

特集 調査・研究からみる女性アスリートの現状とサポート

若年エリート女子サッカー選手の除脂肪体重の縦断的变化とパフォーマンスとの関連
についての考察

Discussion of the relationship between the longitudinal changes in lean
body mass and the performance of young elite female soccer players

松田貴雄¹⁾, 清永康平¹⁾, 馬見塚尚孝¹⁾, 檜山里美²⁾, 後藤美奈²⁾
立石智彦³⁾, 加藤晴康³⁾, 土肥美智子³⁾

Takao Matsuda¹⁾, Kohei Kiyonaga¹⁾, Naotaka Mamizuka¹⁾, Satomi Hiyama²⁾, Mina Goto²⁾,
Tomohiko Tateishi³⁾, Haruyasu Kato³⁾, Michiko Dohi³⁾,

Abstract: Purpose: A decrease in the performance of female soccer players is observed from junior high school to senior high school, and anemia is often noted in tall, well-built players. In order to examine the involvement of low energy availability in that phenomenon, the current study examined changes in lean body mass with age in adolescent and post-adolescent female soccer players. Methods: We investigated changes associated with the development of lean body mass in correlation with skeletal muscle mass by monthly measuring body composition in elite female soccer players who were boarding students at a junior or senior high school, and analyzing longitudinal changes in lean body mass based on the measurement results. Results: Height and lean body mass were found to be correlated: a greater lean body mass was correlated with a taller height. The annual increase in lean body mass decreases as the growth in height slows, but temporarily increases from the age of 15 to 16 years. Increases in body weight during this period were approximately equal to increases in lean body mass. Conclusion: The temporary increase in lean body mass from age 15 to 16 was considered to be specific to female soccer players, and was thought to reflect an increase in skeletal muscle mass as a result of training. Because increases in lean body mass during this period is accompanied by an increase in basal metabolism, energy intake must be increased to avoid a low energy availability. This period of an increase in lean body mass coincides with a period of increases in testosterone levels and red blood cells, suggesting that these phenomena may affect one another. During this period, female soccer players should manage their body composition in terms of their lean body mass rather than in terms of their body weight or body mass index.

¹⁾ 独立行政法人国立病院機構西別府病院スポーツ医学センター、²⁾ 公益財団法人日本サッカー協会アカデミー福島、

³⁾ 日本サッカー協会医学委員会

¹⁾ Institute of sports medicine Nishibeppu National Hospital, National Hospital Organization,

²⁾ JFA Academy Fukushima, ³⁾ JFA Medical Committee

E-mail : matsuda.takao.we@mail.hosp.go.jp

Key words: lean body mass, young female elite soccer player, low energy availability, anemia, testosterone

キーワード: 除脂肪体重、若年エリート女子サッカー選手、利用可能エネルギー不足、貧血、テストステロン

I. 緒言

これまでサッカー競技女子を中心に医学的活動を行ってきた。17歳以下の日本代表の立ち上げの合宿に帯同した際、チームの中でも体格のいい選手の初経未発来とパフォーマンス不良を経験した。女性アスリートの三主徴 (Female Athlete Trad: FAT) は持久系、審美系の痩せた選手に多くみられる問題として取り上げられていた。競技特性からサッカー選手は極端な痩せが見られることは少ないことから当時は初経遅延の原因がわからなかった。最終的にはメディカルチェックで血色素 8.3mg/dl と極端な貧血であることがわかり、鉄剤の投与で貧血の改善を行ったことでパフォーマンスの改善が見られ、黄体ホルモンの投与により消退出血があった。しかし身長 165cm、体格指数 (Body mass index: BMI) 23.9kg/m² の選手に貧血が生じた原因に関しては未解明のままであった。これを機に思春期・後思春期の若年女子サッカー選手の調査を行うと背の高い、やせの見られない選手に月経異常や貧血が数多く認められた¹⁾。他競技と比較してもサッカー選手ではその割合が多く、パフォーマンスの低下を伴っており、原因解明と対応が必要と考えられた。

FAT の利用可能エネルギー (energy availability: EA) の低下 (low EA: LEA) は骨格筋量と相関を示す除脂肪体重 (lean body mass: LBM) が計算に用いられる²⁾ことから、思春期から後思春期にかけての LBM の変化に注目して、パフォーマンス低下に影響する貧血が若年女子サッカー選手に生じ易い機序について考察する。

