

中学生運動能力テスト優秀者の筋特性に関する研究 — 性差に着目して —

勝田 茂・藤本浩一*・秋間 広**・久野譜也***
西嶋尚彦・高井省三
板井悠二****野田洋平*****

Investigation on gender differences of muscle characteristics in junior high school boys and girls with excellent score in motor ability test.

KATSUTA Shigeru, FUJIMOTO Koichi*, AKIMA Hiroshi**
KUNO Shin-ya***, NISHIJIMA Takahiko, TAKAI Shozo,
ITAI Yuji**** and NODA Yohei*****

Six boys (age : 13.7 ± 0.1) and nine girls (age : 13.6 ± 0.2) with excellent score in motor ability test were participated in this study. These boys and girls were selected by the results of motor ability test of which the original population were approximately forty thousands. Muscle cross-sectional area of femur was determined with Magnetic Resonance Imaging (MRI). From proximal to distal of femoral, 14 axial images in MRI were subsequently taken at a same interval of distance toward the knee. An isokinetic machine was used to measure the isokinetic muscle strength of knee extension and flexion at five different angular velocities (30, 60, 180, 300, 450deg/sec). Maximal anaerobic power test and 40-sec maximal cycling test were performed using an electricalbraked bicycle ergometer. In each test, the load was adjusted relative to body weight. Muscle cross-sectional areas of femur were significantly larger in boys than in girls. Boys showed greater isokinetic peak torque at higher angular velocity in knee extension and at all velocities in flexion than those of girls. Anaerobic power (Maximal anaerobic power and 40-sec maximal cycling test) was significantly greater in boys than in girls. Because of no significant differences between both sexes in isokinetic peak torque and anaerobic power of per unit muscle area, we concluded that the differences in performances of these tests might be due to the differences in muscle volume.

Key words : Motor ability, Puberty, MRI, Gender difference, Muscle characteristics.

* 筑波大学体育研究科	Mater's Program in Health and Physical Education, University of Tsukuba
** 筑波大学体育科学研究科	Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
*** 東京大学教養学部	College of Arts and Science, University of Tokyo
**** 筑波大学臨床医学系	Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba
***** 茨城大学教育学部	Faculty of Education, Ibaraki University

緒 言

茨城県は文部省運動能力テストについて、県下の全ての中学生を対象として全数調査を行っている数少ない県である。そこで、このテスト結果をもとにすれば男女それぞれ約2万人の母集団の中から運動能力の優秀である子どもを探し出すことが可能となる。この年代で高い運動能力を持っている子どもがどのような筋の形態や筋力の特徴を持っているのか、スポーツタレントの発掘法という観点からも興味深い。これまで、子どもについてなされた多くの研究は、一般的な子どもを対象として筋横断面積³⁾、等速性脚筋力⁶⁾、無氣的パワー^{4,7)}等を検討した報告がほとんどであった。しかし運動能力の高い子どもについて検討した報告はわれわれの知る限り見られず、筋特性に関してはほとんど明らかにされていないのが現状である。また思春期の子ども、とくに中学生は性差が著しくなる時期であり、その筋特性に関しても性差の存在することが十分に予想される。

そこで本研究では、高水準の選択によって抽出された高い運動能力を有する思春期の子どもにおける筋特性を明らかにするために、大腿部の筋横断面積、等速性脚筋力、無酸素的パワー、骨年齢

を測定し、性差の観点より検討することを目的とした。

方 法

A. 被検者

被検者には茨城県在住の中学1年生男子19,422名、女子18,892名の中で、運動能力テストが優秀であった男子2級獲得者9名(男子1級不在のため)、女子1級獲得者12名に対し、本実験の趣旨及び方法等を被検者とその父母に説明した後、同意の得られた男子6名、女子9名を用いた。被検者の身体特性を Table 1 に、スポーツテストの結果を Table 2 に示した。

B. 大腿部横断面積

MRI (Magnetic Resonance Imaging ; 磁気共鳴映像法)により右脚大腿部の横断面積を測定した。MRIの測定には筑波大学附属病院に設置されている超電導MR装置 (Signa 1.5T ; General Electric 社製)を用いた。測定に際して、あらかじめ大腿部の縦断像を撮影した後、脛骨頭の外側顆間結節から大転子までを同定し、この距離の70%部位を大腿上部 (proximal), 50%部位を大腿中央

