

## 剣道のバイオメカニクスの研究

### 第3報 打撃動作に及ぼす筋力トレーニングの影響

脇田 裕久・並木 洋子

#### Biomechanical Study of Kendo

#### No. 3 Effects of Muscular Training on Striking Movement.

Hirohisa WAKITA and Yoko NAMIKI

#### 要 旨

本研究は、筋力トレーニングが剣道の面打撃動作におよぼす影響を検討した。被検者は大学剣道部学生男子11名であり、週3回の頻度で8週間にわたって、1) アップ・ライト・ローイング、2) ツー・ハンズ・カール、3) ベンチ・プレス、4) スタンディング・プレス、5) シット・アップ、6) フル・スクワット、7) サイド・レイズ、8) プル・オーバー、9) ダンベル・ジャンプの筋力トレーニングを実施させた。トレーニングの前後には、形態計測、筋力測定および16mm映画撮影による動作分析を行い、次のような結果を得た。筋力トレーニング後では、体脂肪率の有意な減少、除脂肪体重の有意な増加および握力・屈腕力・伸腕力・脚伸展力・背筋力の有意な増加が認められた。また、打撃動作では、竹刀最大振り上げ局面における手関節橈屈角度が有意に減少し、竹刀振り下げ時間が有意に短縮した。以上の結果から、剣道における筋力増強は打撃動作を小さくし、打撃力よりもむしろ打撃動作時間の短縮に寄与することが示唆された。

#### 研究目的

運動成果を決定する要因について、猪飼<sup>6)</sup>は技術と身体資源との間に次のような式が成立するとしている。

$$\text{Performance} = \text{Skill} \int \text{Physical Resources}$$
(Performance: 運動成果、Skill: 技術、Physical Resources: 身体資源)

その後、猪飼は先の式に意欲 (M) を加えて次のように改変した。

$$P = C \int E (M)$$
(P: Performance、C: Cybernetics、E: Energy、M: Motivation)

この身体資源と技術の関係について宮下は、一流の水泳選手には腕のみの全力クロール泳速度と腕筋力との間に高い相関関係を示すが、未熟練の選手ではこの相関関係からはずれることを報告している<sup>6)</sup>。また三浦らは、同一の最大酸素摂取量

を有する長距離走の熟練者と未熟練者について5000mの記録を比較し、走運動の技術について検討を加えている<sup>6)</sup>。しかし、剣道に関する身体資源と打撃技術との関係について検討された報告はこれまでにあまり見受けられない。

本研究は、剣道経験者を対象とした8週間にわたるウエイト・トレーニングによる筋力増強が剣道の面打撃動作におよぼす影響を観察し、剣道における身体資源と打撃技術との関連を検討することをその目的とした。

#### 研究方法

被検者は、大学剣道部学生男子11名(2段~4段)であり、週5回の頻度で稽古を実施しているが、特別な筋力トレーニングを行っていない者を対象とした。ウエイト・トレーニング内容は、次に示す9種目であり、週に3回の頻度で8週間にわたって実施させた。

- 1) アップ・ライト・ローイング
- 2) ツー・ハンズ・カール
- 3) ベンチ・プレス
- 4) スタンディング・プレス
- 5) シット・アップ
- 6) フル・スクワット
- 7) サイド・レイズ
- 8) プル・オーバー
- 9) ダンベル・ジャンプ

形態、筋力および 16 m 映画撮影法による面打撃動作の測定は、筋力トレーニングの前後にそれぞれ実施した。

形態については、身長・体重・胸囲・上肢長・下肢長・上腕囲・前腕囲・大腿囲・下腿囲・皮下脂肪厚（上腕背部、肩甲骨下部）を計測した。

筋力については、握力・背筋力・屈腕力・伸腕力・脚伸展力を測定した。それぞれの筋力測定は、握力・背筋力がスポーツテストに準ずる方法で実施し、屈腕力・伸腕力・脚伸展力については下記の要領で実施した。

屈腕力の測定は、被検者の肘関節と肩関節を90度に屈曲させ、胸部を測定台に密着した椅座位姿勢をとらせ、張力計の一端を被検者の手関節、他端を壁に固定し、被検者の最大努力で肘関節を屈曲させた。

