

身長発育とスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達との関係 —幼児期から青年期男子の解析—

三島 隆章¹、渡辺 英次²、関 一誠³

¹大阪体育大学体育学部、²専修大学スポーツ研究所、³早稲田大学スポーツ科学学術院

Relationship between body height with age and speed, agility, explosiveness and quickness development -Analysis on boys from childhood to adolescence-

Takaaki Mishima¹, Eiji Watanabe² and Kazuyoshi Seki³

¹School of Health and Sport Sciences, Osaka University of Health and Sport Sciences,

²Institute of Sport, Senshu University,

³Faculty of Sports Sciences, Waseda University

Abstract

The purpose of this study was to investigate relationship between growth of body height and development of speed, agility, explosiveness and quickness in boys from childhood to adolescence. 3,863 boys aged from 3 to 22 years old were participated in this study. Height was used for physique and 20 m dash, Pro agility test, side steps, standing long jump, vertical jump and rebound jump index were used for speed, agility, explosiveness and quickness. These items, along with the body height, were plotted on a logarithmic graph to obtain the allometric equation " $y = bx^a$ ". As the results of calculating transition points, it was also shown by a linear function of the 4-phase with three transition points in any of the measurement items. Since the coefficient a from second transition point to third transition point was equal to or greater than 1, the development of muscle strength was speculated to contribute to the development of speed, agility, explosiveness and quickness. Further, since the coefficient a to the first transition point in all measurements showed a value of 1 or more, the improvement of the nervous system may contribute to the development of speed, agility, explosiveness and quickness.

Keywords: body height growth, physical fitness and motor ability development, allometry

要約

本研究では、身長の発育とスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達との関連性について検討することを目的とした。被験者は3歳から22歳までの男子スポーツ選手3,863名あった。体格として身長、スピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性として、20 m 走、プロアジリティテスト、立ち幅とび、反復横とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数を測定した。アロメトリー式 " $y = bx^a$ " を得るために、身長に従って分類した測定値を両対数グラフにプロットした。変移点を算出した結果、いずれの測定種目においても3つの変移点をもつ4相の一次関数で示された。第2変移点から第3変移点までの係数 a が1以上であることから、筋力の発達がスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達に寄与していると推測される。また、すべての測定種目において第1変移点までの係数 a が1以上の値を示したことから、神経系の改善が第1変移点までのスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達に寄与していることを示唆している。

キーワード: 身長発育、体力・運動能力発達、アロメトリー

責任著者: 三島隆章

住 所: 〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1

電話番号: 072-479-5025

Email: t-mishima@ouhs.ac.jp

Corresponding Author: Takaaki Mshima

Address: 1-1, Asashirodai, Kumatori, Sennan, Osaka, 590-0496

TEL: 072-479-5025

Email: t-mishima@ouhs.ac.jp

I. 緒言

スピード、アジリティ、瞬発力、敏捷性といった体力・運動能力は、スポーツ選手として成功を納めるために重要な要素のひとつであることは広く知られていることである。例えば、サッカー選手では有酸素性能力から無酸素性能力まで多種多様な体力・運動能力が必要とされるが、スプリント走の優劣が直接失点や試合結果に反映されることから、指導者においてスピードが必要との認識は強いことが指摘されている²⁾。また、世界各国のサッカークラブや代表チームにおいて、選手を選抜するための資料として短い距離でのダッシュが実施されていることも⁹⁾、スプリントの重要性を反映していることを示している。野球においても、守備の評価値として用いられているアルティメット・ゾーン・レーティングについて、2007年から2011年のシーズンにテキサスレンジャーズに所属するプロ野球選手22名を対象にレーティングの値と春季トレーニングで測定した体力・運動能力との関連性を検討した結果、プロアジリティテストによって外野手のレーティングを予測できると報告している⁵⁾。したがって、ジュニアスポーツ選手および指導者にとって、将来スポーツ選手として成功を納めるための目標値を設定するという点で、スピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性といった体力・運動能力の発達について理解することはたいへん有意義なことである。

スピード、アジリティ、瞬発力、敏捷性といった体力・運動能力の発達の様相については、男子ジュニアスポーツ選手を対象にウェーブレット補間法を用いて算出された速度曲線によって概要が明らかにされている。20m走、プロアジリティテストおよび反復横とびにおいては約9歳に発達のピークを示し、垂直跳び、立ち幅とびおよびリバウンドジャンプ指数では約10歳から約13歳において発達のピークを示すことが認められている⁷⁾。ウェーブレット補間法を用いて速度曲線を算出することで、体力・運動能力の発達の様相について明らかにすることができたが、一方、体力・運動能力の発達において、暦年齢よりも体格の発育の方が強く影響を及ぼしていることも周知の事実である。したがって、暦年齢という時間的な因子だけでなく、生物学的年齢の指標である身長を基準として、体力・運動能力の発達についても論じる必要がある。

