

## 体幹部骨格筋量における競技者と非競技者との差

### Difference between athletes and non-athletes in trunk skeletal muscle volume

田 中 憲 子\*, 角 田 直 也\*\*

Noriko TANAKA\* and Naoya TSUNODA\*\*

#### I. は じ め に

骨格筋の量は関節トルクに代表される力発揮能力の主な決定要因である<sup>5)</sup>。そのなかで、体幹部における骨格筋量は、全身のその約40%を有し<sup>3) 16)</sup>、日常生活やスポーツ活動における様々な動作の遂行、ならびに姿勢の保持に重要な役割を担うこと<sup>10) 12)</sup>、また、腰痛の発生リスクと関連することなどが指摘されている<sup>4)</sup>。しかしながら、体幹部の骨格筋におけるトレーナビリティについては不明な点が多い。

現在までのところ、四肢に関しては、競技者と非競技者との骨格筋分布の差<sup>6)</sup>や、競技能力と筋量との関連が検討されている<sup>5)</sup>。しかしながら、体幹における骨格筋の分布に関しては、Abe et al. (2003) や Tanaka et al. (2007) による報告がなされているものの、十分な知見が得られているとはいえない。Abe et al. (2003) では16週間のレジスタンストレーニングが体幹骨格筋の分布に及ぼす効果が検討されているが、対象としている被検者数が3名と少ない。Tanaka et al. (2007) では、体幹長10%ごとの骨格筋横断面積を検討しており、体幹骨格筋の分布差を把握するうえで妥当な手法を採用しているものの、競技者と非競技

者との間にみられる体幹部骨格筋の量や分布の差については未検討であった。

上肢と下肢とを連結している体幹部の骨格筋は、四肢を対象とした運動においても動員が認められる<sup>10) 15)</sup>。また、体幹部は四肢よりも多くの骨格筋量を有する<sup>3) 16)</sup>ことから、四肢と同様あるいはそれ以上に、トレーニングに伴い骨格筋量が増え、実際の競技能力にも関与していると予想される。そこで本研究では、競技者と非競技者における体幹部骨格筋の量および分布を検討することで、長期的なトレーニングが体幹骨格筋量に及ぼす影響を検討した。

#### II. 方 法

##### (1) 被検者

大学陸上競技部において投擲種目を専門とする18~22歳の競技者19名(砲丸投げ4名、槍投げ7名、円盤投げ8名)、ならびに21~34歳の非競技者18名が本研究に参加した。被検者は、本研究の目的や方法などの説明を受けた上で、本人の意志により測定に参加した。競技者は、測定前1年間において、地方もしくは全国大会レベルの競技会に参加していた。競技者を対照とするデータ

\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科助手 (Assistant of Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Department of Sports System, Kokushikan University)

の採取はシーズン前のトレーニング期に実施した。被検者の身体的特徴を Table. 1 に示した。

## (2) 体幹部骨格筋量の測定

MRI 診断装置（日立 MR イメージング装置 AIRIS；日立メディコ社製、JAPAN）を用いて、全身の T1 強調スピンエコー像を、スライス厚 10mm、スライス間隔 20mm で撮像した。撮影条件は、FOV350、TR200、TE20 であった。画像は  $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$  を  $256 \times 256$  のピクセルに表示した。測定は部分用コイルを用いて行った。被検者には測定 4 時間前からの絶食を指示した。測定中、被検者には仰臥位をとらせ、リラックスするよう指示した。体幹部の測定は 1 回の撮像では画像化が困難であったため、2～3 回に分けて取得した。その際、脂肪を含有したカプセル剤を測定区間の下端に貼り付け、次の撮像のためのマーカーとして用いた。胸部ならびに腹部をスキャンする際は、最大吸気後に数回の 20 秒間程度の息止めを指示し、呼吸によるアーチファクトが画像に及ぼす影響を軽減した。得られた横断画像のうち、肩峰から大転子までの区間を体幹と定義した<sup>2)</sup>。各画像をフィルムに現像した後、その区間における骨格筋、内臓組織、骨、皮下脂肪、その他組織（血管、神経、筋内脂肪）の境界をトレースし、画像解析ソフト（Osiris）を用いて各組織の横断面積を算出した。さらに、体幹部の各計測部位にお

