

大学生剣道選手における専門トレーニングが 上肢の筋形態と筋力発揮に及ぼす影響

Effects of training on upper limb muscle structure and muscle force output in collegiate KENDO players.

岸 本 卓 也*, 安 藤 翔**, 久 保 優 樹*, 武 井 幸 二*, 右 田 重 昭*
氏 家 道 男*, 今 野 満 広***, 田 中 重 陽****, 角 田 直 也*

Takuya KISHIMOTO*, Sho ANDO**, Yuki KUBO*, Koji TAKEI*, Shigeaki MIGITA*
Michio UJIIE*, Mitsuhiro KONNO***, Shigeharu TANAKA****, Naoya TSUNODA*

ABSTRACT

The purpose of this study was to effects of training on upper limb muscle structure and muscle force output in collegiate male KENDO players. The subjects were 11 kendo players (KG) and 10 physical education students as a control group (CG). Muscle thickness of upper limb was measured by B-mode ultrasonic method. The measurement muscles were biceps brachii, triceps brachii, forearm extensors and flexors in both upper limbs. The maximal voluntary isometric and isokinetic torque output in elbow and wrist joint movements were measured by isokinetic dynamometer (Biodex system III). The muscle thickness to LBM in KG showed a significantly higher value than that of CG on biceps brachii, triceps brachii and forearm extensors. The peak torque to LBM during elbow extension, flexion, radial and ulnar flexion of the KG showed significantly higher than that of CG. And also, the tendency of torque value to decrease with increasing exercise speed was different between KG and CG. The ratio of the elbow extension torque to the elbow flexion torque, KG showed a higher value than CG. From these results, it was suggested that effects of specific muscle hypertrophy on upper limb and torque production capacity due to long term Kendo training.

Key words; KENDO players, muscle structure, muscle force output

* 国士館大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 札幌南区剣道連盟 (Sapporo Minami Ward Kendo Federation)

*** 栗原市立若柳中学校 (Kurihara Municipal Wakayanagi Junior High School)

**** 国士館大学政経学部 (Faculty of Political Science and Economics, Kokushikan University)

I. はじめに

多くの競技スポーツは、その種目の専門的な動作の反復やトレーニングを長期間実施することで、種目特有の特異的な筋肥大や筋機能がみられることが報告されている^{7) 15)}。特に、非対称の動作を行う野球やラケットスポーツ競技では、筋形態の左右差や側方優位性などが顕著にみられるという^{9) 12) 13)}。剣道競技についても、利き手に関わらず右の前腕伸筋群が左の前腕伸筋群に対して筋横断面積が大きいことなどが報告¹¹⁾されている。野球やラケットスポーツ競技に比べれば上肢の非対称的な動きが少ない剣道競技においても、競技の専門的動作の反復によって特異的な筋の発達部位がみられている。一方、剣道選手の体力的要素に関する研究では、肘関節の伸展屈筋力や手関節の橈屈尺屈筋力⁸⁾や、肩関節の伸展及び外旋筋力⁵⁾が対象者よりも高いことが報告されている。また、剣道の素振り動作時における上肢筋群の筋活動について検討した報告¹¹⁾によれば、熟練者は未熟練者に対して短いバースト状の放電が顕著であることや、熟練者であっても筋によって左右の筋放電パターンが異なることが明らかにされている。このような筋活動パターンの違いが、特異的な部位の筋発達や筋力の左右差などの一側優位性を生じさせるものと考えられている。

上述のように剣道競技者に焦点を当てた研究は幾つか存在し、その多くが各計測値を対象者と直接比較する手法によって評価されている。より剣道競技者の筋形態や筋機能特性を明らかにするためには、相対的な評価も重要であるものと考えられる。林ら⁵⁾は、剣道選手の形態及び体力特性について検討し、トレーニングによってより高度な技術を修得するためには、それを支える形態及び体力的要素を考慮しなければならないことを指摘しており、剣道競技者の筋形態や筋機能特性を探る上で、あらゆる観点から評価することは意義あるものと考えられる。