生物学的年齢の指標である身長を基準として体力・運動能力の発達を相対的に評価する方法のひとつに、アロメトリー式を用いる方法が提唱されている。アロメトリーとは個体の一部の大きさを y 、他の一部または全体の大きさ x とすると“ $y = bx^a$ ”という関係が成立する指数関数関係のことであり、単純な比例関係を示すアイソメトリーと対比して用いられることもある⁸⁾。アロメトリー式“ $y = bx^a$ ”は両辺の対数をとると直線式“ $\log y = \log b + a \log x$ ”で表すことができ、直線式“ $\log y = \log b + a \log x$ ”の“ a ”は直線の勾配を示している⁸⁾。例えば身長を x 、体力・運動能力を y とした場合、 $a = 1$ であれば身長 x と体力・運動能力 y が等速度で発育発達していることを示している。また、 $a > 1$ であれば身長 x に対して体力・運動能力 y の方が高い割合で、 $a < 1$ であれば身長 x に対して体力・運動能力 y の方が低い割合で発達していることも示している^{4, 6)}。アロメトリー式を用いて発育発達現象について検討を行った先行研究では、10歳から18歳までの男子サッカー選手を対象に身長を x 、サッカーボールのキック距離を y として直線式

“ $\log y = \log b + a \log x$ ”を用いて検討を行ったものがある⁶⁾。アロメトリー式を算出した結果、身長の発育に対してボールのキック距離の発達は3つの傾きを持った直線で示すことができ、さらに3つの直線の係数 a は身長が約150 cmから約170 cmにかけて高い値を示していることから、約150 cmから約170 cmの間は身長の発育に対してキック距離の方が高い割合で発達していることが明らかにされた⁶⁾。よって、アロメトリー式を用いれば、生物学的年齢の指標である身長の発育と体力・運動能力の発達との関連性について検討することができることから、サッカー選手の他にもスピードスケート選手に対してアロメトリー式を用い、検討がなされている^{4, 6)}。ある特定の競技に特異的な体力・運動能力に関して、生物学的年齢を指標とした先行研究はいくつかあるが、スピードやアジリティ、瞬発力、敏捷性といった、より一般的な体力・運動能力について、多くの被験者を対象にアロメトリー式を用いた検討はなされていない。

そこで本研究では、生物学的指標である身長の発育とスピードやアジリティ、瞬発力、敏捷性といった体力・運動能力の発達との関連性について、幼児期から青年期までの男子を対象にアロメトリー式を用いて検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者として、全国各地（北海道、青森県、岩手県、宮城県、福島県、埼玉県、東京都、石川県、岐阜県、京都府、大阪府、兵庫県、広島県、香川県、熊本県）で定期的にスポーツ活動に参加している3歳から22歳までの男子3,863名が参加した。なお、被験者が参加しているスポーツは、アイスホッケー、運動教室、空手、サッカー、水泳、スキー、卓球、バスケットボール、バドミントン、バレーボール、野球、陸上競技、ラグビーおよびレスリングであった。運動教室とは、フィットネスクラブや総合型地域スポーツクラブで、身体の使い方を中心としたトレーニングを実施していることを示している。また、定期的なスポーツ活動とは、週1回以上のスポーツ活動に定期的に参加していることを意味することから、活動的な幼児期から青年期までの男子を対象に測定を実施したことになる。測定期間は2008年8月から2014年9月までの間であり、測定を実施する際、被験者、被験者の保護者およびスポーツの指導者に対して研究の目的、方法および測定の安全性などを十分に説明し、測定参加に対する同意を得てから実施した。本研究は八戸学院大学・八戸短期大学研究倫理委員会の倫理審査を受け、承認を得たうえで実施した（承認番号No. 13-02）。

2. 測定項目

体格として身長、体力・運動能力として20 m走、プロアジリティテスト、垂直跳び、立ち幅とび、反復横とびおよびリバウンドジャンプ指数を測定した。身長の計測は、身長計（デジタル身長計AD-6227、エーアンド・デイ社製）を用いて0.1 cm単位で計測した。体力・運動能力の測定は、すべての種目を体育館で実施した。スピード能力を示す20 m走では、光電管（スピードトラップ、Brower社製）を用い、100分の1秒まで計測した。スタートライン