Table 1 Physical characteristics of subjects.

	boys(n=6)	boy's standards※	girls(n=9)	girl's standards※
Age(years)	13.7±0.1	13	13.6±0.2	13
Height(cm)	164.5±5.2	158.3	160.5±4.6	154.5
Weight(kg)	55.7±5.3* †	47.7	50.3±4.8	46.6
%fat	13.5±2.4**	20.8	14.6±1.0**	26.6
LBM(kg)	48.2±3.7** †	37.8	41.7±4.8**	34.2
Upper limb length(cm)	71.2±3.3	68.8	69.7±3.9*	67.0
Lower limb length(cm)	82.8±2.4	83.6	77.2±7.3	80.9
Finger reach span(cm)	163.4±6.8	158.0	155.1±4.9	153.7
Skinfolds				
Back(mm)	7.2±1.9**	12.5	7.5±1.1**	14.6
Arm(mm)	7.1±2.1**	13.1	10.3±1.1** † †	17.2
Chest girth(cm)	83.5±3.1** † †	76.3	75.1±2.4	77.3
- Right -				
Upper arm girth(cm)	24.2±0.7** † †	23.1	22.3±1.3	23.1
Fore arm girth(cm)	24.7±0.5** † †	21.9	22.7±0.9**	21.3
Thigh girth(cm)	51.0±1.8**	45.8	50.0±2.8*	48.0
Lower leg girth(cm)	34.7±1.2**	31.7	34.3±2.1**	32.0

※based on data from Physical Fitness Standards of Japanese People¹⁾

boys vs. boy's standards, girls vs. girl's standards (* P<0.05, **P<0.01)

boys vs. girls († P<0.05, † † P<0.01)

The values are means±SD.

Table 2 Sports test results of subjects.

test battery		boys(n=6)	boy's standard※	girls(n=9)	girl's standard※
50m run	(sec)	6.8±0.1** † †	8.0	7.7±0.3**	8.7
Long jump	(m)	462.3±16.3** † †	384.6	398.0±13.3**	318.2
Ball throw	(m)	35.0±4.8** † †	22.3	23.7±2.3**	15.3
Pull-ups	(times)	12.3±2.9**	4.5	—	—
Modified pull-ups	(times)	—	—	56.9±14.4**	30.1
1500m run	(sec)	301.7±16.8**	379.6	—	—
1000m run	(sec)	—	—	203.9±27.9**	278.2
Side step	(point)	48.0±4.1**	41.9	44.6±3.1*	42.4
Vertical jump	(cm)	63.8±2.3** † †	48.3	54.6±5.2**	41.3
Back strength	(kg)	136.0±13.7** † †	94.0	84.1±11.1**	73.2
Grip strength	(kg)	41.0±5.6** † †	29.8	27.3±4.6**	24.8
Trunk extension	(cm)	57.0±5.8*	51.1	57.3±5.0*	53.6
Standing trunk flexion	(cm)	13.3±3.3*	10.0	12.9±6.0	13.1
Step test	(point)	79.1±10.8*	68.7	80.5±11.9**	64.7

※based on data from Physical Fitness Standards of Japanese People¹¹⁾ The values are means±SD.
 boys vs. boy's standards, girls vs. girl's standards (* P<0.05, **P<0.01)
 boys vs. girls († P<0.05, † † P<0.01)

