

〈原 著〉

U-15 (中学生) サッカー選手のスプリント加速局面のステップ長とピッチ —速い選手と遅い選手の学年別比較

Step length and pitch during sprint acceleration in U-15 soccer players: Age-related comparison between fast and slow sprinting players

星川 佳広^{1,2}, 黒須 雅弘³, 天野 雅斗⁴, 中田 有紀⁵, 中馬 健太郎⁶
YOSHIHIRO HOSHIKAWA^{1,2}, MASAHIRO KUROSU³, MASATO AMANO⁴, YUKI NAKATA⁵, KENTARO CHUMAN⁶

Abstract

The purpose of this study was to examine the step length and pitch at the start of a sprint by U-15 soccer players during the adolescent growth spurt period. For this purpose, fast and slow sprinting players were compared. The subjects were 365 players in the 1st to 3rd grade at junior high school, and anthropometry, vertical jump height and 20-meter sprint tests were conducted. Step lengths and pitches were measured from the 1st to 9th steps during 20-meter sprinting using the Optojump system. According to the evaluation chart developed by Hoshikawa et al. (2012a), subjects were classified by sprint ability, and slow (S), middle (M) and fast (F) subjects' groups were created. F and M in the 1st and 2nd grades had significantly higher height and longer step lengths than S, although there were no significant differences in all step lengths relative to height among the three groups in the 3rd grade. Although S slightly shortened the 20-meter sprint time by increasing step lengths in higher grades, F acquired higher sprint ability by increasing the pitch but maintaining the step lengths from 1st to 3rd grade. There was a clear difference in vertical jump heights among the three groups, which reflected the necessity of strong muscle strength relative to body mass to increase the pitch at the start of a sprint. This study suggests that sprint ability during the acceleration phase develops by increasing the step length, which results from the increase in height and leg length during adolescence; however, the factor differentiating ability among U-15 soccer players is the pitch from the 1st

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

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

³Department of Sports and Health Science, Tokaigakuen University

⁴トライデントスポーツ医療看護専門学校

⁵JAPAN NURSERY SERVICE INC.

⁶JUBILO CO., LTD.

step of sprinting. We concluded that sprint training of short distances for U-15 players should be designed to increase the pitch from the 1st step without reducing the step length.

Key words: Cross-sectional study, Growth and development, Adolescent growth spurt, Sprint kinematics, Sprint acceleration

緒言

90 分間のサッカーの試合において、スプリントの合計時間は多くて 2 分、およそ試合の 1 ~ 2 % の時間である (Mohr et al. 2003). しかし、ボールを相手より先に触れるか、敵のタックルをかわせるかどうか等の瞬間的なスピードの優劣は、サッカーの試合において得点、失点に直接的につながる可能性がある。したがって、サッカーの指導において走スピード (スプリント能力) の向上は極めて重視される (澁川と星川 2009, 公益財団法人日本サッカー協会 2016). 実際に、体力テストにおける 15m や 20m といった短い距離のスプリント走タイムは、プロサッカー選手への育成期にある U-15 (15 歳以下) や U-18 (18 歳以下) 選手がより高いレベルへと選抜される過程において強い差別化要因となっていることが数多く報告されている (Reilly et al. 2000, 星川 2007, Wrigley et al. 2014).

一般に男児の疾走能力は、幼児から思春期後期まで身長成長に比例して向上する (宮丸 2001). 一方、思春期の身長成長速度がピークになる Peak height velocity (PHV) 年齢近辺は、その約 1 年前 (Vuru et al. 1999), あるいは PHV 年齢とほぼ同時 (Philippaerts et al. 2006, Vantinen et al. 2011) において、疾走能力の向上が他の時期と比較してより一層大きいことが知られている。これは、思春期に生じる身長成長をはじめとする著しい形態変化とともに、男子では筋量増加等の身体組成の変化、発揮パワーの増大といった機能変化が生じるためと考

えられる。一方、星川ら (2012b) は、同年代では競技水準の高い J リーグサッカークラブ下部組織の U-18 チーム (高校生に相当) 選手 21 名を縦断追跡し、20m 走タイムは高校 3 年間で 3.02 秒から 3.00 秒へとわずか 0.02 秒の短縮にとどまり、有意な変化ではなかったことを報告している。また、Vantinen et al. (2011) も、フィンランドのサッカー選手 12 名を 15 歳からの 2 年間にわたり 10m 走タイムを縦断追跡し、15-16 歳はわずかながらも有意に短縮したものの 16-17 歳では変化なかったと報告している。したがって、競技力の高いサッカー選手を対象に、10m や 20m といった短い距離の疾走能力の向上、つまりスタート直後の加速局面のスプリント能力向上を図るうえでは思春期後期にある U-18 選手よりも前の段階、すなわち PHV 近辺にある U-15 選手 (中学生に相当) の段階がきわめて重要な時期と考えられる。

走スピードは、走行中の 1 歩当たりの距離であるステップ長 (cm) と 1 秒当たりの歩数であるピッチ (歩 / 秒) の積で決定する。したがって走スピード増加には、ステップ長、ピッチどちらかもしくは両者の向上が必要である。一般的な男子の 2 歳から思春期後期までの疾走能力の向上は、ステップ長の増大に比例し、ピッチは約 4 歩 / 秒で成長期にわたりほぼ一定であることが知られている (斉藤と伊藤 1995, 宮丸 2001). ステップ長の増大は身長成長にほぼ比例して脚長が伸びるからであるが、脚長の伸びは慣性モーメント増大をももたらすため、伸びた脚を回すための筋力・パワーも並行して増大することでピッチが維持されていると考えられる (斉藤と伊藤 1995, 宮丸 2001). また、