およびゴールラインに光電管を設置し、スタートラインにつま先を揃え、任意のタイミングでスタンディングスタートから全力疾走を行わせた。2回測定を行い、良い方の記録を採用した。方向転換能力を示すプロアジリティテストでも光電管を用い、0.01秒単位までタイムを計測した。スタートラインから前後5 m離れた場所に高さ30 cmのミニコーンを置き、中央線ラインの両端に光電管を設置した。選手は任意のスタート方向に向かって中央ラインより後方に位置し、つま先をラインに合わせて正面を向いて構えさせた。任意のタイミングでスタンディングスタートからスタートし、前方に置かれているミニコーンにタッチしたらすぐに方向転換して反対側に向かって走りミニコーンにタッチし、再び素早く方向転換してラインを走り抜けさせた。スタートから最後にラインを通過するまでのタイムを記録し、2回測定を行ったうち良い方の記録を採用した。垂直方向への瞬発力を示す垂直跳びおよび足関節の伸長-短縮サイクルの能力を示すリバウンドジャンプ指数は、跳躍高測定装置（OPTO JUMP Next、MICROGATE社製）を用いて測定した。垂直跳びでは、跳躍高測定装置の間に両足を肩幅に開いて立ち、両腕を後方に振りながら両膝を約90度まで曲げ沈み込み、両脚の伸展および両腕の振り上げ動作によってできるだけ高くジャンプするように指示した。0.1 cmまで計測し、2回測定を行い良い方の記録を採用した。リバウンドジャンプでは、手を腰にあてた状態でその場で7回連続、リズムカルにできるだけ高くジャンプするように指示した。連続跳躍中の1回ずつのジャンプを分析して、跳躍高（cm）を接地時間（秒）で割ったものをリバウンドジャンプ指数として、最も高い値を採用した。水平方向への瞬発力を示す立ち幅とびおよび敏捷性を示す反復横とびは、文部科学省の体力テストに準じて行った。立ち幅とびの跳躍距離は、前方へジャンプして着地した際、最も踏み切り線に近い位置と踏み切り前の両足のつま先とを結ぶ直線の距離を1 cm単位で計測した。2回測定を行い、良い方の記録を採用した。反復横とびは、100 cm間隔で平行な3本線をサイドステップし、20秒間で何回ラインをステップできるかを計測した。2回測定を行い、良い方の記録を採用した。なお、20 m走およびプロアジリティテストについては、タイムから速度を算出し、後の分析に用いた。

3. 分析方法

形態と身体諸機能の関連性を3次元で分析をするディメンジョン論では、アロメトリー式の係数 a は、長さを表す項目（1次元）では1、断面積や筋力を表す項目（2次元）では2、体積を表す項目（3次元）では3を示すと言われている^{4, 6)}。したがって、変移点を考慮せずにアロメトリー式を算出し、さらに係数 a を示すことで、幼児期から青年期へと成長する過程でのスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達が、身長、筋力、体積のいずれによって規定されているのかを明らかにすることができるのである。

アロメトリー式は、先行研究^{4, 6)}に従って算出した。身長およびスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の結果を用いてアロメトリー式を算出するために、全被験者を身長5 cm毎の階級に分け、身長およびスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の平均値を算出した。まず、各測定項目における全体の発育発達傾向を検討するために、各身長階級における身長の平均値を y 、ス

ピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の平均値を x として両対数グラフ上にプロットし、最小自乗法により直線式 $\log y = \log b + a \log x$ を算出した。続いて、直線式が複数で表されるか否かを検討し、もし複数の直線が認められた場合、隣接する直線の交点を変移点とした。Fig. 1は両対数グラフ上にプロットして直線式を算出する方法を、Fig. 2は直線式が複数で表されるか否かを、20 m走速度の結果を例にして示したものである。複数の直線による変移点の算出は先行研究^{4, 6)}に従い複数の身長階級の平均値から算出した回帰直線のすべての組み合わせのなかでアロメトリー係数 a の値が変移点の前後で1.0以上変化した組み合わせを採用した。

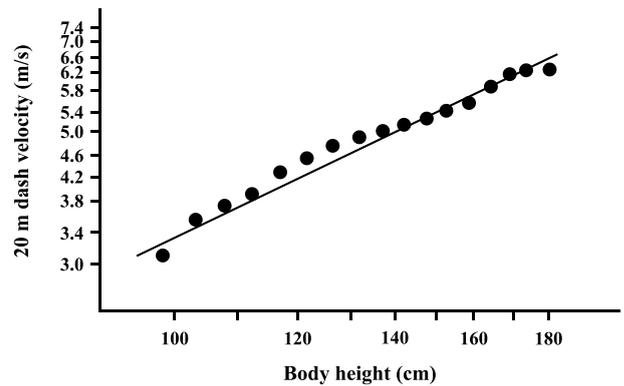


Fig. 1 The relationship between body height and 20 m dash velocity that does not take into account the transition point in boys from childhood to adolescence.

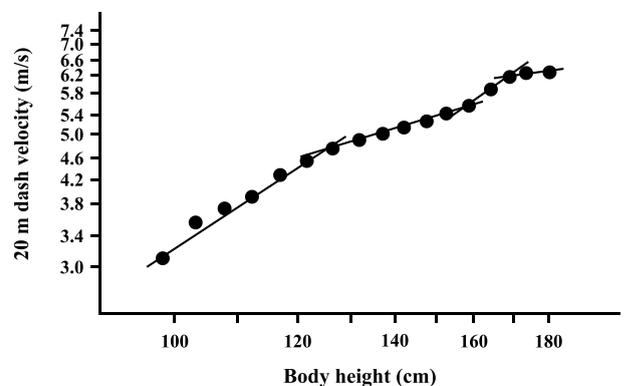


Fig. 2 The relationship between body height and 20 m dash velocity that takes into account the transition point in boys from childhood to adolescence.