本研究では剣道競技者における上肢筋群の筋形

態及びトルク発揮特性についてより詳細に検討することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、大学剣道部に所属する男子剣道選手11名(KG)及び剣道経験のない男子大学生10名(CG)の計21名とした。KGは、10年以上の競技歴を有しており、現在も週6日、1日約3時間程度の稽古(トレーニング)を継続している者であった。KGの年齢、身長、体重、除脂肪体重は、それぞれ 22.1 ± 1.2 歳、 171.2 ± 5.9 cm、 67.3 ± 5.9 kg、 54.2 ± 4.4 kgであり、CGは、それぞれ 23.4 ± 1.2 歳、 172.7 ± 5.6 cm、 68.6 ± 11.3 kg、 55.4 ± 6.5 kgであった。被験者には本研究の主旨及び測定的安全性について十分説明し、測定への参加の同意を得た。

2. 筋形態の測定

1) 形態計測

身長は身長計を用いて、体重及び除脂肪体重(LBM)はインピーダンス法による身体組成測定装置(BODY FAT ANALYZER, TBF-100, TANITA社製)を用いて測定した。

2) 上肢筋群の筋厚の測定

左右上肢筋群の筋厚の測定は、超音波Bモード法(Echo camera SSD-750CL, ALOKA製)の超音波周波数7.5MHzにて、筋横断画像の撮影を行った。画像の撮影は左右上腕前部(BB)、後部(TB)及び前腕の伸筋群(FE)、屈筋群(FF)とし、上腕部は上腕長の60%、前腕部は前腕長の30%に相当する部位とした。得られた画像を出力し、ノギスを用いて筋厚を計測した。なお、上腕のBB及びTBの筋厚は皮下脂肪層から上腕骨まで、前腕のFE及びFFは皮下脂肪層から橈骨、前腕屈筋群は皮下脂肪層から尺骨までの距離を各筋の筋厚値とした。

両群の身長、体重及びLBMには有意な群間差は認められなかったものの、体重及びLBMは標準偏差値に大きな差が認められた。また、KGの専門的なトレーニングによる特異的な筋形態の発達部位を明らかにするためには、筋厚の計測値と比較することに加え、相対的な評価の必要性が考えられた。これらのことを踏まえ、体格に関係なく筋厚を評価する指標として、LBMの1/3乗値に対する各部位の筋厚値を算出した。

3) 肘関節及び手関節運動時のトルク測定

1. 等尺性収縮及び等速性収縮によるトルク測定

等尺性収縮及び等速性収縮によるトルク測定は、総合筋力測定装置 (Biodex System III Biodex社製) を用いて実施した。運動様式は、肘関節の伸展と屈曲及び手関節の橈屈と尺屈運動とした。等尺性 (0deg/sec) によるトルク測定は、肘関節伸展トルク測定時は肘関節角度を90度屈曲位 (完全伸展0度)、肘関節屈曲トルク測定時は75度屈曲位で実施した。手関節の橈屈及び尺屈トルクの測定は、アタッチメントを握った状態で前腕が地面と水平となる状態を0度とし、橈屈は-10度、尺屈は20度でそれぞれ行った。被験者には、いずれも5秒間の最大努力によるトルク発揮を実施させた。等速性収縮による肘関節の伸展及び屈曲、手関節の橈屈及び尺屈運動のトルク測定の運動速度は、60、120、180及び240deg/secとした。各測定で得られたピークトルクを分析の対象とし、LBMで除した相対値を算出した。また、肘関節屈曲トルクに対する伸展トルク、手関節尺屈トルクに対する橈屈トルクの比をそれぞれ算出した。

4) 素振り動作時の筋活動の測定

KGを対象として素振り動作時の筋活動を携帯型筋電計 (Muscle Tester Me-3000P Mega Electronics社製) により記録した。被験筋は筋厚の測定部位と同じ左右上肢筋群の計8部位とした。素振り動作は1秒に1回発信音が鳴るようにメトロノームを設定し、発信音と同時に筋電図の