II. 対象

日本サッカー協会の寄宿型エリート養成施設では全国から選抜された中学 1 年から高校 3 年までの 6 学年が在籍している。各学年 5 から 10 名で、過去 10 年間に在籍した 81 名を対象とした。運動量に関しては中学、高校ごとに同じ練習量、食事は管理栄養士が常駐して学年ごとに摂取カロリーの下限が設定されている。

研究に関して国立病院機構西別府病院倫理委員会の承認を得て行われ、オプトアウト形式にて同意を得た。

III. 方法

入学して卒業まで体組成測定は TANITA 社 MC-180 を用いて身長測定とともに毎月行われている。日本サッカー協会医学委員会の許可のもと、在籍した選手の過去 10 年間測定データにつき身長、体重より BMI、体脂肪率より LBM を算出した。統計処理は対象者の年齢、身長、体重、BMI、LBM を平均および標準偏差で示した。さらにそれぞれの関係を検討するために Pearson の相関係数と回帰式の寄与率を決定係数にて比較検討した。統計解析には IBM SPSS Statistics25 (SPSS Japan Inc. an IBM company Japan) を用いた。有意水準は 5% (両側検定) とした。

IV. 結果

表 1 に中学生、高校生の体組成を示す。同じ中学・高校の中でも身長の最小、最大の差はそれぞれ約 45cm、約 40cm と幅広く分布し、体重はともに 2 倍以上の開きがある集団であった。

年齢別にみると身長、体重、BMI、LBM の平均は年齢が上がるごとに増加し、17 歳でいずれも最終到達値となった。身長は平均は 15 歳から 16 歳にかけて年間成長速度が 1cm/年となり、身長の増加がほぼ止まったことを表す。(図 1)

身長に対して体重、BMI、LBM との相関をみた(図 2)。体重、LBM に高い相関が認められ、寄与率は体重 ($R^2=0.6852$)、BMI ($R^2=0.1026$) より LBM ($R^2=0.7458$) が高かった。LBM は身長 1cm の伸びに対して 0.57kg 増える。

LBM は年齢を経るごとに漸増し、ほぼ低下は見られない。身長に対する LBM の割合、LBM/身長比は 0.21~0.27kg/cm でほぼ一定であった。(図 3)

1 年前の身長、LBM との差を表したものが年間身長増加量 ($\Delta \text{height} / \Delta H$) (cm)、いわゆる年間成長率と年間 LBM 増加量 (ΔLBM) (kg) である(図 4)。 ΔH の平均値は徐々に低下していることから最大年間身長増加を示す、いわゆる成長ピーク後で成長相 (Growth Phase: GP) III 期²⁾と推定される。

15.7 歳以降は平均 1cm 以下となり、GP IV 期とな

Table1: Demography: Characteristics of the study

Age		12~15 (Junior high school)				15~18 (Senior high school)			
sampling number		n=1760				n=1800			
		Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
Height	kg	158.6	7.2	139.6	184.5	162.4	6.9	148.3	188
Weight	kg	48.5	7.1	30	75.5	54.3	6.8	36.2	79.5
BMI	kg/m ²	19.2	1.7	14.5	24.4	20.5	1.5	14.5	26.2
LBM	kg	38.9	4.7	25.9	53.4	42.9	4.1	31.3	57.7
Fat	%	19.5	4.6	5	31.6	20.7	4.5	5	37.8