伸腕力の測定は、被検者に屈腕力の測定と同一姿勢をとらせ、張力計およびワイヤーを逆方向に接続し、被検者の肘関節を最大努力で伸展させた。

脚伸展力の測定は、被検者の膝関節を90度に屈曲させた仰臥姿勢をとらせ、張力計の一端を被検者の足関節、他端を壁に固定し、被検者の膝関節を最大努力で伸展させた。なお、それぞれの筋力測定については、それぞれ2回づつ実施し、大きい値を測定値として採用した。

面打撃動作の測定は、高さ 170 cm の剣道打突人形から 230 cm 離れた位置で中段に構えさせ、検者の「用意」の合図から2-5秒後に面に装着した光刺激に対して、出来るだけ素早く面の打撃動作を行わせた。打撃動作については被検者の肩関節、肘関節、手関節、第3中手指関節、股関節、膝関節、足関節、第5中足趾関節にマークをつけ、被検者の右側 10 m、地上高 1 m の位置に 16 mm カメラを固定し、毎秒69コマの速度で撮影した。

## 実験結果

### 1) 形 態

筋力トレーニング前後における形態の変化を表1に示した。筋力トレーニング前を基準としたトレーニング後の周育の変化は、上腕囲が右 0.4 cm、左 0.6 cm 減少し、胸囲が 3.4 cm、前腕囲が右 0.3 cm・左 0.3 cm、大腿囲が右 0.3 cm・左 0.5 cm、下腿囲が右 0.1 cm・左 0.3 cm 増加し、特に胸囲は筋力トレーニングの前後間に1%水準の有意な差が認められた（図1）。筋力トレーニング前を基準としたトレーニング後の周育の変化率は、それぞれ上腕囲が-1.4%と-2.1%、胸囲が3.8%、前腕囲が左右とも1.1%、大腿囲が0.6%と0.9%、下腿囲が0.3%と0.8%の増加であった。

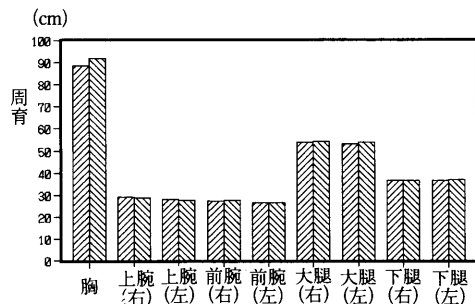


図1. トレーニング前後における周育の変化  
 〇トレーニング前    ■トレーニング後

筋力トレーニング前後における身体組成の変化を図2に示した。体脂肪の変化については、皮下脂肪厚の上腕背部が 4.5 mm、肩甲骨下部が 1.1 mm、体脂肪率が2.6%減少し、筋力トレーニング前後間には上腕背部の皮下脂肪厚と体脂肪率にはそれぞれ1%水準の有意な差が認められた。筋力トレーニング前を基準としたトレーニング後の皮下脂肪の変化率は、皮下脂肪厚の上腕背部が32.9%、肩甲骨下部が8.2%、体脂肪率が15.2%の減少であった。また、量育の変化については、体重が 0.7 kg の減少、除脂肪体重が 1.1 kg の増加であり、特に除脂肪体重は筋力トレーニング前後間に5%水準の有意な差が認められた。筋力トレーニング前を基準としたトレーニング後の量育の変化率は、体重が-1.1%、除脂肪体重が2.0%の増加であった。