4. 統計処理

測定値はすべて平均 ± 標準偏差で示した。身長と各測定項目との相関の算出には、べき乗回帰分析 ($y = bx^a$) を用い、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1. 身長階級の体力・運動能力

被験者を5 cm毎の身長階級に分け、各階級の年齢および体力・運動能力の平均値を算出した結果は、Table 1の通りであった。

Table 1 Speed, agility, explosiveness and quickness with body height in boys from childhood to adolescence.

Body height (cm)	n	Age (yrs)	20 m dash velocity (m/sec)	Pro Agility test velocity (m/sec)	Standing long jump (cm)	Side steps (times)	Vertical jump (cm)	Rebound jump index (cm/sec)
~99.9	10	4.4 ± 0.7	3.07 ± 0.45	2.18 ± 0.33	75.9 ± 25.3	19.4 ± 7.4	12.9 ± 3.0	48.5 ± 15.3
100.0~104.9	50	5.3 ± 0.5	3.55 ± 0.40	2.40 ± 0.25	93.4 ± 18.9	21.8 ± 6.0	16.3 ± 4.2	64.3 ± 30.3
105.0~109.9	123	5.7 ± 0.6	3.74 ± 0.36	2.54 ± 0.29	103.4 ± 18.9	24.0 ± 5.1	17.6 ± 3.3	62.5 ± 23.3
110.0~114.9	170	6.0 ± 0.5	3.94 ± 0.39	2.66 ± 0.28	110.5 ± 19.1	26.3 ± 6.6	18.9 ± 3.6	66.3 ± 27.8
115.0~119.9	223	6.8 ± 0.8	4.26 ± 0.33	2.82 ± 0.27	124.7 ± 17.9	30.8 ± 7.3	20.8 ± 3.7	80.0 ± 30.0
120.0~124.9	240	7.8 ± 0.9	4.51 ± 0.33	3.02 ± 0.24	134.3 ± 18.4	35.7 ± 7.2	22.6 ± 3.9	90.9 ± 32.0
125.0~129.9	286	8.8 ± 1.0	4.72 ± 0.32	3.15 ± 0.23	144.5 ± 16.0	39.9 ± 6.7	24.7 ± 4.0	98.5 ± 33.2
130.0~134.9	377	9.6 ± 1.0	4.86 ± 0.33	3.26 ± 0.23	151.3 ± 16.1	42.5 ± 7.1	26.0 ± 4.3	104.4 ± 32.5
135.0~139.9	406	10.5 ± 1.0	5.01 ± 0.32	3.35 ± 0.22	159.6 ± 17.7	45.1 ± 7.1	27.8 ± 4.7	113.8 ± 36.8
140.0~144.9	382	11.1 ± 0.9	5.11 ± 0.35	3.42 ± 0.24	165.0 ± 21.1	47.5 ± 7.1	29.1 ± 5.5	117.2 ± 39.1
145.0~149.9	280	11.6 ± 1.0	5.21 ± 0.34	3.45 ± 0.23	173.6 ± 20.1	49.3 ± 6.7	30.5 ± 5.3	123.0 ± 36.3
150.0~154.9	182	12.3 ± 1.2	5.39 ± 0.39	3.56 ± 0.24	184.0 ± 22.3	51.5 ± 7.1	32.8 ± 6.7	133.7 ± 41.0
155.0~159.9	144	12.9 ± 1.4	5.57 ± 0.40	3.64 ± 0.24	194.8 ± 22.6	54.8 ± 7.0	34.7 ± 7.6	138.5 ± 41.1
160.0~164.9	165	15.1 ± 2.9	5.92 ± 0.43	3.80 ± 0.26	212.7 ± 23.5	59.1 ± 7.4	41.2 ± 7.2	160.7 ± 45.1
165.0~169.9	253	16.6 ± 2.9	6.18 ± 0.41	3.92 ± 0.24	226.5 ± 23.9	60.3 ± 7.2	44.4 ± 7.3	169.4 ± 49.7
170.0~174.9	224	17.2 ± 2.6	6.32 ± 0.37	4.02 ± 0.24	235.8 ± 18.2	62.0 ± 6.9	46.8 ± 6.6	178.1 ± 43.0
175.0~	163	18.1 ± 2.2	6.32 ± 0.33	4.07 ± 0.21	240.6 ± 21.9	64.2 ± 11.2	47.4 ± 7.0	177.2 ± 47.3

Values are expressed as mean ± SD.