測定をスタートさせた。各被験者にはメトロノームの発信音に合わせ、1秒で竹刀を振り上げ、1秒で振り下ろすよう指示し、3本連続で行わせた。

3. 統計処理

本研究における測定項目の有意差検定は、Stat-View 5.0を用いて実施した。形態計測の項目は対応のないT-testを実施した。各部位における筋厚の比較は群及び左右の要素を、トルクの比較は群及び運動速度の要素をそれぞれ考慮した二元配置分散分析を実施し、有意な交互作用が認められた場合、Bonferroni法によるpost-hoc測定を行った。いずれも5%未満を有意とした。

Ⅲ. 結 果

1) 上肢筋群における筋厚の比較

Table1に、左右上肢筋群の筋厚値を示した。有意な群間差が認められた部位は、右のFE、左のBB、TB及びFEであった。また、KGのBB及びFEについては、左よりも右の筋厚値が有意に高い値を示した。CGでは有意な左右差は認められなかった。次に、LBMに対する各部位の筋厚値についてみると、左右のFFを除く部位でいずれもKGがCGよりも有意に高い値を示した (Table2)。

2) 素振り動作時の筋活動

素振り動作時における左右の上肢筋群の筋活動を記録した。Fig.1にKGの代表的な被験者のデータを示した。竹刀の振り上げ時と振り下ろし時にそれぞれ集中的な放電が確認された。同一筋の活動動態を左右で比較してみると、特にBB、TBでは左よりも右の活動量が大きいことが確認された。このような傾向は、他のKGの被験者でも確認された。

3) 肘関節伸展、屈曲トルク及び手関節橈屈、尺屈トルクの比較

Table 1. Comparisons of muscle thickness between KG and CG.

G	Muscle thickness (mm)				
	BB	TB	FE	FF	
Right	KG	31.2±3.0 #	37.4±4.2	27.9±2.6 #	23.6±4.3
	CG	27.4±5.6	31.6±7.0	22.4±3.7	23.6±3.4
Left	KG	29.2±1.6	37.4±1.0	25.3±1.8	22.8±2.7
	CG	25.9±3.7	28.8±7.5	21.9±3.4	21.9±4.3

BB: Biceps brachii, TB: Triceps brachii, FE: Forearm extensors, FF: Forearm flexors. *:significant difference of group., #:significant difference of side difference. p<0.05. Values are mean ± S.D.

Table 2. Comparisons of relative muscle thickness between KG and CG.

G	Muscle thickness (mm/kg ^{1/3})				
	BB	TB	FE	FF	
Right	KG	8.2±0.8	9.9±1.2	7.4±0.7	6.2±1.2
	CG	7.1±1.3	8.3±1.6	5.9±0.9	6.2±0.8
Left	KG	7.7±0.5	9.9±0.4	6.7±0.6	6.0±0.7
	CG	6.8±0.8	7.5±1.8	5.7±0.7	5.7±1.1

BB: Biceps brachii, TB: Triceps brachii, FE: Forearm extensors, FF: Forearm flexors. *:p<0.05 Values are mean ± S.D.

Fig.2は、LBMあたりの肘関節伸展トルク及び屈曲トルクを示したものである。左右の肘関節伸展トルクは、全ての運動速度において有意な群間差が確認された。また、CGは0deg/sec~180deg/sec間において運動速度の増加にともなうトルクの有意な低下が認められたのに対して、KGは0deg/sec~120deg/secの間で有意な低下が確認された。肘関節屈曲トルクは、左では0deg/sec以外、右では60deg/sec以外の運動速度においてKGがCGよりも有意に高い値を示した。運動速度の低下に伴うトルク値の有意な低下は、KGでは左右ともに0deg/sec~120deg/secの間で認められ、CGの左は0deg/sec~120deg/secの間、右は0deg/sec

~180deg/secの間でそれぞれ認められた。

橈屈及び尺屈トルクは、右の尺屈を除く全ての試技でKGがCGよりも有意に高い値を示した(Fig.3)。運動速度の増加に伴うトルクの有意な低下が認められたのは、右の橈屈でKGが0deg/sec~60deg/sec間、CGが0deg/sec~60deg/sec、120deg/sec~180deg/sec間でそれぞれ認められ、左の橈屈は両群ともに0deg/sec~120deg/secの間で認められた。尺屈ではKG及びCGともに左右の0deg/sec~60deg/sec間に有意な差が確認された。