ける横断面積の総和にスライス間隔を乗じることにより、各組織（骨格筋、内臓組織、骨、皮下脂肪、その他組織）の体積を算出した。なお本研究では、この手法により算出した骨格筋体積を骨格筋量の指標として採用した。

## (5) 統計処理

全ての測定値を平均値と標準偏差（SD）によって表した。競技者と非競技者の体幹における各組織体積の差を Student's paired t-test により比較した。また、競技者と非競技者における体幹長 10% ごとの骨格筋横断面積（CSA）の差を二元配置分散分析ならびに Scheffe による多重比較検定により比較した。いずれの場合も、有意水準は危険率 5% 未満とした。

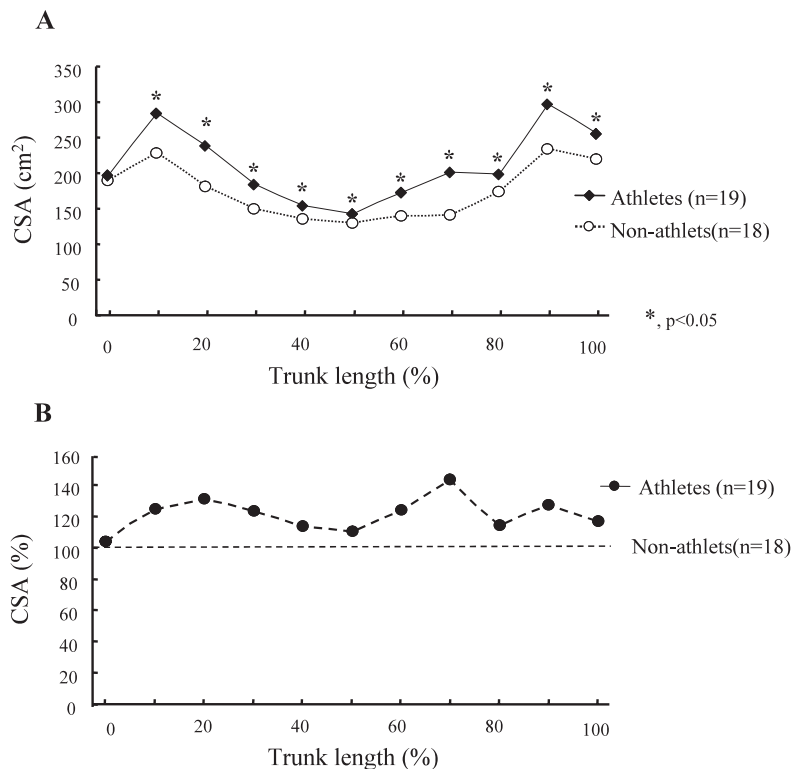


Figure. 1 The distribution of the skeletal muscle cross-sectional area in the trunk. (A) is the comparison between athletes (black quarries) and non-athletes (open circles). \*,  $p < 0.05$  (B) represents the percentage of the athletes' cross-sectional areas for those of non-athletes.

### Ⅲ. 結 果

被検者の身体的特徴を Table.1 に示した。競技者の体重、体格指数および体幹長は、非競技者のそれらよりも有意に高値を示した。MRI 法により測定した体幹部における各組織体積の絶対値を Table.2 に示した。骨格筋、皮下脂肪、および腹腔内の各組織体積は、競技者が非競技者より有意に高い値を示した。一方、各組織の体積を体重で除した結果、骨格筋および腹腔内の各組織体積は

競技者が非競技者より有意に高値を示したのに対し、骨は、非競技者の方が競技者より有意に高値を示した (Table.3)。また、体重当たりの皮下脂肪体積は、競技者が非競技者より高い値を示す傾向が認められた ( $p=0.06$ )。

体幹長 10% ごとの各位置における骨格筋 CSA を Figure.1 A に示した。両群とも体幹長 50% 位置における CSA が最も低値を示し、体幹長 90% 位置における CSA が最も高値を示した。両群の骨格筋 CSA を比較した結果、体幹長 0% 位置を除

Table.1 Descriptive data on physical characteristics of subjects.

