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

熊 川 大 介 角 田 直 也

BIOLOGICAL GROWTH AND DEVELOPMENT IN SKATING PERFORMANCE, MUSCLE STRUCTURE AND ANAEROBIC POWER OUTPUT CAPACITY IN MALE AND FEMALE JAPANESE SPEED SKATERS

DAISUKE KUMAGAWA and NAOYA TSUNODA

Abstract

The objective of this study was to examine biological growth and development in skating performance by focusing on thigh muscle thickness and anaerobic power output capacity in Japanese speed skaters. One hundred thirty-three male and 96 female skaters aged from 10 to 22 years old were tested in this study. The anterior (MTA) and posterior (MTP) thicknesses of the thigh muscles were measured by the B-mode ultrasonic method. Maximal anaerobic power output capacity (MAP) was determined using a bicycle ergometer. The mean 500 m skating velocity (SV) calculated from recently attained individual best times, was used as a measure of skating performance. These parameters, along with height, were plotted on a logarithmic graph to obtain the allometric equation $y = bx^a$, where "a" is a growth index.

There were two sharp bends in the graph showing the relationships between MTA, MTP, MAP, SV and body height in both males and females. The growth indexes "a" between the first and second changing points in all the above relationships were observed to be larger than the other phases. Ranges of body height between the first and second changing point in muscle thicknesses (MTA, MTP) ranged from 152.2-154.8 cm to 168.1-168.3 cm in males, and from 142.8-144.9 cm to 154.4-157.6 cm in females. The ranges of MAP were from 139.8 cm to 166.8 cm in males, and from 138.8 cm to 157.8 cm in females. However, the height ranges of SV were from 147.4 cm to 167.8 cm in males, and from 142.2 cm to 153.2 cm in females.

From these results, it was suggested that accelerated development of skating performance and anaerobic power output capacity begins earlier than muscle structural development in speed skaters.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2008, 57 : 119~130)

key word : Speed skater, Biological growth and development, Skating performance

I . 緒 言

これまでに、国内外のスピードスケート選手の体力的特性に関する研究の多くは、一流選手や成人選手における筋の形態的及び機能的特徴を明らかにした報告が主である。それらの報告によると、スピードスケート選手における全身の骨格筋量は、一般成人に比べて著しく多く²⁴⁾、かつ競技成績の優れる選手ほど筋量の発達が著しいことが明らかにされている²⁷⁾。また、スポーツ選手の体組成について検討した金久たち⁹⁾や角田たち²⁶⁾によれば、男女

とも大腿筋群の横断面積が他のスポーツ選手と比較して大きく、中でも外側広筋の発達が著しいことを明らかにしている。従って、スピードスケート選手における筋の形態的特徴としては、特に下肢筋群の発達が著しいと考えられる。このような筋の量的な発達は、発揮される力やパワーにも影響を及ぼす。Rajala et al.²⁵⁾は、男子スピードスケート選手の膝関節伸展トルクや角速度及びパワーを各関節角度について測定している。その結果、関節トルク及びパワーは、全ての角度において一般成人よりも高い値を示し、さらにその出力特性は氷上滑走中のものと

ほぼ類似するという。また, Kanehisa et al.¹¹⁾は, スピードスケート選手は一般成人に比して膝伸展筋群における等速性筋出力の持続能力において優れることを明らかにしている。さらに, Geijsel et al.⁶⁾の報告では, 自転車の全力ペダリング中のパワーと氷上滑走中のパワーとの間に有意な相関関係が認められている。従って, スピードスケート選手は下肢における高いパワー発揮能力を有し, さらにそれらの能力が競技成績に直接的に関与するといえる。

一方, このような体力的特性を有するまでの過程について, 発育・発達の観点から検討した報告は少ない。de Koning et al.³⁾は5年間の縦断的研究から, 好成績を収めた成人スピードスケート選手は, 16歳以降で自転車ペダリング中のパワーが著しく増加したことを報告している。また, 根本たち²¹⁾や Nemoto et al.²³⁾は, 10歳から18歳におけるジュニア選手の除脂肪体重や単発的な筋出力の年齢推移を示し, 同年代の一般児童及び生徒と比較している。その結果, 男女ともに16歳以降の年齢において有意な差異が認められている。従って, スピードスケートトレーニングの効果は, 特に思春期以降の男女において顕著に現れるものと推察できる。

