

〈原 著〉

PHV 年齢との関連でみる思春期サッカー選手のスプリントおよび ジャンプ能力の発達

Development of sprint and jump abilities in adolescent soccer players and their relation to age at peak height velocity

星川 佳広^{1,2}, 中馬 健太郎³, 黒須 雅弘⁴, 天野 雅斗⁵, 中田 有紀⁶

YOSHIHIRO HOSHIKAWA^{1,2}, KENTARO CHUMAN³, MASAHIRO KUROSU⁴, MASATO AMANO⁵, YUKI NAKATA⁶

Abstract

Acquiring higher sprint and jump abilities are advantageous toward future success for young soccer players. The aim of the present study was to investigate how maturity status is correlated with the development of sprint and jump abilities in adolescent male soccer players during the period of height growth spurts. We identified the age at peak height velocity (APHV) for 76 young soccer players aged between 12.1 and 15.7 years. Furthermore, maturity offset (MO), which indicates years from APHV, was calculated as an index for maturity status of each player. The correlation coefficients for MO with 20-m sprinting and vertical jumping tests were -0.722 and 0.668, respectively, which were significantly higher than those for chronological age. Partial correlation analysis controlling for maturity status indicated that height had only a small influence on the development of sprint and jump abilities at this age. Contrary to previous studies on non-athletic boys, body mass had a moderately positive effect on sprint and jump abilities of adolescent soccer players when maturity status was controlled for, suggesting body mass increase with fat-free mass is a factor that enhances both abilities in adolescent soccer players. Coaches should be aware of APHV and maturity of each player and that wide inter-individual variations of maturity exist within players even at same chronological age during adolescence.

Key words: maturation, growth spurt, sprinting, jumping, young soccer players

Submitted September 16, 2022; Accepted December 17, 2022

¹Department of Sports Science, Japan Women's College of Physical Education

²Research Institute of Physical Fitness, Japan Women's College of Physical Education

³JUBILO CO., LTD.

⁴Department of Sports and Health Science, Tokaigakuen University

⁵Department of Management, Seisa Dohto University

⁶愛知つばさトラッククラブアカデミー

緒言

サッカーは前後半各 45 分間の試合時間に、ウォーキングやジョギングなどの低強度運動をさみながら様々な高強度運動が繰り返される間欠性競技である。サッカーにおける高強度運動、例えばゴール前でのボールへの競り合いなど、得点・失点に結び付くプレーにおけるスプリントやジャンプの優劣は直接的に試合結果を左右する。*Faude et al.* (2012) は、プロサッカーの試合において得点前に行われた高強度運動を整理分類し、最頻は直線スプリント走で得点場面の 45% であること、その次はジャンプ（ヘディング）の 16% であることを報告している。また、多くの先行研究は思春期にある育成期サッカー選手がプロ選手などのより高いレベルへと選抜される際、有酸素性の持続的な体力要素よりもスプリントやジャンプ、あるいはそれらの背景にある筋力、パワー発揮能（*Wisloff et al.* 2002）が強い差別化要因として働くことを示唆している（星川と中馬 2017, *Kelly and Williams* 2020）。したがって、育成期サッカー選手が競技力を高めるうえで、スプリントやジャンプ能力の向上は優先順位の高い重要事項といえる。

スプリントやジャンプ能力は、子どもから思春期にかけて、脚長の増加とそれともなうストライド長の増加といった解剖学的・バイオメカニクスの要因、速筋線維の選択的肥大や筋力向上、筋腱スティフネスの変化といった筋生理学的要因、運動単位動員の増加、動作スキルの改善といった神経生理学的要因等で発達する（宮丸 2001, *Oliver et al.* 2014）。特に男子の場合、思春期以降に同化作用をもつ男性ホルモンレベルが高まることで筋量や除脂肪量の増加、筋力の向上が生じ、女子に対して顕著にスプリント、ジャンプ能力、あるいは筋力、パワー発揮能が高まる（*Malina and Bouchard* 1991）。思春期男子における筋肥大や筋力の増加率は、

身長发育速度（cm / 年）がピークとなる Peak Height Velocity (PHV) の時期と同期して最大になり（*Malina and Bouchard* 1991, *Beunen and Malina* 1998）、思春期男子サッカー選手においても、30m ダッシュと垂直跳高の年間向上量は、PHV 出現時の年齢（APHV: Age at PHV）より前においては身長发育速度の増加パターンと同期して大きくなり、APHV において最大になった後、APHV 後数年にわたり向上量が高い時期が続くと報告されている（*Philippaerts et al.* 2006）。