第1表 形態・筋力・打撃動作に関するトレーニング前後の比較

項 目			トレーニング 前平均値	トレーニング 後の平均値	トレーニング 後の変化量	トレーニング 後の変化率
形 態	長 育	身長 (cm)	170.0(4.87)	170.2(4.93)	0.2	0.12
		上肢長 右 (cm)	73.2(3.18)	73.6(3.19)	0.4	0.55
		下肢長 右 (cm)	95.8(4.85)	94.3(8.47)	-1.5	-1.57
	周 育	胸囲 (cm)	88.6(8.37)	92.0(7.71)	3.4**	3.84
		上腕囲 右 (cm)	29.3(2.43)	28.9(2.09)	-0.4	-1.37
		左 (cm)	28.1(1.90)	27.5(2.01)	-0.6	-2.14
		前腕囲 右 (cm)	27.3(1.30)	27.6(1.53)	0.3	1.10
		左 (cm)	26.4(1.31)	26.7(1.66)	0.3	1.14
		大腿囲 右 (cm)	53.8(4.22)	54.1(3.69)	0.3	0.56
		左 (cm)	53.2(3.59)	53.7(3.66)	0.5	0.94
		下腿囲 右 (cm)	36.5(2.18)	36.6(2.10)	0.1	0.27
		左 (cm)	36.7(1.96)	37.0(1.85)	0.3	0.82
	身 体 組 成	皮脂厚 上腕背部 (mm)	13.7(5.20)	9.2(2.96)	-4.5**	-32.85
		肩甲骨下部(mm)	13.5(6.62)	12.4(5.72)	-1.1	-8.15
		体脂肪率 (%)	17.1(5.44)	14.5(4.05)	-2.6**	-15.20
		体重 (kg)	66.0(8.58)	65.3(8.09)	-0.7	-1.06
		除脂肪体重 (kg)	54.5(4.57)	55.6(5.31)	1.1*	2.02
筋 力	握力	右 (kg)	46.0(6.66)	50.4(8.14)	4.4*	9.57
		左 (kg)	44.8(6.79)	50.5(6.69)	5.7**	12.72
	屈腕力	右 (kg)	35.7(7.32)	41.2(5.55)	5.5**	15.41
		左 (kg)	32.2(6.69)	38.1(5.45)	5.9**	18.32
	伸腕力	右 (kg)	18.6(3.98)	21.3(4.15)	2.7**	14.52
		左 (kg)	17.9(2.66)	21.0(3.30)	3.1**	17.32
	脚伸展力	右 (kg)	70.2(14.98)	79.7(10.13)	9.5*	13.53
		左 (kg)	66.5(14.02)	73.1(12.52)	6.6	9.92
	背筋力 (kg)		136.8(13.96)	144.1(18.00)	7.3**	5.34
打 撃 動 作	最大振り上げ局面	水平線に対する竹刀角度	97.6(24.1)	84.7(17.1)	-12.9	-13.22
		手関節橈屈角度	87.0(15.0)	75.6(12.5)	-11.4*	-13.10
		肘関節屈曲角度	41.5(11.3)	38.5(8.6)	-3.0	-7.23
		肩関節屈曲角度	82.3(12.3)	86.5(9.5)	4.2	5.10
		股関節屈曲角度	101.1(7.9)	107.1(10.3)	6.0*	7.60
	振り上げ時間 (msec)		217(32)	195(30)	-22.0	-10.14
	振り下げ時間 (msec)		105(21)	87(12)	-18.0**	-17.14
	竹刀先端最大速度 (m/sec)		24.0(3.58)	18.1(2.78)	-2.3**	-11.27

( )内は標準偏差 \*\* : p&lt;0.01, \* : p&lt;0.05

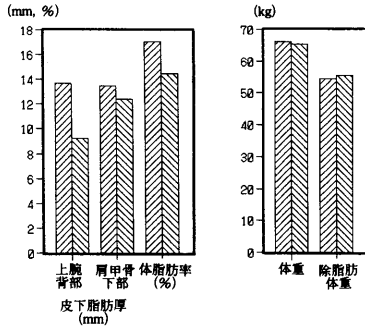


図2. トレーニング前後における身体組成の変化  
 斜線：トレーニング前 白：トレーニング後

### 2) 筋 力

筋力トレーニング前後における各筋力の変化を図3に示した。筋力トレーニング前を基準としたトレーニング後の値は、握力が右 4.4 kg・左 5.7 kg、屈腕力が右 5.5 kg・左 5.9 kg、伸腕力が右 2.7 kg・左 3.1 kg、脚伸展筋力が右 9.5 kg、左 6.6 kg、背筋力が 7.3 kg といずれの筋力も増大し、左脚伸展筋力を除く全てに 1%～5%水準の有意な増加が認められた。

