

〔学術奨励賞〕
〔原 著〕

日本のサッカー選手の除脂肪体重と筋断面積 ーU13 からプロまでの年齢変化

星川 佳広 (浜松ホトニクス株式会社スポーツホトニクス研究所)

Fat-free mass and muscle cross-sectional area in Japanese soccer players - age related changes from under-13 to professional players

Yoshihiro HOSHIKAWA

【Abstract】

The purpose of the study was to describe growth trends of whole and regional muscularity in Japanese soccer players using both cross-sectional and longitudinal approach. A total of 390 high-level soccer players between the age of 12 and 32 years participated in the cross-sectional study, and 12 field players (FD) were followed longitudinally between the age of 16 and 20 years. Fat-free mass (FFM) was determined by air-displacement plethysmography and cross-sectional area (CSA) of the psoas major (PM) and thigh muscle groups, i.e., quadriceps femoris (QF), hamstrings (Ham) and adductors (Add) were obtained from the magnetic resonance images. Under-15 players showed nearly 40% larger values in FFM and all of the CSA compared to Under-13 players, suggesting dramatic growth in whole and regional muscularity of soccer players in this short period, whereas the increase in FFM and CSA reduced to less than 10% from Under-17 to -22 players. In addition, over the age of 17 years growth trend seems to be muscular specific, in which PM CSA for FD and Add CSA for FD and goal keepers increased in higher rate than QF or Ham CSA. Moreover, from the examination of relation between PM CSA and FFM predominant development in PM was remarkable for Over-23 successful FD players. These results suggest that prolonged experience of soccer training may lead to development of specific muscle groups and the muscle groups may have more important role for soccer performance. Although wide range of individual variation was observed, the longitudinal subjects showed the increases in FFM and all of the CSA groups similar to the cross-sectional observation in direction

and magnitude between the age of 16 and 20. However, no predominant growth of PM in relation to FFM was observed for longitudinal subjects. This result indicates that, not only growth or training effect, selection bias also affected on the present results of age-related change in muscularity.

Key words: MRI (Magnetic resonance image), Muscle size, Junior athletes, Growth and development

キーワード: MRI (磁気共鳴画像)、筋サイズ、ジュニアスポーツ選手、発育発達

1 はじめに

サッカーはその競技実施において必要なエネルギーの98%以上が有酸素性機構によって供給される²⁾。したがって、競技力の高いサッカー選手には高い有酸素性能力が求められ、実際に指導現場においても多くの時間が有酸素性(持久性)強化のトレーニングのために費やされる。しかしその一方で、プロサッカー選手の体力を生理学的手法に基づき調査した近年の研究からは、サッカーにおいてエリートとサブエリート選手を差別化するのは、有酸素性能力以上に無酸素性能力や筋力であることが指摘されている^{3,9,16,18)}。これらの報告は、ゴール近くのスプリント、ジャンプ、ターン、タックルなどの瞬間的で爆発的な筋力発揮が、得点/失点に直接的に影響することを考えれば合理的な研究結果といえる。しかし日本のサッカーの指導、特に育成年代においては、持久性に対して筋力の強化は必ずしも強調されていないのが現状である²⁰⁾。

エリートサッカー選手が示す高い筋力水準は、短期間のうちに獲得できるものではないと推測される⁹⁾。サッカー先進国のイングランドからの報告では、プロ選手の育成機関に所属するサッカー選手では、16歳時点ですでに平均で800時間/年、総計7500時間(10年程度)の指導者が伴った練習・トレーニングを経験している¹⁹⁾。日本においてこの類の統計調査は報告されていないものの、プロ選手に必要な競技力に到達するために10年以上の練習・トレーニングが必要なことは、おおよそあてはまるものと推測される。プロ選手への育成期にある10年間は、選手にとっては思