ただし、ヒトの成熟過程にはテンポとタイミングにおいてばらつきがあることには注意が必要である（*Malina and Bouchard* 1991, *Beunen and Malina* 1998）。日本人の APHV は平均的には 12~14 歳であるものの、早い場合で 10 歳、遅い場合で 15 歳と 5~6 年程度の個人差がある（高石ら 2006）。したがって、サッカーに重要となるスプリントやジャンプ能力向上のトレーニングを計画するとき、その選手の暦年齢のみならず PHV 出現時期の遅速、成熟の程度を考慮した方が適切である。*Meyers et al.* (2015) は、11-15 歳の一般男子 336 名を対象に 30m 走中のスピードを測り、APHV 以降の子どもは APHV 以前の子どもに対してスピードが高く、それは主にストライド長の増加によること、しかし体重増加はピッチ増加に負に働き、成熟によるスピード向上の程度を抑制することを示している。また、別の研究においても *Meyers et al.* (2017) は、重回帰分析の結果、身長成長期のスピード増加には暦年齢よりも APHV の寄与度が高く、成熟による脚長増加は正に、体重増加は負に寄与することを示している。さらに、一般男子よりもスプリント能力が高いジュニアサッカー選手の場合も、*Mendez-Villaneuva et al.* (2011) は、U-14 選手と U-16 選手にみられる 10m スプリントタイムの差異が、APHV を共変量とした場合にほぼ消失することを示している。この結果は、14 歳と 16 歳の男子サッカー選手にみられるスプリント能力

の差異には、APHV の出現時期からの年数、すなわち成熟の程度が強く作用することを示唆する。しかし、*Meyers et al.* (2015, 2017), *Mendez-Villaneuva et al.* (2011) の先行研究はいずれも横断研究であり、被検者の APHV は一時点の身長や体重、座高等から間接的に推測する方法 (*Mirwald et al.* 2002) によって求められており、成熟の程度が適切に反映されていない可能性もある。

さらには、成熟の早い選手は形態が大きい傾向にあるため、成熟ではなく単に形態の大きさがスプリントやジャンプ能力に有利に働いた可能性も考えられる。したがって、スプリントやジャンプ能力に対する成熟の影響を検討する時、短期間に形態が大きく変化する思春期の被検者においては、形態変化の及ぼす影響を適切に評価する必要がある。上述のように、APHV 後のスピード向上において脚長が正に、体重が負に作用することを示した *Meyers et al.* (2015) は、偏相関係数によって脚長のスピードに対する正の効果は成熟を考慮すると消失することを指摘している。この結果はすなわち、同じ成熟の程度の子どもでは、身長（脚長）の高さはスピードの高さと無関係であることを意味する。ただしこの結果は、一般男子のスピード向上の成熟過程についてであり、必ずしもスプリントやジャンプ能力が一般男子より高いサッカー選手の能力向上についてあてはまるとは限らない。*Meyers et al.* (2015) は、一般男子の体重増加は成熟によるスピード向上の程度を抑制すると考察し、その説明として、脂肪量の増加にともない接地時間が延長し、ピッチが下がることを理由に挙げている。

一方、思春期の体重増加は脂肪量ではなく筋量増加によっても生じる。星川ら (2012)、星川と中馬 (2017) は、ジュニアサッカー選手においては身長、体重ともに 20m 走タイムや垂直跳高と相関し（身長、体重が大きいと 20m 走タイムが速く、垂直跳高が大きい）ことを示しており、成熟過程における体重増加のスプリント

能力への影響は一般男子とサッカー選手で異なることも考えられる。この成熟過程における体重増加については、体重自体はスプリントやジャンプパフォーマンスの物理的な負荷にもなりうるため、能力向上に有利となるか不利となるかは、現場指導者には判断が難しい問題でもある。

そこで本研究は、第二発育急進期にあり形態変化が大きい思春期にある日本人の中学生サッカー選手を対象に、スプリントおよびジャンプ能力と暦年齢および APHV との関係性を比較し、各能力に対する成熟の影響を検討すること、さらには成熟の程度が形態および身体組成に及ぼす影響を考慮しながら、各能力に対する成熟の影響を検討することを目的とした。