しかしながら, 10歳代における男女を対象として暦年齢的な発育・発達の程度を明らかにする場合, 身体発育の個人差や性差といった生物学的な成熟度の影響を考慮した手法でなければならないと考えられる。暦年齢という時間的な因子ではなく, 生物学的年齢の指標である身長を基準として, 体力の発達を相対的に評価する方法としては, アローメトリー式 $y = bx^a$ が主として用いられている。Asmussen and Heebøoll-Nielsen¹⁾は, 身長と身体各部の発育が幾何学的な関係にあるものと仮定し, その理論値と実測値の比較を行っている。その結果, 身長に対して四肢の筋力や跳躍高及び走速度の発達速度は, 理論値よりも高い値を示すことを報告している。また, 金久たち¹⁰⁾は同様の手法により, 身長と体肢の筋断面積との関係について検討した結果, 男女ともに両者の関係は2箇所の変移点を持つ3相の直線で表されることを報告している。一方, スポーツ選手の場合, 筋形態及び機能の発達は, 専門種目トレーニングの影響を大きく受けることは周知の事実である。従って, 身長と体力的要素との関係における発育速度や変移点がみられる時期が, 一般児童及

び生徒の場合とは異なることが予想される。さらに, 身長とスピードスケート滑走能力の関係についての知見はこれまで得られていない。

そこで本研究では, 身長の発育に伴うスピードスケート滑走能力の発達と大腿部の筋厚及び無酸素性パワー発揮能力との関係を明らかにする事を目的とした。

Ⅱ. 方 法

A. 被検者

本研究の被検者は, 群馬県スケート連盟及び嬌恋スケートクラブに所属する10歳から22歳までのスピードスケート選手, 男子133名, 女子96名の計229名を対象とした。測定に先立って各被検者には, 本研究の目的, 測定の内容とその安全性について十分説明した後, 被検者及びその保護者から測定参加への任意による同意を得た。なお, 本研究では被検者の競技レベルを確認するために, 小学生, 中学生, 高校生及び大学生-成人選手におけるスピードスケート競技 500 m 種目の国内最高記録(小学生は県内最高記録, 大学生-成人選手は日本記録)に対する被検者の 500 m 最高記録の比率¹³⁾を算出した結果, 男子は約84.7%から90.4%, 女子では約85.1%から89.1%の範囲内であり, 各年代ともにほぼ同様の競技レベルを有しているものと判断した。また, 小学生では県内最高記録保持者, 中学生では全国大会準優勝者及び高校生はインターハイ入賞者がそれぞれ含まれていた。本研究では, 男子の身長 130 cm から 185 cm まで, 女子では 130 cm から 165 cm までをそれぞれ 5 cm 毎の階級に分けた。各身長階級における被検者数, 平均年齢及び身体的特性については, 平均値と標準偏差値で Table 1 に示した。

また, 本研究は国土館大学体育学部研究倫理委員会の審査を受けて実施した。

B. 身体組成

各被検者の身長は身長計を用いて計測した。また, 体重及び除脂肪体重(FFM)は, 体内脂肪計(BODY FAT ANALIZER, TBF-110, TANITA 社製)を用いて両足間から4電極のインピーダンス法により測定した。

Table 1. Number of subjects and physical characteristics with body height.

	Body height (cm)	n	Age (yrs)	Body height (cm)	Body mass (kg)
Male	130-134.9	3	11.3±0.6	132.9±1.0	28.5±3.8
	135-139.9	9	11.1±1.1	137.3±1.8	31.1±3.2
	140-144.9	7	10.7±0.8	141.4±1.4	32.5±2.6
	145-149.9	6	11.5±1.0	146.6±1.4	37.7±2.2
	150-154.9	6	13.0±0.9	152.7±1.3	41.6±4.7
	155-159.9	7	12.7±0.8	157.2±1.4	44.8±2.7
	160-164.9	12	14.0±1.2	162.8±2.0	53.1±5.5
	165-169.9	38	16.4±2.0	167.3±1.2	61.2±6.5
	170-174.9	26	17.4±2.1	172.5±1.5	63.2±5.5
	175-179.9	12	17.8±2.4	177.8±1.6	66.6±6.6
	180-184.9	7	19.9±1.8	182.0±2.8	75.1±4.4
Female	130-134.9	3	10.0±0.0	134.1±0.3	30.4±0.6
	135-139.9	4	10.0±0.0	138.3±2.2	30.7±1.5
	140-144.9	7	11.0±1.0	142.6±1.7	35.0±3.6
	145-149.9	10	12.2±1.5	148.1±1.5	39.1±6.6
	150-154.9	24	14.1±2.6	152.5±1.7	46.9±7.2
	155-159.9	31	16.0±2.8	158.0±1.3	54.3±6.4
	160-164.9	17	15.9±2.3	162.1±1.3	56.5±7.1

Values are expressed as mean±S.D.