部 (middle), 30%部位を大腿下部 (distal) とした。横断像は先に決定した大腿上部からスライス厚(1枚の横断像を作るための生体の厚さ)10mm, スライス間隔12mm, 繰り返し時間 (TR) 900msec, エコー時間 (TE) 20msec で遠位方向に14枚撮影した。その画像より, 50%部位, 30%部位にもっとも近いスライスを, それぞれの部位の横断面積とした。測定の際, 被検者は右脚膝関節の完全伸展を保持し, さらに殿部に特製の台を用いることにより横断面積に影響を及ぼさないような配慮がなされた。得られた画像より, 分析が可能なスライスまで横断面積の分析を行った。分析項目は全横断面積 (筋, 脂肪および骨を含んだ横断面積: cross-sectional area: CSA), 筋横断面積 (筋のみの横断面積: muscle cross sectional area: M-CSA) および, 外側広筋 (vastus lateralis: VL), 大腿直筋 (rectus femoris: RF), 内側+中間広筋 (vastus medialis: VM + vastus intermedius: VI), ハムストリング (hamstrings: HAM), 内転筋群 (adductor muscles: ADM), 脂肪 (FAT) の各横断面積とした。なお, 内側広筋と中間広筋は画像上で分離不可能なため, 両筋をあわせて測定した。

C. 等速性脚筋力

等速性筋力測定器 (Biodex; Biodex社製) を用い右脚の膝関節伸展時および屈曲時の等速性最大筋力 (isokinetic peak torque) を測定した。測定に際し, 被検者は所定の台に椅座位となり膝関節を90度に屈曲した状態から最大努力による膝伸展及び屈曲を行った。用いた角速度は30, 60, 180, 300, 450 deg/sec であり30, 60, 180 deg/sec に関しては試行回数3回, 300, 450 deg/sec に関しては試行回数5回とし, その試行中の最も高かった peak torque をその速度における代表値とした。

D. 骨年齢

被検者の左腕手掌部をレントゲン撮影し, それをもとに Tanner & Whitehouse による TW 2 法の 20-bone スコア¹⁰⁾ を用いて骨成熟度を評価した。

E. 無酸素的パワー (最大無酸素パワー及び40秒パワー)

被検者中男子3名, 女子6名については最大無酸素パワーおよび40秒パワーの測定を行った。測定は電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター (パワーマックス V; コンビ社製) を用いた。最大無

酸素パワーの測定は中村ら⁹⁾の方法を用い、40秒パワーは、各被検者の体重の7.5%を運動負荷とし、40秒間全力で駆動させた。その評価には運動開始後30秒～40秒に発揮された平均パワーを用いた⁸⁾。

F. 形態

形態については長育(身長, 指極, 上肢長, 下肢長), 量育(体重, 皮脂厚, 体脂肪量: 上腕背部, 肩甲骨下縁部皮脂厚より Blozek の式²⁾に基づき算出, 除脂肪体重: 体脂肪量より算出), 周育(胸囲, 上腕囲, 前腕囲, 大腿囲, 下腿囲)を測定した。なお測定にはマルチン式人体計測器を用いた。

G. 統計処理

得られたパラメーターについてそれぞれ平均, 標準偏差を求め, 独立する資料のt-検定を行った。

結果

A. 大腿部横断面積

Fig. 1 には大腿上部 (Proximal), 大腿中央部 (Middle), 大腿下部 (Distal) における横断面積の平均値を示した。全横断面積に関する有意差は3部位とも認められなかったものの, 筋横断面積に関しては3部位とも有意に男子が高値を示した(大腿上部, 大腿中央部 $P < 0.01$, 大腿下部 $P < 0.05$)。また, 大腿四頭筋に関しては大腿上部, 大腿中央部において有意に男子が高値を示した ($P < 0.05$) もの, 大腿四頭筋を構成する筋群に関しては大腿上部の大腿直筋, 大腿中央部の内側+中間広筋においてのみ男子が有意に高値を示した(それぞれ $P < 0.05$, $P < 0.01$)。ハムストリング+内転筋群においては3部位とも男子が有意に高値を示し(大腿上部, 大腿下部 $P < 0.01$, 大腿中央部 $P < 0.05$)。またハムストリング+内転筋群をそれぞれ個別に検討すると, 大腿下部の内転筋群を除いた全ての部位において男子が有意に高値を示した。なお脂肪横断面積については3部位とも, 女子が有意に高値を示した(大腿上部, 大腿中央部 $P < 0.01$, 大腿下部 $P < 0.05$)。