春期、思春期後期にあてはまり、形態的にも大きく成長する時期である。筋力は生理学的にその断面積に比例するので、成長期の筋力の向上は筋断面積の増大に大きく影響される。高い水準の筋力の獲得は、成長期全体で生じる長期的な筋断面積の自然発育に、意図的なトレーニングが相乗した場合に達成されると予想され、競技力の高い選手のなかでさらにエリートとサブエリートを差別化するのが筋力だという先行研究の指摘^{3,9,16,18)}を考慮すれば、成長期のサッカー選手において筋断面積がどのような年齢変化を示すかを把握することは、将来の競技力向上を見据え、より適時的で効果的なトレーニングを計画する上で非常に参考になるものと考えられる。

しかし従来、身体内部の画像化技術の制限もあり、サッカーのみならず成長期のスポーツ選手の筋断面積の変化やそれにトレーニングが及ぼす影響については十分な知見が得られている状況ではない。我々はこの問題認識のもと、これまで高校生やプロサッカー選手の筋断面積、筋体積および筋力を調査し報告してきた^{7,9,10)}。しかし、それらの報告では、身体各部位ごとの筋を別々にまとめており、異なる筋同士や全身の指標である除脂肪体重と局所の筋の関連性およびその年齢変化は十分に検討されていない。また報告してきた内容は多くが狭い年齢範囲の横断的な分析結果であり、育成期全体のより長期的な変化や、縦断的な筋の発育については検討の余地がある。加えてサッカーには、運動特性が大きく異なるフィールドプレイヤー(FD)とゴールキーパー(GK)があるが、これまでの報告はFDが中心でありGKの知見は不足している。

そこで本研究では、先行して報告した研究^{7,9,10)}に被検者を加え、また高校生以前の身体的変化

のより大きい中学生をも分析に加えた上で、育成期からプロ選手の幅広い年齢層にわたり、除脂肪体重、大腿部筋群および腹部の筋の代表として大腰筋群の各筋断面積の三者を関連付け、その年齢変化を分析することを目的とした。ここで除脂肪体重は全身の筋の発育を示すと捉え、筋断面積は局所の筋群の発育、また除脂肪体重－筋断面積関係は全身と局所の筋の発育の対応関係を示すと考えた。

分析はFDとGK両者に行い、ポジションによるトレーニングの違いが、筋発育の違いとして現れるかどうかを検討した。さらにFDについては、16～20歳までの5年間の変化について縦断的な分析も実施し、横断変化の補完を試みた。

2 方法

2－1. 被検者

A. 横断変化

被検者は、高校生以下においては日本プロサッカーリーグ（Jリーグ）に参加するクラブの下部組織（2チーム）に所属しているか、国民体育大会にむけて県を代表した選手（計10チームからの選抜）であり、高校生以降はプロサッカー選手（3チーム）もしくは日本フットボールリーグ（JFL 1チーム）でプレーするサッカー選手であった。被検者数は合計で390名であり、ポジション別でGKが45名、それ以外のフィールドプレイヤー（FD）が345名であった。被検者の年齢は12.4～32.8歳であった。被検者には、日本A代表経験者16名、Under15～Under23の日本代表経験者44名が含まれていた。またいずれの被検者も所属チームの練習・トレーニング参加のために、選抜過程（セレクション）を経ており、各年齢層において競技力の高いサッカー選手であった。被検者を年齢により12～14歳未満（U13）、14～16歳未満（U15）、16～18歳未満（U17）、18～20歳未満（U19）、20～23歳未満（U22）と23歳以上（O23）にグループ分けし、各グループ間での比較を行った。U13においてもすべての被検者が指導者の管理下において週5日以上サッカーの練習・トレーニングもしくは試合を最低でも2年間以上行っており、年齢が上のグルー

プほどサッカーの練習・トレーニング歴は長かった。

B. 縦断変化

FDのみであるが、5年以上にわたり縦断的に追跡できた被検者が12名いた。これらの被検者の観察開始は14～16歳、追跡終了は20～23歳であり、全員が観察できた16～20歳の5年間を対象に縦断変化の分析を行った。各年齢において複数回の測定を受けた場合その平均値を年齢の代表として扱った。12名はすべて観察期間中週5日以上サッカーの練習・トレーニングを継続していた。高校卒業時の被検者の進路は、12名中5名はJリーグチーム、1名はJFLチーム、6名は全国レベルの大学チームであった。