次に、肘関節の屈曲トルクに対する伸展トルクの比、尺屈トルクに対する橈屈トルクの比を算出

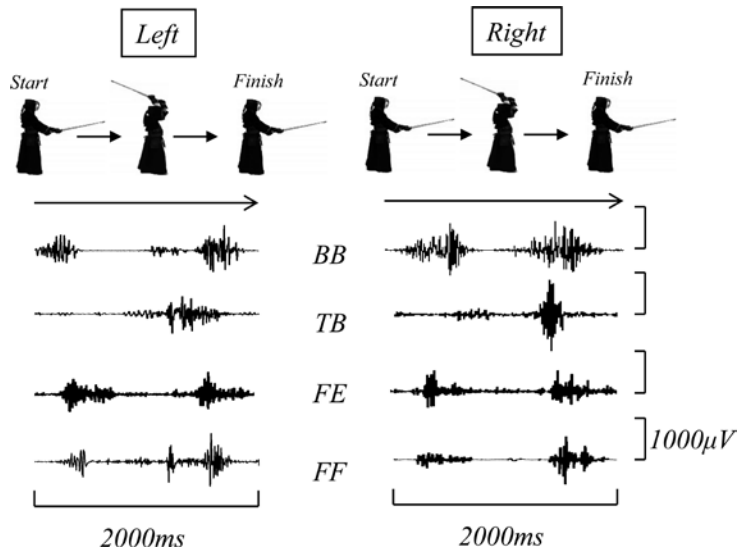


Fig. 1. Activities of upper limbs muscles during SUBURI motion in Kendo trainer. BB: Biceps brachii, TB: Triceps brachii, FE: Forearm extensors, FF: Forearm flexors.

