

男子ジュニアスピードスケート選手における下肢筋群の筋厚発達の左右差

The bilateral difference of the development of muscle thicknesses on the lower limbs in male junior speed skaters

熊川 大介*, 角田 直也*

Daisuke KUMAGAWA* and Naoya TSUNODA*

1. 緒 言

スピードスケートの動作様式は、脚の伸展動作（プッシュオフ動作）が中心となって構成されている。また、スピードスケート滑走特有の低いスケートティングポジションと、比較的長い筋の収縮サイクルは、膝関節伸展筋群に静的な収縮を強制させることが知られている（de Boer et al. 1987, Kandou et al. 1987）。これらのことから、我が国では、超音波断層法（福永 1978）により、スピードスケート選手の筋組織や脂肪組織の量を部分的に定量化する試みが数多く行われている（金久ら 1986, 角田ら 1986, 熊川と角田 2006, 2008）。このうち、金久ら（1986）の報告によると、スピードスケート選手は他のスポーツ選手に比べて四肢の中でも大腿部の筋が特に発達しているという。また、大腿部筋厚の年齢変化について検討した先行研究（熊川と角田 2008）では、男子における大腿部前面及び後面の筋厚は、10歳から約18歳まで増加する傾向がみられている。さらに同報告では、身長に対する筋厚の発達スピードについても検討しており、男子の筋厚は約152cmから168cmにかけて急激に増加するが、それ以上の身長では発達スピードが著しく低下すること

が明らかにされている。これらの結果は、スピードスケート選手のトレーニングが主として大腿部の形態的発達を目的として実施されており、さらに大腿筋群の形態的発達がジュニア期にほぼ完了することを示唆している。一方、スピードスケート選手における筋の量的発達を明らかにしようとした先行研究では、全身筋量あるいは大腿部のみの筋量に対象が絞られており、下肢全体の筋量発達を検討した報告は存在しない。

スピードスケート滑走は一周400mのオーバルリンクを周回する特性上、ストレート滑走に加えてカーブにおける滑走パフォーマンスが重要な要素を占める。カーブ滑走では、遠心力に抗するために身体をリンク内側に傾斜させながら常に右方向へのプッシュオフ動作を行う（湯田ら 2005）ため、カーブ滑走中における左右脚のキネティクスが大きく異なることが予想できる。先行研究（湯田ら 2005）によれば、特に長距離選手のカーブ滑走におけるスピードの低下には、支持脚（左脚）の膝伸展筋群の疲労が大きく影響することが明らかにされている。これらのことから、スピードスケート滑走中は左右脚に対する負荷が異なることが予想され、それにより筋形態の発達にも部位差が存在する可能性が考えられる。しかしなが

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

ら、これまでにスピードスケート選手の下肢筋群の形態発育における部位差及び左右差について検討した報告は存在しない。

そこで本研究では、男子ジュニアスピードスケート選手における左右の大腿部及び下腿部における筋厚発達の部位差について検討することを目的とした。

2. 方 法

1) 被検者

被検者は、10歳から18歳における男子スピードスケート選手258名を対象とした。全被検者は、年間を通じてスピードスケート競技のトレーニングを行っており、測定前のシーズンにおいて公式記録会に参加していた。また、本研究では、10歳から18歳までの選手を1歳ごとの年齢に分類した。各年齢における被検者数及び身体的特性は平均値と標準偏差値でTable 1に示した。全ての被検者及びその保護者には、研究の目的及び内容等について十分説明し、本研究への任意による参加の同意を得た。