測定は、各所属の指導者の管理下において練習・トレーニングの一環として行われた。また国民体育大会に向けて県を代表した選手には、事前に測定の主旨と危険性を文書により伝え、本人とその保護者から測定に参加する同意書を得た。その他の被検者においては、所属するクラブ、チームと測定における被検者の安全確保とデータの統計的利用に関する契約書を締結するとともに、測定前にその主旨と危険性を文書により伝え、測定に参加する同意を得た。

2－2. 除脂肪体重

BodPodSystem（LMI, Inc.）による体脂肪率の測定を行い、体重から体脂肪量を引くことで除脂肪体重を求めた。BodPodSystemによる測定手順、再現性は星川ら¹⁰⁾の論文と同じであった。

2－3. 筋断面積

0.2TのMR装置（Signa Profile, GE 横河メディカルシステム社）を用いた。腹部および大腿部の撮影プロトコルおよび筋断面積の定量方法は星川ら^{9,10)}の論文と同じであった。簡単に述べると、腹部では大腰筋断面積がほぼ最大¹⁴⁾になる第4腰椎と第5腰椎の中央横断面画像から大腰筋断面積を求めた。先行研究¹⁰⁾にてサッカー選手ではGK、FDともに大腰筋断面積に左右差がないことが確認されているため、大腰筋断面積は両足の平均値を分析に用いた。大腿部は両側の撮像を別々に行い、それぞれ大腿中央部の横断面画像より、全大腿筋断面積（TMC, TotalMuscle

Compartment) および大腿を構成する各筋群の断面積を求めた。また大腿四頭筋 (QF)、ハムストリングス (Ham)、内転筋群 (Add) については、各筋断面積が全大腿筋断面積に占める比率としてそれぞれ %QF、%Ham、%Add も求めた。大腿部の筋断面積についても、サッカー選手では左右差は存在しても非常にわずかであることが確認されている^{9,15)} ため、両側を平均した値を分析に用いた。

2-4. 分析

横断的分析において各年齢グループ間の差異を検定するには、GK、FD 別に一元配置の分散分析およびテューキーの方法による事後検定を利用した。縦断的分析においては、2 元配置の分散分析 (被検者×年齢) およびテューキーの方法による事後検定により、年齢間の差異を検定した。危険率 5% 未満をもって有意と判定した。また、各年

齢グループ間およびポジションにより身体サイズが大きく異なることが予想される。除脂肪体重については、身長と強く関連することが示されている⁴⁾ ため、先行研究¹⁾ にない身長で割って身長 1 m あたりの除脂肪体重も計算した。各筋断面積の場合、スポーツ選手では身長と筋断面積の相関は強くなく、より除脂肪体重の影響が強いことが確認されている^{6,8)}。そこで X 軸に除脂肪体重、Y 軸に各筋断面積をプロットし、除脂肪体重-筋断面積関係をもとめることで、筋断面積を除脂肪体重と関連付けて分析した。