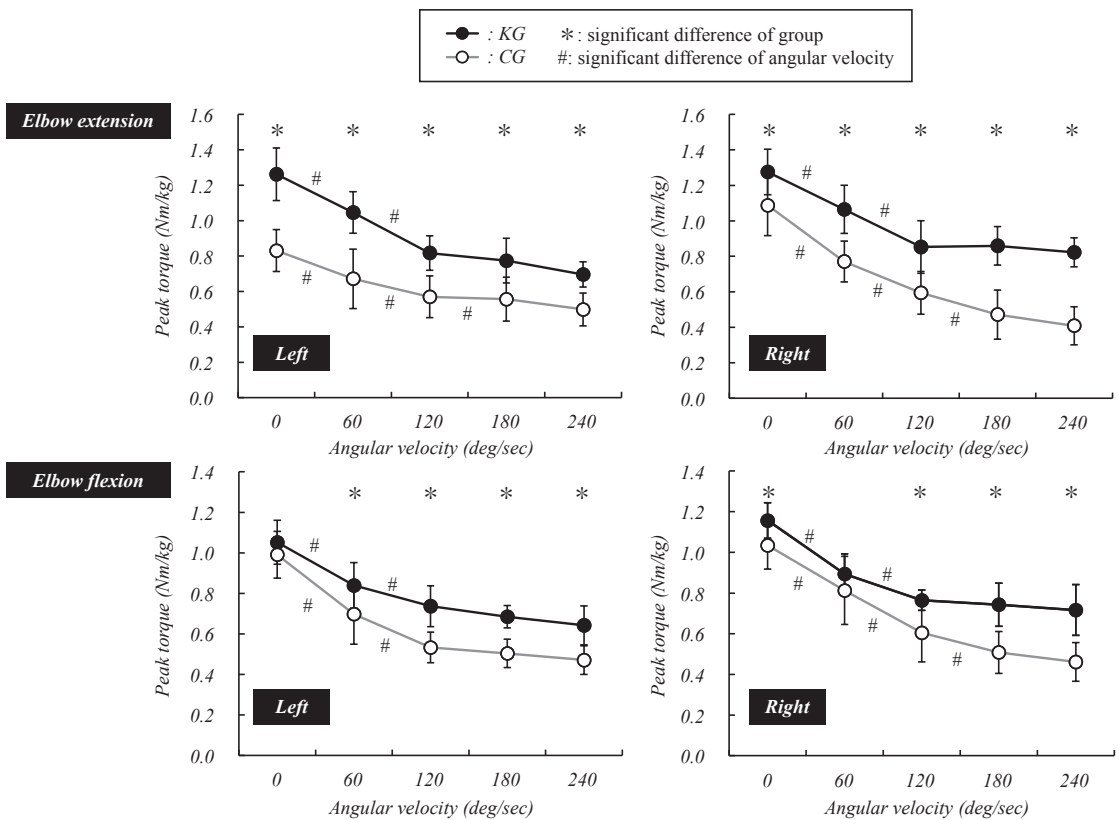


Fig. 2. Comparisons of torque on elbow extension and flexion under the isometric and concentric contractions in KG and CG.

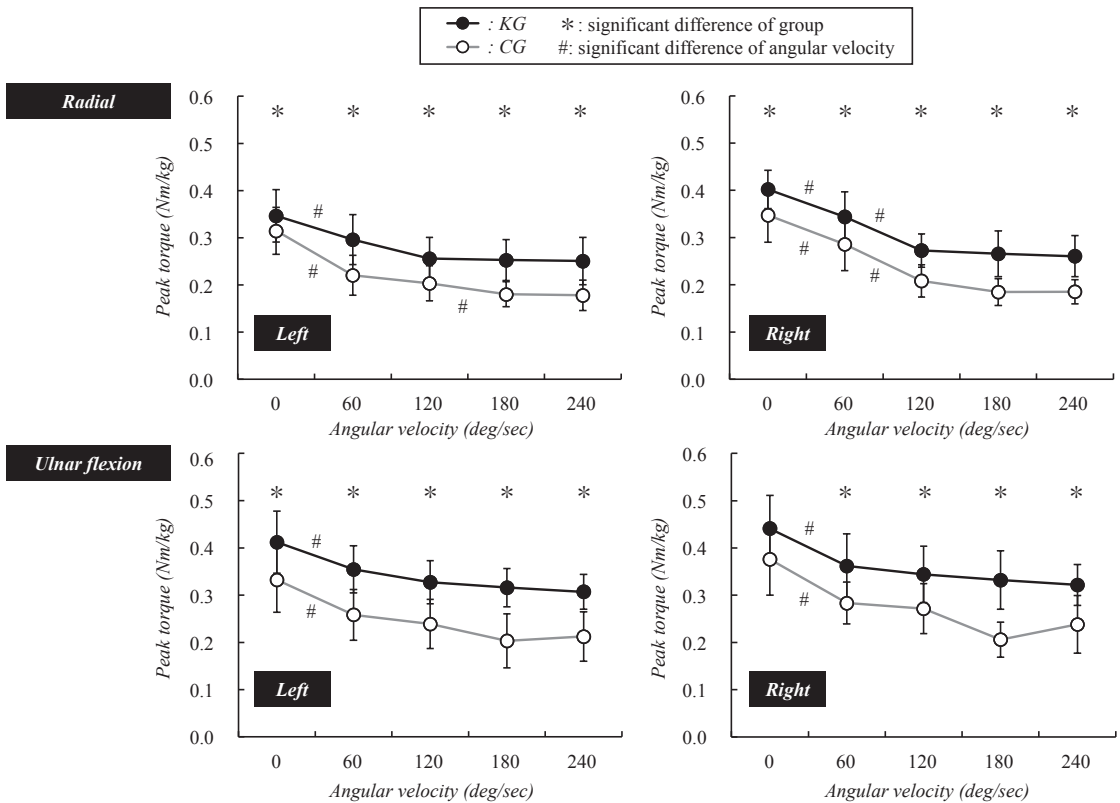


Fig. 3. Comparisons of torque on radial and ulnar flexion under the isometric and concentric contractions in KG and CG.