B. 等速性脚筋力

Fig. 2 には男女の等速性膝伸展力, 屈曲力および単位断面積あたりの値を示した。伸展力につい

ては300 deg/sec, 450 deg/sec において男子が有意に高値を示し(それぞれ $P < 0.05$, $P < 0.01$)。屈曲力についてはすべての角速度において男子が有意に高値を示した ($P < 0.01$)。単位断面積あたりの値は, 3部位の大腿四頭筋の面積を平均したもので伸展時の peak torque を除して求めた。同様に屈曲時の peak torque についても3部位のハムストリングの面積を平均したもので除して求めた。その結果, 伸展力, 屈曲力ともに男女間に有意差は認められなかった。

C. 無酸素的パワー

Fig. 3 - A には最大無酸素パワーおよび40秒パワーの値を示した。最大無酸素パワーおよび40秒パワーともに男子が女子より有意に高値を示した(最大無酸素パワー, $P < 0.01$, 40秒パワー $P < 0.05$)。Fig. 3 - B には単位断面積あたりの最大無酸素パワーおよび40秒パワーの値を示した。算出方法は脚筋力の場合と同様に, 3部位の筋横断面積を平均化し, その値で測定値を除した。単位断面積あたりのパワーについて, 男女間に有意な差は認められなかった。

D. 骨年齢

骨年齢は骨の成熟度を数値化し評価するものである。20 bone-score は満点に対する男女の骨年齢が男子では18歳, 女子では16歳と設定されているので, 骨年齢自体について男女差を検討することは難しい。Fig. 4 - A よりスコアに関しては有意差は認められなかったものの, Fig. 4 - B においては男女それぞれの歴年齢と骨年齢を比較した結果, 有意な差が認められ(男子 $P < 0.01$, 女子 $P < 0.05$)。骨年齢の方が歴年齢よりも進んでいた。

考察

本研究では茨城県のすべての中学校で実施されている文部省運動能力テストにおいて, 中学1年生男子19,422名, 女子18,892名の中で運動能力テストが優秀であった男子2級獲得者9名(男子1級不在のため), 女子1級獲得者12名のうち, 同意の得られた男子6名, 女子9名を用いて筋特性の性差という観点より検討した。これまで子どもの筋特性に関して検討された研究では, われわれが本研究で用いたMRIのような装置により, 大