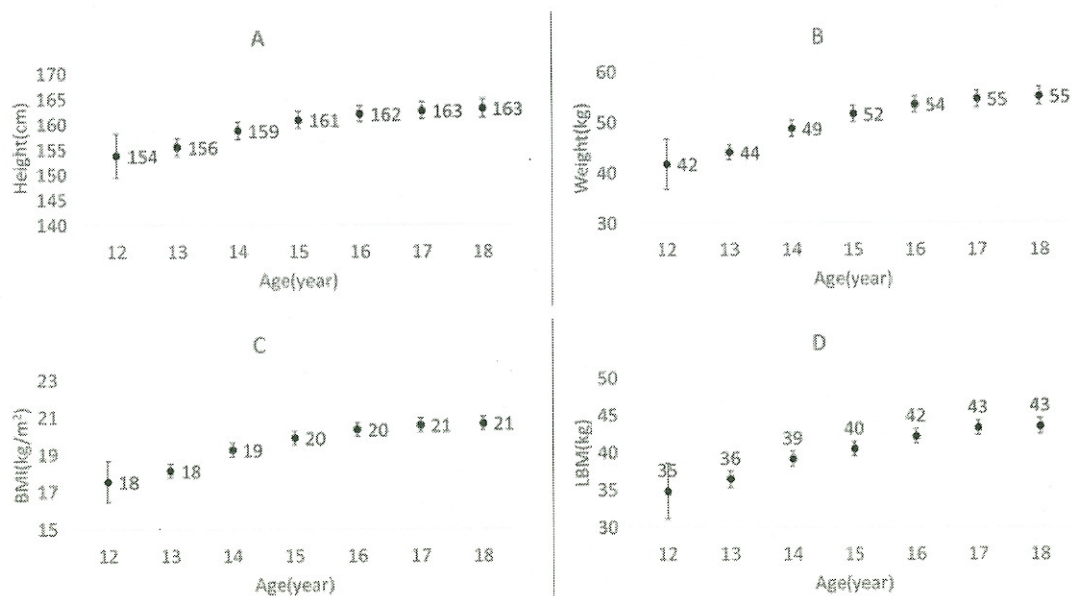


Fig1. Relationships between age and different body size parameters(n=81) : (A) Height, (B) Weight, (C) BMI, (D) LBM
Sampling numbers are 54, 481, 636, 673, 687, 540, 570 in each age.

