©NSCA JAPAN
Volume 28, Number 1, pages 4-12

特集 feature

スピードスケート選手の体力的特性と育成方策

熊川 大介, Ph.D., 国士舘大学体育学部 准教授

1. はじめに

スピードスケートは1周400mのトラックを周回し、決められた距離を滑走した時間を競う競技である。競技種目は500m、1000m、1500m、3000m、5000m、10000m(男子のみ)、マススタート、チームパシュートがあり、国内および国際大会ごとに実施される距離が決まっている(41)。競技時間は35秒～14分前後で、選手は競技の間、前屈みの姿勢をとることで空気抵抗を抑えながら連続的に力を発揮して推進力を得なければならない(43)。したがって、一定の距離をより速く移動する際には、1回のプッシュオフ動作(脚の伸展動作)における大きな力発揮とそれを競技開始からゴールまで持続させる能力が必要とされ、そのエネルギーを幅約1mm程度のスケートブレードを操作しながら効率よく氷に伝達し続ける能力も求められる。また、レース全体を通して利用可能なエネルギーを最適に配分しながら自身に合ったペース戦術を組み立てることも勝敗を大きく分ける要因になる。このように、スピードスケートの競技パフォーマンスは性質の異なる複数の要因が複雑に絡み合うことで構成されており、人体測定学的、バイオメカニクス的、生理学的、戦術的な側面から数多くの先行研究が行なわれてきた(19)。この中で、特に1980～90年代にかけては、スピードスケート選手の身体的特性や筋の機能的特性に代表される体力・身体運動能力に関する研究が盛んに行なわれ、数多くの知見から一流選手やジュニア選手の特徴が示されてきた。今日では、これらの知見と度重なる試行錯誤を繰り返すことでスピードスケート選手特有の体力測定項目が整理され、そして各世代の選手における強化・育成方策が展開されている。

本稿では、スピードスケート短距離種目にスポットを当て、競技成績にかかわる体力的特性に関するこれまでの知見を紹介するとともに、発育発達に関する著者らの研究報告を総括し、ジュニア選手の育成方策について考えたい。

2. スピードスケート選手の身体的特性

2-1. スピードスケート選手の体組成

スポーツの競技力向上を考える際には、まずそのスポーツを構成する身体動作の特性と一流選手の形態的および筋機能的な特徴に関する情報が基礎的な資料となる(32)。スピードスケート選手の身体的特性に関する研究は、主として身体組成と筋の機能的特性を明らかにした報告に大別できる。このうち、身体組成に関しては、1970～90年代にかけて数多くの研究が行なわれている。それら一連の先行研究において得られた各国の一流選手の身体的特徴は**表1**および**表2**にまとめた(18)。表に示されるように、水中体重天秤法や皮脂厚法によって推定された男子選手の体脂肪率は5.0～14.3%、女子では16.3～22.6%の範囲であり、全身筋量の指標である除脂肪量は男子が64.7～78.0kg、女子では47.5～52.6kgの範囲にある。このように、従来スピードスケート選手は、男女ともに一般成人に比べて高い除脂肪量と低い体脂肪率を有することが明らかにされている(40)。また、2001～10年にかけて測定された国内シニア一流選手の身体組成データを**表3**にまとめた(26)。男子スピードスケート選手の体脂肪率は10.8±3.1%、女子は17.2±3.5%となっており、夏季競技も含めた全アスリート平均(男子：12.2±3.9%、女子：18.1±3.1%)に比べて低い値を示して

いる。また、除脂肪量については男子が62.5±4.8kg、女子が48.6±4.6kgであり、アスリート平均(男子：63.4±8.2kg、女子：46.8±5.3kg、)に比べると男子はやや低く、女子はスピードスケート選手が高い値を示している。

このような身体組成と競技成績との関連についても多くの研究報告が存在している(3,29,30,38,44)。このうち、Pollockら(38)の報告では、米国オリンピック代表選手における除脂肪量は67.8±5.5kgであり、非オリンピック代表選手の62.0±7.0kgに比べて著しく高い値を示している。また、根本(34)は、国内スピードスケート選手における500mおよび1000mの滑走タイムと除脂肪量との関連性について検討した結果、除脂肪量と平均滑走タイムとの間には、1%水準で有意な負の相関関係が認められている。つまり全身筋量が多い選手ほどタイムが良いことになる。一方、体脂肪率と滑走タイムの関係では有意な正の相関関係が認められており(34)、脂肪の蓄積は競技パフォーマンスにマイナスな影響を与えるようである。Van Ingen Schenauら(45)によれば、体脂肪量が1kg増すと500m滑走タイムはおよそ0.12秒増加することが見込まれている。しかしこの報告は、現在主流となっているスラップスケート(ブレードのかかと部分が靴から離れるタイプのスケート靴)が登場する以前のデータであるため、現在のスケート選手にも同程度の影響をもたらすかは不明である。いずれにしてもこれらの知見から、スピードスケート選手の体力トレーニングは、全身の骨格筋量の増加と体脂肪量の低下が二大目的として考えられており(38)、シニア選手の身体組成にみられるHigh muscle-Low fatの特徴は、長期間にわたるスピードスケート特有のトレーニング効果として捉えることができる。事実、スピードスケート選手の身体組成に対する陸上トレーニング

表1　スピードスケート男子一流選手の身体組成(18)