方法

被検者および APHV

被検者は、日本プロサッカーリーグ（J リーグ）に参戦するサッカークラブ（J クラブ）の U-15 カテゴリー（中学生）に所属する男子サッカー選手であった。この 1 つのクラブを 6 シーズン観察することで、計 76 名が分析の対象となった。ポジションはフィールドプレーヤーのみであり、ゴールキーパーは含めなかった。当該クラブの標準的な活動は、平日は週 4 日の 90 分間のチーム練習と週末に 1～2 試合行うものであった。平日の毎練習前においては、プランク、サイドプランク、ヒップリフトを各 30 秒～1 分間の維持と、プッシュアップ、スクワット各 20 回などの自重の筋力トレーニングを行っていた。また、スプリント、ジャンプ動作を用いたトレーニングは定期的には行われておらず、不定期に練習メニューに組み入れられていた。

各被検者は、保護者の同意を得て J クラブに所属しサッカーに取り組んだ。クラブ参加前にはセレクションがあり、技術・戦術面で観察され、選抜された選手であった。J クラブ参加時には小学校 1 年から 6 年までの各学年 4 月に学

校で受けた形態計測の結果を提出し、下記の APHV の算出に利用した。この J クラブでは、中学校 1 年から 3 年（以降、G1, G2, G3 と表記）の各学年の春（4 月）と秋（10 月もしくは 11 月）において、チーム活動の一環として、形態、組成測定およびスプリント、ジャンプ測定を同一日に行っており、上記 76 名は中学生の間に各学年の複数の機会に測定を受けた。各被検者は G1, G2, G3 各学年において少なくとも 1 回は形態、組成測定を行った。スプリント、ジャンプ測定については両測定を実施した測定日のデータのみを分析に使用し、結果的に G1～G3 を通し、分析対象となる測定回数が 1 回の被検者が 1 名、2 回の被検者が 8 名、3 回の被検者が 17 名、4 回の被検者が 16 名、5 回の被検者が 21 名、6 回の被検者が 13 名であり、スプリント、ジャンプ測定の分析対象となるデータは合計で 315 点であった。本研究は、チーム活動にともない生じたこれらデータを当該クラブの同意のもとに二次利用し分析した。なお本研究における二次利用に関しては、被検者およびその保護者に対して研究の趣旨、目的、利用範囲を説明し、同意を書面にて得た。本研究は東海学園大学研究倫理委員会の承認（承認番号 30-11）を得て実施された。

被検者の暦年齢として、生年月日から測定日までの日数を 365.25 で除すことにより、小数第一位まで求めた。各被検者の APHV の算出は大澤（2015）に準拠した。すなわち、各被検者ごとに、小学校 1 年から G3 までの 9 年間の各

暦年齢時の身長を 6 次式で回帰し、その導関数（微分式）を求めることで、身長発達速度（cm/年）曲線を作成した。その曲線における 10～15 歳範囲での最大値を PHV と認識し、その出現時点の暦年齢を APHV とした。そして、測定時の暦年齢と APHV の差異を 0.01 歳単位で表現したものを Maturity offset (MO) と表現した (Mirwald *et al.* 2002)。本研究においては、全被検者において G3 秋の測定時までには身長発達速度がピークアウトしており、同定された APHV は実測値と呼べるものである。結果的に本被検者における APHV は 12.85 ± 0.96 歳であり、データ期間内には暦年齢 12.06～15.66 歳、MO-2.00～4.50 年までが含まれた。

形態および組成測定

被検者の身長はデジタル身長計 (AD-6227, A&D 社) により測定した。各被検者につき 2 回の測定を行い、測定値が 4 mm 以上異なった場合は 3 回目の測定を行い、近い 2 つの値の平均値を身長として分析に利用した。体重および体組成は上肢と下肢の 4 点のインピーダンス式の体組成計 (インナースキャン 50V, タニタ社) により求めた。タニタ社によるとこの装置は 6 歳以上の体組成が計測可能である。被検者の測定時期別の暦年齢、MO、形態、体組成（体脂肪率、除脂肪量）の平均値および標準偏差を Table 1 に示した。また、Table 1 には除脂肪量を身長で除した除脂肪量身長比も示した。本研究において除脂肪量身長比は、身長成長分を含めな