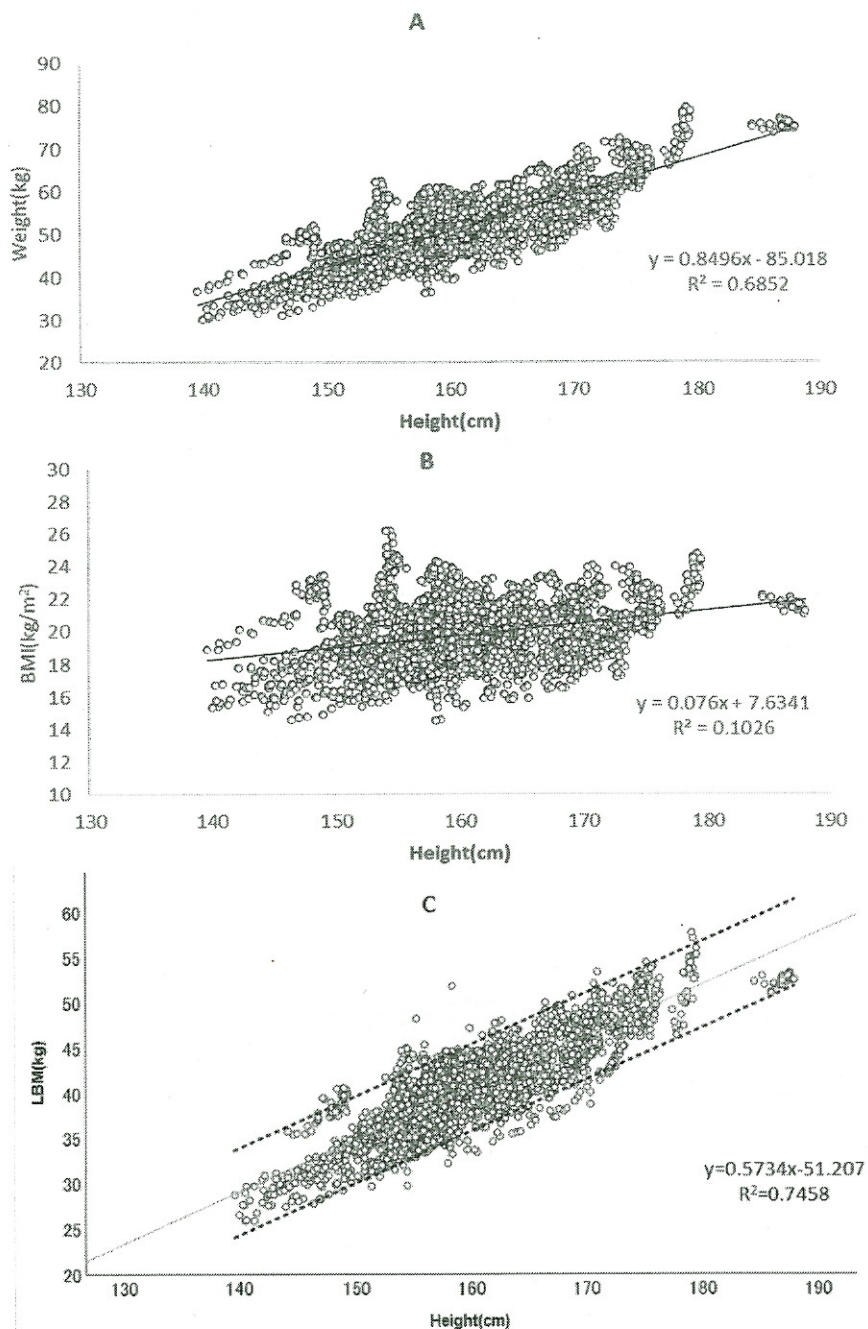


Fig2. Correlations between height and different size parameters individual date for the relationships between height and weight (A), BMI (B) and LBM (C). The normal range is defined as twice the standard deviation and is identified by the dashed lines in C

る。 Δ LBM の平均値は 14.9 歳まで低下を示すが、その後、上昇に転じ、16.7 歳まで小さなピークを示す。この間の LBM の増加は身長増加と関連しない増加と考えられる。

Δ H あたりの体重増加率 (Δ Weight/ Δ H) (Δ W/ Δ H) と Δ H あたりの Δ LBM (Δ LBM/ Δ H) の平均値を示したものが図 5 である。体重増加に占める LBM の割合を示す。これも 15.0 歳まで Δ W/ Δ H と

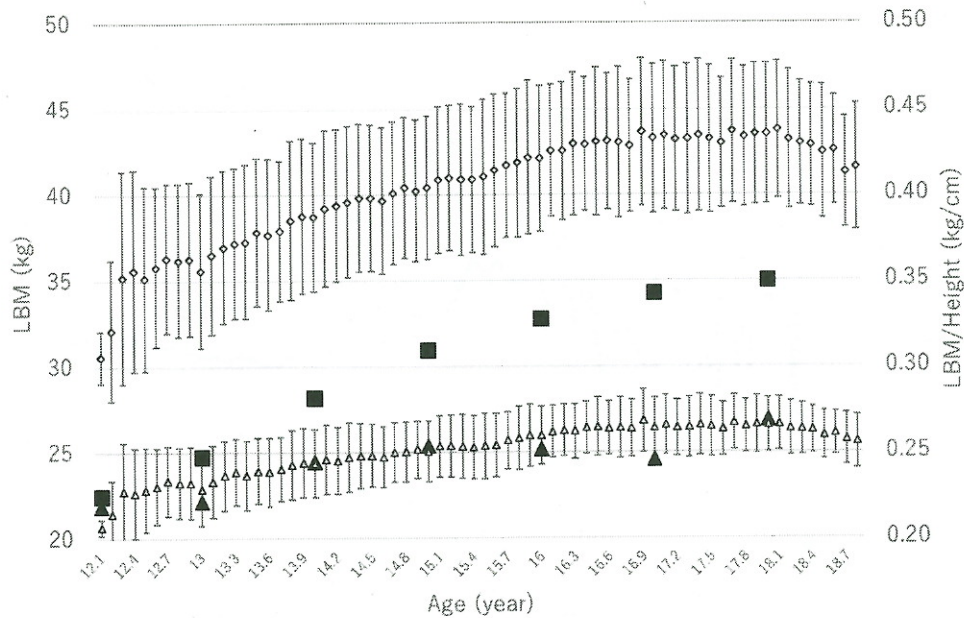


Fig3. Plot of LBM (◇) and, LBM/height for elite female soccer players (Δ), boys (■) and girls (▲) (ref.3) as a function of age.