C. 筋厚の測定

大腿部における筋厚は、超音波測定装置(Echo Camera SSD-900CL, ALOKA 社製)を用いて、超音波周波数 7.5 MHz で測定した。測定部位は、右側の大腿部前面(MTA)及び後面(MTP)であり、大腿長の50%に相当する位置をそれぞれ計測した。本研究における筋厚値は、石田たち⁷⁾の方法に従い、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の距離をそれぞれ筋厚とした。なお、大腿長は大転子から脛骨点までの距離を巻尺を使用して測定した。

D. 無酸素性パワーの測定

無酸素性パワーの測定は、宮下¹⁶⁾の方法に従い、電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター(Power MAX VII, COMBI社製)を使用して、無酸素パワーテストを行った。即ち、各被検者には通常のトレーニング前に実施しているウォーミングアップの後に、負荷を変えることによる10秒間の全力ペダリング

を2分間の休憩をはさんで3回行わせた。第1の負荷は体重 59 kg 以下が 3 kp, 60~70 kg が 4 kp, 80 kg 以上が 5 kp というように、被検者の体重によって設定され、第2及び第3の負荷は前試技のペダル回転数に応じて漸増される。この3回の全力ペダリングより得られた負荷と最大ペダル回転数との直線から推定されたパワーの最高値である最大無酸素パワー値(MAP)を個人値として採用した。

E. 滑走能力

滑走能力としては、測定年度における公式競技会で記録された 500 m 最高記録を秒速に変換した平均滑走速度(SV)で評価した。

F. アローメトリー式の算出

アローメトリー式 $y = bx^a$ (両辺の対数をとると $\log y = \log b + a \log x$) 及び変移点の算出については金久たち¹⁰⁾や森下¹⁷⁾の方法に従った。即ち、各身長階級における測定値の平均値を両対数グラフ上に

プロットし, 複数の身長階級間で最小自乗回帰し, $\log y = \log b + a \log x$ (身長を x) を求めた. なお, 本研究の全ての関係における相関係数は0.5以上であった. また, 複数の直線で両者の関係が表される場合には, 隣接する直線の交点に相当する身長を推移点とした. アローメトリー式における b あるいは $\log b$ は直線の位置を示す値であり, 発育・発達という観点からするとほとんど意味を持たない. 一方, “ a ” は直線の勾配を表しており, 発育速度の高低を示す係数とされている¹⁷⁾.

また, x と y が等速度で成長する場合には, $a = 1$ と表されることになる. また, y のほうが x より発育速度が優れる場合には $a > 1$ であり, $a < 1$ であれば y の方が劣成長であることを意味する.

Table 2. Correlation coefficients between skating velocity and muscle thicknesses and maximal anaerobic power output capacity in male and female skaters.

	Male	Female
MTA	.437*	.422*
MTP	.438*	.208*
MAP	.769*	.667*
MAP·FFM ⁻¹	.738*	.709*

MTA: Anterior thigh muscle thickness. MTP: Posterior thigh muscle thickness. MAP: Maximal anaerobic power. FFM: Fat free mass. * indicates significant correlation coefficient ($p < 0.05$)

Fig. 1. Age-related changes in anterior(MTA) and posterior(MTP) thigh muscle thicknesses, maximal anaerobic power(MAP) and skating velocity(SV) in male and female speed skaters. ●---●: Males. ○---○: Females. * indicates significant gender difference ($p < 0.05$). # indicates significant difference between age groups ($p < 0.05$).

G. 統計処理

本研究における相関係数は、すべて年齢を除去した偏相関によって求めた。また、筋厚、無酸素性パワー及び滑走速度におよぼす年齢と性の影響については二元配置分散分析によって調べ、各年齢群間及び男女間における有意差は多重比較検定によって検定した。いずれも、有意水準を5%未満($p < 0.05$)とした。

Ⅲ. 結 果

A. 滑走能力と筋厚及び無酸素性パワーとの関係

Table 2 は、滑走能力と筋厚及び無酸素性パワーの関係について男女別に示したものである。SV と MTA との間には、男女とも、それぞれ有意な相関関係(男子: $r_{xy \cdot z} = 0.437$, 女子: $r_{xy \cdot z} = 0.422$, $p < 0.05$)が認められた。また、SV と MTP との間についても、それぞれ有意な相関関係(男子: $r_{xy \cdot z} = 0.438$, 女子: $r_{xy \cdot z} = 0.208$, $p < 0.05$)が認められた。MAP 及び FFM あたりの MAP と SV との関係についても同様に、男女ともそれぞれ有意な相関関係(MAP 男子: $r_{xy \cdot z} = 0.769$, 女子: $r_{xy \cdot z} = 0.667$, $\text{MAP} \cdot \text{FFM}^{-1}$ 男子: $r_{xy \cdot z} = 0.738$, 女子: $r_{xy \cdot z} = 0.709$, $p < 0.05$)が認められた。