国　名 (競技レベル)	被検者数	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	除脂肪体重 (kg)	測定法	報告者 (年)
フィンランド (ナショナルチーム)	6	21.0 (2.9)	181 (4.0)	76.5 (1.7)	11.4 (2.3)	65.7 (1.7)	皮脂厚	Rusko et al (1978)
アメリカ (1980年五輪選手)	8	21.9 (2.7)	180 (3.7)	72.8 (6.0)	6.8 (1.8)	67.8 (5.5)	水中体重法	Pollock et al (1982)
国際級選手 (1980年世界選手権)	5	— —	181 (3.0)	73.6 (7.4)	9.45 (2.16)	67.0 (6.3)	皮脂厚	Ingen schenau et al (1983)
日　本 1) (1980年世界選手権)	4	20.4 (0.78)	171.8 (2.3)	70.1 (3.31)	7.7 (1.51)	64.7 (3.09)	水中体重法	根本 (1985)
日　本 (AK; 1988年五輪3位)	1	21.0 —	174.0 —	76 —	14.3 —	65.2 —	水中体重法	根本 (1985)
アメリカ (1984年五輪候補選手)	16	22.2 (4.1)	178 (7.1)	73.3 (7.1)	7.4 (2.5)	67.9 (7.5)	水中体重法	Pollock et al (1986)
アメリカ (EH; 1980年五輪5冠)	1	— —	183 2) —	83 2) —	6.0 3) —	78 2) —	水中体重法	Pollock et al (1986)
オランダ (ジュニア選抜)	6	— —	185 (0.03)	78.1 (4.9)	11.7 (0.8)	68.9 (4.0)	皮脂厚	Ingen schenau et al (1988)
フランス (ナショナルチーム)	5	21.25 (4.32)	177.4 (5.72)	70.6 (7.73)	10.30 (0.81)	63.3 (6.49)	—	Quirion et al (1988)
カナダ (短距離選手)	4	23.7 (3.1)	174.5 (5.8)	74.0 (5.9)	5.9 (0.9)	69.6 3) —	皮脂厚	Smith & Roberts (1990)
カナダ (長距離選手)	4	21.7 (1.5)	182.5 (6.4)	76.6 (4.5)	5.0 (1.8)	72.8 3) —	皮脂厚	Smith & Roberts (1990)

備考：1)；1983年10月測定時，2)；図よりの読み取り，3)；計算により算出
平均±(標準偏差)

表2　スピードスケート女子一流選手の身体組成(18)

国　名 (競技レベル)	被検者数	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	除脂肪体重 (kg)	測定法	報告者 (年)
オランダ (国際級選手)	5	— —	— —	66.3 (6.8)	20.6 (3.6)	52.6 (5.6)	皮脂厚	Ingen schenau & Groot (1983)
アメリカ (1984年五輪候補選手)	15	19.7 (3.0)	165 (6.0)	61.2 (6.9)	16.5 (4.1)	50.9 (4.6)	水中体重法	Pollock et al (1986)
日　本 (1984年五輪候補選手)	9	20.1 (1.17)	160.3 (4.43)	58.0 (4.20)	18.3 (2.34)	47.5 (3.15)	皮脂厚	根本ら(1987)
日　本 (SH; 1989年スプリント3位)	1	21.6 —	157.4 —	54.1 —	11.09 —	48.10 —	水中体重法	江橋ら(1987)
オランダ (ジュニア選抜)	6	— —	170 (0.05)	62.5 (7.9)	22.6 (1.5)	48.3 (5.8)	水中体重法	Ingen schenau et al (1988)
カナダ (短距離選手)	4	21.5 (1.0)	166.5 (1.7)	61.2 (3.0)	16.3 (2.5)	51.2 2) —	水中体重法	Smith & Roberts (1990)
カナダ (長距離選手)	4	21.5 (1.0)	168 (2.9)	63.4 (4.6)	17.6 (2.0)	52.2 2) —	水中体重法	Smith & Roberts (1990)

備考：1)；1987年5月測定時，2)；計算により算出
平均±(標準偏差)

表3　国内一流スケート選手における身体組成　(26)より著者作表

	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)	除脂肪体重(kg)
男子	171.0±4.2	70.5±5.5	10.8±3.1	62.5±4.8
女子	162.2±4.8	58.6±5.2	17.2±3.5	48.6±4.6

平均値±標準偏差

の効果について検討した研究結果によると、男子の除脂肪量は5ヵ月間のトレーニング前後において60.94kgから62.44kgに著しく増加し、体脂肪率は11.09%から9.40%に有意な減少を示している(11,28)。

2-2. スピードスケート選手の筋形態

スピードスケートのトレーニングは、主働筋である下肢筋群に強い負荷がかかることで特異的な筋肥大をもたらす(8,12,14,42,)。他のスポーツ選手と四肢の筋量を比較してみると、スピードスケート選手は四肢の中でも大腿部の筋が特に発達していて(14)、さらに大腿四頭筋を構成する筋のうち、外側広筋の筋横断面積が大きいことが明らかにされている(42)。スピードスケート滑走中は加速の大きな制限要因である空気抵抗を小さくする必要があるため、上体を前に倒した低い前傾姿勢がとられ、効果的に体重を移動させながら側方に脚を伸ばして氷をプッシュするといった窮屈な体勢での動作が続く(41)。また、スケート滑走は走運動や自転車ペダリングなどに比べるとサイクル頻度(ピッチ)が遅いため、下肢の関節角度が比較的ゆっくり変化することで主働筋の収縮サイクルが長くなるという特徴をもっている。これにより、主働筋のひとつである膝関節伸展筋群は静的な収縮時間が増え、より大きな筋出力を強制させることになるという(1,17)。このようにスピードスケート滑走は下肢筋群への負荷が強くなるため、長期間にわたる氷上滑走トレーニングによって、また、滑走動作での力発揮能力を高めるために陸上でのイミテーショントレーニングが盛んに行なわれており、それらの効果として下肢筋群の選択的肥大が起こるものと推察できる。