2. 変移点を考慮しないアロメトリー式における係数aの変化

身長とスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の関係において、変移点を考慮せずに回帰式とアロメトリー係数 a の値を算出した結果がTable 2である。算出した回帰式において、すべての測定項目に有意な相関があることが認められた。係数 a については、20 m走およびプロアジリティテストで、それぞれ1.111、0.980と類似した値を示した。立ち幅とび、反復横とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数も類似した値を示し、係数 a はそれぞれ1.862、2.130、2.071および2.210であった。

Table 2 Index "a" and constant "b" in relationship between body height and speed, agility, explosiveness and quickness that does not take account the transition point in boys from childhood to adolescence.

items	Index "a"	constant "b"	Regression equation
20 m dash velocity	1.111	-1.683	0.989
Pro Agility test velocity	0.980	-1.582	0.989
Standing long jump	1.862	-1.791	0.988
Side steps	2.130	-2.942	0.984
Vertical jump	2.071	-2.988	0.993
Rebound jump index	2.210	-2.713	0.993

3. 変移点を考慮したアロメトリー式における係数aの変化

身長とスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性との関連性について、変移点を考慮して複数の直線を算出した結果がTable 3である。身長と各体力・運動能力との関係では、すべての測定項目において3箇所の変移点が認められた。発育発達に伴う係数 a の変化は、20 m走では第1変移点で1.527から0.665へ低下し、第2変移点以降で1.431に上昇したが、第3変移点以降で0.320へと再び低下した。プロアジリティテストも20 m走と類似した変化を示し、第1変移点で1.354から0.571へ低下し、第2変移点以降

で1.025に上昇したが、第3変移点以降で0.534へと再び低下した。一方、立ち幅とび、反復横とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数は類似した変化を示した。立ち幅とびでは第1変移点で2.558から1.271へ低下し、第2変移点以降で2.210に上昇したが、第3変移点以降で0.952へと再び低下した。反復横とびでは第1変移点で2.329から1.515へ低下し、第2変移点以降で3.539に上昇したが、第3変移点以降で1.039へと再び低下した。リバウンドジャンプ指数では第1変移点で2.517から1.247へ低下し、第2変移点以降で2.879に上昇したが、第3変移点以降で0.756へと再び低下した。

各変移点での身長は、Table 4に示した通りである。20 m走の第1変移点での身長は126.2 cm、第2変移点での身長は151.2 cm、第3変移点での身長は168.9 cmであった。プロアジリティテストの各変移点での身長は第1変移点で128.8 cm、第2変移点で151.5 cm、第3変移点で169.6 cmであり、20 m走と類似した値を示した。瞬発力を示す立ち幅とびと垂直跳びも類似した値を示し、各変移点での身長は立ち幅とび、垂直跳びそれぞれ第1変移点で123.8 cm、124.6 cm、第2変移点で149.9 cm、152.8 cm、第3変移点で168.5 cm、167.6 cmであった。反復横とびの第1変移点および第2変移点の身長は20 m走、プロアジリティ、立ち幅とびおよび垂直跳びよりも高く、第1変移点で130.0 cm、第2変移点で155.0 cmであった。一方、第3変移点の身長は他の種目よりも低く、161.4 cmであった。リバウンドジャンプ指数は、第1変移点のみ他の種目より高い135.4 cmを示したが、第2および第3変移点は他の種目と同程度であり、それぞれ149.9 cm、167.4 cmであった。Table 3およびTable 4の結果に基づき、身長と各体力・運動能力の変移点での身長および変移点間における係数 a の値を示したものが、Fig. 3である。

Table 3 Index "a" and constant "b" in relationship between body height and speed, agility, explosiveness and quickness that take account the transition point in boys from childhood to adolescence.

items	Linear equation 1			Linear equation 2			Linear equation 3			Linear equation 4		
	Index "a"	constant "b"	Regression equation	Index "a"	constant "b"	Regression equation	Index "a"	constant "b"	Regression equation	Index "a"	constant "b"	Regression equation
20 m dash velocity	1.527	-2.534	0.991	0.665	-0.722	0.995	1.431	-2.392	0.984	0.320	0.083	0.846
Pro Agility test velocity	1.354	-2.349	0.998	0.571	-0.696	0.978	1.025	-1.685	0.986	0.534	-0.592	0.961
Standing long jump	2.558	-3.213	0.982	1.271	-0.519	0.994	2.210	-2.564	0.991	0.952	0.239	0.958
Side steps	2.959	-4.645	0.997	1.486	-1.531	0.997	2.099	-2.873	0.998	1.004	-0.455	1.000
Vertical jump	2.329	-3.512	0.989	1.515	-1.806	0.996	3.539	-6.227	0.972	1.039	-0.665	0.911
Rebound jump index	2.517	-3.343	0.978	1.247	-0.636	0.982	2.879	-4.186	0.941	0.756	0.536	0.703

Table 4 The transition points of body height at which relationships between body height and speed, agility, explosiveness and quickness in boys from childhood to adolescence.