B. 年齢に伴う筋厚、無酸素性パワー及び滑走能力の変化

Fig. 1 は、各年齢における MTA, MTP, MAP 及び SV の平均値を男女で示したものである。MTA は、性の主効果及び交互作用に有意な差は認められなかったが、年齢では有意な差異が認められた。また、MTP では、交互作用は有意な差が認められなかったが、性及び年齢における主効果には有意差が認められた。男子における MTA の値は、10歳から約18歳まで、女子では20歳代まで増加する傾向がみられ、隣接する年齢間で有意な差異が認められたのは、男子の14歳と15歳間及び女子の15歳と16歳間であった。また、MTP の値は、男女ともに15歳と16歳の間で有意な差異が認められたが、それ以降の年齢ではほぼ一定の値を示した。また、筋厚の値は、18歳の MTP において男子が女子よりも有意に高い値を示すが、それ以外の年齢においては両部位ともに有意な男女差は認められなかった。一方、MAP は性及び年齢における主効果及び交互作用に有意な

差異が認められた。男子の値は、11歳から15歳まで各年齢間に著しい増加が認められた。女子では11歳と12歳間において有意な差異が認められたのみで、それ以降は17歳まで緩やかな増加傾向を示した。また、男女ともに16歳以降の年齢では各年齢群間に有意な差異は認められなかった。男女差をみると、14歳以降の年齢において男子が女子より有意に高い値を示した。

SV は、年齢及び性の主効果には有意な差が認められたものの、交互作用は認められなかった。SV の値は男女ともに年齢に伴って20歳代まで増加する傾向がみられるが、特に男子の11歳から15歳の各年齢間及び女子の11歳と12歳及び14歳と15歳間では著しい増加が認められた。一方、男女差についてみると、10歳と11歳及び13歳以降の各年齢において男子が女子より有意に高い値を示した。

C. 身長と筋厚、無酸素性パワー及び滑走能力との関係

Fig. 2, Fig. 3 及び Fig. 4 は、各身長群における MTA, MTP, MAP 及び SV の平均値をそれぞれ対数グラフ上にプロットしたものである。身長と各項目の関係は、それぞれ2箇所の変移点が認められ男

Fig. 2. The relationships between thigh muscle thicknesses and body height in male and female speed skaters. —●—: Anterior thigh muscle thickness in males. —○—: Posterior thigh muscle thickness in males. —▲—: Anterior thigh muscle thickness in females. —△—: Posterior thigh muscle thickness in females.

Fig. 3. The relationships between maximal anaerobic power and body height in male and female speed skaters. —●—: males. —○—: females.

女ともに3相の直線で表された。

各項目における第1及び第2変移点に相当する身長は、Table 3に示したとおりである。男子のMTAとMTPにおける第1変移点は、身長152.2 cmと154.8 cm、女子では身長142.8 cmと144.9 cmで認められた。また、第2変移点に相当する身長は、男子で168.1 cmと168.3 cm、女子では154.4 cmと157.6 cmであった。一方、身長とMAPとの関係における第1変移点に相当する身長は、男子で139.8 cm、女子では138.8 cmであった。また、第

Fig. 4. The relationships between skating velocity and body height in male and female speed skaters. —●—: males. —○—: females.

2変移点は男子の166.8 cm、女子では157.8 cmで認められた。身長とSVとの関係における両変移点間の身長範囲は、男子が147.4 cmから167.8 cm、女子は142.2 cmから153.2 cmであった。

D. アローメトリー式における係数“a”の変化
身長と筋厚との関係におけるアローメトリー式の係数“a”の変化は、Fig. 5に示した。男子のMTAにおける係数“a”は、第1変移点を境に0.572から3.265に増加し、第2変移点以降で0.861に減少し

Table 3. The first and second changing points of body height at which relationships between anterior and posterior thigh muscle thicknesses, maximal anaerobic power, skating velocity and body height in males and females.

	Male		Female	
	First changing point	Second changing point	First changing point	Second changing point
MTA	152.2 cm	168.1 cm	142.8 cm	154.4 cm
MTP	154.8 cm	168.3 cm	144.9 cm	157.6 cm
MAP	139.8 cm	166.8 cm	138.8 cm	157.8 cm
SV	147.4 cm	167.8 cm	142.2 cm	153.2 cm

MTA: Anterior thigh muscle thickness. MTP: Posterior thigh muscle thickness. MAP: Maximal anaerobic power. FFM: Fat free mass. * indicates significant correlation coefficient ($p < 0.05$)

Fig. 5. The changes of index "a" in thigh muscle thicknesses with body height in male and female speed skaters. —●—: Anterior thigh muscle thickness in males. —○—: Posterior thigh muscle thickness in males. —▲—: Anterior thigh muscle thickness in females. —△—: Posterior thigh muscle thickness in females.