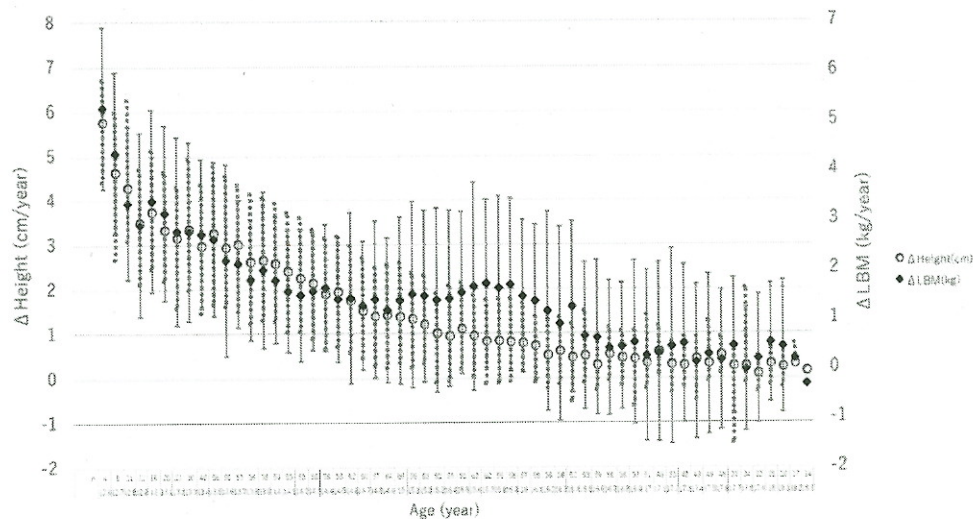


Fig4. Plot of Δ Height and Δ LBM as a function of age.
 Δ H: annual increase in height
 Δ LBM: annual increase in LBM

Δ LBM/ Δ H の割合はほぼ一定であったが、それ以降は Δ LBM が増加して、15.7 歳以降、 Δ W/ Δ H はほぼ Δ LBM/ Δ H となり、16.9 歳まで継続した。その後の Δ W/ Δ H の増加は体脂肪の増加が推測される。

V. 考察

女子サッカー選手はある一定以上の瞬発系能力が要求され、また 90 分間という長い競技時間のため、一定以上の持久系能力も必要とされる。月経状況に関しても無月経は少ないものの、稀発月経の

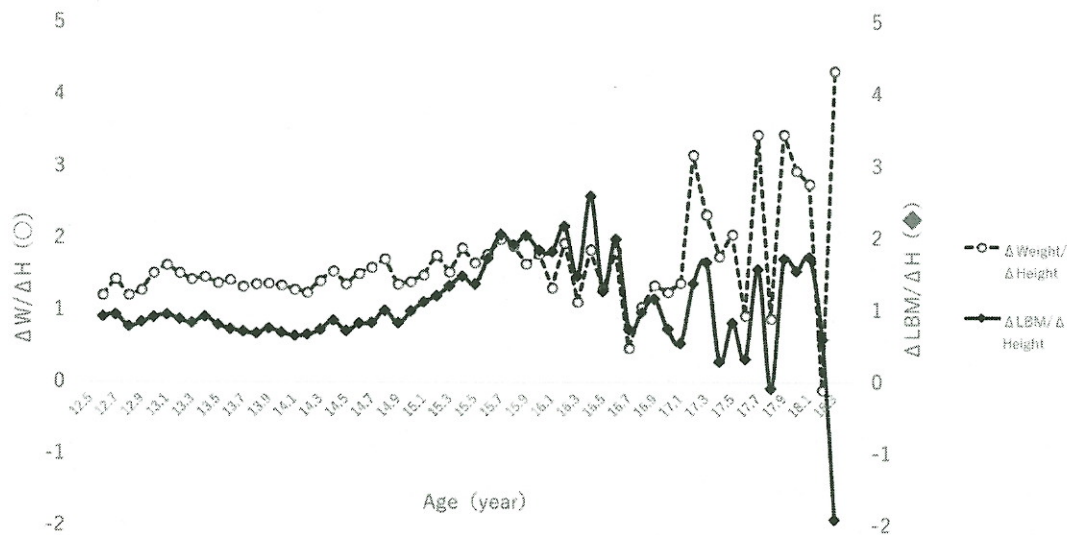


Fig5. Plot of weight gain per year (ΔW)/height again per year (ΔH) (○) and LBM gain per year (ΔLBM)/ ΔH (◆).

割合は多く、疲労骨折は少なからず生じている。LEA が強く推測されるものの BMI は女性アスリートのヘルスケアに関する管理指針¹³⁾で示される治療目標の 18.5kg/m^2 を越えていることが多く、思春期の標準体重も 90% 以上を越えていることが多く、体重や BMI に寄らない基準が求められる。今回検討したエリート女子サッカー選手は高身長が有利とされるゴールキーパーを含み、同じ中学生、高校生でも身長差が 40cm 近くあり、体重はともに 2 倍以上の開きがあった (表 1)。年齢毎の検討ではいずれの成長指標も平均値は徐々に増加を示し、標準偏差は小さい (図 1)。LEA の対応には年齢を基準とした平均値を用いる指標は適切でない可能性がある。推定エネルギー必要量の計算で用いられる体重あたりの基礎代謝基準値は 12~14 歳、15~17 歳の区分で示されている⁹⁾が年齢に依存しない基準値が望まれる。

