

筋形態の発育が競技パフォーマンスの向上に及ぼす影響

Effects of muscle growth and development on athletic performance.

角田直也*, 田中重陽**, 熊川大介***
青山利春****, 岡田雅次****, 西山一行****

Naoya TSUNODA *, Shigeharu TANAKA **, Daisuke KUMAGAWA ***
Toshiharu AOYAMA ****, Masaji OKADA**** and Kazuyuki NISHIYAMA****

I. プロジェクト課題と研究概要

1. プロジェクト課題：
スポーツ競技力向上に関わる筋形態と機能的特性を探る
2. プロジェクト研究概要：
本プロジェクトではスポーツ競技力に及ぼす骨格筋の形態的発育と機能発達の関わりについて、
1) 筋の形態発育が投パフォーマンスに及ぼす影響、2) 筋の形態発育が滑走パフォーマンスに及ぼす影響、及び 3) 異なる運動速度による脚伸展及び屈曲動作時の両側性機能低下特性。から検討した。即ち、1)と2)の課題では、思春期、即ち第二次成長期、とその前後における筋の形態的発育特性としての除脂肪体重を指標として、投及び滑走動作の機能的発達との関連について検討した。また、3)に関しては、運動への参加筋群量と脳・神経系の関連性に及ぼすスポーツ競技トレーニングの関連から探ることに主眼をおいて検討している。そこで、本報では1)と2)の課題についての研究成果概要を報告し、3)の課題については、別誌に報告する。

II. プロジェクトの研究成果概要

1. 筋の形態的発育が投パフォーマンスに及ぼす影響
1) 目的
ヒトの発育・発達からみた投動作に関する報告では、その動作を発達段階に分類しそれぞれの特徴について明らかにしている^{1) 2) 3) 4) 7)}。また、形態的発育が投動作の発達に及ぼす影響に関する報告では、身長や上肢長といった身体形態面の発育が投球速度の高低に大きく関与することを指摘している^{2) 3)}。一方、身体を構成している筋量と投球速度や投動作速度との関係についての報告はほとんどみられていない。
そこで、本研究では10歳から19歳までの野球選手を対象に形態計測、投球速度及び投動作速度を測定し、筋形態の発育が投能力に及ぼす影響について検討することを目的とした。
- 2) 方法
A. 被検者
被検者は10歳から19歳までの野球選手84名とした。全被験者を年齢別に、10歳から12歳までを思春期前 (Pre pubertal: G1)、13歳から16歳までを

* 国士舘大学体育学部身体運動学教室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)
** 国士舘大学スポーツ・システム研究科研究生 (Graduate school of Sport System, Kokushikan University)
*** 国士舘大学スポーツ・システム研究科院生 (Graduate school of Sport System, Kokushikan University)
**** 国士舘大学体育学部陸上競技研究室 (Lab. of track and field, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

思春期中 (During pubertal: G2)、17歳から19歳までを思春期後 (Post pubertal: G3) として3群に分類した。Table. 1に被験者の身体的特性を示した。なお、各被検者とその保護者には、測定内容とその安全性等について十分説明し、全被検者から測定参加への任意による同意を得た。

B. 形態計測

全被検者とも、身長は身長計で計測し、体重及び除脂肪体重 (FFM) は身体組成測定装置 (TANITA) を用いて同時に計測した。

C. 投球速度の計測

最高投球速度の測定は、5 m間における硬式野球ボール (180g) の最大速度をスピードガン (ミズノ社製) により計測した。全被検者には、十分なウォーミングアップの後、5球分の計測値が得られるまで全力で投げるよう指示した。得られた最高速度から最大値を秒速に換算し、投球速度の個人値として採用した。

D. 各動作速度の測定

全身 (WMV)、体幹 (TMV) 及び肩動作 (SMV) 速度の測定は Speed Meter (VINE社製) を用いて先行研究^{5) 6)} で報告されている方法で実施した。本研究では、Speed Meter にかかる負荷抵抗値は180gとした。また、体幹及び肩動作の測定については、特別に作成した固定椅子を用いて他の部位の関与を最小限にした。全被験者には、各試技間に十分な休息をばさんで2から3回実施させ、そこで得られた最

高値を各動作速度の個人値として採用した。

E. 統計処理

各測定項目における群間差は、student t-testを用いて検定した。また、投球速度と動作速度との間の相関係数を偏相関によって求め、それぞれ危険率5%未満を有意とした。