Meyers et al. (2015) は、11-15 歳の一般男子 365 名を対象に、30m の疾走中に最高速度が出ると考えられる 15m～30m 地点の走スピード、ステップ長、ピッチについて、PHV を基準として成熟別に比較検討している。その研究では、11-15 歳の思春期中期の期間を限った場合も、PHV 前 2.5 年から 0.5 年にかけて走スピードはわずかに上昇するが、それがピッチの減少とそれを上回るステップ長の増大により達成されること、また、PHV 前 0.5 年から PHV 後 1 年までに走スピードが急増するが、それがピッチの変化ではなくステップ長の増大により達成されることが報告されている。さらに Meyers et al. (2015) は走スピードとの相関分析を実施し、ステップ長、ピッチともに有意に相関するが、ステップ長の方が高い相関関係にあることを示している。また、加藤ら (1999) も競技水準の高いジュニア短距離走選手を 12 歳から 15 歳にかけて縦断追跡し、最高速度が出る局面においてステップ長は有意に増大したもののピッチは変化がなかったことを報告している。これらの研究は、身長成長および筋力・パワーが急激に生じ、疾走能力の向上が著しい思春期に限った場合も、疾走能力の向上にはステップ長の増大の貢献が大きいことを示唆している。

しかし、上述の先行研究は、一般男子の疾走能力の発達を調べることを目的とした点や疾走中の最高速度が出現する時期を分析対象とした点で、結果の解釈の範囲は限定される。星川ら (2012 a) は、J リーグクラブの下部組織チームや地区選抜チームなど、そのチームへの練習参加にセレクション過程を経ている小学 5 年生から U-18 までの競技水準の高いサッカー選手 807 名を対象に 20m 走タイムを調べ、サッカー選手対象の 20m 走タイムの 5 段階評価参考値 (Appendix 1) を提案している。星川ら (2012a) はその報告のなかで、中学校での運動系部活動に参加する一般的な男子生徒は、参考値に照らし「やや遅い」から「遅い」に区分されることを示している。したがって、ある一定水準以上

の競技力をもつサッカー選手は、スプリント能力が一般男子よりも高いと考えられ、ステップ長、ピッチに関して一般男子とは異なる発達傾向を示す可能性も考えられる。また疾走中の最高速度が出る局面に対して、サッカー以外にも多くの球技において競技力上重要となるのはスタート直後の加速であり、加速局面におけるステップ長、ピッチの思春期の変化については十分な知見があるわけではない。

サッカー選手において競技力を分ける強い差別化要因としてスプリント能力が重視されながら、育成期サッカー選手に対する加速局面のスプリント能力向上のための具体的なトレーニング法は体系化されていない (公益財団法人日本サッカー協会 2016)。ステップ長とピッチはその特性上トレードオフの関係性にあるため、片方を増やせばもう片方が減少するが、代表的なサッカーのフィジカルフィットネスに関する指導書 (財団法人日本サッカー協会技術委員会 2004, 公益財団法人日本サッカー協会 2016) にステップ長、ピッチに関する記述が見られないように、指導現場ではステップ長、ピッチに関してどちらに着目すべきかの具体的な方策がないままにスプリント能力の改善に取り組んでいるのが現状である。そこで、本研究では、身長成長が著しくスプリント能力向上に重要な時期と考えられる U-15 サッカー選手 (中学 1 年生から 3 年生) を対象に、選手のスプリント能力を階層化したうえで、加速局面のステップ長、ピッチを比較検討すること、およびその年齢変化について検討することを目的とした。またその結果にもとづき、スプリント能力改善のトレーニング法に資することを目的とした。なお、本研究では星川ら (2012a) の提案する 5 段階評価参考値 (Appendix 1) にしたがって 20m 走タイムで選手のスプリント能力を階層化したのち、スタートから約 13m 地点までの加速局面におけるステップ長、ピッチを比較した。

方法

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）に基づき実施された。

被検者は3つのサッカーチームの中学1年（以降、中1のように表現する）から3年の選手であった。それぞれのチームにおいて半年から1年間間隔で不定期に練習の一環として体力・パフォーマンス測定が実施され、その一部として形態、身体組成、20m 走、垂直跳を5シーズンにわたり測定した。結果的に分析対象となった測定は合計 803 試行あったが、測定を異なる学年において複数回受けたものがあるため、被検者自体の人数は合計 386 名であった。803 試行のうち 85 試行は県選抜チームの選手から、417 試行は J リーグクラブの下部組織チームの選手から取得されたデータであり、これらの選手はともにチームへの参加にセレクション過程を経ており、同世代では競技力の高い選手群であった。残りの 301 試行は地域サッカークラブに所属する選手から取得されたデータであった。また、386 名のうち中 1 と中 2、中 2 と中 3 の 2 回の測定を受けた選手は 125 名、中 1 ～中 3 までの 3 回の測定を受けた選手は 54 名であった。本研究は具体的なトレーニング法に還元するため学年ごとの大きな傾向把握を目的としたため、同一人物が異なる学年で測定を受けた場合も独立したデータとして扱い各学年別の横断比較を行った。各被検者の測定日の年齢を小数点 2 位まで計算し、小数点 2 位を四捨五入することで小数点 1 位の年齢を求めた。以降、本論文では年齢を小数点第 1 位までで表現する。

被検者の身長および座高を、デジタル身長計（AD-6227, A&D 社）により 2 回計測した。2 回の計測が 4 mm 以上異なった場合は 3 回目の計測を行い、近い 2 つの値の平均値を身長、座高として分析に利用した。下肢長は身長と座高の差とした。体重および身体組成は上肢と下肢の 4 点のインピーダンス式の組成計（インナーキャン 50V, タニタ社）により求めた。被検者の学年別の形態、組成（体脂肪率、除脂肪量）の平均値および標準偏差を Table 1 にまとめた。除脂肪量 (kg) については身長で除して身長比 (kg/m) も表示した。

各測定日において、各被検者はスタンディングスタートからの 20m 走を 1 分以上の休息をはさみ少なくとも 2 回行い、最もタイムが速い試行を分析に使用した。20m 走タイムの計測は光切断方式の Witty System (Microgate 社) を使用した。スタートにおいて、被検者は任意に右足もしくは左足をスタートラインに合わせ、逆足を被検者がスタートしやすい位置において静止した。後ろ足の足部を挟むように光センサーを 1 対セットし、被検者がスタート時に後ろ足を離地するタイミングを検知し、そのタイミングをスタートと判断した。スタートから 20m 地点の高さ 1.2m の位置にもう一对の光センサーをセットし、スタートからこの光センサーを切断するタイミングまでを 20m 走タイムとした。