2) 筋厚の測定

下肢における筋厚は、超音波測定装置 (Echo Camera SSD-900CL, ALOKA社製) を用いて、超音波周波数7.5MHzで測定した。測定に先立ち、被検者の大転子から膝関節面までの距離を大腿長として、また膝関節面から外果点までを下腿長としてスチール製の巻き尺を用いてそれぞれ計測した。測定部位は、先行研究 (安部と福永1995、宮谷ら2003) の方法を参考にして、大腿長の50%部位における左右の大腿部前面 (Ta) 外側面 (Tl) 及び後面 (Tp)、下腿長の30%部位における前面 (La) 及び後面 (Lp) をそれぞれ計測した。各測定部位における撮像位置は、Taは大腿直筋上、Tlは外側広筋上、Tpは半膜様筋上、Laは前脛骨筋上及びLpは腓腹筋上とした (宮谷ら2003)。得られた超音波画像から、大腿部においては皮下脂肪組織と筋組織の境界を示す反射波から大腿骨まで、Lpにおいては脛骨まで、Laでは前脛骨筋の筋膜までの距離をそれぞれの部位における筋厚として計測した。なお、測定姿勢は立位で行い、測定中は可能な限り下肢の筋収縮を行わないように指示した。

Table 1. Number of subject and physical characteristics in each age group. BMI : Body mass index, %FAT : Related fat mass to body weight, FFM : Fat free mass.

Age (yrs)	n	Body height (cm)	Body weight (kg)	BMI	%FAT (%)	FFM (kg)
10	25	139.8±5.9	36.1±7.7	17.7±3.9	18.0±5.9	29.3±4.7
11	28	144.3±6.7	39.5±9.7	15.8±1.3	19.5±6.5	31.4±6.2
12	37	151.5±8.9	42.3±8.3	17.3±2.0	15.3±5.1	35.8±6.9
13	39	158.5±8.6	47.2±8.6	19.1±2.7	13.7±3.5	40.6±6.6
14	30	163.4±8.2	52.9±9.7	18.3±2.4	16.2±3.3	44.2±7.3
15	26	167.7±6.9	57.2±8.4	20.5±2.8	16.4±3.6	47.7±6.4
16	25	167.9±5.5	59.1±6.7	21.0±2.4	18.2±3.8	48.2±4.8
17	29	170.0±5.8	61.6±6.5	20.8±1.9	18.4±3.4	50.1±4.5
18	19	168.9±5.4	63.9±5.5	22.8±2.0	15.5±4.7	53.9±4.8

Mean±S.D

3) 統計処理

筋厚に対する年齢及び左右の影響については二元配置分散分析によって調べ、左右の要因に有意な主効果が認められた場合には、対応ありのt検定によって各年齢における左右間の有意差検定を行った。また、左右の筋厚における相関係数はすべてピアソンの相関分析によって求めた。いずれの統計結果においても有意性は危険率5%未満で判定した。

3. 結果と論議

Table 1は、各年齢における筋厚値を左右間で比較したものである。二元配置分散分析の結果、全ての部位において年齢による有意差は認められたが、有意な左右差及び交互作用は認められなかった。即ち、本研究で測定した大腿部及び下腿部の筋厚値は全ての年齢において左右差が認められない可能性が明らかになった。また、Fig.1には、10歳の選手に対する各年齢における筋厚値の比率を示した。Ta、Tl及びTpにおいては左右脚ともに年齢に伴って増加する傾向が認められ、10歳から18歳にかけて40%以上の増加が認められたのに対して、La及びLpについては大腿に比べると増加率が小さく、特にLpでは18歳の比率が右