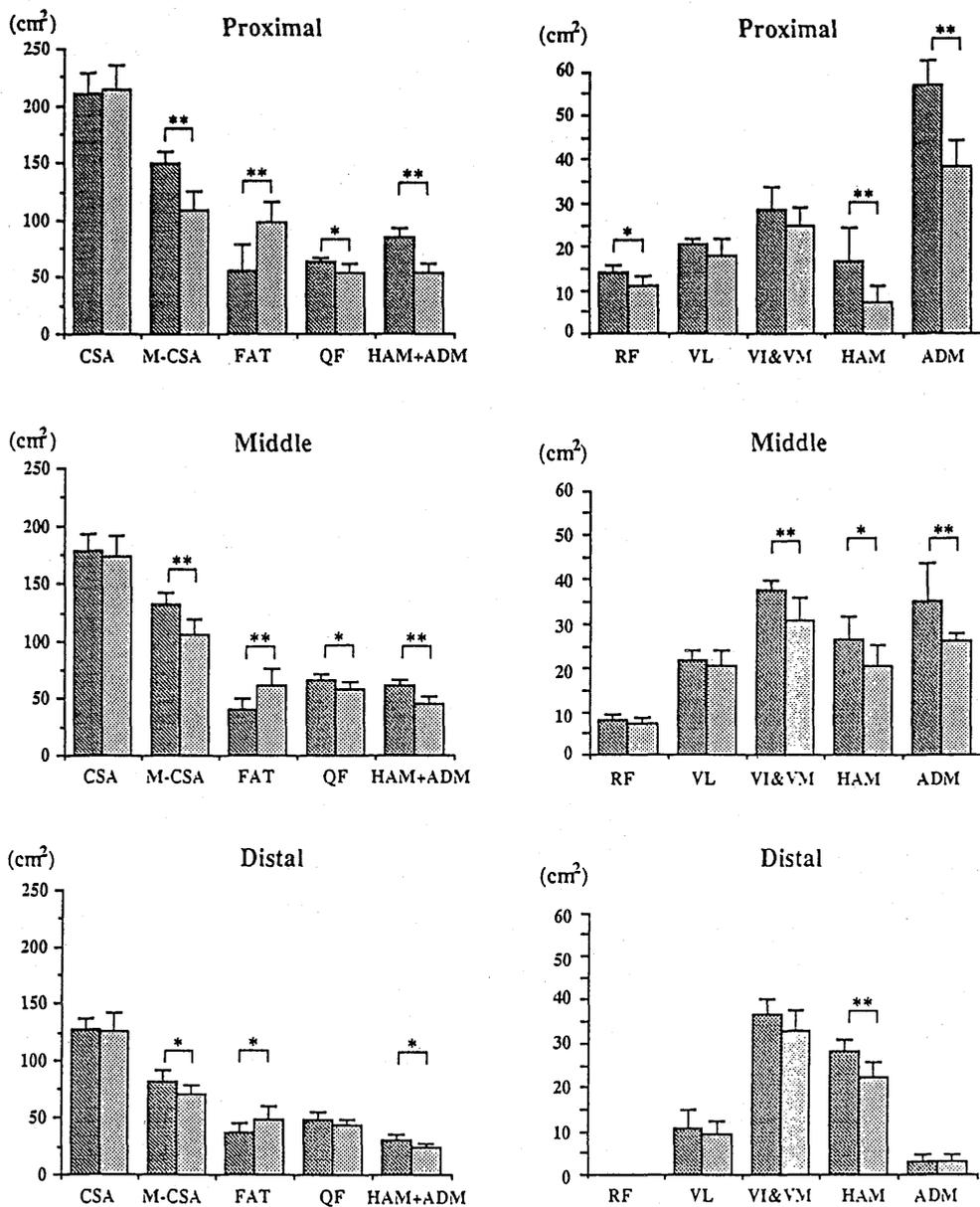


Fig. 1 Cross sectional area of three different sites at thigh.

■ boys (n = 6) ▨ girls (n = 9) *P<0.05 **P<0.01

CSA, Cross-sectional area of thigh ; M-CSA, Muscle cross-sectional area ; QF, Quadriceps femoris ; HAM, Hamstrings ; ADM, Adductor muscles ; RF, Rectus Femoris ; VL, Vastus Lateralis ; VI, Vastus Intermedius ; VM, Vastus Medialis.