20m 走中のスタートから約 13m 地点までのステップ長（1 歩当たりの距離）、ピッチ（1 秒間当たりの歩数）を、OptoJump システム (Microgate 社) およびハイスピードカメラの動画像からの算出によって求めた。ステップ長は連続する左右各ステップのつま先からつま先ま

Table 1 Subjects' characteristics in the G1, G2 and G3 graders

	Number	Age (yrs)	Height (cm)	Body mass (kg)	BMI (kg/m ²)	%Fat (%)	FFM (kg)	FFM/ht (kg/m)
G1	283	13.1±0.4	157.3±8.5	45.8±7.7	18.4±1.9	13.8±4.4	39.1±5.9	24.8±2.8
G2	242	14.0±0.4	163.2±7.6	51.6±8.2	19.3±1.9	14.5±4.5	43.9±5.5	26.8±2.3
G3	278	15.1±0.4	168.1±6.2	57.7±7.2	20.4±1.8	15.0±4.0	48.8±4.9	29.0±2.1

G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

での距離 (cm), ピッチは走行中の支持脚の足部が接地した時点を求め, ステップ間の時間の逆数とした. OptoJump システムの計測バーは, スタートラインから走方向に 30cm 離れた位置から配置し, 走路に沿って 7m 分もしくは 15m 分を配置した. スタートラインから 30cm 離れたのは, スタート時にスタートラインにあわせた前足が後ろ足の離地より先に動く被検者がいるためであった. その程度が 30cm 以上になった場合はその試行は無効として, 前足の動きに注意するよう指示したのち再試行した. OptoJump の計測バーの配置が 7m 分であった場合には, 走路 8m と 11m 地点の側方 7m の位置の高さ 1m50cm にビデオカメラ (EX-F1 カシオ社) を設置し, 走者の動画を 300 フレーム / 秒にて取得した. 8m, 11m 地点のビデオカメラそれぞれは, 走者が走路のおおよそ 6m ~ 10m, 9m ~ 13m の範囲を通過する際の動画を撮影した. 取得した動画像とキャリブレーション画像より, ビデオ動作解析システム (Frame-Dias IV, DKH 社) を利用して, 走者の足部の接地時のつま先の位置とタイムを同定し, その位置, 時間情報から, 7m ~ 13m 地点におけるステップ長, ピッチを算出した. 本研究の分析対象のうち, OptoJump システムと動画撮影を併用した試行は全 803 試行中 184 試行であり, それ以外の 619 試行は OptoJump システム 15m 分で計測した.

20m 走のタイム計測は, J リーグ下部組織チームの選手は人工芝のサッカーグラウンド上でサッカースパイクを履いた状態で, その他の 2 チームの選手は, 体育館内でアップシューズ

によって行った. グラウンドおよび体育館での 20m 走タイムについて, 後述する 5 段階参考値 (遅い, やや遅い, ふつう, やや速い, 速い) に相当する選手の人数分布を Table 2 に示した. Table 2 に示すようにグラウンド上と体育館内において 20m 走タイムの人数分布は重なっており, また人数分布は被検者の競技力を考慮すると妥当と考えられ, 異なる走面, シューズの結果に与える影響は大きくないと考えられた. また, 本研究の学年ごとの大きな傾向把握の目的に沿い, 被検者数を増やす観点から両者をまとめて分析した.

また, 各被検者の相対的 (体重当たり) の力発揮能力を評価するため, ジャンプ高スケール YardStick を利用し垂直跳高の計測を行った. 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.

全 803 試行の 20m 走タイムを, 星川ら (2012a, Appendix 1) が提案する競技水準の高いサッカー選手対象の 20m 走タイムの評価参考値を利用し, “遅い”, “やや遅い”, “平均的”, “やや速い”, “速い” の 5 段階に階層化した. 中 3 で年齢が 15.0 歳超の被検者に対しては学年別の評価参考値の中 3 (Appendix 1 左) を参照したが, 12.0 から 15.0 歳までの被検者に対

Table 2 20m-time distribution measured on a grassed field and in a gymnasium

	Slow	Below average	Average	Above average	Fast
Field	14.9%	28.3%	33.3%	19.2%	4.2%
Gym.	24.5%	33.3%	28.6%	12.5%	1.1%

Table 3 Number and 20-m time of the 3 groups in the G1, G2, and G3 graders

	N	Slow 20-m time (sec.)	N	Middle 20-m time (sec.)	N	Fast 20-m time (sec.)
G1	59	3.67 ± 0.10	71	3.36 ± 0.06	11	3.14 ± 0.04
G2	59	3.53 ± 0.08	76	3.23 ± 0.05	7	3.00 ± 0.08
G3	42	3.44 ± 0.09	100	3.14 ± 0.04	4	2.91 ± 0.07

G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

しては誕生月を考慮した評価参考値 (Appendix 1 右) を参照した。その理由は、星川ら (2012a) が U15 サッカー選手では 20m 走タイムに相対年齢効果がみられることを指摘しているためであった。5 段階のうち明白にスプリント能力に差異があると考えられる“遅い”, “平均的”, “速い” の 3 つの階層を抽出し、それぞれを Slow 群, Middle 群, Fast 群として学年別に比較した。抽出した 3 群の試行数と 20m 走タイムを Table 3 に示した。比較した項目は、形態および 20m 走中のステップ長, ピッチであり一元配置分散分析によって検定した。一元配置分散分析にて有意な差異が判別された場合、事後検定として各群間差を Scheffe の方法で検定した。また、垂直跳高と 20m 走タイム, ステップ長, ピッチの関係性をピアソンの積率相関係数によって示した。有意水準は 5 % 未満とした。

