高校生スポーツ選手の大殿筋断面積の競技種目特性

村松 正隆 星川 佳広 飯田 朝美 井伊 希美 中嶋 由晴

Masataka Muramatsu, Yoshihiro Hoshikawa, Tomomi Iida, Nozomi Ii and Yoshiharu Nakajima: Event-related difference in cross-sectional area of the gluteus maximus muscle in high-school athletes. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 55: 193-201, June, 2010

Abstract : This study investigated the cross-sectional area of the gluteus maximus muscle in high school athletes with reference to sex- and sport-related differences. The subjects were 269 male and female athletes (age 17.2 ± 0.7 yr) majoring in 12 events: sprinting, long-distance, throwing events, volleyball, badminton, boating, canoeing, sailing, soccer, basketball, wrestling and judo. Thirty-six untrained high-school students also participated as controls. The muscle cross-sectional area (CSA) was determined from an axial magnetic resonance image using a slice level through the greater trochanter. Fat-free mass (FFM) was also measured by air-plethysmography, and the relationship between CSA and FFM was analyzed. The CSA and FFM showed a high correlation ($r=0.80$ for males and 0.71 for females) and there was no gender difference in the regression equation ($CSA = 3.92 * FFM^{0.83}$ for the pooled data). The absolute CSA was larger in males than in females. The largest CSA was found in judo and throwing-event athletes of both genders, and the smallest in canoeing and long-distance athletes, whose CSA was comparable to that of the controls. However, when the CSA was divided according to $FFM^{0.83}$ in order to control for body-size difference in sex and sports events, there was no significant difference in the value between genders. Moreover, although the body-size controlled value was the largest in badminton and sprint athletes of both genders, no significant event-related differences were found for males, and only canoeists showed a value that was less than that for badminton and sprint athletes among females. In conclusion, the development of the gluteus maximus appears to show a sport-specific difference among high school athletes; however, compared with thigh muscle groups suggested in previous studies, no sports-specific tendency was apparent when FFM was controlled for.

Key words : Magnetic resonance imaging, Muscle cross-sectional area, Junior athletes, Gender difference, Gluteus muscle

キーワード : MRI, 筋断面積, ジュニアアスリート, 性差, 殿筋

緒 言

大殿筋は、腸骨、仙骨、尾骨の背側および仙結節靱帯、中殿筋の筋膜を起始とし、大腿骨背側の殿筋粗面に停止する筋である。その役割は、主に股関節の伸展動作、外旋動作および骨盤の安定に働くと考えられる(越智, 1995)。大殿筋は下肢筋群のなかで容量が最も大きい(Ito et al., 2003)。また筋腱複合体として捉えた場合、筋束

が長く腱が短い構造を特徴とし、下腿三頭筋などの筋束が短く腱が長い筋と比較し、より大きな張力発揮時(低収縮速度時)に大きな仕事を行い得る(深代, 2003)。生理学的に筋の発揮可能な張力は断面積に比例するので、大殿筋の断面積の増大(筋肥大)はその機能向上に大きく貢献すると考えられる。

しかし、競技力向上の観点で大殿筋断面積値を調べた研究はほとんどみられない。多くの競技種目において走能力は競技パフォーマンスに重要で

ある。走スピードが上がるほど大殿筋による股関節伸展作用は大きくなる (Mann et al., 1986; Lieberman et al., 2006)。走能力向上には股関節筋群の強化が重要とされている (深代, 2003; 伊藤ほか, 1997, 1998; 渡邊ほか, 2000) が、従来、股関節伸筋群としてはハムストリングの筋断面積値が報告されているのみである (星川ほか, 2006b; 勝田・久野, 1990)。日本人競技スポーツ選手の大殿筋断面積の報告は、我々の知る限り Masuda et al. (2003) の大学サッカー選手を対象としたもののみである。ただし Masuda et al. (2003) においても他の筋断面積値と並べて報告されており、大殿筋に関する考察はなされていない。このように股関節筋群の強化が重要という指摘がありながら、スポーツ選手における大殿筋断面積の実態は不明な点が多く、それ故に競技スポーツにおける意味合いも明らかではない。