Table 1 Subjects characteristics, 20-m time and vertical jump height

	N	Age (yrs)	MO (yrs)	Height (cm)	Body mass (kg)	%fat (%)	FFM (kg)	FFM/ht (kg/m)	20-m Time (sec.)	VJ (cm)
G1 Spring	61	12.7(0.2)	0.0(1.1)	156.0(8.3)	45.5(7.3)	14.9(3.7)	38.6(5.3)	24.6(2.2)	3.39(0.16)	44.5(6.7)
Fall	56	13.3(0.2)	0.7(1.1)	160.8(8.1)	49.1(7.5)	14.9(4.3)	41.3(5.1)	25.6(2.2)	3.32(0.14)	49.3(7.5)
G2 Spring	55	13.7(0.3)	1.0(1.1)	162.1(7.9)	51.6(8.0)	15.7(3.6)	43.3(5.5)	26.6(2.3)	3.31(0.15)	49.4(6.6)
Fall	66	14.3(0.3)	1.6(1.0)	165.7(6.9)	55.5(7.8)	16.0(4.3)	46.4(4.9)	27.9(2.0)	3.22(0.14)	54.3(6.9)
G3 Spring	37	14.7(0.3)	2.0(1.1)	167.4(6.5)	58.5(7.6)	17.5(3.9)	48.0(5.0)	28.6(2.0)	3.20(0.13)	52.8(5.9)
Fall	42	15.3(0.2)	2.6(1.1)	169.2(5.9)	60.3(7.1)	15.8(3.3)	50.6(4.9)	29.8(2.1)	3.13(0.10)	56.9(7.0)

Average (S.D.)

MO: Maturity offset, FFM: Fat-free mass, FFM/ht: Fat-free mass per height, VJ: Vertical jump height

い全身的な筋量の指標として捉えた。

スプリント、ジャンプ測定

スプリント能力は 20m 走テストで評価した。星川ら (2012) と同様に、スタート位置から 10m, 20m 位置に 1 対の光センサー (Witty System, Microgate 社) を設置し、スタートから光センサーの赤外線を切断する時間によって 10m タイム, 20m タイムを計測した。スタートはスタンディングスタートとし、被検者は任意に左右いずれかの半身を取り、前足前方をスタートライン上におき、後ろ足を対象者の好みの位置に置き静止した状態から、反動をつけずにスタートした。このとき、後ろ足踵部をはさむように 1 対の光センサーを設置し、踵部によって切断されていた赤外線が後ろ足の離地により再接続するタイミングをもってスタートとした。各被検者は約 2 分の休息をはさみ 20m 走を少なくとも 2 回試行した。2 回の試行に 0.1 秒以上の差異が生じた場合は 3 回目の試行を行った。全試行の中で最も速いタイムを分析に利用した。結果的に、10m タイムと 20m タイムとには $r=0.963$ の強い相関関係があったため、20m タイムのみを分析対象とした。

ジャンプ能力は垂直跳高の測定により評価した。垂直跳高をジャンプ高スケール (YardStick, Swift 社) を利用し計測した。各被検者は少なくとも 3 回の垂直跳を行い、3 回の垂直跳高が徐々に伸びた場合は 4 回目の垂直跳を行い、最も高い跳躍高を分析対象とした。20m タイム、垂直跳高の平均値および標準偏差を Table 1 に示した。

統計

暦年齢および MO と 20m タイム、垂直跳高それぞれの関係性について相関係数 (r) およびその 95% 信頼区間を求めた。本研究の全 315 点のデータには同一個人の異なる時期の複数のデータが含まれているが、全 315 点を独立的に

扱い相関分析を行った。95% 信頼区間については、 r を Fisher 変換した値に対して標準正規分布の確率密度が 0.975 になる Z 値を読み取り、それを自由度で標準化した値を r にプラスマイナスすることで求めた。この 95% 信頼区間が 0 を含まない場合、有意な相関があると判断した。また 2 つの相関係数の大きさを比較する場合、95% 信頼区間に重なりがない場合には両者には 5% 水準で有意な差異があると判断した。

また結果的に、形態、組成の各測定値には 20m タイム、垂直跳高ならびに MO との間に暦年齢以上の高い相関性を認めた。したがって、形態、組成の各測定値と 20m タイム、垂直高の関係性においては、MO が第 3 の要因として影響していることが予想されるため、形態、組成の各測定値から MO の影響を除いた偏相関係数 ($r_{12|MO}$) およびその 95% 信頼区間を求めた (芝と南風原, 1990)。これ以降、偏相関係数との区別を明確にするため、通常の相関係数を単相関係数と呼ぶことにする。

単相関係数 (r)、偏相関係数 ($r_{12|MO}$) の大きさを解釈する場合、絶対値が 0.1 以上 0.3 未満を “Small”, 0.3 以上 0.5 未満を “Moderate”, 0.5 以上 0.7 未満を “Large”, 0.7 以上を “Very large” な関係性にあると判断した (Hopkins *et al.* 2009)。