20m 走中のステップ長, ピッチの分析は、分析対象のすべての試行で得られたスタート直後の 1 歩目から 9 歩目までとした。ただし、1 歩目はピッチが求められないためピッチは 2 歩目から分析した。被検者によって左右のステップ

長, ピッチに大きな偏りがある場合があったため、スタートから 9 歩目までの歩数を 2 歩毎に移動平均, すなわち、1-2 歩目, 2-3 歩目, 3-4 歩目のように順々に平均したうえで各群のステップ長, ピッチの平均値を求めた。また、ステップ長, ピッチはスプリント能力の変化のみならず、発育に伴う体格変化が影響する。そこで、ステップ長は身長に対する身長比 (%), ピッチについては、以下の式 (斉藤と伊藤, 1995) を利用し、体格変化の影響を減らしたピッチ指数も求め 3 群の比較を行った。

$$\text{ピッチ指数} = \text{ピッチ} \times (\text{下肢長} / g)^{1/2}$$

ただし、g は重力加速度、下肢長は身長と座高の差。

ステップ長, ピッチおよび身長比, ピッチ指数の統計的比較は、スタート後を 3 段階に区切り、2-3 歩目, 5-6 歩目, 8-9 歩目に対して行った。

結果

学年別の各群の身長, 体重, 体脂肪率, 除脂

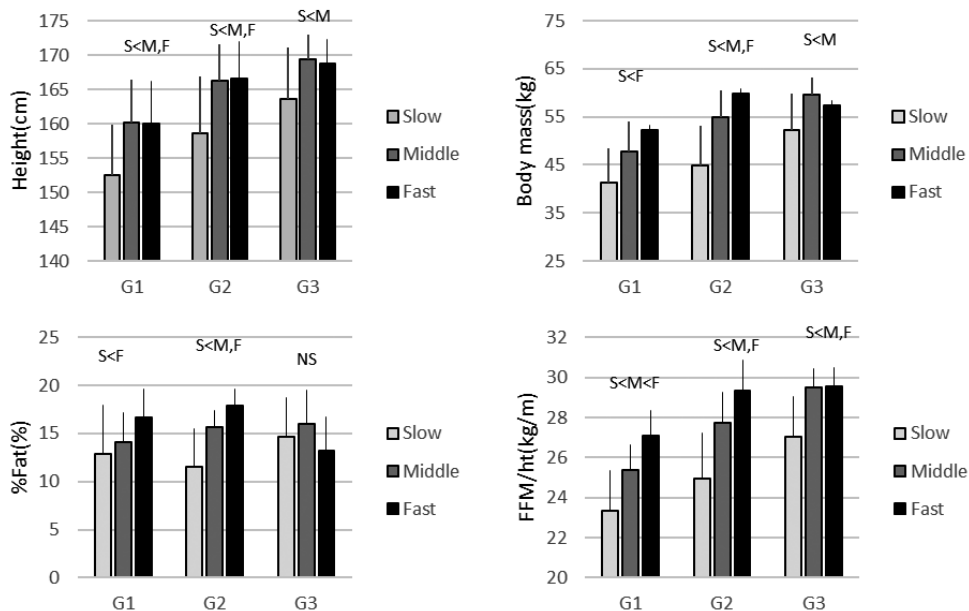


Figure 1 Anthropometry and body composition of the G1, G2 and G3 graders
G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

肪量身長比を Figure 1 に示した。身長、体重ともに、各学年において Slow 群に対して Middle 群, Fast 群が有意に大きかったが, Middle 群と Fast 群の群間には有意差がなかった。体脂肪率については, 中 1, 中 2 では Slow 群が他 2 群と比較して有意に低かったが, 中 3 では 3 群間に有意差はみられなかった。除脂肪量身長比は, 中 1 において Slow 群, Middle 群, Fast 群の各群間に有意差がみられ, 中 2, 中 3 では Middle 群, Fast 群が Slow 群より有意に大きかった。

Figure 2 に垂直跳高の結果を示した。中 1, 中 2 では Slow 群, Middle 群, Fast 群の各群間に有意差が見られた。中 3 では Middle 群, Fast 群が Slow 群よりも有意に高かった。

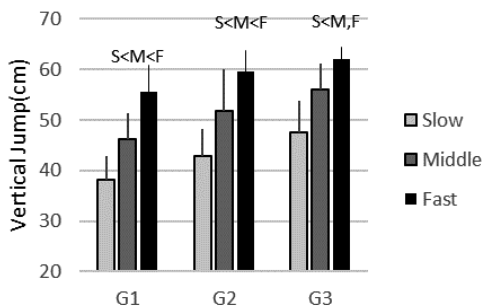


Figure 2 Vertical jump height of the subjects

G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

20m 走中のスタートから 9 歩目までのステップ長, ピッチをそれぞれ Figure 3, Figure 4 に示した。ステップ長 (Figure 3) については, 中 1, 2, 3 いずれの学年のいずれの群においても 1, 2 歩目でおおよそ平均 100cm から 8, 9 歩目の平均 140-160cm に増加した。中 1 においてはすべての歩数において Slow 群と Middle 群, Fast 群の間に有意差が見られた。中 2 においては 5, 6 歩目, 8, 9 歩目において, Slow 群, Middle 群, Fast 群の各群間に有意差が見られた。中 3 においてはいずれの歩数においても Slow 群と Middle 群間に有意差がみられたが, Middle 群と Fast 群に有意差はなくほぼ同程度であった。Slow, Middle, Fast 群のステップ長を, 中 1 から中 3 にかけて着目すると, Slow 群に関しては中 1 から中 3 にかけてわずかに増加傾向にあるが, Middle 群, Fast 群に関しては中 1 から中 3 の間はほぼ同程度であった。

ピッチ (Figure 4) については, 2 歩目から 9 歩目まで, 中 1, 2, 3 いずれの学年のいずれの群においても緩やかに上昇する傾向にあった。また, いずれの学年においてもスタート直後 2-3 歩目から 8-9 歩目にかけて, ピッチの平均値は Slow 群, Middle 群, Fast 群の順に高く, 中 1 と中 3 では Slow 群と Middle 群の間に, 中 2 では Slow 群と Middle 群の間および Middle 群と Fast 群の間に有意差が見られた。