星川ほか (2006a, 2006b) は、大腿筋群や大腰筋断面積では、高校生スポーツ選手の段階で競技種目特性が観察され、各筋群の発育傾向には各競技で行う動作の特徴が反映すると指摘している。また大腰筋断面積には男女差が存在する (星川ほか, 2006a) が、大腿筋群の断面積値は除脂肪体重や全身筋量が同じならば男女差がみられない (星川ほか, 2006b; Lee et al., 2004)。大殿筋は解剖学的位置において大腰筋と大腿筋群の中間に位置するが、一般的に、形態計測における殿部から大腿にかけての周囲長は女子のほうが男子より相対的に長く (河内・持丸, 2009)、女子における大殿筋の形態的発育を推測させる。しかし殿部は皮下脂肪も多い部位で、かつ骨盤の形態に男女差があるため、周囲長のみで大殿筋の形態的発育を論ずるのは適切ではない。

そこで本研究では、様々な競技種目を専門とする高校生スポーツ選手において、磁気共鳴画像 (MRI) 法を用いて大殿筋断面積の性差と競技種目差について検討することを目的とした。筋断面積を男女、異なる競技種目で比較する際には体格の違いが影響することが予想されるため、除脂肪体重を同時に測定し、除脂肪体重-筋断面積関係よりアロメトリーの分析をおこなった (星川ほか,

2006a, 2006b)。またあわせて大殿筋断面積値の左右差も検討した。

方 法

A. 被検者

被検者は、高校1年から3年生までの男子154名、女子115名のスポーツ選手と、コントロール群として特定のスポーツに取り組まない一般高校生36名 (男女各18名) であった。平均年齢は男子 17.2 ± 0.7 歳、女子 17.1 ± 0.7 歳であった。異なる運動様式の影響をみる観点から、12の様々な競技種目を分析対象とした。12の競技種目は、陸上短距離、陸上長距離、陸上投擲、バレーボール、バドミントン、ボート、カヌー、セーリング、柔道、サッカー、バスケットボール、レスリングであった。このうちサッカー、バスケットボール、レスリングの被検者は男子のみであった。スポーツ選手の被検者はすべて県下で国民体育大会に向けて強化指定を受けており、ボート以外においては各競技を中学生の頃から経験していた。ボートにあっては高校から競技を開始したため競技年数は8ヶ月～2年であった。表1に被検者の年齢、身長、体重等をまとめた。陸上短距離とは100 m, 200 m 走を専門とする選手であった。陸上長距離とは1500 m 以上の長距離走、もしくは3000 m 障害走を第一の専門種目とする選手であった。陸上投擲には、砲丸投げ、円盤投げ、ハンマー投げ、やり投げを専門とする選手を一括した。全被検者の内、291名が右利き、14名が左利きであった。各被検者とその保護者からは、事前に測定趣旨と危険性を文書により説明のうえ、測定参加への同意を得た。

B. 身体組成

身体組成の測定は空気置換法による体脂肪測定装置 (BODPOD, LMI 社) を用いた。全身の体積と肺気量から身体密度を計算し、Brozek (Brozek et al., 1963) の式により、体脂肪率、除脂肪体重を算出した。室温を24～26度に保った状態で測定を行った。