items	First changing point(cm)	Second changing point(cm)	Third changing point(cm)
20 m dash velocity	126.2	151.2	168.9
Pro Agility test velocity	128.8	151.5	169.6
Standing long jump	123.8	149.9	168.5
Side steps	130.0	155.0	161.4
Vertical jump	124.6	152.8	167.6
Rebound jump index	135.4	149.9	167.4

IV. 考察

形態と身体諸機能の関連性を3次元で分析をするディメンジョン論の理論的背景では、長さは1次元、断面積は2次元、体積は3次元と考えられており、筋力に関係する要素は筋の断面積と比例関係を有する。身長が大であれば筋の断面積は大となり、筋力を媒介とする瞬発力や敏捷性に影響を与えることになる。このような関係が、本研究で適用されたアロメトリー式の係数に反映されて、身長のような1次元の場合の係数aは1、断面積や筋力を示す2次元の場合の係数aは2、体積を示す3次元の場合の係数aは3を示す^{4, 6)}。したがって、アロメトリー式を用いて発育発達現象を検討する場合、変局点を考慮しなければ係数aの値は測定範囲全体における発育発達の概観を規定することになる。

そこで、変局点を考慮しない係数aの結果から、20m走、プロアジリティテストの係数が1に近似していることは、身長発育の傾向とその概観が同じと推測される。また、立ち幅とび、反復横とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数では係数が2に近似したことから (Table 1)、瞬発力、敏捷性の発達は身長発育の2倍の発育速度を有する概観を示したことになる。藤井¹⁾によれば、走能力の発達は思春期ピークを示さないために、Scammonの発育曲線の神経型パターンに負っており、そのことが明確な思春期ピークを有する身長発育の速度の概観と平均的に類似したのではないかと推測される。そして、プロアジリティテストはスプリントテストとの相関が高いことから¹⁰⁾、20m走と同様に係数aは1に近い値を示したと推測できる。

逆に、立ち幅とび、反復横とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数では、反復横とびを除き、思春期ピークを示す体力・運動能力である。つまり、Scammonの発育曲線の一般型パターンに負っており、身長発育の速度曲線の概観と類似している。しかし、身長発育の速度の2倍を示したことは、筋力系の発達速

度が身長発育速度を大きく上回っていることを示す証左ではないだろうか。反復横とびについては明確な思春期ピークは示さない体力・運動能力ではあるが、一般型パターンに負うところが大きいと言え、筋力系の発達速度に依存すると考えて良いであろう。つまり、立ち幅とび、反復横とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数の発達には大臀筋、大腿四頭筋、大腿二頭筋、下腿三頭筋といった下肢筋群の発育が関与していることから、係数aが身長発育速度の2倍に近い値を示したと考えられる。

変局点を考慮した場合では、範囲全体にわたる発達の傾向は明らかにすることができないが、身長に対する体力・運動能力の発達について詳細な挙動を得ることができる。そこで本研究において変移点を考慮した統計処理を行った結果、すべての測定項目において3箇所の変局点が認められたが、20m走とプロアジリティテストは類似した変化を示し、第1変局点において係数aの値は約1.5から約0.5に低下し、続いて第2変局点で再び約1.5に上昇したが、第3変局点以降では約0.5へと低下した (Table 3)。20m走の第1変局点での身長は126.2 cm、プロアジリティテストの身長は128.8 cmであり (Table 4)、暦年齢に換算するとともに約8歳になる。このような様相は周知のことであるが、幼少期の第1次成長期から第2次成長期 (思春期急増期) に入る準備段階であり、藤井¹⁾が指摘しているように、身長発育はこの時期から思春期の準備に入る。一方、20m走およびプロアジリティテストは思春期を示さないで、速度の上昇は一定の増大を示すが、成人値に近くなると共に減速を呈する。よって、アロメトリー係数aの値が最初の変局点で減じるのは20m走、プロアジリティテストが一定の増大に対して、身長発育は思春期急増の準備に入るため速度の急激な増大によって係数aが減少したのであろう。そして、身長発育が思春期の急減に入ったときには係数aが上昇し、成人値近くでは再び係数aは減少に転じたと推測できる。

ところで、プロアジリティテストの発達プロセスの明確な記述がないが、20m走のような発達を示すことが推測される。サッカーやバスケットボール、ラグビーといった球技において、試合を左右するような重要な因子のひとつである方向転換走、すなわちアジリティについては、スプリントテストと相関が非常に高いことが認められている¹⁰⁾。一方、方向転換時には股関節、膝関節、足関節の伸展動作が必要とされることから³⁾、垂直跳び、立ち幅とび、反復横とびおよびリバウンドジャンプ指数も、プロアジリティテスト遂行中の方向転換時に必要な体力であることを示唆している。しかしながら、プロアジリティテストはスプリントとの相関が非常に高いため¹⁰⁾、結局は素早い方向転換よりも短い距離でのスプリント走が