さらに、同一のスピードスケート競技内であっても、専門とする種目に応じて選手の筋サイズが異なることが報告されている。大腿部の筋厚を比較した先行研究によれば、短距離選手の大腿四頭筋が有意に大きく、次いで中距離、長距離の順に小さくなるという(21)。この要因としては、各距離を専門とする選手における姿勢の相違が挙げられる。500～10000m滑走中におけるスケーティングポジション(平均滑走姿勢)を比べてみると、500mや1000mといった短距離滑走中における関節角度が最も小さく、滑走距離が長くなるにしたがって関節角度が大きくなる(46)。短距離種目滑走中における低いスケーティングポジションは、前投影面積が小さくなることで空気抵抗によるブレーキ成分が減少し(48)、さらに小さい膝関節角度から高い機械的出力が可能となるため、生体力学的には有益であるようにみえる(47)。ただし、膝関節角度が小さいと、動作中の主働筋への血流量が減少し、これらの筋における脱酸素化が進行する(20)ことで筋収縮のためのエネルギーがより無酸素系の代謝に依存することになる。

一方、下肢筋群の肥大の特徴は女子選手でも観察されている。金久ら(12)の報告によると、一般女子や他のスポーツ選手は大腿部の筋や脂肪、骨を含む全横断面積が大きくなるに従って、筋よりも皮下脂肪断面積の増加が著しくなるが、スピードスケート選手に関しては全横断面積に占める筋の割合が高く、皮下脂肪の割合が低いことを明らかにしている。したがって、女子選手のトレーニングで求めるべき身体組成や筋形態の変化としては、筋量増加に加えて、脂肪量の減少も重要視されている。

2-3. スピードスケート選手の筋力・筋パワー

前項で述べたとおり、スピードスケート選手における骨格筋量の発達は著しい。このような筋の適応は、筋収縮力を高めるだけではなく、筋収縮に必要なエネルギー源を増大させることであるから、発揮される力やパワーの最大値、そしてそれらを発揮し続ける能力にも影響を及ぼすといわれている(13)。**図1**には、スポーツ選手の膝関節伸展における等尺性最大筋力と大腿四頭筋断面積との関係を示した(42)。各スポーツ選手と比べてみると、スピードスケート選手は筋断面積が大きく、筋出力も優れているタイプに分類されることがわかる。単位断面積あたりの膝関節伸展筋力(絶対筋力)についても、男子ではサッカー、パワーリフティングに次いで高いことが報告されており(15)、さらに膝関節伸展筋群に関しては連続的に全力で筋力発揮させた時の持続能力が優れている(16)。また、筋出力と競技能力の関係についても検討されており、等尺性筋力や比較的遅い角速度で発揮される等速性膝関節伸展筋力と500m競技記録との間に高い相関関係が認められている(13)。

一方、筋力トレーニングの効果には特異性(Specificity)が存在し、トレーニングによって強化される筋群が同じであっても、動作様式の違いにより効果として現れる筋出力の大きさが異なる(39)。スピードスケート滑走中における下肢の動作様式は多関節運動であり、それにかかわる筋群が協調して働くことによって発揮した力が氷に伝達される(2,4)。そのため、スピードスケート選手における筋パワーは、自転車ペダリング運動などの多関節運動で評価されることが多い。Geijselら(5)の報告では、自転車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おり、また、根本ら(30)は、異なる負荷による10秒間の最大ペダリングテストから算出した最大無酸素パワー値と500m、1000mの競技成績および除脂肪量との間には、それぞれ高い相関関係が認められたことを報告している**(図2)**。し

たがって、スピードスケート選手にみられる高いパワー発揮能力は下肢を中心とした骨格筋量によってもたらされ、しかもそれらの能力の向上は直接競技能力に結びつくものと考えることができる。

このような関係性を基にして、我が国では、自転車ペダリングテストによって得られる変数を用いて競技成績を予測する試みが行なわれている。1990年には、国内シニア・ジュニアトップ選手における発揮パワーや運動持続時間と、競技記録との関連を検討することで「世界で勝つための体力水準」が初めて公表された(18)。その水準をクリアした選手が当時の国際大会で表彰台に立ったことも明らかにされており、体力目標値の設定は競技能力や体力トレーニングの質を高める上で大きな意味をもつことが考えられる。その後、スピードスケート選手を取り巻く環境は変化し、スラップスケートの普及や競技場の環境整備により競技能力が飛躍的に向上している。例えば先行研究に記されている1990年当時の500m世界記録(男子36.0秒、女子39.0秒)は、現在国内の中学生最高記録(男子36.45秒、女子39.39秒)とほぼ同程度である(36)。したがって、従来の指標をそのまま現在のスケーターに用いることが難しい状況下にあり、「世界で勝つための体力水準」は今日の競技レベルや用具、および施設環境等の状況を整理した上で再構築すべきであるといえる。近年、Hofmanら(37)は、世界一流選手におけるWingate testのピークパワー(PP)および平均パワー(MP)と競技成績を3年間にわたり測定し、両者の関係を調べることで、1500mタイムと400m(1周)のラップタイムを予測した。その結果、体重当たりのPPとMPが1W増加すると、女性では1500mタイムがそれぞれ−0.75秒と−2.05秒、男性では−0.92秒と−2.32秒の記録向上が見込まれることを明らかにしている。今後は、個人の競技記録と体力測定結果の縦断データを基にした競技パフォーマンスの予測がさらに詳細化・加速化され、選手に応じた具体的な目標値が設定されるようになることが予想できる。

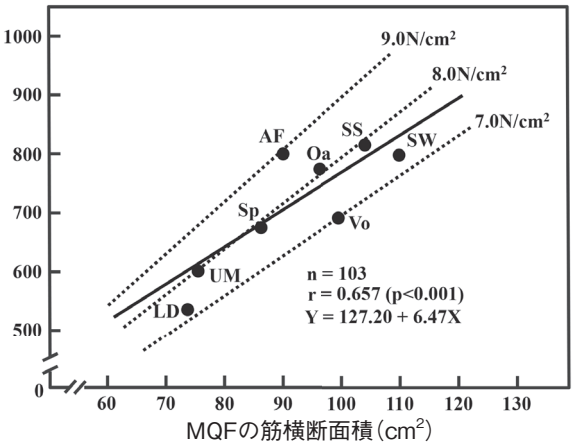

図1　大腿四頭筋断面積と膝伸展筋力の関係(42を改変)
Sp：陸上短距離選手、LD：陸上中長距離選手、Vo：バレーボール選手、AF：サッカー選手、Oa：ボート競技選手、SS：スピードスケート選手、SW：力士、UM：一般男性、MQF：大腿四頭筋