結果

Figure 1 は 20m タイムと暦年齢 (左) および MO (右) との関係性である。20m タイムと暦年齢の単相関係数は $r=-0.506$ (95% 信頼区間 $r=-0.583 \sim -0.419$) であり、両者は “Large” な関係性にあった。一方、20m タイムと MO の単相関係数は $r=-0.722$ (95% 信頼区間 $r=-0.771 \sim -0.664$) であり両者は “Very large” な関係性にあった。また、単相関係数は MO が暦年齢よりも有意に大きかった。

Figure 2 は垂直跳高と暦年齢 (左) および MO (右) との関係性である。垂直跳高と暦年齢の単

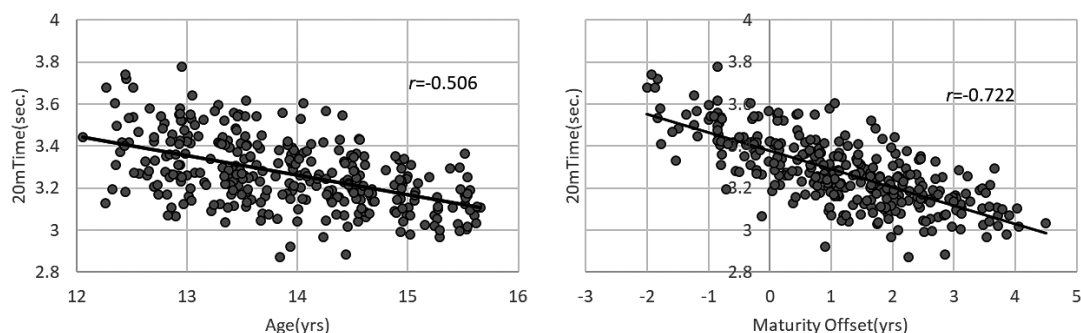


Figure 1 The relation of age (left) and maturity offset (years from APHV) (right) with 20-m time

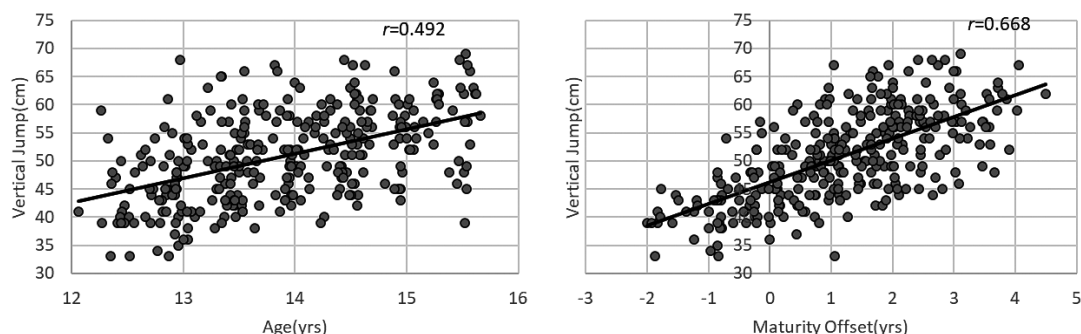


Figure 2 The relation of age (left) and maturity offset (years from APHV) (right) with vertical jump height

相関係数 $r=0.492$ (95%信頼区間 $r=0.404 \sim 0.571$) であり、両者は“Moderate”な関係性にあった。一方、垂直跳高とMOの単相関係数は $r=0.668$ (95%信頼区間 $r=0.602 \sim 0.725$) であり、両者は“Large”な関係性にあった。また、単相関係数はMOが暦年齢よりも有意に大きかった。

Table 2 に、20m タイムと、身長、体重、体脂肪率、除脂肪量、除脂肪量身長比の単相関係数(1行目)と、MOと形態、組成各測定値の単相関係数(2行目)を示したが、それらはすべて有意にゼロとは異なった。Table 2 3行目および4行目には、MOの影響を除いた20m走タイムと形態、組成各測定値の偏相関係数($r_{12|MO}$)およびその95%信頼区間を示した。いずれの測定値においても偏相関係数は単相関係数に比べてゼロに近くなったが、体脂肪率以外では偏相関係数においても有意にゼロとは異なった。ただし、身長と20mタイムは単相関係

