一流女子柔道選手の体幹背部筋群の形態的特徴

服 部 正 明* 今 泉 哲 雄** 鈴 木 直 樹***

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TRUNK MUSCLE GROUPS IN JAPANESE FEMALE ELITE JUDO ATHLETES

MASAAKI HATTORI, TETSUO IMAIZUMI and NAOKI SUZUKI

Abstract

Using three-dimensional (3D) imaging, we investigated the morphological characteristics of the M. latissimus dorsi (LD) and M. erector spinae (ES) of the dorsal trunk in judo athletes employing a computer graphics system on magnetic resonance imaging (MRI). The subjects were five healthy untrained women (HUW) without lower back pain syndrome, and five Japanese female elite judo athletes (EJA). There was no significant difference in height or weight between the HUW and EJA. Three-dimensional imaging of the LD and ES was reconstructed visually, based on MRI consecutive slice data taken from the first thoracic vertebra to the symphysis pubis along the trunk. Then the volume of the LD and ES was determined using a surface reconstruction algorithm.

The morphological characteristics of the LD in the EJA appeared to indicate enlargement compared with those in the HUW, whereas the characteristics of the ES in both groups were similar. The volume of the LD was significantly different between the HUW ($226.6 \pm 33.18 \text{ ml}$) and EJA ($438.1 \pm 107.8 \text{ ml}$), whereas that of the ES showed no difference (HUW ; $257.4 \pm 78.8 \text{ ml}$, EJA ; $284.0 \pm 74.82 \text{ ml}$). In the EJA, but not in the HUW, there was a significant positive correlation between the volume of the LD and weight, and differences were noted between the two regression slopes. There was also a positive correlation between the volume of the ES and weight in both the HUW and EJA, which showed the same simple linear regression slope. These results suggest that the muscle hypertrophy evident in the LD, but not in the ES, is related to the effects of Judo training.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1993, 42 : 485~494)

key words : Judo athletes, Trunk muscle groups, 3D imaging, Muscle volume

1. は じ め に

柔道競技では、安定した姿勢を維持し、相手との組み手争いから素早い身体の移動により相手を崩すことによって投げ技を発揮することができる。姿勢を安定させ、身体の動的な移動を効果的

にさせるには、体幹背部に位置する脊柱起立筋群の役割が重要となる^{2,10,12,16)}。柔道競技は体重制の競技種目であるために、制限させた体重内で筋量を増加させるための筋力トレーニングが行なわれている¹⁴⁾。当然、体幹筋群の形態においても何らかの影響が及んでいるものと考えられる。

*北海道東海大学教育開発研究センター
〒005 札幌市南区南沢 5 条 1 丁目 1-1

** (財) 明治生命厚生事業団体力医学研究所
〒192 東京都八王子市戸吹町150

*** 東京慈恵会医科大学医用エンジニアリング研究室
〒105 東京都港区西新橋 3-25-8

Research Institute for Higher Education Programs,
Hokkaido Tokai University, 5-1-1 Minamisawa
Minami-ku, Sapporo-shi, Hokkaido 005
Physical Fitness Research Institute, Meiji Life
Foundation of Health and Welfare, 150 Tobuki-cho,
Hachioji, Tokyo 192
Medical Engineering Research Unit., The Jikei
University School of Medicine, 3-25-8 Nishishinbashi
Minato-ku, Tokyo 105

女子スポーツ競技選手における筋の形態的特徴の評価については、超音波法を利用した体肢の局所的な単一筋横断面積⁶⁾や筋厚⁹⁾などによる報告がほとんどであり、筋全体の形態を考慮した計測からの評価はない。また、体幹部における筋の形態について検討した研究は少なく⁹⁾、女子柔道選手に関する報告はない。著者らは、MRIとコンピュータグラフィックス技術システムを利用して筋全体の形態を三次元的に再構築した視覚的情報を無侵襲的に得ると共に、筋の体積および断面積等の定量的評価を行ない、三次元的な方向の画像測定による筋の形態的な評価の必要性を検討してきた^{6,7)}。