国立スポーツ科学センターの健康なスポーツ選手の基礎代謝量算定式⁸⁾では LBM が用いられている、LBM は高額な体組成計での測定でなければ算出できないと思われがちであるが、体脂肪率が表示される体重計があれば、体重に体脂肪率を掛け

ると体脂肪量 (Fat mass: FM) が計算され、体重からその値を引いた値が LBM となることから比較的一般的に利用されるようになっている。今回の体組成測定の結果ではエリート女子サッカー選手においても身長に対して LBM は寄与率が高かった (図 2)。LBM が最終身長と強い相関があることは成人においても体内の放射性同位体カリウム ^{40}K を用いた研究⁴⁾から知られている。成長期・思春期においてもアンチピリンを用いた研究から男女とも成長に伴う身長増加に対して一定の割合で増加し、身長が高いとより骨格筋量が多く、前思春期の身長増加に伴う LBM 増加は栄養に負うところが大きいとされている³⁾。

これまで LEA の表現型としては、体脂肪率の低下に注目されてきた。一定の体重であった場合、体脂肪率が低下すると逆に増加するのが体脂肪以外の体重を表す LBM である。LBM の大部分を骨格筋重量が占める。EA の算定では摂取エネルギーと運動で消費されたエネルギーの差を LBM で除した式が用いられる²⁾。運動消費されるエネルギーは骨格筋量が多いほど増加し、骨格筋量が多いほど除す LBM の値が大きくなることで EA の値は低下す

るため、身長が高く、骨格筋量が多いほど LEA となりやすいと考えられる。

今回の検討では図 4 の年間身長増加量の平均値が徐々に減少していることから GPIII 期以降の集団とされる。LBM 年間増加量の平均が 15.3 歳から 16.3 歳にかけて軽いドーム状の増加が観察される。これは身長の伸びを伴わない LBM の増加でトレーニングなどによる骨格筋量の増加を表すと考えられ、一般女性に認められない増加と考えられる。さらに他の競技の初経後の身長 1cm 増加に対して LBM0.55kg がエリート女子サッカー選手ではやや 0.57kg と多い (表 2) ことからサッカー競技における特徴ではないか推測されるが、一般女性、その他の競技の女性アスリートでの検討がないためあくまでも推測の域を出ない。

図 5 で身長の伸びがほぼ止まったと判断される平均身長増加率が 1.0cm になった段階の 15.3 歳までは体重と LBM の増加率の割合はほぼ一定で、その差は体脂肪量の増加と考えられる。しかし 15.0 歳前後から LBM の増加が占める割合が徐々に増加して 15.7 歳では体重の増加はほぼ LBM の増加と考えられる。この時点で体脂肪の増加に回るエネルギー量がほぼなくなり、骨格筋の増量にエネルギーが消費され、蓄積に回すエネルギーがなくなったことを意味すると考える。この LBM 優位に増加する期間は LEA が生じ易くなる期間と考えられた。女子サッカー選手のパフォーマンス低下が見られる時期は中学 3 年から高校 1 年にかけての時期に多いという指導者らの印象に合致する。

Forbes は骨格筋量に相関する LBM 増加は思春期ではアンドロゲンの関与を推測している³⁾。テストステロンなど蛋白同化作用を有する男性ホルモンが高値を示す女性が瞬発系競技を選択しているという報告⁴⁾があり、高アンドロゲン状態は瞬発系競技などでは有利に働くことが推測される。多嚢胞性卵巣で見られる現象で女子サッカー選手に多く

認められる (松田未発表データ) ことからアンドロゲンの関与が推測される。図 3 に一般男女の LBM/身長比の増加パターンを示している。一般の女子 (図 3▲) では緩徐に増加を示し、14 歳前後から増加が見られなくなる。これに対して男子 (図 3■) では 12 歳までは女子と同様の増加を示すが、13 歳から急増し、18 歳までその増加は継続し、女子と 1.4 倍近い差ができる³⁾。このパターンは総テストステロンの成長における性差のパターンに極めて類似する。総テストステロンも男子の場合、12 歳前後まで前思春期女子と同じレベルであった総テストステロンは思春期に急増する。女子も成長に伴って 2 倍近く上昇する¹⁰⁾が男子は女子の約 20 倍まで増加を示す。アンドロゲンによる蛋白合成能の差が性差と考えられ、ドーピングでも性差の指標に用いられることからその他の身体指標の性差にも影響を表すと考えられる。