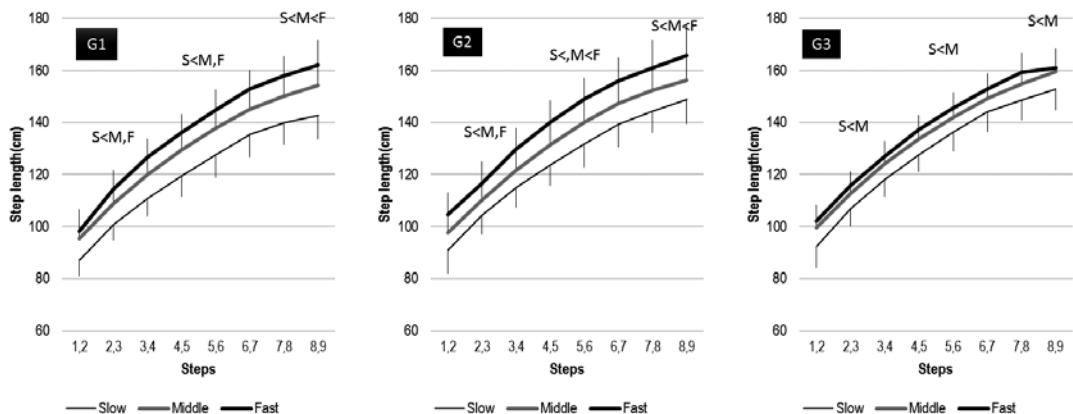


Figure 3 Step lengths at 20-m sprint start in the G1, G2 and G3 graders

G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

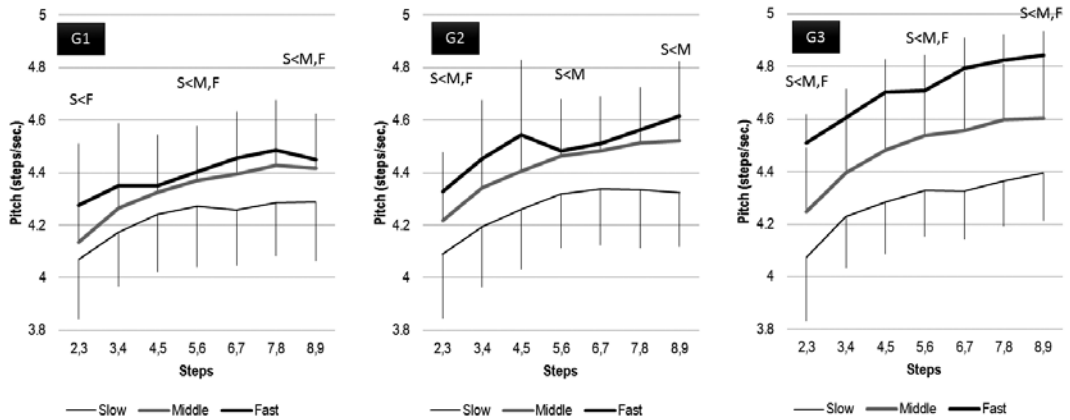


Figure 4 Pitches at 20-m sprint start in the G1,G2 and G3 graders
G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

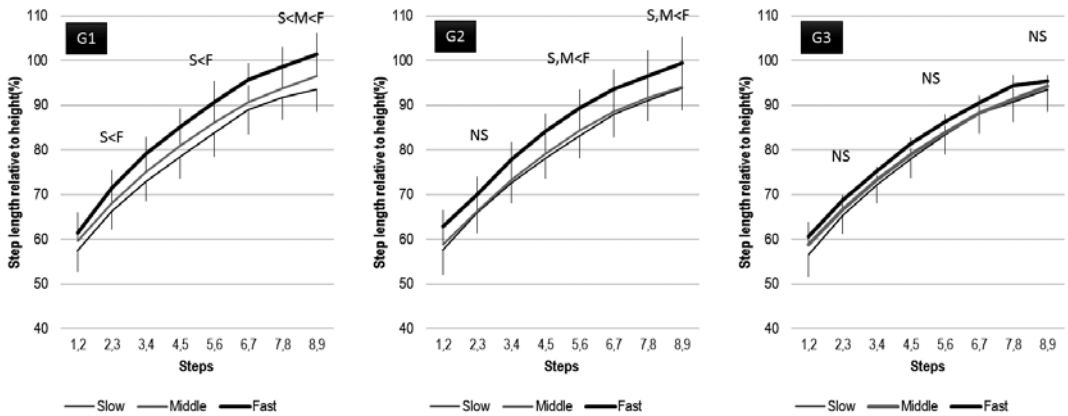


Figure 5 Step lengths relative to height (%) at 20-m sprint start in the G1,G2 and G3 graders
G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

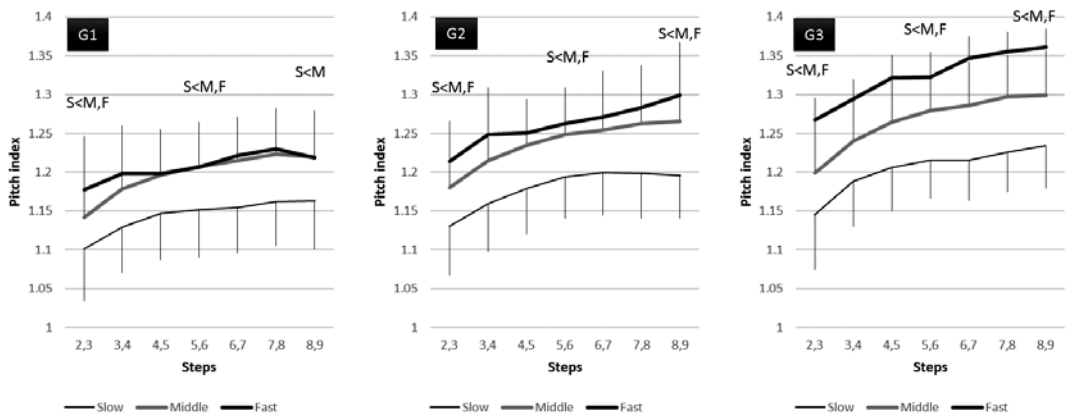


Figure 6 Pitch indices at 20-m sprint start in the G1,G2 and G3 graders
G1: 1st grade, G2: 2nd grade, and G3: 3rd grade in junior high school