本研究は、MRIを基にコンピュータグラフィックスを用いて一流女子柔道選手と一般成人女性の体幹背部の筋群を三次元構築すると共に、筋の体積計測を行うことにより、一流女子柔道選手の体幹筋群の形態的特徴を明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

A. 被検者

被験者は、腰痛疾患がなく、日常定期的に運動を実施していない一般成人女性5名(Healthy untrained women; HUW)と世界および日本女子柔道選手権大会入賞者5名(Elite judo athletes; EJA)であった。表1に柔道選手と一般成人女性の身体特性を示した。身長、体重とBody Mass Index (BMI)の平均値には両群の間に有意な差は認められなかった。

B. 体幹背部筋群の体積測定⁶⁾

超伝導MRI装置(日立社製MRH-500, 0.5 T)を用いて体幹部の横断面画像計測を行なった。横断面の撮影条件は、仰臥位の姿勢で第一胸椎から恥骨までを体幹の長軸方向に対してスライス幅10 mm, スライス厚10 mmのSE法(TR=370 msec, TE=17 msec)のT₁強調画像にて連続撮影を行なった。図1は、MRIより得られた胸骨、腹部、恥骨レベルの横断面画像の1例を示した。広背筋(Latissimus dorsi muscle: LD)は腹部以下の画像では観察されず、脊柱起立筋(Erctor spinae muscle: ES)は胸部および腹部の画像ではみられるが、恥骨部の画像で観察されなかった。体幹部の各横断面画像より体幹背部に位置するLDとESを抽出し、コンピュータグラフィックスを用いた三次元構築システムによりそれぞれの筋形状を三次元像構築した結果より三次元像の左側を割断処理して右側の体積計測を行なった。なお、ESは棘筋、最長筋、腸肋筋の3つの筋群からなり、それぞれをMRI上から識別することが不可能であるため3つの筋肉を合わせて抽出して体積の計測を行なった。本研究で用いた三次元構築システムによる体積計測の誤差は、画像間隔15 mmで9%以下であった⁶⁾。

平均値の差の検定および相関関係の統計処理はStatView IIを使用して行い、危険率5%未満をもって有意とした。

III. 結 果

図2は、同様な体重を示したHUW(左側)とEJA(右側)における体幹表面とその内部に位置

Table 1. Physical characteristics in healthy untrained women (HUW) and female elite judo athletes (EJA)

Group		Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
HUW (n=5)	Mean	26.2	162.1	63.6	24.1
	S. D.	1.6	7.5	18.8	7.1
EJA (n=5)	Mean	21.8	165.1	68.6	25.1
	S. D.	3.0	7.1	21.2	7.4

BMI: Body Mass Index

Fig. 1. Transverse magnetic resonance image (MRI) and schematic drawing acquired at level of the chest (A), the umbilicus (B) and the pubis (C). LD : Latissimus dorsi muscle, ES : Erector spinae group.

する LD の三次元構築像を表示したものである。体幹部表面を前頭面から2つに切断処理した後、体幹の腹側部を取り除きワイヤーフレーム像で表

注) 図2, 図3はカラー写真で493頁に掲載しています,

示し, LD はサーフェースモデル像として表示した。LD は胸郭を背後から取り囲むように位置しており, HUW の LD は中央部から下部での筋量が多いのに対し, EJA では全体に相当量の筋がついており, 著しい形態的な違いが観察された。

図3は, 図2と同様に体表面をワイヤーフレーム像, ESをサーフェースモデル像として示した. HUWとEJAの間には明確な形態的な違いは観察されなかった.

HUWとEJAのLDおよびESの体積の平均値を図4に示した. LDの体積は, HUW($226.6 \pm 33.18 \text{ ml}$)よりEJA($438.1 \pm 107.8 \text{ ml}$)で有意に高い値を示した. しかし, ESの体積においては, HUW($257.4 \pm 78.8 \text{ ml}$)とEJA($284.0 \pm 74.82 \text{ ml}$)との間に有意な差は認められなかった.

図5はHUWとEJAにおける体重とLDおよびESの体積との関係を示した. HUWでは, 体重の増加に対してLDの体積の増加は認められなかったが, EJAでは, 体重とLDの体積との間に有意な正の相関関係を示し($r=0.97$, $p<0.01$),

Fig. 4. Volume of the right LD and ES in HUW and EJA.