3) 結果と論議

Table. 2は、投球速度及び各動作速度を平均値と標準偏差で群別に比較したものである。投球速度は、G1が23.2±3.0m/s、G2で29.9±2.8m/s、また、G3では33.2±1.4m/sを示し、年齢群間には有意な差異が認められ、思春期前から思春期後にかけて速度は顕著に高くなることが認められた。また、投動作速度はWMVにおいてG1からG3の間で有意に増大し、TMV及びSMVではG1からG2の間で著しく増大した。これらの結果から投能力としての投球速度や投動作速度は、形態発育の著し

Table 1. Physical characteristics of subjects in each groups.

Groups	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	FFM (kg)
G1	25	11.6 ± 0.8 [*]	146.8 ± 9.1 [*]	39.7 ± 9.1 [*]	32.7 ± 7.2 [*]
G2	39	14.9 ± 1.0 [*]	166.6 ± 7.7 [*]	58.2 ± 9.2 [*]	48.6 ± 6.7 [*]
G3	20	18.5 ± 1.0 [*]	173.9 ± 4.8 [*]	71.4 ± 8.4 [*]	57.7 ± 4.6 [*]

^{*}; p<0.05

Table 2. Comparison of ball and throwing movement velocity among the each groups.

Items	G1	G2	G3	
Ball velocity	23.2 ± 3.0	29.9 ± 2.8	33.2 ± 1.4	
Throwing movement velocities (m/s)	WMV	12.5 ± 2.2	18.6 ± 2.8	20.4 ± 1.8
	TMV	8.5 ± 1.7	12.2 ± 2.1	13.0 ± 1.8
	SMV	6.8 ± 1.4	9.6 ± 1.3	10.3 ± 1.2

^{*}; p<0.05

い思春期において著しく向上することが確認された。このことは、Halverson et al²⁾の形態的变化が投球能力に影響を及ぼすという指摘を強く支持するものである。

Fig. 1は、FFMと投球速度との関係について全被検者及び群別に示したものである。FFMと投球速度との間には全被検者で有意な偏相関関係 ($r_{xy,z}=0.361$, $p<0.05$) が認められた。即ち、広

範囲の年齢群を含む全被検者についてみるとFFMの増加は年齢に関係なく投球速度に影響を及ぼすことが明らかになった。

各群内における両者の関係については、G2のみに有意な偏相関関係 ($r_{xy,z}=0.338$, $p<0.05$) が認められ、他のG1とG3では一様な関係がみられなかった。このことは、筋量を示すFFMの大小が思春期中においては投球速度を反映するが、思春期前及び思春期後では筋形態よりも技術的な要因が関与しているものと考えられる。

全被検者におけるFFMと各動作速度との偏相関係数を示したのがTable. 3である。FFMと各動作速度との間には、WMV ($r_{xy,z}=0.295$, $p<0.05$)、TMV ($r_{xy,z}=0.325$, $p<0.05$) 及びSMV ($r_{xy,z}=0.391$, $p<0.05$) とともに、それぞれ有意な偏相関係数が得られた。このことは、FFMの大小は、年齢に関係なく動作速度の大小に関わることを意味するものである。

一方、両者の関係を各群内でみたところ、G1は、FFMとSMV ($r_{xy,z}=0.414$, $p<0.05$) の間で、G2 ($r_{xy,z}=0.338$, $p<0.05$) 及びG3 ($r_{xy,z}=0.569$, $p<0.05$) ではFFMとWMVの間において、それぞれ有意な偏相関関係が認められた (Table. 4)。このことは、同年代間においてFFMの大小が必ず

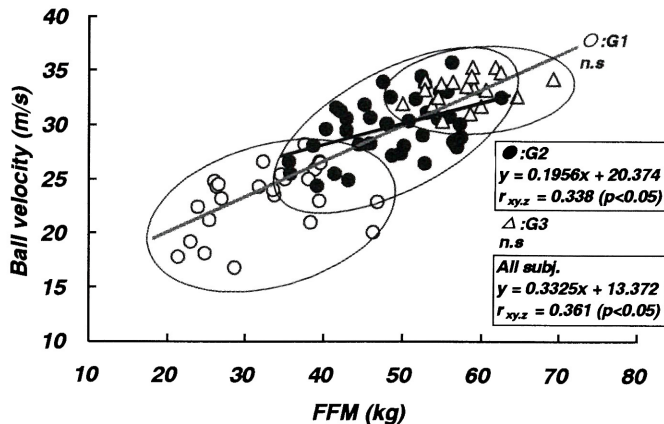


Fig 1. Relationship between FFM and ball velocity in three groups.