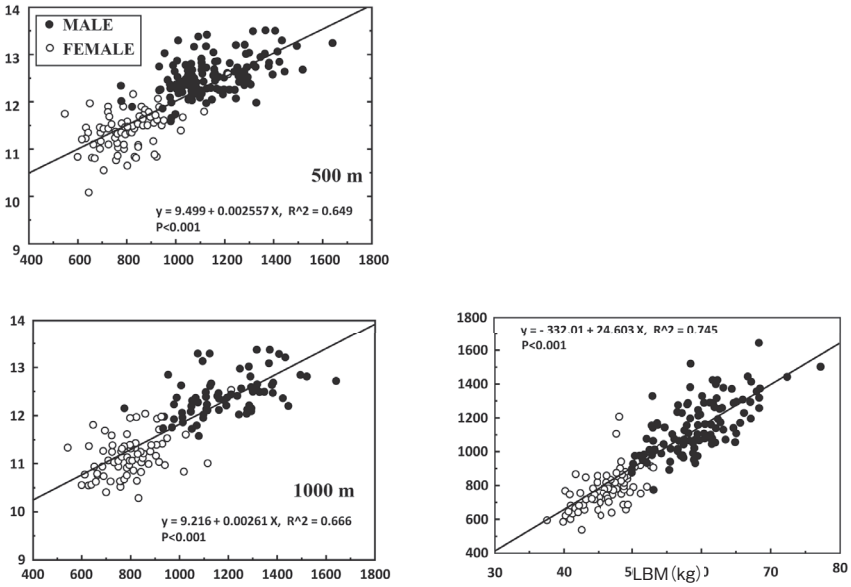

図2　スピードスケート選手における平均滑走速度、最大無酸素パワー、除脂肪量の関係(35を改変)
MAnP：最大無酸素性パワー、LBM：除脂肪体重
年齢：男性19.5±2.1歳、女性18.7±2.0歳

3. ジュニアスピードスケート選手の体力特性と育成方策

3.1 スピードスケート選手における発育傾向と性差

スピードスケート選手の体力における経年変化を明らかにした研究はいくつか存在する。Nemotoら(33)と根本ら(31)は、10～18歳までのジュニア選手における身体組成や筋出力の年

齢推移を示し、同年代の一般児童および生徒と比較している。その結果、除脂肪量と膝関節伸展筋力が、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たことから、スピードスケートトレーニングによる筋の量的適応(太さの変化)や筋力は、思春期以降において顕著に現れるものと推察している**(図3)**。また、オランダのジュニアスピードスケート選手(16～17歳)を対象として、身体組成やパワー発揮能力の5年間における縦断的変化を調べ、成功した選手と成功しなかった選手の比較を行なった先行研究(3)によると、身体組成データに関しては両グループの変化量はほぼ同程度であったにもかかわらず、競技成績が著しく向上した男子選手においては、30秒間全力ペダリング中における最大パワーが著しく増加している。一方、女子選手の場合は有意な変化は認められていない。これらの研究結果を考慮すると、最大パワー発揮能力に対するトレーニングの効果が現れ始めるのは思春期後であること、そして、その変化はジュニアからシニア世代にかけての競技成績を向上させる要因となりうるが、変化の度合いに関しては男子が女子より大きいようである。

一方、小学生からシニア世代のスピードスケート選手における発育傾向を男女間で比較した報告も存在する。**図4**は、2001年以降に測定された8～20歳までの選手を対象として、身長、大腿部における筋厚、最大無酸素パワー値(自転車全力ペダリングテスト10秒×3セットから算出)、スライドボード上でスケーティングの模擬動作を行なった際の最大移動スピード(スライド動作速度)、氷上500m滑走の平均速度における年齢変化を男女で比較したものである(24)。平均滑走速度は、男女ともに11～14歳にかけて著しい増加が認められ、11歳を除くすべての年齢において男子が女子よりも有意に高い値を示している。したがって短距離種目の競技能力は、小学生からシニア選手に至るまで、ほぼすべての年齢において男子が女子よりも優れることが考えられる。また、最大無酸素パワー値は13歳以降の年齢において、大腿部の筋厚は15歳以降において男子が女子よりも有意に高い値を示すようになる。これは、8～12歳では筋量や筋パワーに性差が認められないものの、氷上平均滑走速度は男子が速いことを意味するものである。一方、スライド動作速度は、9歳以降のすべての年齢において男子が女子よりも有意に高い値を示している。これは、実際のスケーティングの模擬動作を摩擦の少ないスライドボード上で行なうため、下肢筋群により発揮される筋パワーの絶対量に加えて、スケーティングの姿勢でパワーを十分に発揮できる調整能力に影響さ