脚で29.9%、左脚では30.8%であった。このことは、スピードスケート選手における下肢の筋厚は下腿に比べて大腿部の発達が著しいことを意味している。一方、各年齢の比率を左右脚で比較すると、最も著しい差異が認められたのはTaであった。本研究の被検者におけるTaの比率は、11歳から左脚が右脚よりも高い値を示すようになり、18歳の比率は左脚(53.8%)が右脚(46.5%)よりも約7.3%も大きい値を示した。そこでFig.2では、下肢各部における左右の筋厚の関係(y軸に右側、x軸に左側)について検討した。本研究において測定した筋厚は、全ての部位において左右間に有意な相関関係が認められた(Ta: $r = 0.945$, Tl: $r = 0.925$, Tp: $r = 0.929$, La: $r = 0.913$, Lp: $r = 0.954$, いずれも $p < 0.01$)。また、すべての関係における回帰直線は、ほぼ $y = x$ を示す直線上に位置していた。しかしながら、両者の関係における回帰直線の勾配は部位によって異なる傾向を示した。すなわち、回帰式 $y = ax + b$ において勾配の緩急を示すaの値を部位間で比較すると、Ta(0.869)及びTl(0.864)がTp(0.940)、La(0.915)及びLp(0.947)に比べて低い値を示した。このことは、大腿部前面及び外側面における左右筋厚の回帰直線が他の部位のそれに比べて緩勾配であることを意味しており、筋厚値が大きい選手ほど

Table 2. Comparisons of left and right lower limbs muscle thicknesses in male junior speed skaters. Ta : Thigh anterior muscle thicknesses, Tl : Thigh lateralismuscle thicknesses, Tp : Thigh posterior muscle thicknesses, La : Lower leg anterior (Tibialis anterior) muscle thicknesses, Lp : Lower leg posterior muscle thicknesses.

Age (yrs)	Ta		Tl		Tp		La		Lp	
	Right	Left								
10	41.1±4.1	39.4±4.7	35.1±4.2	34.9±5.1	47.7±5.4	47.5±4.5	22.5±2.3	21.9±2.2	49.2±3.6	49.3±3.9
11	40.2±4.3	39.3±5.0	36.6±5.1	34.8±5.1	49.6±4.6	48.2±5.7	22.6±2.5	22.6±2.6	49.8±4.4	49.8±4.5
12	43.0±4.6	42.8±4.9	38.8±4.8	37.6±5.3	51.4±5.7	51.6±5.9	23.9±2.7	23.8±2.8	53.0±4.6	53.3±4.7
13	46.2±5.2	46.6±5.9	41.5±4.6	41.2±5.0	55.0±6.0	54.7±5.5	25.8±2.8	25.8±2.4	57.0±4.6	56.9±4.7
14	50.4±6.9	51.2±7.9	44.6±6.7	44.7±7.3	57.1±7.0	56.4±6.8	27.8±2.9	27.4±2.8	59.5±5.6	60.0±5.4
15	54.3±6.5	54.6±6.7	46.4±5.2	46.0±6.6	58.1±6.9	60.0±6.6	28.1±3.6	28.0±3.1	60.3±5.3	61.0±4.7
16	56.3±6.9	56.8±6.8	48.7±6.6	47.9±6.8	61.7±5.9	61.7±5.2	29.2±2.4	28.9±2.7	62.0±4.7	62.8±4.0
17	58.4±7.6	59.2±7.7	48.9±7.6	48.7±8.7	65.8±8.0	66.1±7.8	29.9±2.3	30.0±2.5	63.1±4.1	63.3±4.4
18	60.2±4.4	60.6±5.0	49.7±6.4	50.2±5.7	67.3±5.2	67.4±4.2	31.0±2.4	30.3±2.3	63.9±4.3	64.5±3.7