Table 3. Relationship between FFM and throwing movement velocity in all subjects.

Items		FFM (kg)
Throwing movement velocities (m/s)	WMV	.295*
	TMV	.325*
	SMV	.391*

*: $p<0.05$

Table 4. Relationship between FFM and throwing movement velocity in each groups.

Items		G1	G2	G3
Throwing movement velocities (m/s)	WMV	n.s	.338*	.569*
	TMV	n.s	n.s	n.s
	SMV	.414*	n.s	n.s

*: $p<0.05$

しも投動作速度を反映するものではないことから、この動作速度は技術的要素に関与しているであろうことが示唆された。

4) 要 約

本研究では10歳から19歳までの野球選手を対象にして、形態、投球速度及び投動作速度を測定し、発育・発達期における形態発育が投能力に及ぼす影響について検討することを目的とした。

その結果、①投球速度は思春期前から思春期後の間に著しく増大した。動作速度は、全身動作で思春期前から思春期後の間で増大し、体幹及び肩動作は思春期前から思春期中の間で著しく増大した。②筋量発育の指標としてのFFMは、全被検者や思春期中では投球速度の増大に関わる要因であることが明らかになった。しかし、動作速度はFFMよりも技術的要素の影響の方が大きいであろうことが示唆された。

5) 引用・参考文献

- 1) Emmanuel V.P.(1998) Pediatric Anaerobic Performance.
- 2) Halverson L.E, Robertson M.A. (1982) Development of the over arm throw: Movement and ball velocity changes by seventh grade: Research Quarterly for Exercise and Sport 53(3) 198-205
- 3) 石田和之(2001)投動作の発達段階: Jpn.J.B.S.E. 5(3) 155-161
- 4) 宮丸凱史(1980)投げ動作の発達: 体育の科学 30 464-471
- 5) 田中重陽、石塚信之、須賀義隆、宮崎光次、池川繁樹、角田直也(2002) 野球選手における腕振り動作速度と投球速度の関係: 東京体育学研究2002年度報告 47-51
- 6) 角田直也、田中重陽、石塚信之、青山利春、岡田雅次、西山一行(2002)投動作パフォーマンスに及ぼす筋形態及び機能的特性: 国士舘大学体育研究所報 第21 135-140
- 7) Wild M.R.(1938) The Behavior pattern of throwing and some observations concerning its course of development in children: Research Quarterly 9 20-24

2. 筋の形態的発育が滑走パフォーマンスに及ぼす影響

1) 目 的

水上におけるスピード滑走競技では、無酸素性能力に優れる体力の大小がその競技力の高低に直接的に関わってくるということが明らかにされている^{6) 7)}。また、ヒトとしての第二次性徴期、即ち思春期のトレーニングが競技力の向上度合に極めて重要であることが指摘されている^{6) 7)}。

そこで、本研究では10歳から19歳までの男子スピードスケート選手を対象として、筋の形態発育が滑走能力に及ぼす影響について検討した。

2) 方 法

A. 被検者

被検者は、10歳から19歳までの男子スピードスケート選手50名であった。年齢群として10歳から12歳までを思春期前 (Pre pubertal : G1)、13歳から16歳までを思春期中 (During pubertal : G2) 及び17歳から19歳までを思春期後 (Post pubertal : G3) の3群に分類した。各群の被検者数及び身体的特性についてはTable. 5に示した。

なお、各被検者とその保護者には、測定内容とその安全性等について十分説明し、全被検者から測定参加への任意による同意を得た。

B. 形態計測

形態計測としては、身長を身長計により、体重及び除脂肪体重 (FFM) はインピーダンス法 (TANITA社製) を用いてそれぞれ計測した。

C. 筋量指数の算出

大腿長は大転子から脛骨点までを巻尺法により測定した。大腿長の遠位50%部位における筋厚を超音波測定装置SSD-650 (ALOKA社製) を用いて計測した。先行研究⁵⁾を参考にして得られた大腿長値と筋厚の2乗値との積から大腿前部 (MVIA) 及び外側部 (MVIL) の筋量指数 (MVI) を算出した。