数では $r=-0.608$ の“Large”な関係性にあったが、MOの影響を除いた偏相関係数では $r_{12|MO}=-0.165$ (95%信頼区間 $r_{12|MO}=-0.270 \sim -0.056$) に減少し、その関係性は“Small”であった。また体重と20mタイムについても、単相関係数では $r=-0.693$ の“Large”な関係性にあったが、偏相関係数では $r_{12|MO}=-0.281$ (95%信頼区間 $r_{12|MO}=-0.379 \sim -0.176$) に減少しその関係性は“Small”であった。一方、体脂肪率についてはMOの影響を除いた偏相関係数ではほぼ0になったのに対して、除脂肪量、除脂肪量身長比については、偏相関係数においてもそれぞれ $r_{12|MO}=-0.329$, -0.393 (95%信頼区間 $r_{12|MO}=-0.424 \sim -0.227$, $-0.482 \sim -0.295$) の“Moderate”な関係性にあった。

Table 3 に、垂直跳高と形態、組成各測定値の単相関係数(1行目)と、MOと各測定値の単相関係数(2行目)およびMOの影響を除いた垂直跳高と各測定値の偏相関係数(3行目)

Table 2 Pearson's correlations and partial correlations controlling maturity offset between 20-m time and each variable

	20-m Time	Height	Body Mass	% fat	FFM	FFM/ht
20-m Time	1	-0.608	-0.693	-0.309	-0.721	-0.746
MO	-0.722	0.735	0.798	0.375	0.637	0.817
$r_{12 MO}$		-0.165	-0.281	-0.059	-0.329	-0.393
95%CL		-0.270~-0.056	-0.379~-0.176	-0.167~-0.052	-0.424~-0.227	-0.482~-0.295

MO: Maturity Offset, FFM: Fat-free mass, FFM/ht: FFM per height

Table 3 Pearson's correlations and partial correlations controlling maturity offset between vertical jump height and each variable

	VJ	Height	Body Mass	% fat	FFM	FFM/ht
VJ	1	0.620	0.705	0.299	0.734	0.751
MO	0.668	0.735	0.798	0.375	0.637	0.817
$r_{12 MO}$		0.255	0.382	0.071	0.439	0.479
95%CL		0.149~0.355	0.284~0.473	-0.040~0.179	0.346~0.524	0.389~0.559

VJ: Vertical jump height, MO: Maturity Offset, FFM: Fat-free mass, FFM/ht: FFM per height

およびその 95%信頼区間（4 行目）を示した。垂直跳高においても、偏相関係数は体脂肪率を除いてすべて有意にゼロとは異なった。また垂直跳高との偏相関係数は身長では $r_{12|MO}=0.255$ の“Small”な関係性であったが、体重、除脂肪量、除脂肪量身長比ではそれぞれ、 $r_{12|MO}=0.382, 0.439, 0.479$ の“Moderate”な関係性にあった。

考察

本研究結果は、思春期サッカー選手のスプリント、ジャンプ能力が暦年齢と強く関係するものの、MO すなわち成熟の程度とはさらに強い関係性にあることを明確に示すものである。この結果は、先行研究（Mendez-Villanueva et al. 2011, McCunn et al. 2017）と同様であったが、先行研究では MO に間接的な推測値が用いられているが、本研究では縦断的な身長変化からより実測的に求めており、妥当性が高いと考えられる。その結果、MO は 20m タイム、垂直跳高と単相関係数で $-0.722, 0.668$ の関係性にあり、統計的には、20m タイム、垂直跳高にみられる分散の約 52%, 45% を MO の分散が説明

すると解釈できる（芝と南風原, 1990）。すなわち、本研究の思春期サッカー選手の各能力向上は約半分が成熟で説明でき、残り半分がその他の要因、すなわち、初期値の違いやトレーニング等の効果と解釈できよう。ただし、本研究の 20m タイム、垂直跳高は同一個人の異なる時期の複数のデータを含むため、相関係数を高くしている可能性も考えられる。各測定値と MO の関係性は、今後さらに縦断的なデータに基づく確認が必要である。

思春期男子においては、成熟とともに比較的短期間に身長や脚長の増加、筋量、筋力の増加、スキル、筋コーディネーションの改善等が起こるとともに、スプリント、ジャンプ能力も併行して向上する（Malina and Bouchard 1991, 宮丸 2001, Philippaerts et al. 2006, Oliver et al. 2014）。したがって、思春期選手を指導する場合、年々向上する選手のスプリントやジャンプ能力が、単に身長、脚長が増加した結果なのか、あるいは筋量・筋力の増加によるのか、スキル等が改善したのかの区別はつきにくい。そこで本研究では MO を成熟の程度を表す指標とし、偏相関分析により MO の影響を除いたうえで形態、組成各測定値と 20m タイム、垂直跳高の関