Mean±S.D

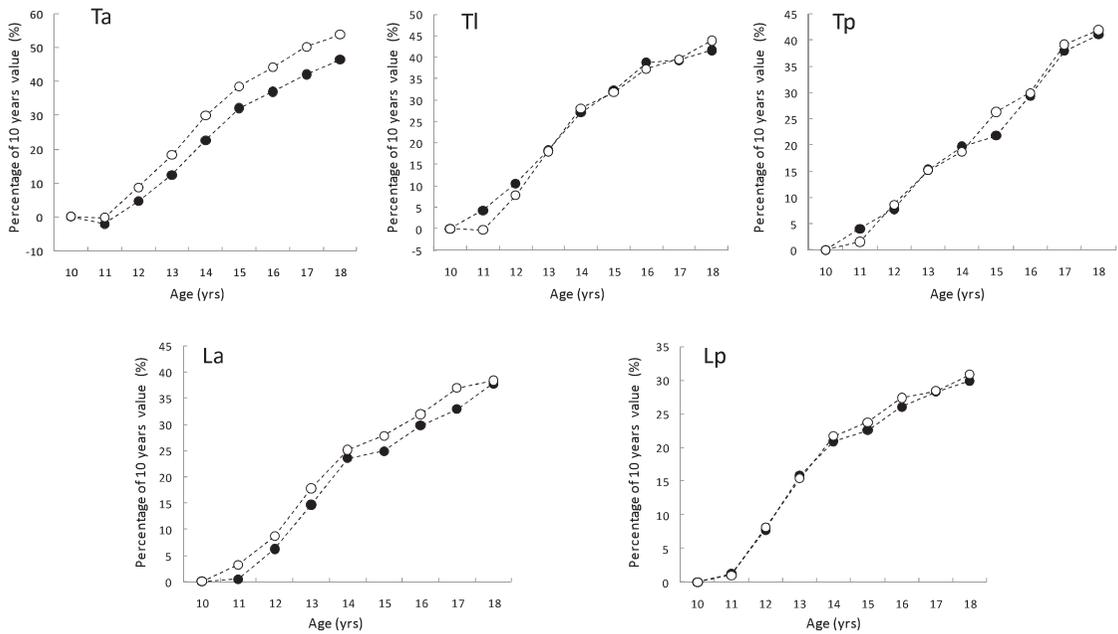


Fig.1. Age-related changes of left and right lower limbs muscle thicknesses. Values are expressed as a percentage of 10-years speed skaters. ●-●-●-Right leg, ○-○-○-Left leg, Ta : Thigh anterior muscle thicknesses, Tl : Thigh lateralismuscle thicknesses, Tp : Thigh posterior muscle thicknesses, La : Lower leg anterior (Tibialis anterior) muscle thicknesses, Lp : Lower leg posterior muscle thicknesses.

右脚よりも左脚の筋厚が発達している可能性を示唆するものである。本研究とほぼ同年代におけるスピードスケート選手を対象として筋量の発達を明らかにした先行研究は少なく (Nemoto et al. 1990, 根本ら 1987, 熊川と角田 2008)、さらに四肢の筋形態を左右で比較した報告は存在しない。しかも、スピードスケート選手の場合では、筋量発達の評価に除脂肪量が用いられることが多い。その中で、10歳から18歳までのジュニア選手におけるLBMの年齢推移を、同年代の一般児童及び生徒と比較したNemoto et al. (1990) の報告では、除脂肪量が男女ともに16歳以降の年齢において一般生徒よりも有意に高い値を示しており、スピードスケートトレーニングによる筋の適応は、思春期以降において顕著に現れるものと推察している。本研究において、高い筋厚値を示す選手ほどTa及びTlにおける左右差が大きい傾向を示した結果は、スピードスケート特有のトレーニ

ング効果の現れとして考えることができ、大腿部に関して言えば、同一セグメントの筋群でありながらその前後に位置する筋群によって左右差の現れ方が異なることを示唆するものであった。この背景については本研究の結果から明らかにすることができないが、一般的に長期にわたるスポーツトレーニングに伴う筋の形態的発達の程度には、運動特性を反映した部位差が存在する (石田ら 1992, 角田ら 1986)。このことを考慮すれば、本研究の結果は水上滑走あるいは陸上で行われるローラスケート滑走中の左右脚における運動学的差異の影響を少なからず受けているものと推察できる。スピードスケートは、ストレート滑走とカーブ滑走に大別されるが、このうちカーブ滑走時における左右脚の動作様式は大きく異なる (de Koning et al. 1991)。カーブ滑走中における下肢キネティクスについて検討した湯田ら (2005) の報告では、滑走局面における左脚の股関節及び膝