D. 無酸素性パワーの測定

無酸素性パワーの測定は、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、電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター（POWER MAX V II；COMBI社製）を用いて実施し、全被検者とも無酸素パワーの最大値を個人値（Maximal anaerobic power：MAP）として採用した。

E. 滑走速度の算出

滑走速度は、測定年度における公式競技会で記録された各被検者の500m最高記録を秒速に換算した平均滑走速度（Skating velocity：SV）を使用した。

F. 統計処理

各群における測定値の差の検定は、student-t-testを用いて実施した。また、除脂肪体重と最大無酸素パワー値及び滑走速度との関係については、年齢を除去した偏相関係数を求めた。いずれ

も、有意水準を5%未満とした。

3) 結果と論議

Table. 6は、MVIA、MVIL、FFM、MAP及びSVについて、平均値±標準偏差でそれぞれ群別に比較したものである。

SVは、G1とG2間及びG2とG3間に有意な差異が認められた（ $P<0.05$ ）。MVIA、MVIL及びFFMにおいてもSVと同様に、各群間においてそれぞれ有意な差異が認められた（ $P<0.05$ ）。即ち、滑走速度は、思春期前から思春期後にかけて著しく増大し、筋の形態的要素としてのMVIA、MVIL及びFFMの発達もそれとほぼ同様な傾向を示していることが明らかとなった。

本研究におけるMAP値は、G1からG3の各群間において顕著な差異がみられた（ $p<0.05$ ）。Falk et al²⁰は、一般男子の最大無酸素パワーは思春期の前、中及び後期に関わらず短い期間で著しく増大したことを報告している。本研究のスピードスケート選手においてもそれと同様な傾向を示すことがみられた。

Fig. 2は、MAPとFFMとの関係を全被検者及び各群別にプロットしたものである。全被検者では、MAPとFFMの間には有意な偏相関係数が得られた（ $r_{xy} = 0.620$, $p < 0.05$ ）。また、思春期前、思春期中及び思春期後の各群内における両者の関係は、G2において有意な偏相関係数が認められた（ $r_{xy} = 0.740$, $p < 0.05$ ）が、G1とG3の場合は一

Table 5. Physical characteristics of subjects among the three groups.

	<i>n</i>	Age (yrs)	Body height (cm)	Body weight (kg)
G1	13	10.6±0.8 ^{▽*}	138.8±5.8 ^{▽*}	33.0±2.8 ^{▽*}
G2	22	14.6±1.0 ^{▽*}	166.8±5.0 ^{▽*}	57.4±7.4 ^{▽*}
G3	15	17.7±0.9 ^{▽*}	172.8±4.8 ^{▽*}	66.6±5.0 ^{▽*}

Values are mean ±SD. *: $p < 0.05$

Table 6. Comparison of muscle volume index of thigh, Fat free mass, Maximal anaerobic power and skating velocity among the three groups in male speed skaters.

<i>n</i>	MVI		FFM (kg)	MAP (W)	SV (m/s)	
	Anterior	Lateral				
G1	13	370.8±85.8 ^{▽*}	276.5±64.0 ^{▽*}	27.5±2.2 ^{▽*}	318.3±65.6 ^{▽*}	9.6±0.6 ^{▽*}
G2	22	949.3±269.6 ^{▽*}	672.9±160.8 ^{▽*}	47.0±5.0 ^{▽*}	933.0±173.6 ^{▽*}	12.2±0.5 ^{▽*}
G3	15	1331.0±259.8 ^{▽*}	904.6±189.8 ^{▽*}	56.3±5.9 ^{▽*}	1118.5±98.3 ^{▽*}	12.8±0.4 ^{▽*}

Values are mean±SD. *: $p < 0.05$

様な関係が認められなかった。このことから、10歳から19歳までのスピードスケート選手において、除脂肪体重は年齢に関係なく最大無酸素パワー値を反映する因子であることが再確認された。特に、思春期中に相当する選手に除脂肪体重を増大させるトレーニングを処方することの重要性を示唆するものと考えられる。