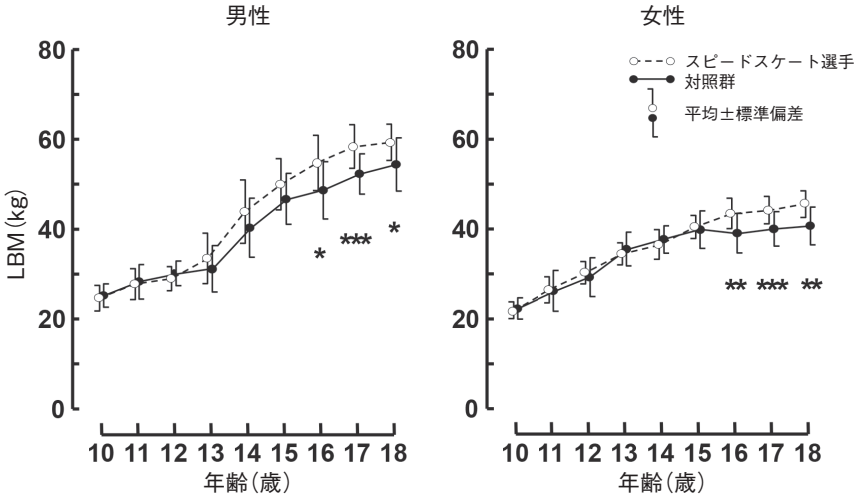

図3　スピードスケート選手と一般児童・生徒における除脂肪量の年齢変化(33を改変)
*$p<0.05$；**$p<0.01$；***$p<0.001$　LBM：除脂肪体重

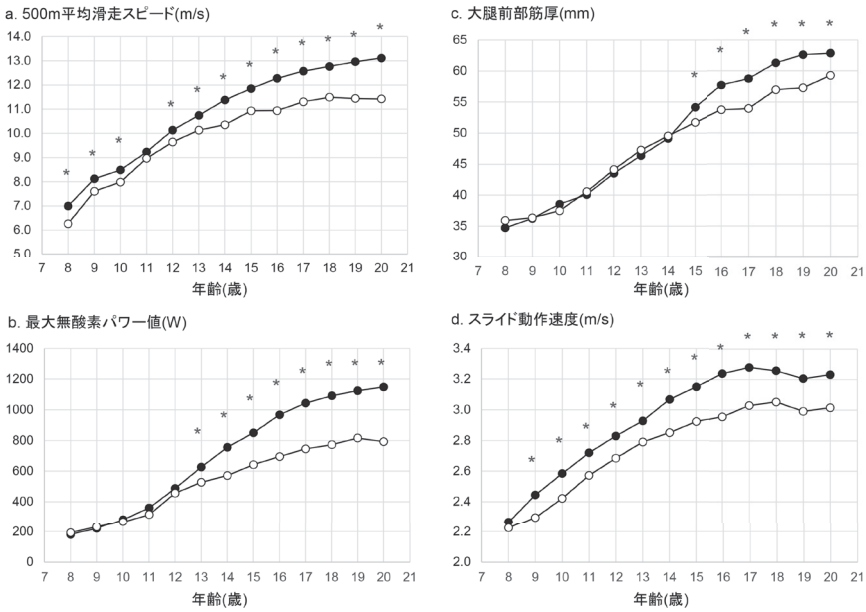

図4　男女スピードスケート選手における、a. 500m平均滑走スピード、b. 最大無酸素パワー値(MAnP)、c. 大腿前部筋厚、d. スライド動作速度における年齢変化(24)
*$p<0.05$　●男子　○女子

れる項目となる。つまり、動きの巧みさ(巧緻性)に依存して発揮される動作スピードは、小学生段階においてすでに男子が女子を上回っているということになる。神経系機能の発育に伴う性差について調べた報告によれば、小学生の単純反応時間やサイドステップの成績は男子が女子よりも高く、17歳の記録を100%とした場合の発達度合いも、小学生から中学生期にかけては男子が高い値を示している(10)。このような差は、一般的に運動経験や身体活動量、神経系に特化したトレーニング量の影響を受けることが考えられるが、いずれにしても、この時期における氷上滑走スピードの性差は、パワーや筋力といった筋機能の影響は少ないものと考えられ、運動効率の良し悪しに強く影響を受けているものと推察できる。

3.2 ジュニアスピードスケート選手における体力と競技成績の関係

スピードスケートの競技成績には、下肢筋群が発揮する力やパワーが密接に関連することは先に述べたとおりである。しかし、これは子どもからシニア・トップ選手に至るまですべての年齢・競技レベルで共通して成り立つ関係ではない。スポーツ競技能力が体力的要素と技術的要素によって決定される(7)とシンプルに考えた場合、競技成績の向上に体力的要素の関与する度合いが大きければ、体力の向上が直接的に競技力の向上となって現れる時期が存在する。同様に、技術的要素が高まることで競技成績が飛躍的に改善される時期も存在する。このような、競技能力と体力項目の関係の強さにおける年齢差と性差からトレーニングの最適時期を探るアプローチはいくつか存在する。

スピードスケート選手を対象としてこのような検討を行なったのは根本(27)と熊川(24)の報告に限られる。彼らは、それぞれ等速性筋力と無酸素性パワーを体力項目として、年代ごとに競技成績との相関関係を調べている。まず、**表4**は等速性膝関節筋力と500m競技成績との相関係数を年齢階級別に示したものである。男子における両者の相関係数は、小学生が$r=-0.22$で有意な関係が認められないのに対し、中学生では$r=-0.77$、および高校生は$r=-0.85$(いずれも$p<0.001$)と、高い相関関係が認められている。つまり、中・高校生では体力と競技成績の関係が強くなるということになる。女子についても同様の傾向がみられ、中学生における相関係数が最も高く($r=0.77, p<0.001$)、次いで高校生で$r=-0.62$($p<0.05$)となり、社会人選手および小学生においては両者の有意な関係性は認められていない。この結果は、男女ともに中学生および高校生段階においては、競技能力に対する体力要素の影響が大きく、それ以外の年代では体力を高めてもそれが競技成績に直結しづらく、技術的要素の関与する度合いが大きい時期であることを示唆している。一方、**表5**は、最大無酸素パワー値と競技成績との関係における相関係数を年代ごとに示したものである。男子の相関係数は小学生が$r=-0.603$、中学生は$r=-0.711$、および高校生は$r=-0.636$(いずれも$p<0.001$)、大学生は$r=-0.455$($p<0.05$)となった。また、女子の場合は、小学生の相関係数が$r=-0.721$($p<0.001$)と最も高い値を示し、次いで中学生が$r=-0.708$($p<0.001$)、高校生が$r=-0.455$($p<0.05$)、大学生になると有意な相関関係は認められなかった。筋力を体力項目とした先行研究(28)の結果と異なる点は、小学生の段階から両者の間に高い相関関係が認められていることである。つまり、同じ体力項目ではあるが、筋力に比べて無酸素性パワーのほうが低年齢で競技成績との関係が高まる可能性を示している。この要因のひとつとしては、両者の発育スパート開始時期の相違が考えられている。身長と最大無酸素パワー値および大腿部筋厚の関係を調べた報告によると、男女ともに両者の関係は発達スパート期が認められ、2ヵ所の変移点を有する3相の直線で表されるという。このスパート開始身長は最大無酸素パワー値が男子で139.8cm、女子では138.8cmであり、筋厚のスパート開始身長(男子:152.2～154.8cm、女子:142.8～