各学年間でのピッチに着目すると、Slow 群では中1, 2, 3において4~4.3歩/秒と大きな差異がないが、Fast 群では中1で4.3~4.5歩/秒であるが、中3では4.5~4.8歩/秒へと増加する傾向にあった。

Figure 5, Figure 6に、ステップ長身長比、ピッチ指数を示した。ステップ長身長比 (Figure 5) は、中1, 中2においてはMiddle 群, Slow 群で有意差が見られないのに対して、Fast 群のみ他2群と比較し有意に高かった。しかし、中3においてはいずれの群間にも有意差は見られず、ほぼ同様な値になった。各学年間でのステップ長身長比に着目すると、Slow 群, Middle 群ではスタート直後1-2歩目の約60%から、8-9歩目の93-96%まで増加するが、中1から中3まで大きな変化は見られなかった。一方、Fast 群の8-9歩目は、中1の101%から中3の95%までわずかながら低下する傾向にあった。

ピッチ指数 (Figure 6) については、いずれの学年もスタート直後2-3歩目から8-9歩目にかけて、Slow 群よりMiddle 群, Fast 群が有意に高かった。また中3においては統計的な有意性は見られなかったが、Middle 群とFast 群の平均値には大きな差異が見られた。各学年間でピッチ指数に着目すると、Slow 群の8-9歩目は中1の1.16から中3の1.23へ、Middle 群の8-9歩目では中1の1.22から中3の1.30へ、Fast 群の8-9歩目では中1の1.22から中3の1.36へと増加する傾向にあった。

Table 4に、垂直跳高と20m走タイム、2-3, 5-6, 8-9歩目のステップ長 (絶対値および身

長比) とピッチ (絶対値およびピッチ指数) の相関係数を示した。垂直跳高と20m走タイムには3学年すべてにおいて係数-0.65~-0.77の有意な相関性が見られた。垂直跳高とステップ長については、ステップ長の絶対値では係数0.19~0.56の有意な相関性が見られたが、身長比では係数は-0.05~0.19であり両者の相関性は低下し、中2, 中3ではいずれの歩数においても垂直跳高とステップ長身長比に有意な相関性が見られなかった。一方、垂直跳高とピッチについては、ピッチの絶対値およびピッチ指数それぞれで係数0.14~0.40, 0.23~0.49の有意な相関性が見られた。また、相関係数はいずれの歩数においても、ピッチの絶対値よりピッチ指数の方が高かった。

考察

本研究では、身長成長が著しいU-15サッカー選手のスプリント能力向上に資するため、加速局面のステップ長、ピッチをスプリント能力別、学年別に比較検討した。その結果、身長成長のピークを過ぎ、終息に向かう中3選手においては、スプリント能力が高い選手ほど、スタート直後から約13m地点まで一貫してピッチが高いことが示された。それは体格変化の影響を補正したピッチ指数も同様であり、スプリント能力が高い選手ほどピッチが高かった。競技力高いサッカー選手では、高校生以降の20m走のタイム短縮が極めて限定的である (星川ら 2012b) ことを考慮すると、U-15サッカー選手のスプリントトレーニングでは、スタート直後からピッ

Table 4 Correlation coefficients with vertical jump height in the 3 graders

Steps	20-m Time	SL			SL relative to height			Pitch			Pitch Index		
		2-3	5-6	8-9	2-3	5-6	8-9	2-3	5-6	8-9	2-3	5-6	8-9
G1	-0.77**	0.46**	0.49**	0.56**	0.08	0.13	0.19*	0.20*	0.14	0.19*	0.40**	0.23**	0.41**
G2	-0.73**	0.37**	0.42**	0.40**	0.05	0.11	0.04	0.19*	0.17*	0.30**	0.34**	0.36**	0.45**
G3	-0.65**	0.22**	0.20*	0.19*	0.02	-0.02	-0.05	0.36**	0.33**	0.40**	0.42**	0.42**	0.49**

*p<0.05, **p<0.01

SL: Step length

チを高めること、なおかつそれをステップ長を減ずることなく実施する意識をもつことが重要と考えられる。

一般的に男子の疾走能力は思春期に大きく向上する。この向上の理由としては、ピッチよりも、身長や脚長成長に伴うステップ長の増大に起因することが多くの研究で支持されている(加藤ら 1999, 宮丸 2001, *Meyers et al.* 2015, 2019)。本研究では、Slow 群の疾走能力が一般男子に近いと考えられ、Slow 群の中 1, 中 2, 中 3 の平均身長は 152.5, 158.7, 163.7cm であり、文部科学省学校保健統計調査(平成 30 年度)の平均値 152.7, 159.8, 165.3cm とほぼ同様であった。Slow 群において中 1 と中 3 の比較を行うと、20m 走タイムは 3.67 から 3.44 秒へと短縮しているものの、スタートからの 5, 6 歩目で見た場合、ピッチは中 1 と中 3 で約 4.3 歩/秒と差異ないのに対して、ステップ長は約 128cm から 136cm へと中 3 において大きかった。したがって本研究の Slow 群では、一般男子の疾走能力の向上と同様、身長成長がステップ長の増加をもたらし、結果的にタイム短縮がもたらされていると考えられる。