Fig. 5. Relationship between weight and volume of LD and of ES in HUW and EJA.

HUWとEJAとの間の直線回帰の傾きにも有意な差が認められた($p<0.05$). 一方, HUWとEJAの体重とESの体積の間では, 両群共に有意な相関関係は認められなかったが, ESの体積は体重に比例して増加する傾向にあり, EJAとHUWとの直線回帰式はほぼ同様な傾きを示していた.

IV. 考 察

著者ら^{6,7)}は, MRIを基にコンピュータグラフィックスシステムを利用して大腿部筋群を三次元構築, 任意の位置から筋肉の解剖学的な形態を実現に近い印象で観察できることや面積および体積などの定量的な評価が可能であることを報告した. そのシステムを利用してHUWとEJAにおける体幹背部のLDとESの筋肉群を三次元構築するとともに, それぞれの筋の体積計測を行ないEJAの競技特性を検討した.

LDは, 体幹背部の表層に位置しており, 第6胸椎以下から起こり斜め上方に走り, 上腕骨小結節に付着する. LDの三次元構築像からHUWとEJAの形態を観察すると, HUWに比較してEJAは筋全体に肥大が生じていることが観察され, 柔道のトレーニングがLDの形態に影響を与えていることが示唆された. また, EJAにおけるLDの体積は $438.1 \pm 107.8 \text{ ml}$ であり, HUWの $226.6 \pm 33.18 \text{ ml}$ に比較して有意に大きな値を示しており, 三次元構築像より観察したものの同様にEJAのLDに筋肥大が生じていることが明らかであ

る。

Beneke et al.¹¹⁾ は、同一死体の大腿末端部と中央部における筋横断面積の比較を MRI と解剖学的切片の写真像との間で行ない MRI の有用性を検討した。その差は、スライス位置と各筋肉により 0~9.5% の範囲にあり、MRI が筋量を測定するための安定した測定方法であることを示している。Veeger et al.¹⁸⁾ および Wood et al.¹⁹⁾ が報告した死体体幹部の直接測定から得た LD の体積値は、339.2 ml および 226.1 ml であり、MRI より得た本研究における HUW の体積とはほぼ一致した値を示している。

Nygaard and Nielsen¹³⁾ は持久能力のすぐれた水泳選手の LD では、ST 線維の割合が多いが、筋肥大を示さないことを報告している。一方、柔道競技選手においては、最大酸素摂取能力^{11,17)} や嫌気性代謝閾値⁵⁾ などの有酸素能力は一般人とはほぼ同じ程度であり、主に筋力やスピードを重視したパワートレーニングが行なわれている¹⁴⁾。Thorstensson¹⁵⁾ は 8 週間の筋力トレーニングを実施した結果、静的および動的筋力が改善されたが FT 線維と ST 線維との分布状態には変化がなく、FT/ST 線維面積比が増加することから FT 線維が優先的に活動することにより、FT 線維に選択的な肥大が生じることを報告している。また、無酸素的な能力の高い運動種目では筋と骨を含めた体積が大きな値を示すこと⁴⁾などを考慮すれば、EJA における LD の体積が HUW に比べて有意に増大していることは、無酸素的な代謝活動を必要とするような柔道の競技特性および筋力トレーニングなどが LD の FT 線維の選択的な肥大を引き起こしたものと考えられる。

福永³⁾ は無酸素的な運動種目である体重制競技選手の四肢における筋横断面積と体重との関係について、体重 90 kg まで筋横断面積は増加するがそれ以上になると筋横断面積ではなく皮下脂肪の増加が著しくなり、筋量の増大は期待できないとしている。本研究の EJA における LD の体積は体重に比例して増加しており、体重 100 kg まで体積の増加が認められた。しかしながら、HUW では、体重に関係なくほぼ一定の体積値を示し、