た．同様の傾向は女子の MTA についても認められた．即ち，第 1 変移点で 0.349 から 4.025 に増加し，第 2 変移点以降に 0.690 に減少した．また，MTP における係数 "a" についても同様に，第 1 変移点を境に男子は 0.592 から 2.637 に，女子では 0.648 から 2.465 に増加し，第 2 変移点で -0.639 及び 0.407 にそれぞれ減少した．

Fig. 6 には身長と MAP との関係における係数 "a" の値を男女で示した．両者の関係における係数 "a" は，第 1 変移点を境に 1.712 から 6.706 (男子) 及

Fig. 6. The changes of index "a" in maximal anaerobic power with body height in male and female speed skaters. —●—: Males. —○—: Females.

Fig. 7. The changes of index "a" in skating velocity with body height in male and female speed skaters. —●—: Males. —○—: Females.

び 1.437 から 8.417 (女子) に増加するものの，第 2 変移点以上では男子で 2.429 及び女子では 1.181 にそれぞれ減少した．

身長と SV との関係における係数 "a" は，男子で 0.427 から 1.748 に増加し，第 2 変移点を境に 0.381 に減少した．女子の第 1 変移点における係数 "a" の増加は 0.835 から 3.103 であり，第 2 変移点以降では 0.527 に減少した (Fig. 7)．

IV. 考 察

A. 大腿部の筋厚及び無酸素性パワーと滑走能力との関係

スピードスケート滑走中において筋の発揮する出力は，空気抵抗及び氷とブレードとの摩擦抵抗に抗して身体を前方に移動させるために用いられる²⁹⁾．従って，競技成績の改善にはより多くの筋出力が必要であると考えられており，これまでに骨格筋の形態とスピードスケート滑走能力との関係を検討した研究が多くなされている^{5, 18, 20)}．これらの報告では，国内の一流スピードスケート選手における競技成績と除脂肪体重との間に高い相関関係が認められており，競技能力向上のためにはより大きな除脂肪体重が必要であることが指摘されている．本研究では，MTA 及び MTP と SV との間に，それぞれ有意な相関関係が認められたことから，スケート滑走動作の主働筋である大腿筋群の量 (筋厚) は，男女とも滑走能力に直接的に関わることが示唆された．一方，下肢の筋出力と滑走能力に関して根本たち¹⁹⁾

は、等速性の膝伸展筋出力とスピードスケート競技成績との間に有意な相関関係が認められたことから、競技能力の向上には単発的な筋の収縮力を高めることの重要性を示唆している。また、van Ingen Schenau and de Groot²⁸⁾や Geijsel et al.⁶⁾は成人のスピードスケート選手では、自転車ペダリングにより測定した無酸素性パワーがスピードスケート競技能力に関連することを報告している。即ち、本研究において MAP と SV との間に有意な相関係数が認められた結果は、これらの報告を支持するものといえる。

また、本研究では、筋厚に比べて最大無酸素パワーのほうが滑走速度との相関係数が高い値を示した。一般に筋厚や筋横断面積は力を反映する因子であることは周知の事実である。一方、最大パワーは力と速度の掛け合わせによって決定される。スピードスケートの場合、滑走速度はストロークの長さや単位時間当たりのストローク数(ストローク頻度)により決定される。de koning²⁾は、スピードスケート滑走中のスケートに作用する垂直方向の力を測定し、滑走速度との関係を調べた結果、両者の関係は統計学的に有意ではないことを明らかにしており、滑走速度は1ストローク中に発揮される力ではなくストローク頻度によって決定されると考察している。従って、筋力に加えて、競技力に対する脚の動作速度の貢献度も高いものと推察でき、そのことが本研究における MAP と SV の関係で高い相関係数が認められた結果の一要因として考えられる。

B. 身長発育に伴う筋厚及び無酸素性パワーの発達

身長は、骨の発達度合いの指標として発育・発達研究においてよく用いられている。このうち思春期中の生徒を対象として、身長発育に及ぼすスポーツトレーニングの影響について検討した Wanne and Valimäki³⁰⁾によると、思春期のトレーニングは骨の発育に影響がないことを指摘している。また、スピードスケート選手と一般生徒における身長の年齢推移を比較した Nemoto et al.²³⁾や根本たち²¹⁾の報告では、いずれの年齢段階ともに両者間の身長には有意な差異は認められていない。これらの報告は、スピードスケートのトレーニングが身長に及ぼす影響が少ないことを示唆しており、本研究の被検