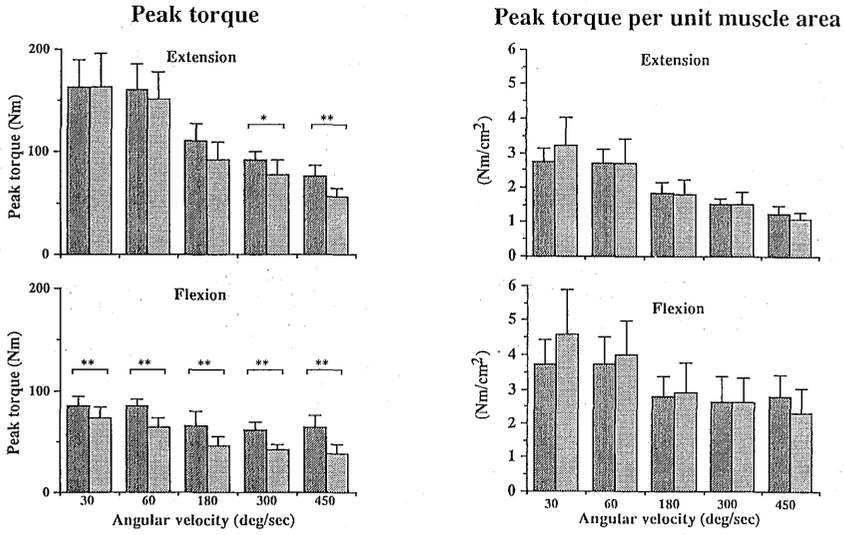


Fig. 2 Isokinetic peak torque knee extension and flexion

■ boy (n = 6) □ girls (n = 9) *P<0.05 **P<0.01

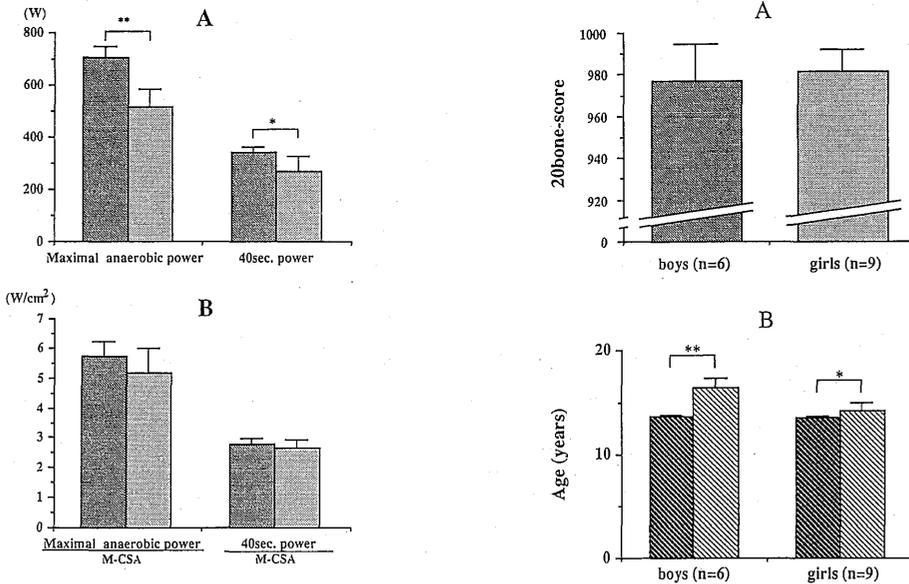


Fig. 3 Maximal anaerobic power and 40-sec. maximal cycling test.

■ boy (n = 6) □ girls (n = 9) *P<0.05 **P<0.01

M-CSA ; Muscle cross-sectional area.

Fig. 4 TW- II 20bone-score (A) and comparison of chronological age and skeletal age (B).

■ Chronological Age □ Skeletal Age *P<0.05 **P<0.01

腿部全体にわたり筋横断面積を詳細に検討した研究はみられず、さらに優れた運動能力を有する子どもに関する研究は全く報告されていない。したがってスポーツのタレント発掘という観点においても本研究は意義があると思われる。

身体計測法により得られたパラメーターでは、身長において有意な差が認められなかったにもかかわらず、体重およびLBMにおいて、男子は女子よりも有意に高値を示した。このことは、男子が女子より筋量が多いことを示唆する結果であると思われる。

そこで、本研究では筋量の性差を具体的に検討する指標として、走運動あるいは他の動作を行う際に重要であると思われる大腿部について、その横断面積を大腿のほぼ全体に渡って測定した、その結果、大腿部筋横断面積は女子よりも男子のほうが有意に高値を示し、脂肪横断面積は全ての部位 (Proximal, Middle, Distal) において、女子のほうが有意に高値を示す傾向にあった。これは大腿部における筋量が女子より男子において多いことを示している。筋量 (筋横断面積) と筋力は比例関係にあることから⁵⁾、筋量の多い男子は女子と比較して高い筋力を発揮できる可能性が考えられる。しかしながら、これは伸展力が高速の角速度 (300, 450deg/sec) および屈曲力の全ての角速度においてみられたが、低速から中速の角速度 (30, 60, 180deg/sec) の伸展力においては差が認められなかった。さらに筋の質的な能力を反映すると考えられる単位断面積あたりの筋力では、伸展、屈曲のいずれの角速度においても有意な差は認められなかった。これは筋の質的な差が男女間で認められないことを示唆するものである。したがって伸展力の300, 450deg/sec および屈曲力の全ての角速度における筋力の差は、筋の量的な違いが影響したことになるが、これ以上のことは、本研究においては明らかにできなかった。