表4　膝伸展筋力と500m競技成績との相関係数(27)

	小学生	中学生	高校生	五輪候補選手
男子	0.22	0.77 ***	0.85 ***	0.55 *
女子	0.48	0.77 ***	0.62 *	0.35

***: p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

表5　最大無酸素パワー値と500m競技成績との相関係数(22)

	小学生	中学生	高校生	大学生
男子	0.603 ***	0.711 ***	0.636 ***	0.340 *
女子	0.721 ***	0.708 ***	0.455 ***	0.186

***: p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

144.9 cm)に比べて明らかに低い(22)。つまり、筋肉の太さよりも筋肉が発揮するパワーのほうが低い身長(若い年齢)において急成長が開始されるということである。少なくとも近年のスピードスケート選手は、すでに小学生の段階から筋パワーが競技成績にもたらす影響力が高くなっており、このような最大パワーを高めるためのトレーニングは筋力向上を目的としたトレーニングよりも早く開始されるべきではないかと考えられる。

また、小学生、中学生、高校生のような暦年齢スケールによるモデルを使用すると、個に応じたトレーニングの最適時期を考えた場合、どうしても早熟・晩熟といった成熟度の個人差が問題となる。筆者らのデータにおいても、最終身長(1年間の身長の伸びが1 cm以下になる身長)に最も早い年齢で到達した選手(早熟選手)と最も遅かった選手(晩熟選手)を比べると、早熟選手が14歳、晩熟選手が20歳で到達し、さらに12歳時の身長において25.1 cmもの差が認められている(23)。このような発育の遅速を考慮した評価方法として、従来から身長や骨年齢といった生物学的な指標を用いた成熟度の評価が行なわれてきたが、現在これらの手法がスポーツ指導の現場において幅広く普及し活用されているかについては疑問が残る。特に、競技能力向上に主眼を置くのであれば、骨の成長度合いよりも競技成績とのかかわりが強い体力項目を基準にすることが有効であると考えられる。先行研究では、スピードスケート競技短距離種目の成績に関連の強い最大無酸素パワー値を基準として体力トレーニング開始時期の検討を試みている。**図5、6**は、氷上での500 m滑走タイムを縦軸に、最大無酸素パワー値を横軸に置いた時の散布図である。まず両者の関係は2次曲線による回帰式で表され、女子が男子よりも大きい曲率の回帰曲線上に分布した。この結果は先行研究(27)と類似しており、パワーが低い低年齢の選手ほど縦長の分布となり、高いパワーを有する高校生や大学生になると横長の分布となった。すなわち、パワーが低いレベルの選手は体力的にはほぼ同様で狭い範囲に分布するにもかかわらず、競技成績には大きな差が存在する集団ということになり、体力的要素を充実させても直接的に競技成績に結びつかないことを示している。それ以上のパワー発揮能力を有する段階になると次第に相関係数が上昇し、両者の関係に有意性が認められるようになる。この水準を男女別に算出した結果、男子は325 W、女子では281 Wとなった(24)。また、このパワーに相当する身長は、男子が141.2 cm、女子は141.1 cmであり、上述の先行研究(22)における無酸素パワーの発達スパート開始身長(男子：139.8 cm、女子：138.8 cm)ときわめて近い値を示していた。これらの報告における対象者は、小学校の低学年あるいは就学前から競技を行なっている選手のため、そのような条件に該当する選手に限られることではあるが、上記の水準がパワー発揮能力を高めるトレーニング開始時期の目安になると考えられる。

3.3 ジュニアスピードスケート選手の育成方策について

スピードスケート選手の多くは、小学校の低学年、あるいは就学前にス

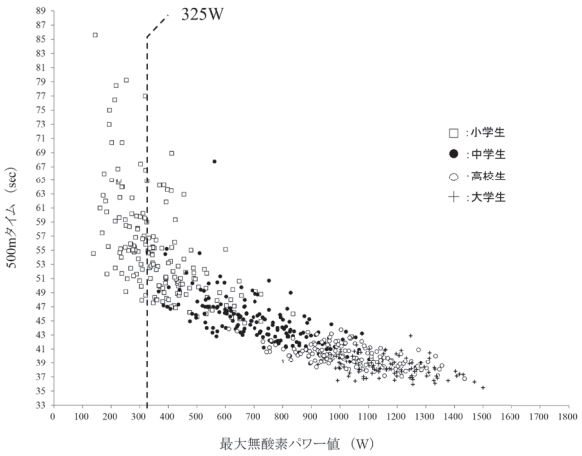

図5　男子スピードスケート選手における500 m滑走タイムと最大無酸素パワー値の関係(24)