また、トレーニング前の筋力を基準にしたトレーニング後の変化率は、握力が右9.6%、左12.7%、屈腕力が右15.4%、左18.3%、伸腕力が右14.5%、左17.3%、脚伸展力が右13.5%、左9.9%、背筋力が5.3%の増加を示した。

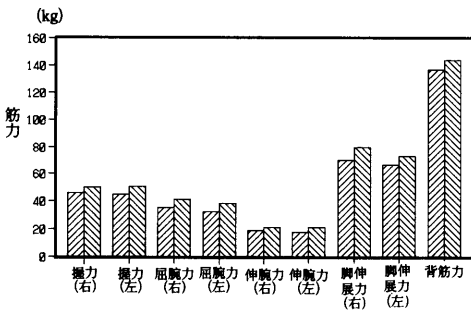


図3. トレーニング前後における筋力の変化  
 斜線：トレーニング前 白：トレーニング後

### 3) 打撃動作

全被検者における右肩関節を軸とした肘関節・手関節・第3中手指関節・竹刀先端のスティック・ピクチャーを図4に示した。上肢の振り上げ動作は、筋力トレーニング前に比較してトレーニング後にやや小さくなる傾向にある。竹刀最大振

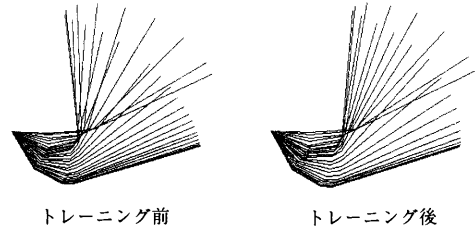


図4. トレーニング前後における上肢動作の比較

り上げ局面における各関節角度の比較を図5に示した。トレーニング前を基準としたトレーニング後の値は、水平線に対する竹刀角度が12.9度の減少および肩関節屈曲角度が4.2度の増加であり、筋力トレーニング前後間には手関節のみ5%水準の有意な差が認められた。また、筋力トレーニング前の角度を基準にしたトレーニング後の変化率は、竹刀角度が-13.2%、手関節が-13.1%、肘関節が-7.2%、肩関節が5.1%の増加を示した。

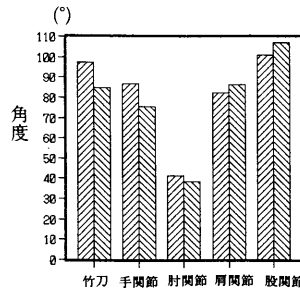


図5. 竹刀最大振り上げ局面における角度の比較  
 斜線：トレーニング前 白：トレーニング後  
 竹刀：水平線に対する角度、  
 手関節：橈屈角度  
 肘関節、肩関節、股関節：屈曲角度

一方、右大転子を軸とした膝関節・足関節・第5中足趾関節のスティック・ピクチャーを図6に示した。下肢の振り上げ動作は、筋力トレーニング前に比較してトレーニング後にやや大きくなる

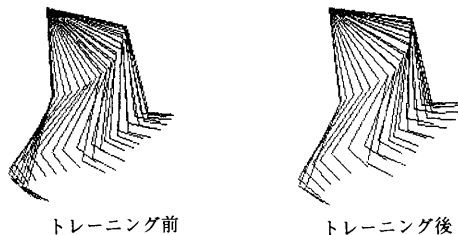


図6. トレーニング前後における下肢動作の比較

傾向にある。股関節最大屈曲局面における関節角度の比較を図5に示した。筋力トレーニング前を基準としたトレーニング後の値は股関節角度が6.0度の増加を示し、トレーニング前後間に5%水準で有意な差が認められた。また、トレーニング前を基準にしたトレーニング後の変化率は、7.6%の増加であった。

打撃動作時間と竹刀先端速度における筋力トレーニング前後の変化を図7に示した。竹刀先端が上方に移動開始した時点から竹刀が最大に振り上げられるまでの時間（以下振り上げ時間とする）は、筋力トレーニング前に比較してトレーニング後では22ms短縮し、竹刀が最大に振り上げた時点から竹刀が面を打撃するまでの時間（以下振り下げ時間とする）は、トレーニング後18msの短縮を示し、後者では筋力トレーニング前後間に1%水準で有意な差が認められた。また、打撃直前における竹刀先端の最大速度は、筋力トレーニング後に2.30m/sec減少し、筋力トレーニング前後間に1%水準で有意な差が認められた。なお、筋力トレーニング前を基準にしたトレーニング後の変化率は、それぞれ10.1%、17.1%、11.3%の減少であった。