表1 被検者の基本情報

		n	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	除脂肪体重 (kg)
男子	陸上短距離	13	17.4(0.6)	173.0(6.6)	64.1(7.6)	7.2(2.0)	59.5(7.4)
	陸上長距離	12	17.3(0.7)	169.4(3.9)	55.8(3.1)	7.4(3.9)	51.7(3.0)
	陸上投擲	13	17.6(0.2)	176.6(6.5)	81.2(10.3)	10.5(5.4)	72.3(6.0)
	バレーボール	13	17.2(0.5)	177.9(8.1)	65.0(5.3)	7.0(2.8)	60.3(4.5)
	バドミントン	13	17.3(0.6)	168.4(4.5)	60.8(6.1)	8.4(3.0)	55.6(4.9)
	ボート	13	16.7(0.5)	170.5(6.1)	62.7(5.9)	10.0(3.3)	56.4(5.4)
	カヌー	13	17.1(0.9)	168.1(5.0)	61.6(7.9)	13.5(4.0)	53.2(5.5)
	セーリング	13	16.9(0.6)	169.5(4.9)	60.1(7.5)	11.7(4.4)	52.9(5.2)
	柔道	12	17.2(0.7)	172.6(5.2)	88.5(22.5)	17.3(10.5)	71.2(10.0)
	サッカー	13	16.8(4.9)	171.0(5.4)	65.6(6.3)	8.3(2.4)	60.1(5.0)
	バスケットボール	13	17.4(1.0)	180.9(7.3)	73.0(9.0)	11.1(2.6)	64.9(7.8)
	レスリング	13	17.5(0.7)	172.9(6.0)	72.3(9.2)	10.3(4.4)	64.5(5.7)
	コントロール	18	17.3(0.3)	167.0(4.9)	57.7(6.5)	13.4(5.4)	49.7(4.3)
女子	陸上短距離	13	17.5(0.5)	160.3(5.9)	49.5(3.4)	12.6(3.8)	43.2(2.5)
	陸上長距離	11	17.4(0.8)	158.5(5.6)	46.8(4.1)	14.5(3.1)	40.0(2.9)
	陸上投擲	13	17.4(0.6)	162.9(6.2)	67.1(10.3)	21.1(6.4)	52.4(4.9)
	バレーボール	13	17.3(0.5)	170.1(3.9)	61.3(5.1)	18.6(3.9)	49.8(3.3)
	バドミントン	13	17.3(0.6)	157.9(6.1)	53.0(5.6)	17.6(3.3)	43.5(3.6)
	ボート	13	16.5(0.7)	162.0(1.6)	60.3(7.5)	22.1(5.1)	46.7(3.6)
	カヌー	13	17.0(0.7)	155.8(3.8)	54.3(4.7)	22.2(4.4)	42.2(2.4)
	セーリング	13	16.7(0.5)	158.5(4.7)	54.6(4.1)	22.4(3.7)	42.3(3.2)
	柔道	13	17.2(0.7)	161.0(7.0)	70.0(17.7)	21.4(8.6)	53.7(7.3)
	コントロール	18	17.1(0.6)	158.3(3.9)	48.4(4.2)	18.8(4.1)	39.2(3.1)

平均(標準偏差)

C. MRI による筋断面積

0.2 T の MR 装置 (Signa Profile, GE 横河メディカルシステム社) を用いて行われた。被検者をクレードル (ベッド) にうつ伏せに寝かせ、まず被検者の大転子が撮影されるように股関節付近の前額面画像を取得した後、大腿骨大転子レベルにおいて厚さ10 mm の T1 強調画像 (スピンエコー法, 繰り返し時間250 m 秒, エコー時間24 m 秒, FOV400 mm × 400 mm, マトリクス256 × 256ピクセル, 4NEX) を取得した。取得した横断像よりコンピュータ画面上で左右の大殿筋に相当する領域のピクセル数をカウントし, FOV とマトリクスから決定する 1 ピクセルの面積 $(400/256)^2 \div 2.4414 \text{ mm}^2$ から各筋の横断面積を算出した (図1)。

事前実験において, 大殿筋の筋体積と大転子レベルの筋断面積との関係を確認するために, 被検

者18名において上記と同じ撮像条件により腸骨稜から殿筋粗面までを20 mm 間隔で撮像し, 各横断面において大殿筋断面積を求めた (図2)。各筋断面積の積分値と大転子レベルの大殿筋断面積には $r=0.97$ の非常に強い相関関係が認められた。また大殿筋断面積は, 18名中15名において大転子レベルで, 2 名が大転子レベルより2 cm 上で, 1 名が2 cm 下で最大になっていた。大転子レベル以外で大殿筋断面積が最大になる場合も, その値と大転子レベルでの大殿筋断面積の差異は大きくて2.4 cm² (2.1%) であった。そこで撮像位置の違いの影響は小さいと判断し, 本研究では全被検者を大転子レベルで大殿筋断面積を求めた。

上記の筋断面積の算出は, 被検者の属性を知らない一人の検者が担当した。事前に3名の被検者を対象に同一日に各10回のMR撮影を行い大殿筋断面積を求めたところ, その変動係数はいず