Fig. 3は、SVとFFMとの関係を全被検者及び各群別に示したものである。全被検者において、SVとFFMの間には有意な偏相関係数が得られた ($r_{xy,z}=0.524, p<0.05$)。根本²⁾は、スピードスケート選手の500m平均滑走速度と最大無酸素パワー値及び除脂肪体重との間に有意な相関関係が認められたことを報告しており、除脂肪体重を高めるトレーニングの重要性を示唆している。本研究の結果は、先の報告を支持するものであり、全身の筋量の指標となる除脂肪体重は、年齢に関係なく滑走速度を反映することが再確認された。一方、群別に両項目の関係をみると、3つの群のうちSVとFFMとの間に有意な偏相関係が認められた群はG2 ($r_{xy,z}=0.666, p<0.05$)であり、G1とG3では、G2のような関係は認められなかった。

これらのことから、10歳代のスピードスケート選手において、除脂肪体重の大小は滑走速度の高低を反映する因子であることが再確認され、特に思春期中ではその関係が大きいことが明らかとなった。また、思春期後においては、筋量といった身体的資質に加えて技術的要素が滑走能力の向上に関わってくることが考えられた。

4) 要約

本研究では10歳から19歳までの男

子スピードスケート選手を対象として、発育・発達に伴う筋形態が滑走能力に及ぼす影響について検討した。

その結果、①滑走速度は思春期前から思春期後にかけて筋形態の発育と同様に著しく増大することが確認された。②最大無酸素パワー値と除脂肪体重との間には、全被検者及び思春期中において有意な偏相関係が認められた。

本研究は、国士舘大学体育学部付属体育学研究所の2003年度研究助成によって実施した。

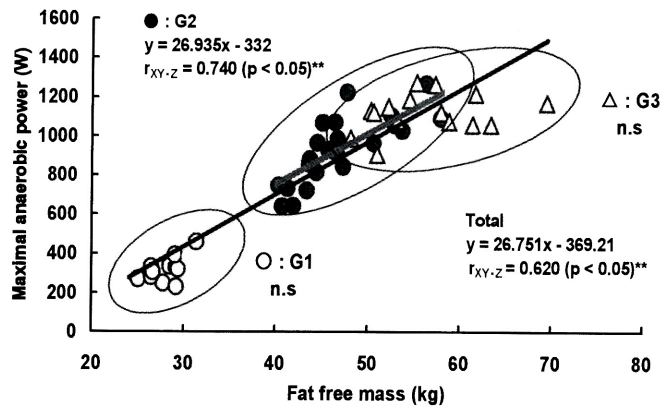


Fig 2. Relationship between maximal anaerobic power and fat free mass

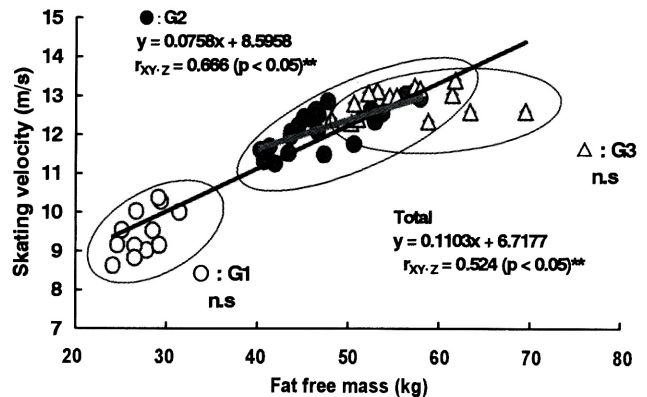


Fig 3. Relationship between Skating velocity and fat free mass.

5) 引用・参考文献

- 1) Amandio M.C.Santos, et al: Age-and Sex-Related Differences in Optimal Peak Power, *Pediatric Exercise*, **14**, 202-212, 2002
- 2) 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. *J J Sport Sci*, **11-9**: 587-596, 1992.
- 3) Falk, B., and Bar-Or, O : Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys, *Pediatric Exercise Sci*, **5**, 318-331, 1993
- 4) 角田直也: 体肢の皮下脂肪、筋及び骨断面積の年齢的差異と性差, *東京医科大学雑誌* 第48巻、第5号
- 5) 角田直也, 須藤明治: 下肢筋形体及び筋機能特性とキック泳速度, *トレーニング科学* Vol12:No2, 2001.
- 6) 根本勇: 速く滑る—スピード・スケーター—, *Jpn.J. Sports SCI*. **2**:921-934, 1983
- 7) 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* Vol4:No.2, 1992.
- 8) 根本勇ら: スピードスケート競技力向上のトレーニング, *Jpn.J.Sports SCI*. **14-3**:1995