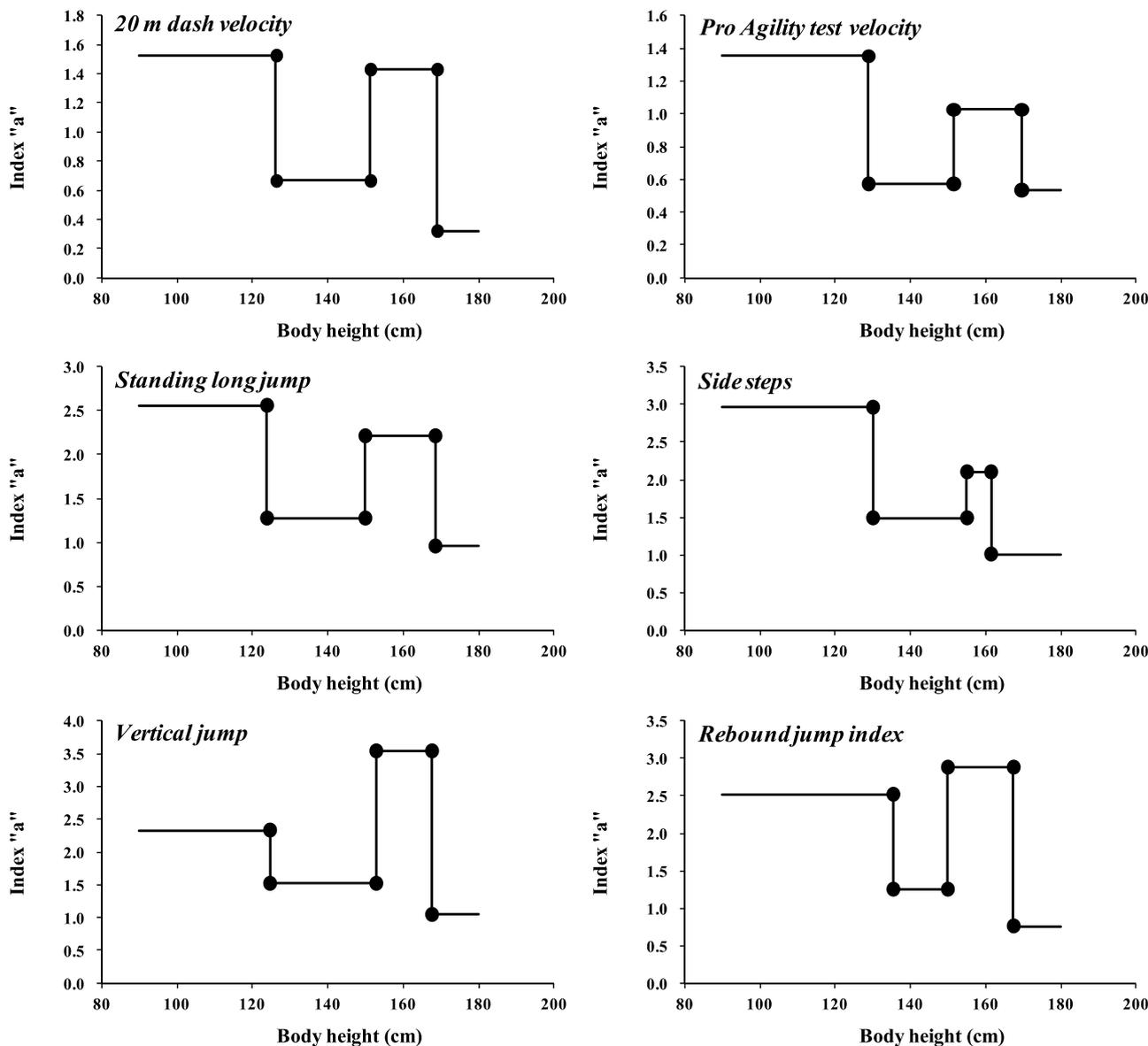


Fig. 3 The Changes of index "a" in 20 m dash velocity, Pro Agility test velocity, standing long jump, side steps, vertical jump and rebound jump index with body height in boys from childhood to adolescence.

プロアジリティテストの成績を左右すると考えられる。したがって、プロアジリティテストの変移点の挙動は、20 m走と非常に類似していると考えられる。

立ち幅とび、垂直跳び、反復横とびおよびバウンドジャンプ指数においても変局点が3箇所あることが認められた。基本的に身長発育と体力・運動能力とのアロメトリー関係は変局点が3ヶ所存在すると考えることが妥当であろう。つまり、身長発育を横軸にする場合、身長発育は思春期ピークを示すパターンを取るために、身長発育速度の様相に依存するためと考えられる。立ち幅とび、垂直跳びの発達について、第1変局点で係数aは1程度の減少を示し、第2変局点では2程度に上昇したが、第3変局点以降では再度1程度に低下している。立ち幅とびおよび垂直跳びは瞬発力を測る種目である。藤井¹⁾によれば、瞬発力の発達プロセスには思春期ピークを示す要素であり、発達パターンは身長と同じような一般型パターンに依存している。したがって、第1