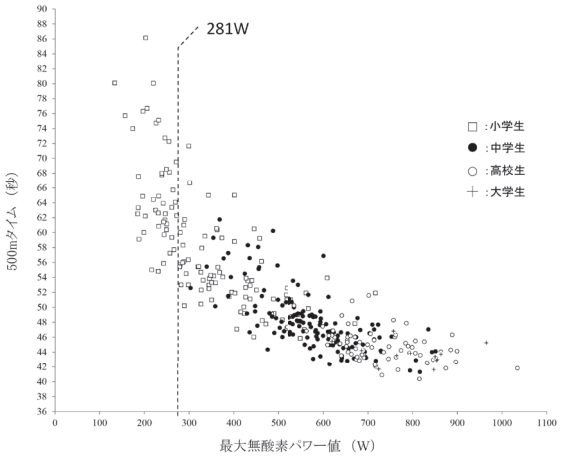

図6　女子スピードスケート選手における500 m滑走タイムと最大無酸素パワー値の関係(24)

ケートを開始し、高校生や成人を迎えてから新たに競技を始める選手や他競技から種目転向をする選手はほとんどいないのが現状である。一方、2018年2月に行なわれた平昌オリンピックにおける日本代表選手の平均年齢を見てみると25.7歳であった。つまりスピードスケート選手は、トップレベルに至るまでの約半分以上の時間を、発育に伴う身体の変化と向き合いながらトレーニングを行なうことになる。したがって、ジュニアスピードスケート選手の育成には、継続的・定期的な体力テストを通じて身体の成熟度や体力レベルを捉え、選手の伸ばすべき体力要素に最適な負荷がかかるようトレーニングを実践することが不可欠となる。この点について、我が国では、約40年にわたり連盟主導で体力測定評価が実施されてきた(35)。その主な目的は、各種体力レベルの把握とトレーニング強度の設定が二大目的とされ、これにより身体の変化を把握しながら個人に適した強度でのトレーニングが実践できるようになっている(6)。また近年では、ジュニアおよびシニア強化選手は、共通の測定プロトコルで体力評価が実施されるようになったことにより、ジュニアからシニア世代にわたってデータの連続性が生まれてきているという(6)。また、ジュニア選手にとっては、シニア選手との比較により“いつまでに、どの能力を、どこまで伸ばす必要があるか”、という明確な体力目標値を示すことができるため、自身の現在地と目標値とのGapを常に比較しながらのトレーニングが可能となるだろう。

4. ジュニアスケート選手における長期的育成の方針と将来への展望

日本スケート連盟では、1985年からジュニア強化基本構想を策定し、長期一環強化計画を実施しており、その成果は国際大会で確かめられてきた(35)。当時の強化事業の中心は、各チーム所属の選手が集まりハードトレーニングを行なう「トレーニング合宿」という形態を採らずに、「研修合宿」として最新のスポーツ医科学情報を知識として吸収するとともに、日常のトレーニング現場でどのように応用するかを、研究プロジェクトスタッフから講義・研修を受け、その成果を各チームに持ち帰って実践していくといった形式であった(35)。現在でも、スポーツ科学に基づく測定評価の意義や方法、測定結果の解釈の仕方、トレーニング理論や実践方法などを「教育」した上で、実践に移すサイクルを循環させている(6)。この長期一環強化計画からスタートしたジュニア選手の強化は確実に結果として現れ、2020年2月に開催されたスピードスケート世界ジュニア選手権大会において日本は、金メダル3、銀メダル4、銅メダル2の合計9個のメダルを獲得し、かつ入賞数8という成績を収めた(9)。

さらに近年では、ジュニアからシニアへと繋ぐ強化システムの根底に、若年層となるノービス世代(小学生世代)のタレント発掘および育成システムが配置されている(25)。ノービス世代の選手には、小学生に特化したプログラムで「研修合宿」が開催され、そこでは、身体的成熟度の評価や体力測定のみならず、世界一流選手の分析から得られた滑走技術の情報や、シニアで構築されたコーチング論やトレーニングのノウハウなどを指導者へ波及させることも狙いとしている。ノービス世代へのスピードスケートの普及と育成は、持続的な強化システムの根幹をなすものと考えられ、さらに指導者へのコーチング技術の波及を通じてノービスからジュニア、そしてシニアへと繋がる一環指導体制の確立が目指されている(25)。

安定的な国際競技力を保つ上でタレントプールの充実は欠かせない要素となる。そしてスピードスケートのみならず、冬季種目のアスリート育成を考えた場合、競技の継続も重要な課題である。アスリートへの医科学サポートが充実してきた今日、ノービス世代からトップに至るまでスポーツ医科学のスペシャリストが責任をもってかかわっていく「長期育成型の医科学サポート」の展開も一環指導計画の大きな支えになるのではないかと考えている。◆

参考文献

1. de Boer R W, Ettema G J, Faessen B G, Krekels H, Hollander A P, de Groot G, van Ingen Schenau G J. Specific characteristics of speed skating: implications for summer training. *Med Sci Sports Exerc*. 19(5): 504-510. 1987
2. de Koning J J, de Groot G, van Ingen Schenau G J. Coordination of leg muscles during speed skating. *J Biomech*. 24 (2): 137-146. 1991
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*. 77: 2311-2317. 1994
4. de Boer R W, Cabri J, Vaes W, Clarijs J P, Hollander A P, de Groot G, van Ingen Schenau G J. Moments of force, Power, and muscle coordination in speed-skating. *Int J Sports Med*. 8 (6): 371-378. 1987
5. Geijsel J, Bomhoff G, van Velzen J, de Groot G, van Ingen Schenau G J. Bicycle ergometry and speed skating performance. *Int J Sports Med*. 5: 241-245. 1984
6. *平成26～令和元年度スピードスケート科学・情報事業報告書*. 東京：公益財団法人日本スケート連盟スピード委員会スピードスケート強化部科学・情報部門. 2020
7. 猪飼道夫. 生理学からみた体力と技術. *体育の科学*. 18 (5): 291-294. 1968
8. 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*. 11: 587-596. 1992
9. International Skating Union. ISU World Junior Championships Start and results lists. 閲覧日：2020年10月20日.
10. 金子高宥. 現代の体育・スポーツ科学, *パワーアップの科学*. 朝倉書店: 東京. 125-139. 1988
11. 金久博昭, 根本 勇, 角田直也, 福永哲夫. スピード・スケート選手の陸上トレーニングが身体組成、大腿部組成および筋出力に与え