これに対して Fast 群のピッチは、中 1 においてすでに Slow 群に対して有意に高い 4.4 歩/秒であったものが中 3 においてはさらに 4.7 歩/秒と高くなっていた。その一方で、Fast 群の 5, 6 歩目のステップ長は中 1 が 145cm に対して中 3 で 146cm とほぼ差異が見られず、ほぼステップ長が維持されたままピッチが高まっており、この Fast 群の結果は Slow 群とは極めて対照的である。Tottori et al. (2018) は、思春期前の平均年齢 11.6 歳の短距離走選手において 50m 走スピードに関する指標は、ステップ長よりもピッチとの関連が高いことを報告している。これらを合わせると、一般男子よりも疾走能力の高い U-15 サッカー選手のトレーニングでは、一般男子の疾走能力向上のメカニズムとは区別して、平均的な発達を上回る分をピッチの高さにより獲得する方向性を探るべきと考え

られる。

中 1, 中 2 での Middle, Fast 群と Slow 群の差異には、成長テンポの遅延が影響していると考えられる。ジュニアのサッカー選手が高い競技力を示す場合、早熟傾向を示すことは多い(*Malina et al.* 2000)。本研究被験者の Middle, Fast 群の中 1 時点の平均身長は 160.2, 159.9 cm であったが、学校保健統計調査(平成 30 年度)の平均値 152.7cm に比較して明白に高い。中 1, 2 の Middle 群, Fast 群には成長テンポが早く、身長の高さとその結果としてステップ長の増大が有利となり 20m 走タイムが、その学年では相対的に優れていたものが含まれていたと考えられる。しかし、思春期後期を迎える中 3 になると、依然、Middle 群, Fast 群と Slow 群に身長差は存在するものの、ステップ長の身長比は 3 群でほぼ同じとなったことは注目すべき結果である。この結果は、晩熟の子どもも含め多くの子どもで身長成長が緩やかになる思春期後期を迎えると、身長の高さおよびそれがもたらすステップ長の増大という有利な条件が消失することを意味する。U-15 サッカー選手を指導するうえでは、成長テンポの早い選手においては、早期の顕著な身長成長とそれによるステップ長増大がスプリント能力を著しく向上させ、その時点ではスプリント能力が高いと評価することがありえるが、それは一時的な現象であることに注意する必要がある。

一方、ピッチおよびピッチ指数は、中 3 においても Fast 群と Middle, Slow 群に段階的な差異がみられた。これらの結果は、思春期にあるサッカー選手の加速局面のスプリント能力向上は、選手個人の中では身長の伸びとそれがもたらすステップ長増大の効果が大きいものの、選手間のスプリント能力の優劣は主にピッチの高低の影響が強いことが考えられる。サッカーでのスプリントは、その途中で停止や方向転換を伴う。この競技特性を考えれば、サッカー選手のスプリント能力は、一步当たりの距離を延長するよりも次の局面に対応するためより頻繁に

接地するピッチの高さにより向上させることが合理的である。本研究のFast群のピッチの高さも、サッカーの競技特性へ適応した結果と捉えることができ、この観点においてもU-15サッカー選手のスプリントトレーニングではピッチを高めることを意識すべきと考えられる。

また、本研究では3群間に大きな垂直跳高の差異を観察した。さらに、垂直跳高と20m走タイムには相関係数 $-0.65 \sim 0.77$ の中程度からやや強い関係性が見られた。Middle群の中3における20m走タイムは平均3.14秒であったが、その水準のスプリント能力をFast群は中1ですでに獲得していた。垂直跳高についてMiddle群の中3とFast群の中1を比較すると、両者ともに約56cmとほぼ同じであり、Fast群は中1において前者と同じ水準の直跳高を示していた。すなわち、垂直跳高と20m走タイムの傾向は極めて類似しており、垂直跳高を相対的（体重当たり）の力発揮能力と捉えると、Fast群は中1ですでに高い相対的筋力を有していたことが考えられる。Middle群とFast群は、中3においては除脂肪量身長比がほぼ同程度になっており、身長あたりにみて筋量の発育程度は同じと考えられ、Fast群はMiddle群と同じ筋量ながらより高い筋力発揮ができることが推測される。

一流短距離選手の加速局面の走速度の決定因子についてまとめた小林(2016)は、地面より受ける力積の正の水平成分の重要性とともに、一流選手が鉛直方向にもより大きな力発揮を有すると報告している。また、Wisloff et al. (2005)は、プロサッカー選手という均一な集団において、垂直跳高と10m走タイムに極めて高い相関性を観察している。本研究が利用した星川ら(2012a)の評価参考値は競技力の高いサッカー選手を対象としたものであり、Middle群のスプリント能力は一般男子と比較すれば優れている。したがって、U-15サッカー選手で既に一定水準のスプリント能力をもつ選手がより高い水準の能力獲得を目指すには、体重、あるいは除

脂肪量あたりにより高い垂直方向の筋力発揮を高めることも一要因として重要であろう。

垂直跳高とステップ長、ピッチとの相関性は、両者ともに係数0.5以下の弱い相関性ではあったが統計的には有意であった。しかし、体格を考慮してステップ長の身長比で分析した場合には有意な相関性が見られなくなったのに対して、ピッチ指数においてはわずかながらも相関係数が増加し、有意な相関性も維持されていた。このことは、体重当たりの高い筋力発揮がスプリント加速局面のピッチを高めることにつながる可能性を示唆する。さらに疾走時のピッチを高める点について、Tottori et al. (2018)は思春期前の短距離走選手対象に、股関節屈曲筋群の大腰筋、内転筋群、大腿四頭筋の発育がピッチの高さおよび50m走のスピード指標と関係していることを指摘している。また、Ema et al. (2018)は、MRIにより男子スプリンターの筋体積を定量するとともに疾走時の動作解析を行ない、股関節屈筋群（二関節筋）の大腿直筋体積が、スイング脚の素早いも上げ角速度とそれによる高いピッチの獲得に貢献し、走スピードと高く相関することを考察している。これらの研究は、ピッチを高める要因としての股関節屈筋群の働きの重要性を示すものであり、U-15サッカー選手のスプリントトレーニングにおいても強化の検討価値があると考えられる。また、ピッチを高めるためには接地時間の短縮が必要であり、PHV前からPHV近辺まではプライオメトリックトレーニングが身体全体のStiffnessを高めることで接地時間の短縮をもたらすスプリント能力の向上につながるとする研究もみられる(Rumf et al. 2012, Oliver et al. 2014, Meyers et al. 2019)。これらも含め、思春期により高いスプリント能力を獲得するための具体的なトレーニングを、ピッチをより高める視点で考案することが今後の課題である。