し、群間差について検討した (Fig.4)。その結果、有意な群間差が認められたのは、右で0、60deg/sec、左で60、180及び240deg/secの試技でKGがCGよりも有意に高い値を示した。一方、尺屈トルクに対する橈屈トルクの比はCGがKGよりも高い値を示す傾向が認められたが、有意な群間差は認められなかった。

IV. 考 察

長期間にわたる専門競技のトレーニングによって、その競技特有の特異的な筋の発達が存在すること^{7) 15)}が明らかにされている。剣道選手を対象とした先行研究^{2) 5) 10) 12) 13)}では、一般成人よりも周径囲が大きいこと²⁾や形態的要素に左右差¹⁰⁾が存在することなどが明らかにされている。

また、松尾ら¹¹⁾は、核磁気共鳴装置により前腕筋群の筋横断面積を測定した結果、剣道選手は利き手に関わらず、右の前腕伸筋群が左のそれに比して大きいことを報告している。これらの指摘から、剣道における素振り動作において、左右上肢の運動は非対称であることから、素振り動作の反復によってもたらされた剣道選手特有の筋形態特性として考えられる。このことは、Fig.1に示した素振り動作時における上腕部の筋群 (BBとTB) のグレーディングの違いからも推察できる。本研究の結果として、筋厚の計測値は、KGがCGよりも高い値を示し、特に左の上肢筋群ではその差が顕著にみられた。さらにKGのBB及びFEでは、CGで認められなかった左右差が認められ、先行研究¹¹⁾同様に、剣道選手特有の筋形態特性が認められたものと考えられた。

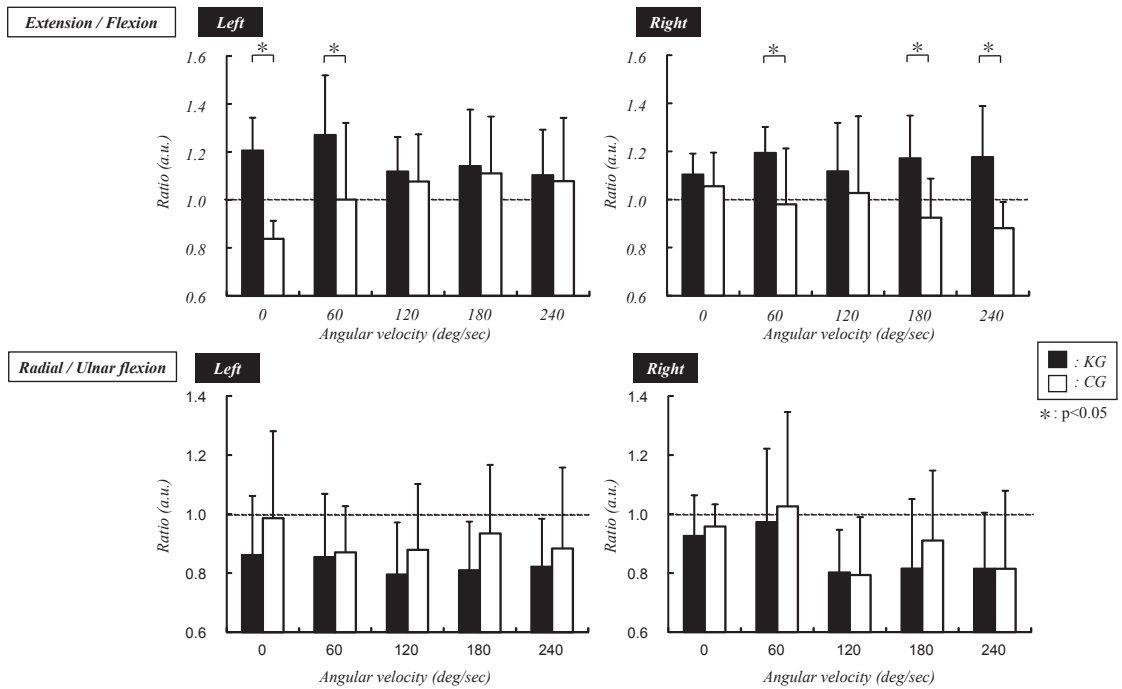


Fig. 4. Comparisons of the ratios of elbow extension to elbow flexion torque, radial to ulnar flexion in KG and CG.