者についても、一般児童及び生徒とほぼ同様の身長を有しているものと考えられる。

日本人青少年における体肢筋断面積と身長の関係についてアローメトリー式を用いて検討した金久たち¹⁰⁾によれば、両者の関係は男女ともに3相の直線で表され、係数“a”が最も高い値を示す身長区間は、男子が152.1~153.2 cm から163.1 cm~165.9 cm、女子では140.4 cm~142.0 cm から148.9 cm~150.2 cm の範囲であったという。本研究における MTA 及び MTP と身長についても、2箇所の変移点を持つ3相の直線が認められ、係数“a”が最も高い値を示したのは両変移点間であった。このように、スピードスケート選手における筋厚と身長の関係は、筋厚の急増区間を含む3相で示されることが明らかになった。先の金久たちの報告によれば、身長と体肢筋断面積との関係において、筋断面積の急増区間が男子は約12歳から16歳、女子では約10歳から14歳であり、いずれも第二次性徴期に相当する年齢で認められている。本研究における筋厚の急増区間に相当する年齢は、男子は約13.0歳から16.4歳、女子では約11.0歳から約14.1歳であり、先の報告とほぼ一致していた。従って、筋厚の発達スパートの要因としては、自然発育による筋量の増加によるものと推察できる。また、本研究において発達のスパートが開始される第1変移点に相当する身長についても、一般の男女の場合とほぼ同様であった¹⁰⁾。即ち、本研究のスピードスケート選手における大腿部の筋厚の発達スパートは、一般の青少年とほぼ同様の身長で開始されていることが考えられる。熊川¹⁴⁾は、群馬県嬬恋地区で実践されているスピードスケート選手のトレーニング内容について報告している。この報告によると、小学生後期(4年~6年生)は、走・跳・投能力といった基礎的な身体活動能力の向上及びローラースケートによるスケATING技術の習得がねらいとして構成されており、ウエイトトレーニング等の筋肥大を目的としたトレーニングは中学生以降から開始されている。従って、筋厚発達のスパート開始は、スピードスケートトレーニングの効果が現れたものと解釈するよりも、むしろ自然発育によってもたらされる要素が強いものと考えられる。一方、係数“a”の値が低下する第2変移点に相当する身長は、男女ともに先の報告よりも高い身長(男子が168.1 cm~168.3

cm, 女子では 154.4 cm~157.6 cm)で認められた。このことは、スピードスケート選手における筋厚の急増区間が、一般生徒及び児童のそれよりも長いことを意味している。従来、筋力トレーニングの効果は思春期以降において大きいことが報告されている。Nemoto et al.²³⁾は、ジュニア選手の筋量や筋出力が、男女ともに16歳以降の年齢で一般生徒よりも有意に高い値を示すことから、思春期後のトレーニングが下肢筋群の形態的及び機能的発達を促進する可能性を指摘している。本研究における筋厚値の年齢変化についても、男女ともに16歳以降で増加する傾向がみられている。また、本研究の身長と筋厚の関係では、第2変移点となる身長に該当する年齢が、男女ともに約16歳であった。さらに、先の熊川¹⁴⁾の報告によれば、高校生期における体力面のトレーニングは、ウエイトトレーニングが中心となり、徹底した筋力アップを目的に実施されている。従って、これらの事を考慮すると本研究のスピードスケート選手における大腿筋群の発達スパート期が一般生徒より長い要因としては、特に発育後期における筋力トレーニング量の増加及びトレーニング効果が大きいことに起因するのかもしれない。

スピードスケート滑走能力に関わる筋の機能的特性の一つとして、無酸素性作業能力が考えられている。根本²²⁾は、無酸素性パワー及び全身の筋量の指標である除脂肪体重と 500 m 平均滑走速度の間にはそれぞれ高い相関係数が認められたことから、両者は密接な関係にあることを報告している。同様の結果は、本研究における SV と筋厚及び MAP の相関係数からも確かめられた。また、Mercier et al.¹⁵⁾は11歳から19歳の男子について、Dore et al.⁴⁾は、16歳から18歳の男女を対象として下肢の体積を算出し、自転車全力ペダリング中のピークパワーとの関係をそれぞれ検討した結果、いずれの報告ともに両者間には高い相関係数が認められている。従って、筋厚と無酸素性パワーの発育は同様の推移を示すことが予想された。本研究における MAP と身長の関係は、男女ともに3相の直線で表され、係数“a”が最も高い値を示した身長区間は、筋厚においてみられる区間と同様の範囲内であった。しかしながら、MAP における第1変移点は、男女ともに筋厚のそれよりも低い身長で認められた。このことは、スピードスケート選手の無酸素性パワー発揮能

力は、大腿部の筋形態よりも早い時期で発達のスパートが開始されることを意味するものである。金久たち⁸⁾は、7歳から18歳の男女における膝伸展及び屈曲筋群の断面積及び筋出力の年齢変化を明らかにしている。この報告では、筋断面積及び筋出力のいずれの年齢変化についても、男子では12歳以降に増加の程度が増すが、急増が開始される年齢は両項目ともにほぼ同様の年齢でみられている。また、本研究における筋厚と MAP の年齢変化をみると、男子の MTP を除けば筋厚は10歳からの増加が大きく、MAP では男女ともに11歳から著しく増加する傾向がみられている。従って、身長を基準とし、生物学的な成熟度の差を除去してスピードスケート選手の体力的要素の発達を考えた場合、トレーニングの効果が現れるのは、パワー発揮能力のほうが筋量(筋厚)よりも早い可能性が考えられる。