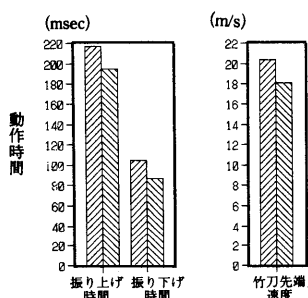


図7. トレーニング前後における竹力操作の比較  
 〰️ トレーニング前    〰️ トレーニング後

## 論 議

運動成果を高めるには、運動技術・身体資源・意欲の諸要因を向上させる必要がある。本研究は、週5回の頻度で剣道の稽古を行っているが、特に筋力を高めるトレーニングを実施していない大学剣道部員を対象として、筋力増強を目的とするウエイト・トレーニングを実施させ、筋力増加が面打撃動作にどのような影響を及ぼすかを検討した。

筋力トレーニングの実施にあたっては、刺激を

適切に設定することが必要であり、一般的には10RMの運動強度で行うことが効果的であるとされている<sup>2)</sup>。しかし、本実験の被検者は、これまでにウエイト・トレーニングを実施した経験がないことから安全性を考慮して、20RMの運動強度で週3回の頻度の筋力トレーニングを実施させた。その結果、本実験における被検者の握力・屈腕力・伸腕力・脚伸展力及び背筋力は、トレーニング後に1~5%水準で有意な増加が認められた。このことは、本実験の筋力トレーニングが20RMの運動強度にも関わらず、竹刀のみを操作する従来の稽古法に対して有効なトレーニング法であることを示唆するものである。

これまでに、筋力は筋の横断面積に比例し、単位断面積当りの筋力は性・年齢に関係なく一定であることがHettingerや猪飼と福永によって報告されている<sup>3)4)</sup>。また、筋力発達のメカニズムについて、筋力トレーニング初期の筋力増加は、神経筋単位の動員数の増加によるもので、その後の筋力増加は筋の横断面積の増加すなわち筋肥大によるものと報告されている。

本研究における筋力トレーニング後の周育変化は、トレーニング前に比較して上腕囲の減少と胸囲・前腕囲・大腿囲の増加が観察された。皮下脂肪については、上腕背部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚がともにトレーニング後減少し、長嶺<sup>7)</sup>の推定式による両皮下脂肪厚から算出した体脂肪率は有意に減少した。さらに、体重から体脂肪量を除去した除脂肪体重は、体重の減少にも関わらず有意に増加する結果を示した。以上のことから、本実験の筋力トレーニングは、各筋の最大筋力を有意に増大させた生理学的背景として、筋量の増加があったものと推定される。

また、剣道における中段の構えは、竹刀を保持する際、右側の上下肢を前に左側のそれを後方に構えることが一般的である。この中段の構えの特性は、左右の上下肢に異なる動作の役割を与え、この筋活動の違いがトレーニング前における筋力の左右差を生じさせたものと考えられる。しかしながら、筋力トレーニング後においては、左右の筋力に差が認められなくなり、このことは筋力トレーニングが打撃動作にともなう筋力の不均衡な発達を是正する上で効果的であることを示唆している。