剣道選手の筋形態特性を明らかにするために、計測した筋厚値を対象者群と直接的に比較することも重要である。しかし、単純に筋厚の計測値を比較するのでは、身長や体重といった体格的要素の影響は一切考慮されていない。局所的な部位とはいえ、体重や全身筋量の大小の影響は少なからずあるものと予想される。本研究では、体重やLBMの平均値に有意な群間差は認められなかったものの、標準偏差値にばらつきがみられ、同一群内でも体格差が大きい可能性が考えられた。そこで、体格に関係なく上肢の筋群の筋形態特性を評価するために、LBMの1/3乗値に対する各部位の筋厚値の相対値を算出し、群間差について検討した。その結果、筋厚の相対値は、FFを除いた筋においていずれもKGがCGよりも有意に高い値を示した。この結果は、KGがCGよりも全身の筋量に対して上肢筋群の筋の発達著しいことを示すものと考えられる。本研究で認められた上肢筋群の筋形態特性は、これまでの先行研究¹¹⁾

を支持するものであり、剣道の専門的トレーニングによってもたらされたものと推察された。

次に、肘関節伸展屈曲及び手関節橈屈尺屈トルクについて検討した。剣道選手を対象に筋力発揮特性について検討した先行研究によれば、肩関節伸展及び外旋運動、さらには肘関節伸展筋力において対象者よりも優れていることが報告^{5) 6)}されている。このような剣道選手と対象者との筋力差は、剣道特有の運動様式を長期間に亘り反復して行うことによって生じたものであることが指摘されている。本研究の結果は、全身筋量当たりの肘関節伸展及び屈曲トルク、さらには手関節橈屈及び尺屈トルクにおいて、一部の運動速度を除きKGがCGよりも有意に高い値を示した。また、注目すべき点は、肘関節伸展及び屈曲トルクにおける運動速度間差である。本来、筋の収縮特性である力-速度関係にみられるよう、運動速度の低下に伴いトルク値は低下する。本研究の結果でも、KG及びCGともに運動速度の増加に伴うトルクの低

下傾向は確認されている。しかしながら、肘関節伸展トルクの場合、KGの運動速度の増加に伴うトルクの有意な低下は、低速運動である0deg/sec～60deg/sec間で認められたのに対して、CGは低速運動から中速運動にあたる0deg/sec～180deg/secの間で認められた（左の肘関節屈曲トルクを除く）。すなわち、KGはCGに対して高い運動速度でも相対的にトルク発揮能力が高いことが考えられる。これらは、剣道の競技特性によってもたらされたものと考えられる。また、本研究では統計処理は実施していないが、肘関節の等尺性による最大伸展トルクの左右差についてみると、KGは左右のトルク差（右： $1.3 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$ 、左： $1.3 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$ ）がほとんどみられないのに対して、CGは左右差（右： $1.1 \pm 0.2 \text{ Nm/kg}$ 、左： $0.8 \pm 0.1 \text{ Nm/kg}$ ）が大きかった。先行研究¹⁴⁾では、剣道選手の素振り動作時の筋活動は、左右の上肢筋群が効率良く活動していると指摘されており、長期にわたる剣道の専門トレーニングがトルク発揮特性に影響した可能性が示唆された。

次に、肘関節屈曲トルクに対する伸展トルク、尺屈トルクに対する橈屈トルクの比について検討した。その結果、肘関節の伸展屈曲トルク比は、KGは左右ともにいずれの運動速度も1.0以上の値を示したのに対して、CGでは左は0、60deg/secで、右は60、180及び240deg/secで1.0を下回った。また、これらの運動速度では有意な群間差が確認され、KGは全身筋量当たりの屈曲トルクに対して伸展トルクが高いことが明らかとなった。この結果は先行研究¹⁾と一致するものであった。一方、KGの手関節橈屈尺屈トルクの比は、いずれも1.0よりも低く、有意な群間差は認められなかった。両群ともに尺屈トルクが橈屈トルクよりも高いことが明らかとなった。

最後に、本研究で認められた筋厚の相対値の有意差や左右差は、剣道選手の競技特性として考えられる。また、剣道選手のトルク発揮特性として、対象群よりも全身筋量当たりのトルク値が高く、対象者群よりも高速の運動時の肘関節伸展屈曲ト