C. 身長の発育に伴う滑走能力の発達

本研究では、身長の発育にともなう滑走速度の発達について検討した。Asmussen and Heebøll-Nielsen¹⁾は、ディメンジョン論の観点から、速度と身長におけるアローメトリー式の係数“a”は、理論的には“0”であると報告している。従って、速度は身長に規定されない項目であるということになる。しかし、この報告における走速度-身長関係の係数“a”は、0.677であり、理論値と一致していない。本研究における SV(y)と身長(x)の関係についても、全ての局面において“0”を上回る結果となった。先行研究¹⁾では、このような理論値と実測値のズレの要因として、神経系の発達による運動動作自体の発達を挙げている。従って、滑走能力の発達には、Asmussen and Heebøll-Nielsen¹⁾の示す lineal dimension 以外の、滑走技術や身体組織の質的な変化及び心理状態等が影響を及ぼすものと考えられる。また、本研究における SV と身長で係数“a”が“1”を上回る身長区間は両変移点間であり、他の局面では男女とも“1”を下回る結果となった。このことは、第1変移点前及び第2変移点後では、身長に対して滑走能力の発育が下回り、男子の身長約 147 cm から 167 cm 及び女子の約 143 cm から 153 cm の区間においてのみ、滑走能力の発達が優位であることを意味するものである。従って本研究の結果から、滑走能力についても思春期発

育によるものと思われる急増区間が存在することが考えられる。

一方, MAP と SV の変移点に相当する身長を比較すると, SV における第 1 変移点は MAP よりも高い身長でみられた。即ち, 氷上滑走能力は無酸素性パワー発揮能力よりも急増の開始する時期が遅いといえる。根本¹⁸⁾は, 膝関節伸展筋力とスピードスケート競技成績との相関係数が, 中学生及び高校生期において高く, それ以降及び以前の年齢では低い値を示すことを報告している。また, 熊川たち¹²⁾は, 身長を基準として男子スピードスケート選手を思春期前, 思春期中及び思春期後の 3 群に分け, 500 m 平均滑走速度とスライドボード上での動作速度の相関関係を群別に明らかにしている。その結果, 最も高い相関係数を示したのは思春期中に相当する時期であり, 思春期前の選手では両者の間に有意な相関関係は存在しない事を報告している。これらの報告は, 競技成績に対する最大パワー発揮能力の貢献度が年代によって異なる可能性を示しており, 特に思春期前においてはその影響が少ないものと推察できる。従って, 本研究における SV の発達スパートの初期段階においては, 滑走能力に対する最大パワー発揮能力の貢献度が小さいことが予想され, そのことが本研究の結果の一要因として考えられる。

V. 結 論

本研究では, 身長の発育に伴うスピードスケート滑走能力の発達と大腿部の筋厚及び無酸素性パワー発揮能力との関係について検討した。その結果, 以下のことが明らかになった。

- 1) 大腿部の筋厚と滑走速度との相関関係から, 子供から成人のスピードスケート選手における大腿筋群の量は競技成績に直接的に関わることが示唆された。
- 2) 大腿部の筋厚に比べて無酸素性パワーのほうが競技能力との関係が強いことが明らかになった。このことから, 筋力に加えて, 競技力に対する脚の動作速度の貢献度も高いことが考えられた。
- 3) スピードスケート選手の身長と筋厚の関係は 3 相で表され, 筋厚発達のスパートは自然発育による要素が強いことが考えられた。ただし, 筋

厚発達のスパート終了時における身長がこれまでの報告に比べて高く, 特に思春期後における筋力トレーニングの影響が強いことが考えられた。

- 4) 滑走能力の発達スパートが開始される身長は, 筋厚のスパート開始身長に比べて低く, 無酸素性パワーのそれよりも高かった。従って, 思春期前では滑走能力と大腿部の筋量及び無酸素性パワーの発達が対応していないことが考えられた。

(受理日 平成19年11月21日)