係性を調べた。その結果、形態、組成各測定値の偏相関係数はいずれも単相関係数と比較し低下した。特に身長については、単相関では両パフォーマンスと“Large”な関係性にあったが、偏相関では“Small”な関係性に低下した。このことは、思春期サッカー選手にみられる年々の20m タイム短縮や垂直跳高上昇には、成熟による身長成長分が貢献しているものの、成熟の程度をそろえた場合には、身長が両パフォーマンスに及ぼす影響は“Small”でしかないことを意味する。思春期一般男子のスピード向上を調べた *Meyers et al.* (2015) は、単相関ではみられる脚長とスピードの関係性がMO を考慮した偏相関では消失することを報告し、また U14, U16 の男子サッカー選手を共分散分析で調べた *Mendez-Villanueva et al.* (2011) は、U14 と U16 選手にみられるスプリント各指数の差異は、成熟の差異を考慮すると消失することを述べている。本研究結果はこれらの先行研究と同様であると考えられる。

その一方で体重や組成の影響については、本研究結果は *Meyers et al.* (2015) と異なった。*Meyers et al.* (2015) は、体重は単相関ではスピードとの関係性がみられなかったものが、偏相関分析では体重がスピード、ピッチとは負に、接地時間とは正に相関したため、思春期男子における体重増加は接地時間を延ばし、ピッチを下げるため、成熟によるスピード向上に対して負に働くことを指摘した。しかし、本研究のサッカー選手では、学年やMO とともに体重、体脂肪率が徐々に増加する傾向にあったが (Table 1), 偏相関分析では体重は20m タイムに“Small”に、垂直跳高には“Moderate”に効く一方、体脂肪率は20m タイム、垂直跳高とはほぼ $r_{12|MO}=0$ の関係性にあった。本研究の被検者のサッカー選手はセレクションを経てチーム練習に参加しており、同年齢群では競技水準の高い層であり、著しく体脂肪率が高い選手が存在しなかった。そのため、体脂肪の負の影響が見られなかったと考えられる。一方、体重につ

いてはむしろ、成熟の程度をそろえた場合には、両パフォーマンスに“Small”, “Moderate”ではあるものの正の効果をもたらすことが考えられる。体重は体脂肪量でなく除脂肪量によっても増加するが、本研究の除脂肪量および除脂肪量身長比については、偏相関係数においても20m タイム、垂直跳高とに“Moderate”な関係性が残り、これは同じ成熟の程度の選手がいた場合には、除脂肪量、すなわち筋量を増やすことが両パフォーマンスに正に作用することを意味する。したがって、思春期サッカー選手においては体脂肪率の負の効果がなく除脂肪量の正の効果が大きいため、体重増加が両パフォーマンスと“Small”, “Moderate”に良い影響を与えたことが考えられる。*Mendez-Villanueva et al.* (2011) は、U14 と U16 選手のスプリント各指数の差異には成熟の程度の影響が強いものの、U16 と U18 選手のスプリントの差異に除脂肪量がより強く作用することを示唆している。サッカー選手においてスプリントとジャンプ能力は高く相関する (*Wisloff et al.* 2002) ので、先行研究と本研究をあわせると、思春期サッカー選手が両能力を高めるうえで除脂肪量獲得、特に除脂肪量身長比に反映される身長増加を上回る除脂肪量増加が重要であることが示唆されよう。この観点では、垂直跳高は体重当たりの筋力が強く反映する (*Wisloff et al.* 2002) ので、本研究において、除脂肪量身長比との偏相関が20m タイムと比較し、垂直跳との方がわずかながらも高いことは、除脂肪量身長比の高さは体重当たりの筋力の高さを表すとも考えることができよう。

一般に、育成期にあるサッカー選手は暦年齢や学年でグループ化され、練習・試合を行う。しかし、本結果が示すようにサッカーの競技力に重要なスプリント、ジャンプ能力は暦年齢以上に成熟の程度が強く影響している。本研究の各測定時期においてMO の標準偏差が約1.0 年であること (Table 1) は、同じ学年の選手間で成熟の程度が約2 年異なることは通常であり、

2 標準偏差の範囲で考えれば成熟の程度が約 4 年異なる選手が混在することも稀ではないと考えられる。優秀なサッカー選手の選抜においてスプリントやジャンプ能力が差別化要因として働くこと (星川と中馬 2017, *Kelly and Williams* 2020) を考慮すると、その背景にある成熟の程度を指導者は強く認識する必要があると指摘できる。