ルク発揮に優れていること、さらに対象者群よりも肘関節屈曲トルクに対して伸展トルクが相対的に高いことが明らかとなった。従って、剣道の長期間にわたるトレーニングは、上肢の筋形態の特異的な発達や、トルク発揮に影響を及ぼすであろうことが示唆された。しかしながら、このような筋形態やトルク発揮特性は、競技年数や競技レベルによって異なる可能性も十分に考えられる。また、本研究の筋形態の評価は局所的な部位にとまっているため、断面積や筋量などの評価や、竹刀を握る力、多関節運動時のトルク発揮特性についても検討する必要性が考えられる。今後は、これらの課題を解決し、剣道選手の筋形態や筋機能特性についてより詳細に追求していく。

V. 総括

本研究では剣道選手における上肢筋群の筋形態及びトルク発揮特性について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 上肢筋群の筋厚は、KGがCGよりも高い値を示す傾向が確認された。また、KGではBB及びFEで左右差が認められた。さらに、全身筋量に対する筋厚値はFEを除く全ての筋でKGがCGよりも有意に高い値を示した。
- 2) 肘関節伸展、屈曲及び手関節橈屈、尺屈トルクは、KGがCGよりも有意に高い値を示した。また、運動速度の増加に伴うトルクの低下傾向がKGとCGで異なり、KGはCGよりも比較的高い運動速度でのトルク発揮能力に優れていることが明らかとなった。肘関節屈曲トルクに対する伸展トルクの比は、KGがCGよりも高い値を示す傾向にあり、KGの伸展トルクが相対的に高いことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 恵土孝吉：剣道選手の腕伸展，屈曲パワー．武道学研究，10，125-127，1977．
- 2) 福本修二，坪井三郎：剣道の上肢作用による身体への影響．武道学研究，10-1，9-18，1977．
- 3) 林邦夫，星川保，恵土孝吉：剣道打突動作の筋電図学的研究—(1) 上肢筋群の動きについて—，3(1)，39，1970．
- 4) 林邦夫，鷺見勝博，堀山健治：全日本選手権優勝者の等速性筋出力特性．武道学研究，28(2)，46-59，1987．
- 5) 林邦夫，鷺見勝博，堀山健治：全日本選手権優勝者の体力特性—形態および最大酸素摂取量について—．武道学研究，26(2)，25-33，1993．
- 6) 井上哲郎，山本利春，蒔田実，井島章，岩切公治，山本正嘉：剣道競技者の上肢，下肢，体幹の等速性筋力；競技力および左右差との関連から．武道学研究27(1)，27-34，1994．
- 7) 石田良恵，金久博昭，福永哲夫，中村栄太郎：日本人一流競技選手の皮下脂肪厚と筋厚．J.J.SPORTS.SCI，11-9，587-596，1992．
- 8) 今野満広，田中重陽，熊川大介，青葉貴明，角田直也：剣道選手における上肢の筋出力とその活動特性：東京体育学研究2005年度報告，45-48，2006．
- 9) 三浦朗，友末亮三，池川繁樹，平野裕一，金久博昭，福永哲夫：ボート，テニス野球選手の上腕における筋力および組成の左右差．トレーニング科学，6(2)，95-100，1994．
- 10) 百鬼史訓，斉藤和男，高橋彬，黒川隆志：剣道選手の立位姿勢に関する形態学的研究．武道学研究，9-3，29-37，1976．
- 11) 松尾清孝，成澤三雄，村永信吾，関和彦：剣道の素振りにおける筋活動様式の左右差．体育学研究，43，176-184，1998．
- 12) 草間益良夫，高橋彬，進藤正雄：剣道選手の形態学的特徴と中段における足の構えとの関連性について．武道学研究，13-2，83-85，1981．
- 13) 草間益良夫，高橋彬，進藤正雄：剣道における「中段の構え」の形態学的研究．武道学研究，16-1，39-41，1984．
- 14) 太田めぐみ，金久博昭，福永哲夫：超音波法による上腕二頭筋腱コンプライアンスの計測．体力科学，Vol.53，379-390，2004．
- 15) 角田直也，金久博昭，福永哲夫，近藤正勝，池川繁樹：大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特性．体力科学，35，192-199，1986．