変局点において係数aが1程度に減少したのは、身長は思春期急増期の準備期に入ったのに対して、立ち幅とび、垂直跳びの発達は遅れて思春期に入っているため、その時間差が係数aを減少させたと推測できる。そして、第2変局点で係数aが上昇したのは、身長が急減期に入ったのに対して両隣発力は思春期急増期に入ったと推測できる。さらに再び係数aが減少したのは、両隣発力が思春期の急減期に転じたためと推測されよう。

反復横とびは一般的に、敏捷性を評価する種目として用いられている。フロアにひかれた3本のラインをサイドステップで、できるだけ素早く移動しなければならないが、他の測定種目と比較すると複雑な動作が必要とされることから、幼児期において体力・運動能力が上手く反復横とびの成績に反映されない場合がある。したがって、立ち幅とびや垂直跳びと同様に反復横とびは筋力系の発達に依存すると考えられるが、思春期急増期を示さない事を考えれば、そのことが第1変局点に至るまでの係数aが、2より

も高い値である2.959を示したと推測される。その後の第2変局点、第3変局点における係数 a の挙動は身長発育が思春期急増現象を示すことに対して、反復横とびは思春期急増を示さないために立ち幅とびや垂直跳びと比べれば係数 a の変動が少ないと推測できる。

最後にリバウンドジャンプ指数の発達について、プロアジリティテストの発達プロセスの明確な記述がないように、この要素も明確ではないが、変局点ごとの係数 a の挙動を見る限り、立ち幅とびや垂直跳びの係数 a の挙動と基本的には同様の傾向を示す。もちろん、リバウンドジャンプ指数の発達パターンが同じではないが、思春期急増現象を示す要素であり、立ち幅とびや垂直跳びと同様に一般型発育パターンに依存していると考えられる。

V. 現場への提言

本研究から得られた知見のひとつに、第1変移点の身長が約130 cmまでは20 m走、プロアジリティテスト、反復横とび、立ち幅とび、垂直跳びおよびリバウンドジャンプ指数のいずれにおいても身長や筋力の発育発達に加え、動作の習得がスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達に関与していることが示唆されたことをあげることができる。したがって、男子に対してスピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性向上のためのトレーニングを指導する場合、身長が約130 cmまでは主に神経系の改善を目的としたプログラムの遂行が重要であることを示している。一方、第2変移点から第3変移点である身長が約152 cmから約167 cmまでの間は、第二次性徴に伴う筋量および筋力の著しい発育発達が、スピード、アジリティ、瞬発力および敏捷性の発達に対して大きく寄与している可能性があることが示唆された。よって、発育発達に負の影響を及ぼさないように十分に留意しながら、ストレングストレーニングに取り組み始めることが必要であることを示唆している。

付記

本論文は、第3回日本トレーニング指導学会大会（2014年12月20日）において口頭発表した内容に修正・加筆を加えたものである。また、本研究の一部はJSPS科研費26350790の助成を受けたものである。

文献

- 1) 藤井勝紀：発育・発達への科学的アプローチ-発育・発達と健康の身体情報科学，三恵社，愛知，2006
- 2) 星川佳広，飯田朝美，古森政作，中馬健太郎，澁川賢一，菊池忍：サッカー選手における20 m走タイムの評価法の試案：ジュニアからプロまでの検討，体育学研究，57：249-260，2012
- 3) 稲葉優希，深代千之：方向転換の基礎動作，体育の科学，60：739-744，2010
- 4) 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，57：119-130，2008
- 5) Mangine GT, Hoffman JR, Vazquez J, Pichardo N, Fragala MS and Stout JR: Predictors of fielding performance in professional baseball players, *Int J Sports Physiol Perform*, 8: 510-516, 2013
- 6) 手島貴範，角田直也：身長の相対発育からみた男子サッカー選手の大腿部筋厚発育とボールキック能力の発達，体力科学，60：195-205，2011
- 7) 渡辺英次，三島隆章，藤井勝紀，関一誠，伊藤幹：ウェーブレット補間法による身体組成および運動能力の加齢変化に関する検証-学齢期男子の解析-，スポーツ健康科学研究，35：53-62，2013
- 8) 八木光晴，及川信：生物の体サイズとアロメトリー：エネルギー代謝量と体サイズ，比較生物生化学，25：68-72，2008
- 9) 安松幹展：サッカーに必要な体力・コンディショニングの評価法，財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会編，選手と指導者のためのサッカー医学，金原出版，東京，pp. 32-46，2005
- 10) Young WB, McDowell MH and Scarlett BJ: Specificity of sprint and agility training methods, *J Strength Cond Res*, 15: 315-319, 2001