Variables	athletes (n=19)				non-athletes (n=18)			
	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Age (yrs)	19.9*	1.1	22.0	18.0	25.1	9.3	34.0	19.0
Height (cm)	177.0	6.8	186.9	164.9	176.1	5.1	183.2	162.7
BW (kg)	91.1*	15.7	120.0	68.0	73.4	7.1	84.9	60.9
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	29.2*	5.5	43.4	20.8	23.7	2.3	28.3	20.2
Trunk length (cm)	63.8*	2.9	70.0	58.0	59.9	3.2	66.0	54.0

BW; body weight, BMI; body mass index; LBM; lean body mass, Vmuscle; skeletal muscle volume in the trunk

\* denotes that the mean value is significantly different from that for CON at  $p<0.05$ .

Table 2 Absolute value of each tissue volume measured by MRI.

Variables	athletes (n=19)				non-athletes (n=18)			
	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Tissue volume (cm <sup>3</sup> )								
skeletal muscle	14541.7*	1987.3	19297.9	11437.4	10624.2	1205.0	12310.7	8165.8
subcutaneous fat	3954.6*	1606.2	6257.2	1009.2	3885.2	1826.6	6257.2	1009.2
visceral	13237.5*	2797.8	18419.8	9910.0	8896.2	932.0	10255.7	7266.3
bone	1839.4	211.7	2139.6	1485.6	1785.7	261.6	2194.7	1399.7
other	2447.2	286.9	2805.8	1938.3	2491.5	316.4	3275.2	2051.5

\* denotes that the mean value is significantly different from that for non-athletes at  $p<0.05$ .

Table 3 The ratio of each tissue volume measured by MRI to body weight (BW).

Variables	athletes (n=19)				non-athletes (n=18)			
	Mean	SD	Max	Min	Mean	SD	Max	Min
Tissue volume /BW (cm <sup>3</sup> /kg)								
skeletal muscle	161.2*	15.1	199.6	134.8	146.0	11.9	160.6	123.5
subcutaneous fat	76.7	38.9	147.7	38.4	53.0	25.3	84.3	16.6
visceral	152.3*	16.0	165.4	127.5	122.2	8.8	134.7	104.9
bone	21.4*	2.5	24.5	17.2	24.6	3.3	29.5	19.0
other	35.4	9.2	53.7	25.7	34.2	2.6	46.1	30.8

\* denotes that the mean value is significantly different from that for non-athletes at  $p<0.05$ .

き、競技者が非競技者よりも有意に高い値を示した (Figure. 1 A)。一方、各位置における非競技者の骨格筋 CSA を 100% とした場合に、競技者の値は 109% (体幹長 0% 位置) ~ 151% (体幹長 70% 位置) の範囲にあった (Figure. 1 B)。

#### IV. 考 察

本研究により、体重の差を調整したとしても、競技者は非競技者よりも有意に多くの体幹骨格筋体積を有することが明らかとなった。また、競技者の骨格筋 CSA は、非競技者のそれよりも、体幹長 10~100% の広い範囲において有意に高値を示した。一般に、トレーニングに伴い、四肢における骨格筋 CSA は長軸に対して 50% 付近<sup>2) 9)</sup>、もしくは最大 CSA<sup>7)</sup> を示す位置において肥大する。本研究の結果は、体幹では長軸全体を通して骨格筋の肥大が生じることを示唆している。