両群の間の直線回帰における傾きに有意な差が認められた。これは LD が上腕の内転や挙上からの引き下げなどの動作に作用する機能を持っており、日常生活ではこのような動作に負荷を加える活動があまりないのに対して、体重制をとる柔道競技では、ほぼ同じ体重を相手として腕を使って押したり、倒したりあるいは投げたりといったパワー的な動作が練習および試合などで頻繁に繰り返し行なわれることや最大筋力に近い負荷強度で筋力トレーニングあるいはパワートレーニングなどが実施されている¹⁴⁾ことから LD の体積が体重に比例した増加を示していたものと考えられる。従って、EJA のトレーニングによって生じた LD の肥大が、競技能力を左右する一つの重要な体力的要素となっているものと思われる。

ES は、棘筋、最長筋、腸肋筋の 3 つの筋からなる伸筋群で姿勢を維持する抗重力筋であり、脊柱全体に及んでいる。ES の三次元構築像の観察から HUW と EJA との間には顕著な形態的な違いは見られなかった。また、ES の体積においても HUW と EJA との間に有意な差が認められず、両者の体積は体重に比例してほぼ同様な増加を示していた。ヒトが直立位から姿勢をわずかに前方に傾けるだけで、体幹背部にある筋群に体幹の質量以上の牽引力が必要となる。ES の活動は体幹部の屈曲だけでなく、伸展および回転などの動きに際して認められる^{10,12)}。また、歩行や走行など動的な運動の際には、上半身の横揺れや前後方向の動きを防ぐなど体幹の過度な動きを抑制するのに重要な役割を果たしている¹⁶⁾。Chapman and Troup²⁾ は、背筋に負荷が加わるような静的筋力トレーニング前後では筋力と脊柱起立筋からの EMG の積分値との関係に変化が見られなかったことから、脊柱起立筋の筋力の増加は筋線維の肥大ではなく運動単位の活動が増加したためであると考察している。柔道競技は、相手からの予期しない前後左右への不規則な強い攻撃を受け、上半身を固定して重心の動きを最小限にするためには安定した姿勢を保持しなくてはならない。さらに、素早い身体の移動により相手を崩し、投げ技を発揮するには体幹筋群の活動が重要な役割を担うこ

となる。従って, LD と同様に ES も頻繁に活動するものと思われる。しかしながら, EJA と特別なトレーニングを実施していない HUW との間には, ES の形態的な差がまったく認められなかった。このことは, 競技特性およびそのトレーニング効果による ES への影響は, LD で示した筋肥大による形態変化とは異なり, 運動単位の活動参加の増加による神経系の改善が筋力の増加を引き起こしているとした Chapman and Troup²⁾の結果を支持するものと考えられる。ES の筋量の発達は, LD とは異なりトレーニングの影響よりむしろ体重の大きさに強く依存しているものと思われる。

V. ま と め

柔道選手の体幹背部筋群の形態的特徴を明らかにするために, 磁気共鳴画像(MRI)に基づきコンピュータグラフィックスシステムによって広背筋(LD)および脊柱起立筋(ES)を三次元構築するとともに, 体積計測を行なった。被験者は健康な非鍛練女性(HUW)と日本の一流女子柔道選手(EJA)であった。

LD の三次元構築像から見た形態は, EJA が HUW に比較して筋肥大していることが観察されるのに対して, ES の三次元構築像は, EJA と HUW の間の形態的な違いは観察されなかった。

LD の体積は, HUW ($226.6 \pm 33.18 \text{ ml}$) と EJA ($438.1 \pm 107.8 \text{ ml}$) との間には有意な差が認められた。ES の体積においては, HUW ($257.4 \pm 78.8 \text{ ml}$) と EJA ($284.0 \pm 74.82 \text{ ml}$) との間には有意な差は認められなかった。

HUW と EJA における体重と LD の体積との間の関係は, EJA では体重と LD の体積との間に有意な正の相関が認められたが, HUW では相関はなく, 体重の増加に関係なくほぼ一定の値を示していた。また, 両グループの直線回帰の傾きに差が認められた。体重と ES の体積の関係においては, HUW と EJA とともに正の相関があり, 直線回帰もほぼ同様であった。

以上の結果から柔道におけるトレーニングが LD を肥大させるのに対して, ES では肥大を生

じないことが明らかとなった。

(受付 平成 5 年 4 月 5 日)