その一つが血液に対する影響が挙げられる。競技パフォーマンスに最も大きな影響を与える問題は貧血と考えられる。成長期・思春期の血色素量の男女の増加パターン⁶⁾も LBM/身長比や総テストステロンと極めて類似のパターンを示す。赤血球の増加は男性ホルモンの増加と期を同じくして増加して、成人における血色素量の男女差を生じると推定される。スポーツによって生じる貧血の主な原因は鉄欠乏性とされてきた。しかしながら鉄補充を行っても改善されないケースが数多く存在し、対応に苦慮することは少なくない。溶血性貧血についてもスポーツによって足底に加わる物理的衝撃で赤血球が破壊されるとされてきたが、足に衝撃が加わらない水泳選手や自転車競技の選手にも貧血は生じ、異なる機序が想定されていた。スポーツ貧血とは日常運動習慣がない人が急に運動したことによって生じた溶血性貧血に対して適切な蛋白補充がない場合に貧血が改善せず、持続するものが定義であった¹⁵⁾。溶血性貧血の指標が遊離ヘ

ムを回収するハプトグロビンの低下である。LEA になると糖新生のための蛋白異化作用が生じると考えられる。さらに女性では男性に比べてテストステロンが低いことで合成が低いため、増加が遅延することでハプトグロビンが低下したままになり、運動で生じた遊離ヘムの回収が少なくなり、体内に吸収されるより 24 倍多いとされる鉄の再利用ができなくなることが LEA に起因する貧血の機序ではないかと考えている。アルブミンなどの血漿蛋白合成低下も伴うと考えられ、低蛋白血症も合併すると推測される。成長期、思春期に高身長で体格のいい女子選手の貧血に低蛋白血症の合併が多く認められる機序と考えた。

成長期・思春期における血色素量の増加について年間発育量のピークとの関係も調べられている⁹⁾。これまで身長が増加することにより循環血液量が増えて成長貧血が生じると考えられてきたが、成長ピーク時には逆にヘモグロビンは上昇し、貧血にならず、成長が止まってからのほうが女子は貧血の割合は増えると報告されている⁷⁾ことから別の機序が求められていた。血液に関しては LBM あたりの赤血球容積と血漿量を加えた血液量は一定で成熟の指標であるタンナー分類や性別によっても差がないとされ¹⁴⁾、身長が伸びる際の LBM の増加は赤血球の増加も伴うと考えられる。成長期の LEA の表現型は実は背が伸びないことにあることが推測される。フェリチンなどの貯蔵鉄に加えて、ミオグロビンを多く含む骨格筋などに含まれる非貯蔵性組織鉄は LBM が多いほど多いと推定される。つまり成長期・思春期では骨格筋量が十分でなく、遊離ヘム鉄の供給源としては十分でなく、逆に LBM が増加する時期のため、骨格筋にミオグロビンとして供給・蓄積されることで赤血球やフェリチンに供給される鉄が相対的に不足すると考える。つまり鉄剤の投与によって一時的にフェリチンが上昇しても貧血が改善しない理由は

LEA によって生じた蛋白不足であり、フェリチンが高いままになっている状態は LEA で蛋白不足による赤血球合成障害で、鉄が利用されていない状態と考えられる。この状態が鉄を投与しても改善しない、女性アスリートの LEA による貧血と考えられ、LEA を改善しなければ、パフォーマンスの改善につながらない貧血と考えた。身長が高く、LBM が大きいほど基礎代謝量が高く、推定エネルギー必要量が多くなる。身長が急激に増加する成長ピークのあたりが LEA の好発時期とこれまで考えてきた。しかし身長増加ができる EA が確保されているので身長が増加する。LEA の表現型は身長が増加せず、成長ピークが見られない、もしくは十分でないことと推測する。

一般女子大学生と比較して運動選手は骨格筋量が多いことで LBM が有意に高いとされている⁵⁾。身長の増加が停止したのちも中学生レベルでは体重の増加に占める体脂肪の増加の割合は一定で徐々に増加している(図 5)が、女子サッカー選手では中学生から高校生になる 15 歳から 16 歳になる時期にトレーニングなどによって LBM が徐々に増加して体重増加のほとんどが骨格筋の増量になる期間が存在することが示唆された。つまりこの時期の体重増加に対して摂食量を減らしたり、運動量の増加に伴った分の摂取エネルギーの増加がないと容易に LEA が生じると考えられる。LEA に伴い、貧血が生じ、EA の改善を伴わないと貧血及びパフォーマンスの回復につながらない機序が推測された。おそらく経験した症例の選手に貧血が生じた原因は LEA にあったのではないかと考えている。