本研究のまとめとして、U-15サッカー選手の全805試行を分析した結果、この年代の加速局面のスプリント能力の向上は、選手個人の中で

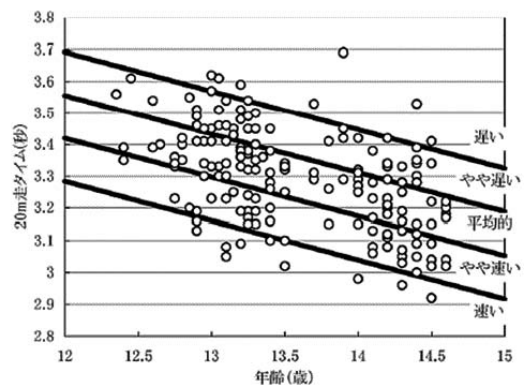
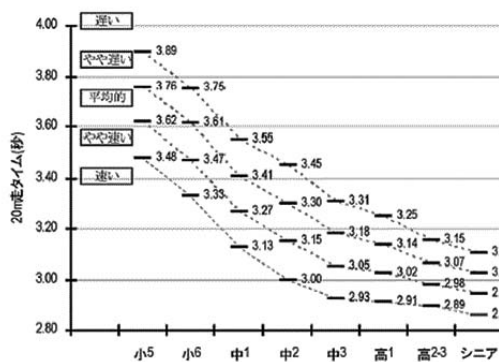
は身長成長とそれによるステップ長の増大の効果が大きい、身長成長が緩やかになる思春期後期に至ると選手間のスプリント能力の優劣は主にピッチによることが大きな傾向として示された。したがって、身長成長が著しいU-15サッカー選手のスプリント能力をより高める時には、スタート直後からステップ長を減ずることなくピッチを高めることを、ステップ長を増大すること以上に意識してトレーニングする必要がある。また、そのために体重や除脂肪量あたりの筋力向上を図ることも一つのアプローチとして有効であろう。

文献

- Ema, R., Sakaguchi, M., and Kawakami, Y.: Thigh and psoas major muscularity and its relation to running mechanics in sprinters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 50: 2085-2091, 2018.
- 星川佳広：プロサッカー選手を選抜した潜在的な要因. *スポーツ方法学研究*, 21 : 83-89, 2007.
- 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, 2012a.
- 星川佳広, 飯田朝美, 古森政作, 中馬健太郎, 澁川賢一, 菊池忍, 井伊希美, 村松正隆, 中島由晴：ジュニアサッカー選手のスプリントタイムの縦断変化. *トレーニング科学*, 24 : 139-149, 2012b.
- 加藤賢一, 宮丸凱史, 松元剛, 秋間広：ジュニアスプリンターの疾走能力の発達に関する縦断的研究. *体育学研究*, 44 : 360-371, 1999.
- 小林海：短距離走の加速局面における走速度の決定因子に関する研究. *陸上競技研究*, 105 : 2-12, 2016.
- 公益財団法人日本サッカー協会：JFA 指導指針. 2017, 2016.
- Malina, R. M., Pena Reyes, M. E., Eisenmann, J. C., Horta, L., Rodrigues, J. and Miller, R.: Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. *J. Sports Sci.* 18: 685-693, 2000.
- 宮丸凱史：疾走能力の発達. 杏林書院, 東京, 2001.
- Mohr, M., Krustup, P. and Bangsbo, J.: Match performance of high-standard soccer player with special reference to development fatigue. *J. Sports Sci.* 21: 519-528, 2003.
- 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.: 青少年の最大スプリントスピードの育成に関する新たな洞察. *ストレングス & コンディショニングジャーナル*, 26 : 43-52, 2019.
- Oliver, J. L., Lloyd, R. S., 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. *ストレングス & コンディショニングジャーナル*, 21 : 65-70, 2014.
- 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.
- Reilly, T., Bangsbo, J. and Franks, A.: Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J. Sports Sci.* 18 : 669-683, 2000.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Pinder, S.D., Oliver, J. and Hughes, M.: Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr. Exerc. Sci.* 24: 170-186, 2012.
- 斉藤昌久, 伊藤章：2歳児から世界一流選手までの疾走能力の変化. *体育学研究*, 40 : 104-111, 1995.
- 澁川賢一, 星川佳広：サッカーにおけるスプリントトレーニング. 日本トレーニング科学会編, *スプリントトレーニングー速く走・る・泳ぐ・滑るを科学する一*. 朝倉書店, 東京, pp. 138-146, 2009.
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, T., Otsuka, M., Nagano, A. Fujita, S. and Isaka, T.: Hip Flexor and knee extensor muscularity are associated with sprint performance in sprint-trained preadolescent boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 30: 115-123, 2018.
- Vanttinen, T., Blomqvist, M., Nyman, K. and

- Hakkinen, K.: Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *J. Strength Cond.Res.* 25: 3342-3351, 2011.
- Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneots, L. and Viru, M.: Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *Eur. J. Phys. Educ.* 4: 75-119, 1999.
- Wrigley, R. D., Drust, B., Stratton, G., Atkinson, G. and Gregson, W.: Long-term soccer-specific training enhances the rate of physical development of academy soccer players independent of maturation status. *Int. J. Sports Med.* 35: 1090-1094, 2014.
- 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.
- 財団法人日本サッカー協会技術委員会：JFA フィジカル測定ガイドライン. 2004

付記



Appendix 1 Evaluation charts used in the study.

The sprint ability were evaluated by the above charts reported in Hoshikawa, et al. (2012a). The subjects aged from 12.0 to 15.0 years were classified by the right side chart, which takes birth date into account. The subjects aged over 15.0 years were classified by the values for 3rd graders at junior high school in the left side chart.