図1 殿部横断面のMR画像と大殿筋の領域

図2 各横断レベルにおける大殿筋の横断面積（被検者18名）
X軸の0が大転子レベルで，－は体幹，＋は大腿方向をあらわす

れの被検者においても1%以下であった。

D. データ整理

まず、利き側、非利き側の筋断面積に差異があるかどうかについては対のあるt検定によって検定した。それ以降の分析においては左右の合計値を大殿筋断面積（GM）とした。身体各部位の筋断面積と除脂肪体重には強い相関関係が報告されているため（星川ほか，2006a, 2006b），本研究においても除脂肪体重-GM関係をべき乗関数（ $Y=aX^b$ ）を用いて回帰分析した。定数aおよび

指数bは，除脂肪体重，GMそれぞれを対数変換し得られる一次回帰直線から計算して求めた（Winter and Nevill, 2001）。各項目において性および競技種目差を検定するには，二元配置の分散分析を用いた。二元配置分散分析において競技種目差が有意であると判定された場合，事後検定にScheffeの方法を用いて各競技種目間の差異を検定した。また性差が確認された場合は，男女別々に一元配置分散分析とScheffeの方法により各競技種目間の有意差を検定した。すべての統計処理において1%水準未満をもって有意と判定した。

表2 大殿筋断面積の利き側-非利き側間の差

		利き側 (cm ²)	非利き側 (cm ²)	非利き側/利き側 (%)	有意差
陸上短距離	男子	69.8(6.9)	68.4(7.0)	98.0	P<0.01 P<0.01
	女子	53.4(4.5)	52.7(5.0)	98.9	
陸上長距離	男子	55.4(4.4)	55.6(4.8)	98.0	
	女子	42.8(3.7)	43.4(4.1)	101.4	
陸上投擲	男子	77.0(6.7)	76.4(6.7)	99.3	
	女子	60.4(8.6)	58.5(7.8)	97.1	
バレーボール	男子	62.5(5.5)	61.7(5.7)	98.8	
	女子	52.6(4.3)	53.1(4.2)	101.0	
バドミントン	男子	70.5(9.1)	59.9(7.6)	85.1	
	女子	59.7(5.5)	48.2(4.3)	84.9	
ボート	男子	61.6(5.8)	60.3(5.8)	98.0	P<0.01 P<0.01
	女子	52.3(9.6)	52.3(8.0)	99.7	
カヌー	男子	56.1(7.8)	56.7(8.2)	100.1	
	女子	42.6(8.4)	42.1(8.0)	99.0	
セーリング	男子	59.4(7.7)	59.9(7.4)	101.0	
	女子	49.6(5.5)	48.8(6.2)	98.4	
柔道	男子	72.6(14.5)	71.1(14.3)	98.3	
	女子	60.7(8.7)	59.0(9.0)	97.4	
サッカー	男子	63.4(5.3)	64.0(4.9)	101.0	
バスケットボール	男子	67.2(5.9)	67.7(4.9)	100.8	
レスリング	男子	64.3(6.7)	63.8(7.0)	99.3	

平均(標準偏差)

結 果

A 利き側-非利き側間差

表2にスポーツ選手の利き側-非利き側の差異に関する結果をまとめた。有意な差異が見られたのはバドミントンのみであり、バドミントンでは男女ともに利き側が非利き側よりも約11 cm² (15%) 大きかった。その他の競技種目では利き側-非利き側間の差異は±3%以内であった。

B. 除脂肪体重とGMの関係

スポーツ選手における除脂肪体重とGMの関係を図3に示した。除脂肪体重とGMには、相関係数で男子 $r=0.80$ 、女子 $r=0.71$ の有意な関係性がみられた。また、コントロール群においても男子 $r=0.62$ 、女子 $r=0.43$ の有意な相関関係がみられた。スポーツ選手におけるべき乗回帰

図3 除脂肪体重と大殿筋断面積の関係

a コントロールと有意差あり, b カヌーと有意差あり, c 陸上長距離と有意差あり, d セーリングと有意差あり, e ボートと有意差あり p<0.01

図4 大腿筋断面積の絶対値(上)と体格補正(除脂肪体重0.83乗割)値(下)

($Y=aX^b$) の定数 a および指数 b はそれぞれ, 男子で4.88 (95%信頼区間3.32-7.18), 0.78 (0.69-0.87), 女子で2.53 (1.29-4.94), 0.95 (0.77-1.12) であった. a, b には統計的な男女差はなかった. そこでスポーツ選手の男女をまとめた場合, ベキ乗回帰曲線は, $GM = 3.92 \times \text{除脂肪体重}^{0.83}$ であった. このとき a および b の95%信頼区間はそれぞれ, 3.04-5.06, 0.75-0.91 であった.