日本における女子サッカーは海外選手との体格差のハンディを補うため、運動量が上回ることで克服しようという傾向が少なからずある。身長が高く、体格のいい選手もポジションによっては国際競争力に必要とされるので一部のポジションで

は身長が高い選手が必要になるが、こうした選手に貧血が多くみられ、LEAの解消を伴わないとパフォーマンスの回復につながらないことが推測された。

VI. 結語

LBMと身長は高い相関関係を示す。成長過程で身長が伸びる時期よりもトレーニングで骨格筋量が増加する際にLEAになりやすく、女性アスリートに貧血が生じやすい時期であると推測された。

利益相反

本研究は文部科学省・スポーツ庁の女性アスリート育成・支援プロジェクト「女性アスリートの戦略的強化に向けた調査研究」(平成30年度)の援助で実施された。

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

謝辞

本論文のデータ提供を許可いただいた日本サッカー協会医学委員会池田浩委員長及び委員の方々に深謝いたします。また作成にあたり国立病院機構西別府病院臨床研究部樋口裕子さん、スポーツ医学センター三浦友奈さんの協力を深謝致します。

文献

- 1) Coste O, Paris F, Galtier F, Letois F, Maïmoun L, Sultan C. Polycystic ovary-like syndrome in adolescent competitive swimmers. *Fertility Sterility* 96: 1037-1042, 2011.
- 2) De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, Gibbs JC, Olmsted M, Goolsby M, Matheson G. 2014 Female Athlete Triad Coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st International Conference held in San Francisco, CA, May 2012, and 2nd International Conference held in Indianapolis, IN, May 2013. *Clin J Sports Med*, 39: 1867-1882, 2014.
- 3) Forbes GB. Relation of Lean Body Mass to Height in Children and Adolescents. *Pediatric Research*, 6: 32-37, 1972.
- 4) Hume R. Prediction of lean body mass from height and weight. *J Clin Pathol*, 19(4): 389-391, 1966.
- 5) 金子佳代子, 加藤有美子, 小池五郎. 重水による体水分量の測定. *日本栄養・食糧学会誌*, 38(2): 97-100, 1985.
- 6) 木場富喜, 二塚信, 永野恵, 上野達郎, 稲岡司, 北野隆雄, 北野直子, 上田厚, 上田忠子, 有松徳樹, 田中美智子, 山下太利, 野村茂. 児童生徒の発育と血液性状に関する研究 2. 身体発育と血色素量. *民族衛生*, 54(3): 110-121, 1988.
- 7) 木場富喜, 二塚信, 永野恵, 上野達郎, 稲岡司, 北野隆雄, 北野直子, 上田厚, 上田忠子, 有松徳樹, 田中美智子, 山下太利, 野村茂. 児童生徒の発育と血液性状に関する研究—女子児童生徒について—. *民族衛生*, 62(4): 197-207, 1996.
- 8) 小清水孝子, 柳沢香絵, 横田由香里. 「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告. *栄養学雑誌*, 64(3): 205-208, 2006.
- 9) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2015年版). https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/kenkou/eiyoku/syokuji_kijyun.html (2019年1月30日)
- 10) 松田貴雄, 佐藤弘樹. 思春期女性アスリートの稀発月経・無月経診断のための血中総テストステロン基準範囲設定の試み. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 26(3): 363-368, 2018.
- 11) 松田貴雄. 女性アスリートの三主徴はまず貧

- 血を診る. 産婦人科の実際. 67:19-202,2018.
- 12) 村田光範. 身長の成長速度曲線の意義と問題点. 産婦人科治療. 72(4): 401-466,1996.
- 13) 日本産科婦人科学会/日本女性医学会. 女性アスリートのヘルスケアに関する管理指針. 日本産科婦人科学会, 東京. 12-14, 2017.
- 14) Raes A, Van Aken S, Craen M, Donckerwolcke R, Vande Walle J. A reference frame for blood volume in children and adolescents. BMC Pediatrics, 6: 3, 2006.
- 15) 吉村寿人. 運動鍛錬時の貧血に関する研究. 体力科学, 8: 167-168, 1959.