身体資源と運動技術を関連させた運動成果について、宮下<sup>6)</sup>らは水泳選手を対象として、水泳速

度と筋力の関係から考察している。その結果、腕のみによる全力クロール泳時のスピードと腕筋力との関係は、一流選手の間では高い相関関係を示すが、未熟練の選手はこの相関関係からはずれることを報告している。これは、一流選手では筋力が強ければ水泳スピードを増すことができるが、未熟練の選手では筋力があるからといって必ずしも速く泳ぐことができるとは限らないことを示唆している。また三浦<sup>6)</sup>らは、同一の体重当り最大酸素摂取量を有する長距離走の熟練者と未熟練者における 5000 m の記録を比較し、走運動の技術について検討を加えている。その結果、未熟練者に比較して熟練者では、身長あたりの歩幅が長いことが主たる原因であることを明らかにした。さらに、この点について重心の上下方向への動きを比較してみると、熟練者では一歩間に 6 cm の移動であるのに対し、未熟練者では 10 cm の移動であり、このことが同じエネルギー発生能力を有していてもそのエネルギーを効率よく走るために使えるかどうか記録差となって出現すると報告している。しかしながら、剣道に関するこのような身体資源と打撃技術との関係について検討された報告はこれまでにあまり見受けられない。

本研究では身体資源の筋力増強に注目し、このことが竹刀最大振り上げ局面における肩関節屈曲の増加と肘関節屈曲及び手関節橈屈を減少させるという打撃動作の変化を招いた。これは、振り上げ動作が肘関節および手関節から肩関節を多く使用する動作に移行したことになり、筋力トレーニングが小手先の打撃動作から体幹に近い部位を使った打撃動作に変容させる効果があるものと考えられる。また、この関節角度変化は、面打撃動作における竹刀の振り上げ動作を小さくし、竹刀振り上げ時間及び振り下げ時間を短縮させた。そこで、竹刀の振り上げ時間と屈腕力とがどのような関係にあるのかを検討するために、トレーニング前とトレーニング後の値を含めた屈腕力と振り上げ時間との関係を図 8・9 に示した。その結果、両者の間には、筋力が増大するにしたがって振り上げ時間が短縮するという 1 % 水準の有意な負の相関関係が観察された。このことは、上肢筋力の増大が 1) 竹刀の相対的重量を小さくしたこと、2) 竹刀の振り上げから振り下げ時の切り換え動作に要する時間を短縮させたことなどによることが考えられる。

一方、竹刀先端速度について注目すると、筋力

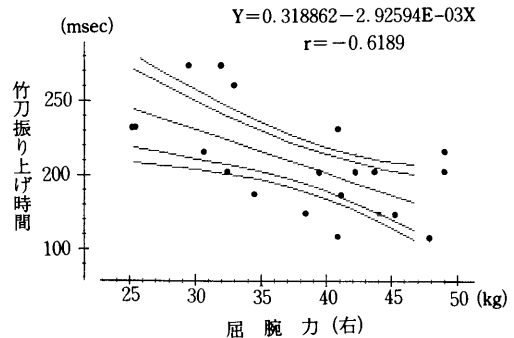


図8. 屈腕力（右）と竹振り上げ時間の関係

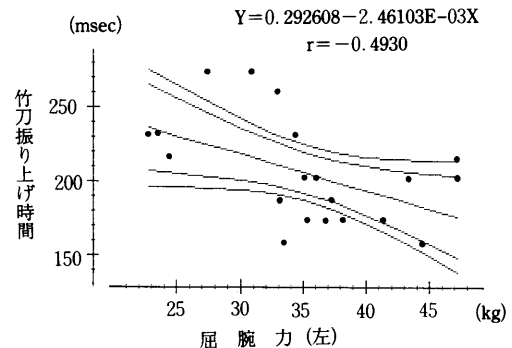


図9. 屈腕力（左）と竹振り上げ時間の関係

トレーニング後の竹刀先端速度は、トレーニング前に比較して有意に低い値を示した。このことは竹刀の最大振り上げ角度が筋力トレーニング後に小さくなったことと関連し、加速時間の短縮がこのような結果を生じたものと考えられる。さらに、筋力トレーニング前における竹刀の振り上げ動作が大きくなることについては、竹刀の振り上げにともなう慣性に抗する手関節・肘関節の筋力が小さいことに起因していると考えられる。しかし、竹刀に加えられる運動量がどの程度になれば有効打突になりえるのかという点については今後検討しなければならない問題である。

また、下肢動作について注目すると、筋力トレーニング後下肢の振り上げ動作は大きくなる傾向を示し、股関節屈曲角度は有意に増大した値を示した。これについては、これまでに疾走速度と股関節屈曲角度との間には有意な相関が認められており、疾走速度の大きいものほど股関節屈曲角度が増加することが報告されている<sup>1) 5) 8)</sup>。従って本研究における筋力増強効果は、増大した下肢振り上げ動作を短時間に遂行させ、素早い動作を