C. 男女差

図4は, GMを男女別に競技種目別にまとめたものである. 二元配置の分散分析の結果, GMの絶対値(図4上)においては, 男子が女子よりも有意に高い値を示した. また, 男女や競技種目による体格差を補正するため, 上記で求めた指数 b をもとに筋断面積を除脂肪体重の0.83乗で割った(図4下). GMの体格補正值では, 男女の有意差は観察されなかった. また, 絶対値, 体格補

正值ともに有意な交互作用（性×競技種目）が観察された。

GMの絶対値の男女比率（女/男%）は、コントロール群で73.0%，スポーツ選手全体で80.9%であった。一方体格補正值では、コントロール群で89.2%，スポーツ選手全体で99.5%であった。

D. 競技種目差

GMの絶対値には、有意な競技種目差が観察された（図4上）。男女ともに陸上投擲、柔道が陸上長距離、カヌー、コントロールよりも有意に高い値を示し、さらに陸上投擲は男子ではボート、セーリングよりも有意に高い値を示した。また、陸上短距離、バスケットボールはコントロールよりも有意に大きく、女子ではバドミントン、バレーボール、ボートもコントロールよりも有意に大きかった。

また、GMの体格補正值においても有意な競技種目差が観察された（図4下）。しかし、事後検定では男子は競技種目間およびコントロールとの間に有意差は見られなかった。女子ではバドミントン、陸上短距離がカヌーとコントロールよりも有意に大きく、また陸上投擲もコントロールよりも有意に大きい値を示した。

考 察

本研究は合計男女269名の高校生スポーツ選手と36名の一般高校生（コントロール群）において、MRI法により大殿筋断面積を求め、その男女差および競技種目特性について検討したものである。筋断面積の男女差、競技種目差をより明確にするために、本研究で得られた筋断面積-除脂肪体重関係から筋断面積を除脂肪体重の0.83乗により除して、体格による影響を考慮し比較、検討を行った。

A. 利き側-非利き側間差

利き側-非利き側に関しては、男女のバドミントンのみに有意差が観察され、男女ともに利き側が非利き側よりも約11 cm²（15%）大きかった。

その他の競技種目では、利き側と非利き側は大きくて±3%以内の差異であった。Masuda et al. (2003) は、サッカー選手において利き側と非利き側の差異は1%以下で有意な差異はなかったと報告している。これらの結果と比較し、バドミントンの利き側-非利き側の差異は非常に大きいと考えられる。先行研究（星川ほか，2006b）で、バドミントン選手の大腿部の筋断面積、特に内転筋群の筋断面積は利き側が非利き側よりも大きいと報告されている。バドミントンでは、非利き脚を固定し利き脚を大きく踏み出すことでシャトルの捕捉が行われるが、Escamilla et al. (2002) や白木（2009）によれば、股関節を外転・外旋した姿勢（相撲における腰割り動作）でのデッドリフトやスクワット動作は、通常のそれと比較して大殿筋の活動量をより高めるとされる。バドミントン選手の大殿筋断面積の利き側と非利き側の差異には、バドミントンにおける股関節筋群の役割の非対称性が影響していると考えられる。

B. 除脂肪体重とGMの関係

除脂肪体重とGMには、スポーツ選手では男女ともに相関係数0.7以上の強い関係がみられた。GMを除脂肪体重でべき乗回帰した場合、そのべき乗指数bは0.83であり、95%信頼区間の下限（95%信頼区間は0.75-0.91）においても、ディメンション（Astrand and Rodahl, 1986; Winter and Nevill, 2001）から予測される0.67（≒2/3）よりも大きい値を示した。他の筋群で同様に求めた指数bは、大腰筋では予測される0.67と異ならず（星川ほか，2006a），大腿部筋群では本研究と同様に0.67よりも統計的に大きいと報告されている（星川ほか，2006b）。本研究からはなぜそうなるかの理由は明らかにできないが、本研究結果は、GMは大腿筋群と同様に除脂肪体重が増加するとそれ以上に大きくなることを意味すると考えられる。