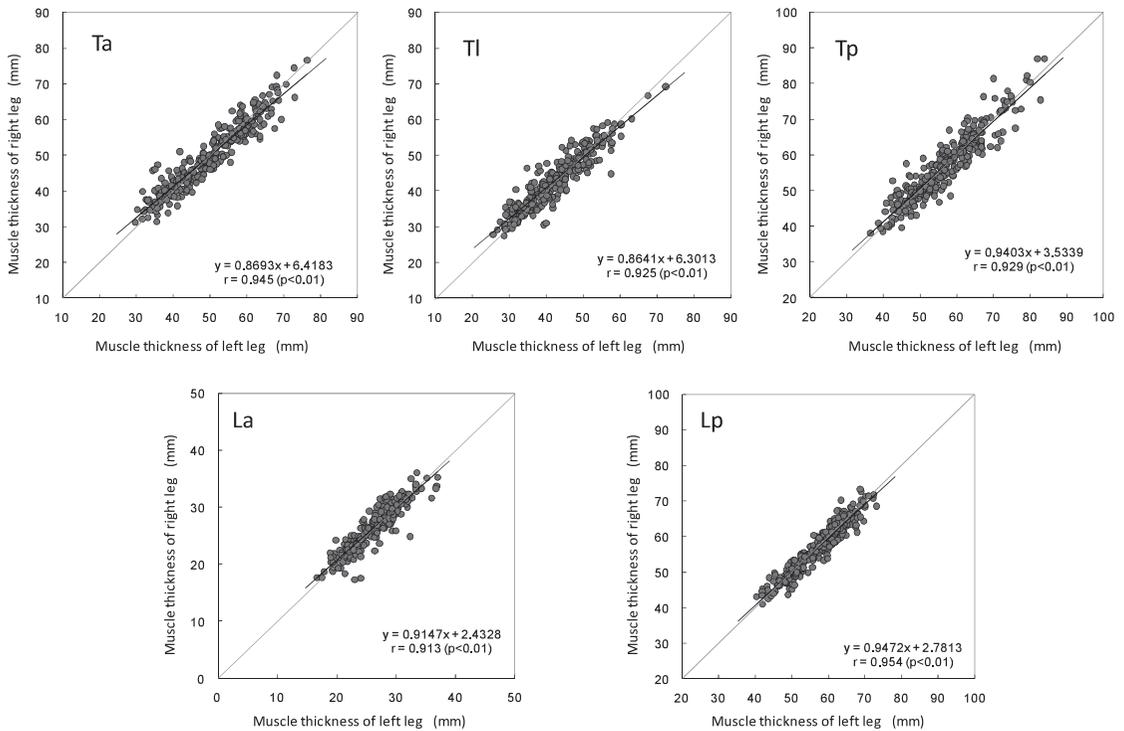


Fig.2. Relationships between right and left lower limbs muscle thicknesses. Ta : Thigh anterior muscle thicknesses, Tl : Thigh lateralis muscle thicknesses, Tp : Thigh posterior muscle thicknesses, La : Lower leg anterior (Tibialis anterior) muscle thicknesses, Lp : Lower leg posterior muscle thicknesses.

関節伸展トルクが比較的大きく、さらにプッシュオフ局面においては膝関節で大きな伸展トルクが発揮されている。このことから、カーブ滑走中は、左側の脚伸展動作に関与する筋群に高い筋収縮が強制されるものと推察できる。スケート動作中の関節角度と筋負担に関して根本 (1983) は、膝関節角度の小さいスケートポジションを維持することによって大腿四頭筋に対する負荷が大きくなることを指摘している。従ってこれら一連の先行研究を考慮すると、本研究で観察された左右の筋厚関係における回帰直線の部位差は、カーブ滑走中の脚伸展動作が左右で異なることに付随して生じる大腿四頭筋に対する負荷及び活動量の左右差を反映したものと考えられる。