る影響. *Jpn J Sports Sci*. 2: 905-911. 1983
12. 金久博昭, 福永哲夫, 角田直也, 池川繁樹, 石田良恵. 女子スポーツ選手の大腿部組成. *Jpn J Sports Sci*. 3(10): 827-833. 1983
13. 金久博昭, 根本 勇, 宮下充正. 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(1): 91-98. 1984
14. 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*. 5: 662-668. 1986
15. 金久博昭, 福永哲夫, 池川繁樹, 角田直也. スポーツ選手の単位筋断面積の脚伸展力. *Jpn J Sports Sci*. 5 (6): 409-414. 1986
16. Kanehisa H, Nemoto I, Okuyama H, Ikegawa S, Fukunaga T. Force generation capacity of knee extensor muscle in speed skaters. *Eur J Appl Physiol*. 73: 544-551. 1996
17. Kandou T W A, Houtman I L D, v d Bol E, de Boer R W, de Groot G, van Ingen Schenau G J. Comparison of physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise. *Can J Spt Sci*. 12 (1): 31-36. 1987
18. *競技力向上のスポーツ科学Ⅱ*. トレーニング科学研究会編. 東京：1990
19. Konings MJ, Elferink-Gemser MT, Stoter IK, van der Meer D, Otten E, Hettinga FJ. Performance characteristics of long-track speed skaters. a literature review. *Sports Med*. 45(4): 505-16. 2015
20. Kuipers H, Moran J, Mitchell DW, et al. Hemoglobin levels and athletic performance in elite speed skaters during the Olympic season 2006. *Clin J Sports Med*. 17(2): 135–9. 2007
21. 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*. 18 (3), 241-249. 2006
22. 熊川大介, 角田直也. 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. 2008.
23. 熊川大介. スキャモンの発育曲線とスポーツ指導. *子どもと発育発達*. 12 (4): 238-242. 2016
24. 熊川大介. スピードスケート選手おける体力トレーニングの最適時期の検討. *トレーニング科学*. 31(2): 63-70.2019
25. *公益財団法人日本スケート連盟公認コーチ3(スケート)専門科目教本(スピードスケート・ショートトラック)*. 東京: 公益財団法人日本スケート連盟指導者育成委員会. 2020
26. *国立スポーツ科学センター 形態・体力測定データ集2010*. 独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター. 東京：2012
27. 根本 勇. 速く滑る－スピード・スケート－. *Jpn J Sports Sci*. 2: 921-34. 1983
28. 根本 勇. スピード・スケート競技の陸上トレーニングが形態及び体力に及ぼす効果. 昭和57年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No Ⅱ, *競技種目別競技力向上に関する研究* 第6報: 5-24. 1983
29. 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*. 5: 206-212. 1984
30. 根本 勇, 金久博昭, 吉岡伸彦, 山本正嘉. 競技種目および競技力レベルの相違からみたスピード・スケート選手の体力. 昭和58年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No Ⅱ, *競技種目別競技力向上に関する研究* 第7報: 95-101. 1984
31. 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*. 2: 79-96. 1987
32. 根本 勇, スピード・スケート滑走のバイオメカニクス. *Jpn J Sports Sci*. 8 (7): 471-477. 1989
33. 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*. 30: 83-88. 1990
34. 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*. 4: 111-119. 1992
35. 根本 勇. スピードスケートの競技力向上と科学. *体育の科学*. 42: 469-473. 1992
36. 日本スケート連盟. タイムランキング. 閲覧日：2020年10月20日.
37. Nico Hofman, Jac Orie, Marco J M Hoozemans, Carl Foster, Jos J de Koning. Wingate Test as a Strong Predictor of 1500-m Performance in Elite Speed Skaters. *Int J Sports Physiol Perform*. 12(10): 1288-1292. 2017
38. 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*. 53: 150-155. 1982
39. Sale D G and D MacDougal. Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Can J Appl Sport Sci*. 6 (2): 87-92. 1981
40. Sovak D and Hawes M R. Anthropological status of international calibre speed skaters. *J Sports Sci*. 5 (3): 287-304. 1987
41. *スピードスケート育成ハンドブック*. 東京：公益財団法人日本スケート連盟スピードスケート強化部. 2020
42. 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*. 35: 192-199. 1986
43. van Ingen Schenau G J, de Koning J J, de Groot G. Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Med*. 17 (4): 259-275. 1994
44. van Ingen Schenau G J, de Groot G. Hollander A P, Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *Eur J Appl Physiol*. 50: 343-354. 1983
45. van Ingen Schenau GJ. De Koning JJ, De Groot G. A simulation of speed skating performances based on a power equation. *Med Sci Sports Exerc*. 22(5):718–28.1990
46. van Ingen Schenau G J and Bakker K, A biomechanical model of speed skating. *J Hum Mov Stud*. 6: 1-18, 1980
47. van Ingen Schenau GJ. The influence of air friction in speed skating. *J Biomech*. 15(6): 449–58. 1982
48. 湯田淳, 青柳徹, 高松潤二, 山辺芳, 鈴木恵一. スピードスケートにおける滑走姿勢の相違が空気抵抗力に及ぼす影響. *日本女子体育大学紀要*. 39: 9-15. 2009.

著者紹介

熊川 大介：
運動生理学、発育発達が専門。アスリートの骨格筋の形態・機能の発達と競技パフォーマンスの関連性について研究を進めている。