮抗筋には促進的に作用し、上肢と下肢については交叉性に

作用する相反的神経支配によるものである<sup>9)</sup>。従って、振り上げ動作時における左手関節の「押し手」が右足関節の水平移動を大きく、左手関節の「引き手」が左足関節の水平移動を大きくすることに作用したものと考えられる。さらに、体幹については、条件②の脊柱角度が条件①に比較して小さく、脊柱をより鉛直に保持した姿勢で打撃している。また、条件②の体幹ひねり角度は、条件①に比較して振り上げ動作途中まで小さく、対角線運動が十分になされているため、振り上げ動作中における姿勢の崩れが少ない。このように条件②の打撃動作は条件①に比較して脊柱を安定させた動作で行われているといえよう。

以上の結果は、肩関節を支点とした打撃動作を基準とすると、左手操作（押し手と引き手）を重視した打撃動作では竹刀回転角度が16.8%、竹刀振り上げ速度が20.6%、振り下ろし速度が12.2%増加し、動作時間が16.5%短縮し、有効な打撃動作であることが明らかとなった。これらのパフォーマンスの向上の背景には、振り上げ動作における第1種と第3種の梃子作用と慣性モーメントの差異および振り下ろし動作における偶力を用いるか否かの力学的な差異および相反的神経支配に基づく上下肢の協調動作が大きく関与していることを示唆するものである。

## V 要 約

本研究は、男子大学生の剣道経験者を対象として、肩関節を支点とした面打撃動作（条件①）と押し手と引き手を用いた打撃動作（条件②）の差異を運動学的観点から比較・検討することを目的とした。実験方法は、被験者の各関節および竹刀の両端にマークを貼布し、両打撃動作を2方向からビデオカメラで撮影し、DLT法を用いて三次元座標を算出した。条件②の動作は、条件①に比較して次のような特徴が観察された。

条件②の振り上げ動作は、左右手関節角度が有意に大きく橈屈し、左右肘関節角度および肩関節角度小さい値を示した。条件②の振り下ろし動作は、左右手関節角度はの尺屈と右肘関節角度の伸展と左肘関節の屈曲が大きく、右上肢の押し手と左上肢の引き手による偶力による打撃動作が観察された。これらの関節角度変化は、直線的な左右手関節軌跡を導く要因となった。

条件②の右足関節角度は、背屈が遅延する傾向を示したのみであり、その他の左足関節角度、および左右の膝関節角度、股関節角度はほぼ同様の角度変化を示した。足関節の水平移動距離は、右足が2.8cm大きく、左足は右足の着地後に増大する大きい値を示した。条件②の脊柱角度と体幹ひねり角度は、小さい値であり、姿勢の崩れの少ない打撃動作であった。

条件②における振り上げ動作の竹刀回転角度は $10.4^{\circ}$ 大きく、竹刀先端速度は振り上げ動作で最大で $1.4\text{m/sec}$ 、振り下ろし動作で $1.6\text{m/sec}$ 速く、動作時間は $70\text{msec}$ 短縮した。

以上の結果は、肩関節を支点とした打撃動作を基準とすると、左手操作（押し手と引き手）を重視した打撃動作では竹刀回転角度が $16.8\%$ 、竹刀振り上げ速度が $20.6\%$ 、振り下ろし速度が $12.2\%$ 増加し、動作時間が $16.5\%$ 短縮し、有効な打撃動作であることが明らかとなった。これらのパフォーマンスの向上の背景には、振り上げ動作における第1種と第3種の挺子作用と慣性モーメントの差異および振り下ろし動作における偶力を用いるか否かの力学的な差異および相反の神経支配に基づく上下肢の協調動作が大きく関与していることを示唆するものである。

## 謝 辞

本研究は、畑地秀宣君の多大な協力によってなされたものであります。ここに記して感謝の意を表します。

### <参考文献>

- 1) 井上正孝：正眼の文化 講談社、1984、112-113.
- 2) 森田文十郎：腰と丹田で行う剣道、剣道ゆうき会、1966、pp23-28.
- 3) 青山憲好：剣道競技の打撃動作の分析的考察、体育の科学 17、1967、pp536-540.
- 4) 財団法人全日本剣道連盟：剣道社会体育教本、サトウ書印館、2001.
- 5) 猪飼道夫：身体運動の生理学、杏林書院、1975.

資料<sup>4)</sup>（一般的に挺子の原理は3種類あるが、上肢による打撃は第1と第3の挺子が関与する）