参 考 文 献

- 1) Asmussen E. and Heeboll-Nielsen K. A., dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *J. Appl. physiol.*, (1955) **7**, 593-603.
- 2) de Koning J. J., Power equation for speed skating. *Int. J. sport biomech.*, (1987) **103-109**
- 3) de Koning J. J., Bakker F. C., de Groot G., van Ingen Schenau G. J., Longitudinal development of young talented speed skaters : physiological and anthropometric aspects. *J. Appl. Physiol.*, (1994) **77**, 2311-2317.
- 4) Dore E., Martin R., Ratel S., Duche P., Bedu M., van Praagh E., Gender differences in peak muscle performance during growth. *Int. J. Sports Med.*, (2005) **26**, 274-28.
- 5) 江橋 博, 西嶋洋子, 今泉哲雄, 一木昭男, 松尾彰文, 福永哲夫, 女子スピード・スケート選手の体力特性—橋本聖子選手について—, 体力研究, (1990), **76**, 1-16.
- 6) Geijssels J., Bomhoff G., van Velzen J., de Groot G., van Ingen Schenau G. J., Bicycle ergometry and speed skating performance. *Int. J. Sports Med.*, (1984) **5**, 241-245.
- 7) 石田良恵, 金久博昭, 福永哲夫, 中村栄太郎, 日本人一流競技選手の皮下脂肪厚と筋厚, *Jpn. J. Sports Sci.*, (1992), **11**, 587-596.
- 8) 金久博昭, 福永哲夫, 角田直也, 池川繁樹, 発育期青少年の単位筋断面積当たりの筋力, 体力科学, (1985), **34**, 71-78.
- 9) 金久博昭, 福永哲夫, 池川繁樹, 石田良恵, 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.*, (1986), **5**, 662-668.
- 10) 金久博昭, 角田直也, 池川繁樹, 福永哲夫, 相対発育からみた日本人青少年の筋断面積. 人類学雑誌, (1989), **97**: 63-70.
- 11) Kanehisa H., Nemoto I., Okuyama H., Ikegawa S., Fukunaga T., Force generation capacity of knee extensor muscle in speed skaters. *Eur. J. Appl. Physiol.*,

- (1996) 73, 544-551.
- 12) 熊川大介, 田中重陽, 熊川輝男, 青葉貴明, 角田直也, 男子スピードスケート選手における身長からみた相対発育が筋形態, スライド動作速度及び滑走能力に及ぼす影響, 東京体育学研究2003年度報告, (2004), 53-56.
- 13) 熊川大介, 角田直也, 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, (2006), 18, 241-249.
- 14) 熊川輝男, 成長期スピードスケート選手のトレーニング, トレーニング科学, (1991), 3, 7-11.
- 15) Mercier B., Mercier J., Granier P., Le Gallais D., Prefaut C., Maximal anaerobic power: Relationship to anthropometric characteristics during growth. Int. J. Sports Med., (1992) 13, 21-26.
- 16) 宮下充正, カナダのスポーツ選手の体力を測る, Jpn. J. Sports Sci., (1985), 4, 591-597.
- 17) 森下はるみ, 日本人青少年の形態発育と機能発育の解析的研究, 体育学研究, (1966), 11, 47-58.
- 18) 根本 勇, 速く滑る—スピード・スケート—, Jpn. J. Sports Sci., (1983), 2, 921-934.
- 19) 根本 勇, 入沢孝一, 吉岡伸彦, 金久博昭, 宮下充正, スピード・スケート選手の等速性筋出力と競技成績との関係, デサントスポーツ科学, (1984), 5, 206-212.
- 20) 根本 勇, 吉岡伸彦, 船渡和男, 岩岡研典, 宮下充正, 日本人五輪候補スピード・スケート選手の身体組成, Jpn. J. Sports Sci., (1986), 5, 501-506.
- 21) 根本 勇, 金久博昭, 宮下充正, 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, (1987), 2, 79-96.
- 22) 根本 勇, スピードスケート競技力の科学, トレーニング科学, (1992), 14, 111-119.
- 23) Nemoto I., Kanehisa H., Miyashita M., 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, (1990) 30, 83-88.
- 24) Pollock M. L., Foster C., Anholm J., Hare J., Farrell P., Maksud M., Jackson A. S., Body composition of Olympic speed skating candidates. Res. Q. Exerc. Sport, (1982) 53, 150-155.
- 25) Rajala G. M., Neumann D. A., Foster C., Jensen R. H., Quadriceps muscle performance in male speed skaters. J. Strength Cond. Res., (1994) 8, 48-52.
- 26) 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫, 近藤正勝, 池川繁樹, 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, (1986), 35, 192-199.
- 27) van Ingen Schenau G. J., de Groot G., Hollander A. P., Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. Eur. J. Appl. Physiol., (1983a) 50, 343-354.
- 28) van Ingen Schenau G. J. and de Groot G., Difference in oxygen consumption and external power between male and female skaters during supramaximal cycling. Eur. J. Appl. Physiol., (1983b) 51, 337-345.
- 29) van Ingen Schenau G. J., de Boer R. W., de Groot G., On the technique of speed skating. Eur. J. Appl. Physiol., (1987) 3, 419-431.
- 30) Wanne O. and Valimäki I., The influence of sports training on growth in school children. Scand. J. Sports Sci., (1983) 5, 41-44.