Abe et al. (2003) は、16 週間のレジスタンストレーニングに伴う増加率は、脂肪量よりも骨格筋量の方が高いことを報告した。Abe et al. (2003) の測定対象は全身であり、トレーニングに伴う各組織量の縦断的变化を観察していること、被検者の体格指数が異なることなどから、本研究の結果を Abe et al. (2003) のそれと直接比較することはできない。しかしながら、一般に、体重は除脂肪体重有意な相関を示す<sup>14)</sup>。さらに、除脂肪体重は骨格筋量とも有意な相関を示す<sup>1)</sup> ことから、本研究と Abe et al. (2003) の被検者の体重差を調整した場合に、同様の全身骨格筋体積を示す可能性が高い。すなわち、本研究の結果において、競技者の体重当たりの骨格筋体積が非競技者よりも有意に高い値を示し、脂肪には有意な群間差が認められなかったことは、レジスタンストレーニングに伴い全身の脂肪量よりも骨格筋量の方が増加しやすいという Abe et al. (2003) の報告を指示するものであるといえる。一方、骨格筋と同様に、体重当たりの腹腔内組織体積においても有意な群間差が認められたことは、本研究によ

って得られた新たな知見である。Kondo et al. (1994) は、除脂肪体重が 80kg 以上の個人においては、四肢よりも体幹部における除脂肪量の増加が顕著となる可能性を示した。現在までのところ、レジスタンストレーニングに伴う内臓組織量およびその他組織量の変化は不明である<sup>1)</sup> が、本研究において、競技者の体重当たりの腹腔内組織体積が非競技者のそれよりも有意に高値を示したのは、本研究の被検者の除脂肪体重が 80kg 以上に達しており、体幹部における除脂肪量、すなわち骨格筋や腹腔内組織の体積の増加が非競技者に比べ顕著であったことに起因するものと考えられる。実際に、体幹部の骨格筋体積と腹腔内組織体積との関係を検討したところ、除脂肪体重が 80kg 以上である競技者群では有意な相関 ( $r=0.834$ ,  $p<0.05$ ) を示したのに対し、非競技者では有意な相関は認められなかった ( $r=0.472$ ,  $p=0.05$ )。腹腔内組織の蓄積が競技パフォーマンスに及ぼす影響は明らかではない。しかしながら、本研究の被検者において、身長には有意な群間差がないものの、体幹長では競技者が非競技者に比べ有意に高い値を示したことは、競技における体幹部の重要性を間接的に指示するものかもしれない。また、近年、内臓組織量の増加は、競技者の代謝促進を保持するために必要であるとの見解もなされている<sup>13)</sup>。いずれにしても、本研究ではトレーニングに伴う腹腔内組織体積の横断的な変化に関するデータを取得していない。また、本研究における腹腔内組織体積は、内臓組織と内臓脂肪の体積とを合算したものであり、それぞれの体積を算出したものではない。競技パフォーマンスの向上における腹腔内組織体積の重要性については、今後さらなる検討が必要である。

先行研究では、トレーニングが全身の骨格筋分布に及ぼす影響について、同様の身長を示す 3 名の被検者のデータのみを用いて検討していた<sup>1)</sup>。一方、本研究では、体幹長 10% ごとの骨格筋 CSA を算出することで、体幹部骨格筋にみられるトレーニング効果について、先行研究よりも詳

細な検討が可能となった。本研究の結果における体幹部骨格筋 CSA の分布は、Abe et al. (2003) とほぼ同様に、肩関節付近、胸部および臀部における骨格筋 CSA が、他の位置のそれよりも高い値を示すものであった。一方、体幹長 70% 位置の骨格筋 CSA において、競技者と非競技者との間にみられる差が顕著となることは、新たな知見である。体幹長 70% 位置、すなわち腸骨稜よりわずかに下部では、競技者群の大半の被験者において、腹斜筋群（内・外腹斜筋および腹横筋）CSA が最大値を示した。本研究の被検者は陸上競技投擲種目を専門としており、競技の実施にあたり、体幹を回旋する機会が多いといえる。Kumar et al. (1996) によると、体幹の回旋は、回旋の方向と反対側に位置する外腹斜筋および広背筋によって遂行される。本研究において、競技者と非競技者との間にみられる骨格筋 CSA の差が体幹長 70% 位置で最大となったのは、競技者における腹斜筋群が特異的に発達していたためであると示唆される。