低、中速度の伸展力について有意な差が認められなかった原因として、Distalの大腿四頭筋の横断面積において男女間に有意な差が認められなかったことが考えられる。秋間ら¹⁾は成人男性を用い、本研究と同様に同様な部位の筋横断面積および同様な角速度の筋力を測定し、その相関係数について検討している。その結果、脚筋力は低速において大腿のMiddleとDistalの横断面積と相関係数が高いことを報告している。このように、

低速の筋力発揮に大腿のMiddleからDistalにおける筋量が筋力に影響をおよぼしている可能性が示唆されることから、男子と女子で有意な差が認められなかった原因のひとつとして考えられる。

絶対値における無酸素パワーおよび40秒パワーでは男子が女子と比較して有意に高値を示した。この絶対値の差に影響を与えるものとして、筋の量的な差に起因するものおよび筋の質的な差に起因するものの2つに大別することが可能と考えられる。前者はまさしく、自転車駆動に用いられる主働筋の筋量を示し、一方、後者はLBMあたりあるいは単位面積あたりのパワーなどのパラメーターを示しているものと思われる。前述のように男子は女子と比較して大腿部全体にわたり筋量が多いことが明らかになっている。一方、単位面積あたりのパワーでは、等速性筋力と同様に無酸素パワーおよび40秒パワーにおいて有意な差は認められなかった。したがって、男子と女子の絶対値の差は筋量に起因していることが示唆された。

まとめ

男女各々約2万人の中から文部省の運動能力テストにおいて優秀な成績であった中学1年生男子6名、女子9名について、MRIによる大腿部3部位の筋横断面積、等速性脚筋力および自転車エルゴメーターによる無酸素パワーについて性差という観点から検討した。その結果、男子は女子と比較して大腿部全体にわたり筋量が多く、また高速の角速度における伸展力および測定に用いた全ての角速度における屈曲力、さらに無酸素的パワー (最大無酸素パワーおよび40秒パワー) の絶対値において有意に高値を示した。単位面積あたりの筋力およびパワーにおいて男女間に差が認められなかったことより、これらの絶対値の差は筋の量的な差が起因していることが示唆された。

謝辞

稿を終えるにあたり、スポーツテストのデータを提供して頂いた茨城県教育庁保健体育課長本橋利美先生および松井審先生に感謝の意を表します。被検者の所属する各中学校の校長先生ならびに被検者、および父母の皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 秋間 広, 久野譜也, 高橋英幸, 板井悠二, 下條仁士, 勝田 茂 (1992) : 筋線維組成と異なる部位における大腿部筋横断面積が等速性筋力に及ぼす影響. 日本体育学会第43回大会号, p 280.
- 2) Brozek J, Grande F, Andersen JT, and Keys, A (1963) : Densitometric analysis of body composition. Review of some quantitative assumptions. *Ann N. Y. Acad Sci* 110 : 113-140.
- 3) 福永哲夫, 金久博昭 (1990) : 日本人の体肢組成. 朝倉書店, 東京, pp138-147.
- 4) 生田香明, 渡部和彦, 大築立志 (1972) : 自転車エルゴメーターによる Maximum anaerobic power の発達の研究. *体育学研究* 17 : 151-157.
- 5) 金久博昭, 宮下充正 (1982) : アイソキネティック・トレーニング —トレーニング速度とトレーニング効果—. *Jpn J Sports Sci* 1 : 147-151.
- 6) 金久博昭, 根本 勇, 宮下充正 (1984) : 年齢および性との関連でみたアイソキネティック・ピーク・トルクとその持久力. *Jpn J Sports Sci* 3 : 91-98.
- 7) 小林寛道 (1993) : 子どものエアロビックパワーとアナロビックパワー —スポーツ・トレーニングの影響—. *体育の科学* 43 : 702-709.
- 8) 宮下充正 (1988) : 一般スポーツのための体力診断システム・第二版. ソニー企画株式会社, 東京, pp. 77-80.
- 9) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正 (1984) : 最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定法, *Jpn J Sports Sci* 3 : 834-839.
- 10) Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H (1983) : Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method). *Acad Press*, 2nd Ed, London, pp 9-21, 50-85.
- 11) 東京都立大学体育学研究室編 (1989 : 日本人の体力標準値 (第4版). 不昧堂出版, 東京.