可能にすることを示唆しており、先の走運動の報告と一致した結果を得た。

以上のように本研究では、身体各部位の筋力増加が竹刀の振り上げ角を減少させ、竹刀の振り上げと振り下げに要する動作時間を短縮させるという結果を得た。これらの結果は、剣道における筋力増強が打撃力を増加させるというよりも、打撃動作を小さくし、動作時間の短縮に寄与することを示唆している。剣道では、1) 起こり頭、2) 技の尽きたところ、3) 居ついたところ、4) 退がったところ、5) 受けたところ、6) 心に隙が生じたところが打突の機会であり、極めて瞬間的な機会をとらえて打突しなければならない<sup>9)</sup>。この動作時間の短縮は、打突すべき機会を逃すことを減少させるとともに相手の打突動作に対して正確な情報を得るための時間を長くする可能性をもつと考えられる。従って、剣道の筋力増加による動作時間の短縮は、敏速な打撃動作と正確な判断に要する時間の増加を可能にする利点を持つといえよう。

## 要 約

本研究は、ウエイト・トレーニングによる筋力増強が剣道における面打撃動作におよぼす影響を観察し、剣道における筋力と打撃技術との関連を検討することを目的とした。大学剣道部学生男子11名を被検者として、週3回の頻度で8週間にわたって筋力トレーニングを実施させた。トレーニング内容については、1) アップ・ライト・ローイング、2) ツー・ハンズ・カール、3) ベンチ・プレス、4) スタンディング・プレス、5) シット・アップ、6) フル・スクワット、7) サイド・レイズ、8) プル・オーバー、9) ダンベル・ジャンプの9種目を実施させた。

トレーニングの前後には、形態計測（身長・体重・胸囲・上肢長・下肢長・上腕囲・前腕囲・大腿囲・下腿囲・皮下脂肪厚）、筋力測定（握力・背筋力・脚伸展力・屈腕力・伸腕力）および16

mm 映画撮影による動作分析を行い、各項目について比較し、次のような結果を得た。

- 1) 形態については、胸囲・除脂肪体重が有意に増加し、上腕背部の皮下脂肪厚・体脂肪率が有意に減少した。
- 2) 筋力については、握力・屈腕力・伸腕力・脚伸展力・背筋力が有意に増大した。
- 3) 竹刀最大振り上げ局面における手関節橈屈角度が有意に減少した。
- 4) 右股関節最大屈曲角度が有意に増加した。
- 5) 竹刀振り下げ時間が有意に短縮した。
- 6) 竹刀先端速度は有意に減少した。
- 7) 竹刀振り上げ時間と屈腕力との間には、有意な負の相関関係が認められた。

以上の結果から、剣道における筋力増強は打撃動作を小さくし、打撃力よりもむしろ打撃動作時間の短縮に寄与することが示唆された。

## 文 献

- 1) Deshon, D. E., and R. C. Nelson: A cinematographical analysis of sprint running. Res. Quart. 35(4), 1964.
- 2) Edward L. Fox: Sports Physiology. Saunders College Publishing, Philadelphia, 1979.
- 3) 福永哲夫: 超音波測定法による筋の単位面積あたりの筋力の算出、体育学研究、14(1): 28～32、1961.
- 4) Hettinger, Th: Physiology of strength. Charles C. Thomas, 1961.
- 5) 宮丸凱史: 短距離疾走フォームに関する実験的研究、東京女子体育大学紀要(6)、1971.
- 6) 宮下充正: スポーツとスキル、大修館書店、1978.
- 7) 長嶺晋吉: 皮下脂肪厚からの肥満の判定、日本医師会雑誌、68: 16 2-169、1972.
- 8) 斉藤 満、星川 保、宮下充正、松井秀治: 走速度増加に対応する下肢関節の動きについて、体育学研究、16(5): 265-271、1972.
- 9) 湯野正憲、岡村忠典: 剣道教室、大修館書店、116-117、1979.