C. 男女差

GMの絶対値では、すべての競技種目において男子が女子よりも大きい値を示した。GMの絶対値

の男女比(女/男%)は、コントロール群で73.0%、スポーツ選手全体で80.9%であった。Abe et al. (2003) は約20歳の日本人を対象に、大腿上部における筋断面積(ただし大殿筋以外の筋を含む)の男女比は69%と報告している。これと比較すると本研究のコントロール群はほぼ同じで、スポーツ選手はやや大きい値であった。大腿中央部の筋断面積については男女比が数多く報告(Abe et al., 2003, 金久ほか, 1986; 勝田・久野, 1990)され、それらはおおよそ70~80%である。絶対値についてはGMの男女比も大腿部のそれとほぼ同じ程度であると考えられる。

一方、筋断面積を体格補正するためにGMを除脂肪体重の0.83乗で割った場合、スポーツ選手では男女の差異が消失し、男女比は99.5%と男女ではほぼ同じとなった。筋断面積の男女差は上肢で大きく下肢では小さい(Abe et al., 2003; 金久, 2002)。またスポーツ選手においては、下肢の筋断面積は体格で補正した場合男女差がなくなることが指摘されており(星川ほか, 2006b; 金久, 2002)、大殿筋は大腿部と同じ傾向であると考えられる。ただし本研究のコントロール群では、GMの体格補正值においても男女比は89.2%であり依然その差異が残っていた。この原因は不明であるが、コントロール群の女子では男子と比べ日常生活において大殿筋を活動させる機会が少ないことも一要因として考えられる。

D. 競技種目差

本研究のGMの絶対値は、男女とも陸上投擲、柔道で大きく、コントロール群で最も小さかった。スポーツ選手であっても、ボート、カヌー、陸上長距離、セーリングでは男女ともにコントロール群に有意な差異はみられなかった。しかしこれには、除脂肪体重の大きさが示すように陸上投擲、柔道では全身的な筋の発育が顕著で、その結果がGMに反映したとも考えられる。

GMの体格補正值は、男女ともに陸上短距離、バドミントンが大きく、カヌー、陸上長距離、バレーボールで小さい傾向にあった。しかし統計的には、男子では競技種目間に有意差がみられず、

女子でも陸上短距離、バドミントンがカヌーよりも有意に大きいのみであった。絶対値では大きい値を示した柔道も、体格補正值では男女ともにコントロールと差異がなかった。他の筋群(大腿筋群や大腰筋)を対象とした先行研究(星川ほか, 2006a, 2006b; 勝田・久野, 1990; 角田ほか, 1986)では、体格を補正した場合にも筋断面積に明らかな競技種目差が報告されているが、本研究結果は、大殿筋の場合、競技種目差はあったとしても大きいものでなく、除脂肪体重の競技種目差がより強く影響することが示唆される。

体格補正值でバドミントン、陸上短距離がより大きい傾向を示した理由としては、まずバドミントンについては、上述どおり股関節外転・外旋を保持する姿勢において大殿筋の活動が大きく(Escamilla et al., 2002; 白木, 2009)、その影響が推測される。また陸上短距離については、スプリント動作のスイング期後半から接地期前半の股関節伸展において、大殿筋がハムストリングスとともに強く活動(Liberman et al., 2006; Mann et al., 1986; Montgomery et al., 1994)するため、その日常的な繰返しが大殿筋の形態的発育に影響していると考えられる。ただし、同じく短距離走を頻繁に行うサッカー、バスケットボールは必ずしも大きな体格補正值を示さなかったことを考慮すると、他の要因が存在する可能性も考えられる。本研究は被検者のトレーニング内容や競技経験年数が把握できておらず、大殿筋断面積の競技種目ごとの傾向やその理由を解明するには、これらの要因をコントロールした上でのさらなる検討が必要である。

謝 辞

本研究の一部は、静岡県教育委員会および静岡県体育協会によるスポーツ医科学活用事業を浜松ホトニクス㈱が受託して行われたものであり、事業推進にあたり、川口利浩様(静岡県教育委員会)、太田誠也様(静岡県体育協会)には多大なご協力を頂戴しました。また、㈱ヤマハフットボールクラブの多くの指導者・選手にも多大なご協力を頂戴しました。すべての関係者に御礼申し