## V. ま と め

本研究では、長期的なトレーニングが競技者の体幹部骨格筋体積に及ぼす影響を検討した。その結果、体重の差を調整したとしても、競技者は非競技者よりも有意に多くの体幹部骨格筋体積を有することが明らかとなった。また、競技者における体幹部骨格筋 CSA は、非競技者のそれよりも、体幹長 10~100% の範囲において有意に高値を示し、なかでも体幹長 70% 位置においてその差が顕著となることが明らかとなった。

## 引用文献

- 1) Abe T, Kojima K, Kearns CF, Yohena H, Fukuda J. Whole body muscle hypertrophy from resistance training: distribution and total mass. *Br J Sports Med* 37:543-545, 2007.
- 2) Baumgartner RN, Rhyne RL, Troup C, Wayne S, Garry PJ. Appendicular skeletal muscle areas assessed by magnetic resonance imaging in older persons. *J Gerontol* 47:M67-M72, 1992.
- 3) Baumgartner RN, Ross R, Heymsfield SB : Does adipose tissue influence bioelectric impedance in obese men and women? *J Appl Physiol* 84: 257-262, 1998.
- 4) Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, Witvrouw EE, De Cuyper HJ: CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects. *Eur Spine J* 9: 266-272, 2000.
- 5) Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H. Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 172:249-255, 2001.
- 6) Kanehisa H, Fukunaga T. Profiles of musculoskeletal development in limbs of college Olympic weightlifters and wrestlers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 79:414-420, 1999.
- 7) Kent-Braun JA, Ng AV, Young K. Skeletal muscle contractile and noncontractile components in young and older women and men. *J Appl Physiol* 88:662-668, 2000.
- 8) Kondo M, Abe T, Ikegawa S, Kawakami Y, Fukunaga T (1994) Upper limit of fat-free mass in humans: a study on Japanese sumo wrestlers. *Am J Hum Biol* 6:613-618.
- 9) Kongsgaard M, Backer V, Jørgensen K, Kjaer M, Beyer N. Heavy resistance training increases muscle size, strength and physical function in elderly male COPD-patients—a pilot study. *Respir Med* 98:1000-1007, 2004.
- 10) Krebs DE, Wong D, Jevsevar D, Riley PO, Hodge WA: Trunk kinematics during locomotor activities. *Phys Ther* 72:505-514, 1992.
- 11) Kumar S, Narayan Y, Zedka M. An electromyographic study of unresisted trunk rotation with normal velocity among healthy subjects. *Spine* 1; 21:1500-1512, 1996.
- 12) MacKinnon CD, Winter DA: Control of whole body balance in the frontal plane during human walking. *J Biomech* 26:633-644, 1993.
- 13) Midorikawa T, Kondo M, Beekley MD, Koizumi K, Abe T. High REE in Sumo wrestlers attributed to large organ-tissue mass. *Med Sci Sports Exerc* 39:688-693, 2007.
- 14) Mingrone G, Marino S, DeGaetano A, Capristo E, Heymsfield SB, Gasbarrini G, Greco AV. Different limit to the body's ability of increasing fat-free mass. *Metabolism* 50:1004-1007, 2001
- 15) Sakurai S, Miyashita M (1985) Mechanical energy

- changes during treadmill running. Med Sci Sports Exerc 17:148-152.
- 16) Tanaka NI, Miyatani M, Masuo Y, Fukunaga T, Kanehisa H. "Applicability of a segmental bioelectrical impedance analysis for predicting the whole body skeletal muscle volume. J Appl Physiol 103:1688-1695, 2007.