4. 要 約

本研究では、男子ジュニアスピードスケート選手における左右の大腿部及び下腿部における筋厚発達の部位差について検討した。

その結果は以下のとおりであった。

1) 筋厚に対する年齢×左右脚の二元配置分散分析を行った結果、全ての部位において左右脚による有意差及び交互作用は認められなかった。このことから、本研究で測定した大腿部及び下腿部の筋厚値は全ての年齢において左右差が認められない可能性が考えられた。

2) 10歳の選手に対する各年齢における筋厚値の比率は、大腿部が下腿部よりも大きい変化率を示した。従って、スピードスケート選手における下肢の筋厚は下腿部に比べて大腿部の発達が著し

いものと推察した。

3) 左右筋厚の関係における回帰直線を比較した結果、大腿部前面及び外側面における回帰直線が他の部位のそれに比べて緩勾配であった。従って、筋厚値が大きい選手ほど右側よりも左側の筋厚が発達している可能性が示唆された。

本研究の一部は、国士舘大学体育学部附属体育学研究所の2010年度研究助成によって実施した。

引用・参考文献

- 1) 安部 孝, 福永哲夫, (1995), 日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院, 東京.
- 2) de Boer R W, Cabri J, Vaes W, Clarijs J P, Hollander A P, de Groot G, van Ingen Schenau G J, (1987), Moments of force, Power, and muscle coordination in speed-skating. *Int J Sports Med*, 8 (6), 371-378.
- 3) de Koning J J, de Groot G, van Ingen Schenau G J, (1991), Speed skating the curves: A study of muscle coordination and power production. *Int J Sport Biomechanics*, 7, 344-358.
- 4) 福永哲夫, (1978), ヒトの絶対筋力-超音波による体組成・筋力の分析-. 初版, 杏林書院, 東京, 23-140.
- 5) 石田良恵, 金久博昭, 福永哲夫, 中村栄太郎, (1992), 日本人一流競技選手の皮下脂肪厚と筋厚. *Jpn J Sports Sci*, 11, 587-596.
- 6) Kandou T W A, Houtman I L D, v d Bol E, de Boer R W, de Groot G, van Ingen Schenau G J, (1987), Comparison of physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Can J Spt Sci*, 12 (1), 31-36.
- 7) 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.
- 8) 熊川大介, 角田直也, (2006), 男女スピードスケート選手における下肢筋群の形態及びパワー発揮能力に及ぼす競技種目の影響. *トレーニング科学*, 18 (3), 241-249.
- 9) 熊川大介, 角田直也, (2008), 相対発育からみたスピードスケート選手の滑走能力と大腿部の筋厚及び無酸素性パワーの発達. *体力科学*, 57 (1), 119-129.
- 10) 宮谷昌枝, 東 香寿美, 金久博昭, 久野譜也, 福永哲夫, (2003), 下肢筋厚における加齢変化の部位差および性差:20歳代と70歳代の比較. *体力科学*, 52, 133-140.
- 11) 根本 勇, (1983), 速く滑る-スピード・スケート-. *Jpn J Sports Sci*, 2, 921-34.
- 12) 根本 勇, 金久博昭, 宮下充正, (1987), 形態及び筋出力とその持続能力の年齢推移に及ぼすスポーツ・トレーニングの影響. *疲労と休養の科学*, 2, 79-96.
- 13) Nemoto I, Kanehisa H, Miyashita M, (1990), The effect of sports training on the age-related changes of body composition and isokinetic peak torque in knee extensors of junior speed skaters. *J Sports Med Phys Fitness*, 30, 83-88.
- 14) 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.
- 15) 湯田 淳, 結城匡啓, 青柳 徹, 藤井範久, 阿江通良, (2005), スピードスケート長距離種目におけるカーブ滑走中の下肢キネティクスの変化. *バイオメカニクス研究*, 9 (2), 53-68.