上げます。

文 献

- Abe, T., Kearns, C.F., and Fukunaga, T. (2003) Sex differences in whole body skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging and its distribution in young Japanese adults. *Br. J. Sports, Med*, 37: 436-440.
- Astrand, P.-O. and Rodahl, K. (1986) Body dimensions and muscular exercise. *Textbook of work physiology*, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, 391-411.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T., and Keys, A. (1963) Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann. NY Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- Escamilla, R.F., Francisco, A.C., Kayes, A.V., Speer, K.P., and Moorman, C.T.III. (2002) An electromyographic analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34(4): 682-688.
- 深代千之 (2003) 走スピードの限界因子. *体育の科学*, 53(2): 120-126.
- 星川佳広・飯田朝美・村松正隆・内山亜希子・中嶋由晴 (2006a) 高校生スポーツ選手の競技種目別の大腰筋断面積. *体力科学*, 55: 217-228.
- 星川佳広・飯田朝美・村松正隆・内山亜希子・中嶋由晴 (2006b) 高校生スポーツ選手の大腿部筋断面積の性差と競技種目差. *トレーニング科学*, 18(4): 375-386.
- 伊藤章・斉藤昌久・淵本隆文 (1997) スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー, および筋放電パターンの変化. *体育学研究*, 42: 71-83.
- 伊藤章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100 m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43: 260-273.
- Ito, J., Moriyama, H., Inokuchi, S., and Goto, N. (2003) Human lower limb muscles: an evaluation of weight and fiber size. *Okajimas Folia Anat. Jpn.*, 80(2-3): 47-56.
- 勝田茂・久野譜也 (1990) NMR によるスポーツタレントの発掘に関する研究——一流選手の筋の形態とエネルギー代謝——, 平成2年度日本体育協会スポーツタレント発掘に関する研究第2報. 37-46.
- 金久博昭・福永哲夫・池川繁樹・石田良恵 (1986) 陸上競技 (短, 中・長距離), バレーボールおよびスピード・スケート選手の筋断面積における性差. *Jpn. J. Sports Sci.*, 5: 662-668.
- 金久博昭 (2002) 筋のトレーニング. *筋の科学事典——構造・機能・運動——*. 福永哲夫編集, 朝倉書店, 東京, pp. 267-334.
- 河内まき子・持丸正明 (2009) からだつきの違いによる動きの男女差. *バイオメカニクス研究*, 13: 52-56.
- Lee, S.J. Janssen, I., Heymsfield, S.B., and Ross, R. (2004) Relation between whole-body and regional measures of human skeletal muscle. *Am. J. Clin. Nutr.*, 80: 1215-1221.
- Lieberman, D.E., Raichlen, D.A., Pontzer, H., Bramble, D.M., and Cutright-Smith, E. (2006) The human gluteus maximus and its role in running. *J. Exp. Biol.*, 209: 2143-2155.
- Mann, R.A., Morgan, G.T., and Dougherty, S.E. (1986) Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running, and sprinting. *Am. J. Sports Med.*, 14(6): 501-510.
- Masuda, K., Kikuhara, N., Takahashi, H., and Yamanaoka, K. (2003) The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J. Sports. Sci.*, 21: 851-858.
- Montgomery, W.H.III, Pink, M., and Perry, J. (1994) Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running. *Am. J. Sports. Med.*, 22(2): 272-278.
- 越智淳三訳 (1995) 分冊解剖学アトラス I. 運動器. (第4版) 文光堂. 東京. 232-233.
- 白木仁 (2009) 相撲—押す力, 投げる力—. *体育の科学*, 59(6): 388-391.
- 角田直也・金久博昭・福永哲夫・近藤正勝・池川繁樹 (1986) 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.
- 渡邊信晃・榎本好孝・大山圭圭吾・狩野豊・安井年文・宮下憲・久野譜也・勝田茂 (2000) スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 45: 520-529.
- Winter, E.M. and Nevill, A.M. (2001) Scaling: Adjusting for differences in body size. In: *Eston, R. and Reilly, T. (Eds.) Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual. Volume 1: Anthropometry*. 2nd. Routledge: London, pp275-293.

(平成21年8月31日受付)
(平成22年2月2日受理)