参 考 文 献

- 1) Beneke, R., Neuerburg, J. and Bohndorf, K. (1991): Muscle cross-sectional measurement by magnetic resonance imaging. *Eur. J. Appl. Physiol.* **63**, 424-429.
- 2) Chapman, A. E. and Troup, J. D. G. (1969): The effect of increased maximal strength on the integrated electrical activity of lumbar electores spinae. *Electromyography*, **9**, 263-280.
- 3) 福永哲夫(1985): 肥満とスポーツ. *Jpn. J. Sports Sci.* **5**, 790-794.
- 4) Grassi, B., Cerretelli, M., Narici, M. V., and Marconi, C. (1991): Peak anaerobic power in master athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **62**, 394-399.
- 5) 長谷弘記, 中村良一, 海老根東雄, 赤池 真, 露木和男, 米田一平(1990): オリンピック候補柔道選手における運動生理学的特徴と臨床検査所見. *体力科学*, **39**, 341-349.
- 6) 服部正明, 池田道明, 鈴木直樹(1990): コンピュータグラフィックスを用いた大腿部筋群の三次元構築. *体力科学*, **39**, 331-340.
- 7) 服部正明, 鈴木直樹(1992): MRI を基にした三次元構築像より得られた大腿部筋群の形態的差異. *体力科学*, **41**, 273-275.
- 8) 石田良恵, 金久博昭, 福永哲夫, 西山一行(1989): 長距離ランナーにおける身体組成, 体肢組成および皮下脂肪の特徴. *体力科学*, **36**, 18-24.
- 9) 石田良恵, 金久博昭, 福永哲夫(1992): 日本人一流競技選手の筋厚における性差. *体力科学*, **41**, 233-240.
- 10) Jonsson, B. (1970): The function of individual muscles in the lumbar part of the spinae muscle. *Electromyography*, **10**, 5-21.
- 11) Kumagai, S., Nishizumi, M. and Kondo, Y. (1988): Reevaluation of contribution of physical fitness, body weight, and different sports activity to resting blood pressure in young men. *Int. J. Sports Med.* **9**, 334-337.
- 12) Morris, J. M., Benner, G. and Lucas, D. B. (1962):

- An electromyographic study of the intrinsic muscles of the back in man. *J. Anat.* **96**, 509-520.
- 13) Nygaard, E. and Nielsen, E. (1978) : Skeletal muscle fiber capillarization with extreme endurance training in man. *Swimming Med.* **4**, 282-293.
- 14) 柴田規与志, 金久博昭 (1989) : 競技力向上のスポーツ科学 I, 初版, 柔道選手における筋力トレーニングの効果. 朝倉書店, 東京, 190-196.
- 15) Trorstenesson, A. (1976) : Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* **443**, 31-32.
- 16) Thorstenesson, A., Carlson, H., Zomlefer, M. R. and Nilsson, J. (1982) : Lumbar back muscle activity in relation to trunk movements during locomotion in man. *Acta Physiol. Scand.* **116**, 13-20.
- 17) Tsopanakis, C., Kotsarellis, D. and Tsopanakis, A. (1986) : Lipoprotein and lipid profiles of elite athletes in olympic sports. *Int. J. Sports Med.* **7**, 316-321.
- 18) Veeger, H. E. J., Van Der Helm, F. C. T., Van Der Helm, L. H. V., Pronk, G. M. and Rozendal, R. H. (1991) : Inertia and muscle contraction parameters for musculoskeletal modelling of the shoulder mechanism. *J. Biomechanics* **24**, 615-629.
- 19) Wood, J. E., Meek, S. G. and Jacobsen, S. C. (1989) : Quantification of human shoulder anatomy for prosthetic arm control-I. Surface modeling. *J. Biomechanics* **22**, 273-292.

HUW

EJA

Fig. 2. Wireframe model image of body surface and surface model image of M. latissimus dorsi (LD) in healthy untrained women (HUW) and female elite judo athlete (EJA).

HUW

EJA

Fig. 3. Wireframe model image of body surface and surface model image of M. erector spinae (ES) in HUW and EJA.