さらに先行研究では、成熟の程度とスプリント能力の関係性は PHV 近辺で大きく、PHV 前後の U11 選手や U16 以降の選手では成熟の程度の違いの影響は強くない (*McCunn et al.* 2017)。したがって、本研究がまさに対象とした中学生のサッカー選手においてこそ、成熟の程度の把握が効果的な指導に重要となるといえよう。この年代のスプリントトレーニングの効果を調べたメタ分析では、スプリントトレーニングによるタイム短縮の効果はスポーツ選手の成熟の程度によって異なり、APHV 前よりも APHV 後の選手で効果が大きいことが示されている (*Moran et al.* 2017)。また、11–15 歳の男子に筋力トレーニングを行った先行研究では、同じトレーニングに対するスピード向上の効果は APHV 後の男子の方が大きいことが示されている (*Meylan et al.* 2014)。

本結果をまとめると、APHV に近い中学生の思春期サッカー選手においては、スプリントやジャンプ能力に成熟の程度が強く影響する。その影響の程度は、統計的にはおよそ半分と考えられ、残り半分は成熟以外の要因、例えばトレーニング等で変動しうる。成熟の程度をそろえた場合、身長の大きさが両能力に及ぼす影響は小さくなく、除脂肪量増加による体重増加は両能力に正に作用する。スプリント、ジャンプ能力はサッカーの競技力上、極めて重要な能力であり、思春期サッカー選手の評価やトレーニング効果に影響するため、この年代の選手の指導者においては、選手の成熟の程度の違いを適切に把握する必要がある。

本研究は JSPS 科研費 26350759, 18K10946 の助成を受けたものである

文献

- Beunen, B. G. and Malina, R. M.*: Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 16: 503-540, 1998.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. and Hanin, J.*: Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 3-12, 2009.
- Faude, O., Koch, T. and Meyer, T.*: Straight sprinting in the most frequent action in goal situations in professional football. *J. Sports Sci.* 30: 525-631, 2012.
- 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 20m 走タイムの評価表の試案: ジュニアからプロまでの検討. *体育学研究*, 57: 249-260, 2012.
- 星川佳広, 中馬健太郎: トレーニング科学のサッカーへの応用—日本育成期サッカー選手の Long-term Athlete Development. *トレーニング科学*, 28: 29-42, 2017.
- Kelly, A. L. and Williams, C. A.*: Physical characteristics and the talent identification and development processes in male youth soccer: A narrative review. *Strength Cond. J.* 42: 15-34, 2020.
- Malina, R. M. and Bouchard, C.*: Growth, maturation, and physical activity. Human Kinetics Publishers, Champaign, USA, 1991.
- McCunn, R., Weston, M., Hill, J. K. A., Johnston, R. D. and Gibson, V. V.*: Influence of physical maturity status on sprinting speed among youth soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 31: 1795-1801, 2017.
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitnien, S., Douglas, A., Peltola, E. and Bourdon, P.*: Age related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *J. Sports. Sci.* 29: 477-484, 2011.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Cronin, J. B. and Lloyd, R. S.*: Maximal sprint speed in boys of increasing maturity. *Pediatr. Exerc. Sci.* 27: 85-

- 94, 2015.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Lloyd, R. S. and Cronin, J. B.*: Influence of age, maturity, and body size on the spatiotemporal determinants of maximal sprint speed in boys. *J. Strength Cond. Res.* 31: 1009-1016, 2017.
- Meylan, C. M. P., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hopkins, W. G. and Contreras, B.*: The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 24: e156-e164.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. Bailey, D. A. and Beunen, G. P.*: An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 689-694, 2002.
- 宮丸凱史：疾走能力の発達。杏林書院，東京，2001.
- Moran, J., Sandercock, G., Rumph, M. and Parry, D. A.*: Variation in responses to sprint training in male youth athletes: A meta-analysis. *Int. J. Sports Med.* 38: 1-11, 2017.
- Oliver, J. L., Lloyd, R. S. and Rumpf, M. C.*: 子どもの小児・青少年期を通じたスピードの発達：成長，成熟とトレーニングの役割。ストレンクス & コンディショニングジャーナル，21：65-70, 2014.
- 大澤清二：最適な体力トレーニングの開始年齢：文部科学省新体力テストデータの解析から。発育発達研究，69：25-35, 2015.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Renterghem, B. V., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G. P. and Malina, R. M.*: The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J. SportsSci.* 24: 221-230, 2006.
- 芝祐順，南風原朝和：行動科学における統計解析法。東京大学出版会，東京，1990.
- 高石昌弘，樋口満，小島武次：からだの発達－身体発達学へのアプローチ。改訂版，大修館書店，東京，2006.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. and Hoff, J.*: Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br.J.Sports Med.* 38:285-288, 2002.