3 結果

3-1. 横断変化

FD の身長、体重は U15 が U13 と比較し有意で非常に大きな値を示した後、U15 もしくは U17 から U22 かけて漸増するパターンであった。

Table 1 Physical characteristics of subjects for cross-sectional analyses

	U13	U15	U17	U19	U22	O23	Significant Difference
FD							
N	31	70	92	51	52	49	
Age yrs	13.1(0.3)	15.3(0.5)	16.7(0.5)	19.1(0.4)	21.4(0.9)	26.8(2.9)	
Height cm	159.5(7.5)	170.3(5.2)	171.2(5.5)	172.7(6.2)	172.2(6.0)	175.4(5.5)	U13<Over U15, Under U22<O23
Weight kg	47.7(7.8)	60.3(5.6)	63.6(4.9)	66.5(6.0)	65.6(5.7)	70.8(6.0)	U13<U15<Over U17, Under U22<O23
%Fat %	13.1(4.0)	8.8(2.5)	8.8(2.8)	8.8(2.6)	8.1(2.8)	8.6(3.1)	U13>Over U15
GK							
N	11	7	7	6	8	6	
Age yrs	13.3(0.3)	14.9(0.7)	16.6(0.5)	19.4(0.5)	21.7(0.8)	29.1(2.7)	
Height cm	172.0(7.3)	174.2(4.2)	181.3(2.7)	182.7(2.5)	180.6(5.6)	183.1(3.6)	U13<Over U19
Weight kg	59.6(8.5)	66.8(4.3)	71.7(2.3)	79.6(3.8)	76.0(6.0)	79.8(5.0)	U13<Over U17, U15<Over U19
%Fat %	11.6(4.7)	12.8(2.8)	9.3(2.0)	15.2(3.3)	7.6(3.8)	10.3(2.6)	U19>U17, U22

N number of subjects, %Fat percent body fat

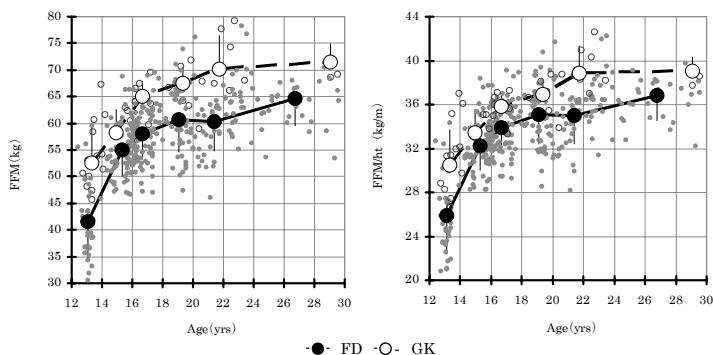


Figure 1 Age related changes in FFM(left) and the relative value to height(right) in the cross-sectional sample. Closed circles for FD and open circles for GK.

しかしU17～U22間においては身長、体重に統計的な有意差はみられなかった。そしてO23がU22以下よりも身長、体重ともに有意に高い値を示した。GKの場合、身長、体重はともに年齢が上のグループほど大きな数値を示す傾向にあったが、身長ではU19以上がU13よりも、体重ではU19以上がU15以下よりも有意に高いのみであった（Table 1）。

Figure 1 は除脂肪体重および身長 1 m あたりの除脂肪体重の年齢グループ間の比較である。除脂肪体重は身長あたりにしても、いずれの年齢グループにおいても GK が FD よりも高い値を示す傾向にあった（Figure 1 右）。除脂肪体重およびその身長割値は、FD の場合、U15 が U13 よりも、U17～U22 が U15 よりも有意に高い値を示したが、U17～U22 間に有意差がなかった。しかし O23 では、両者ともに U22 以下よりも有意に大きかった。GK の除脂肪体重およびその身長割値は、

U17 が U13 より有意に大きかったが、U17 以上においては年齢グループ間に有意差はなかった。

Figure 2 は、全大腿筋断面積と大腰筋断面積の年齢グループ間の比較である。除脂肪体重と比較し、両筋群ともに FD と GK の差異が小さい傾向にあった。FD の場合、全大腿筋断面積の傾向は除脂肪体重のそれとまったく同様で、U15 が U13 よりも、U17～U22 が U15 よりも有意に高い値を示したが、U17～U22 間に有意差がなかった。その一方、全大腿筋断面積は O23 が U22 以下よりも有意に大きい値を示した。大腰筋断面積は、年齢が上のグループほど有意に大きい値を示した（U13 < U15・U17 < U19・U22 < O23）。GK の場合、全大腿筋断面積は、U17 が U13 よりも、O23 が U17 よりも有意に大きい一方で、大腰筋断面積は U22 が U13 より大きいのみであり、その他では有意な年齢グループ間の差異を観察しなかった。

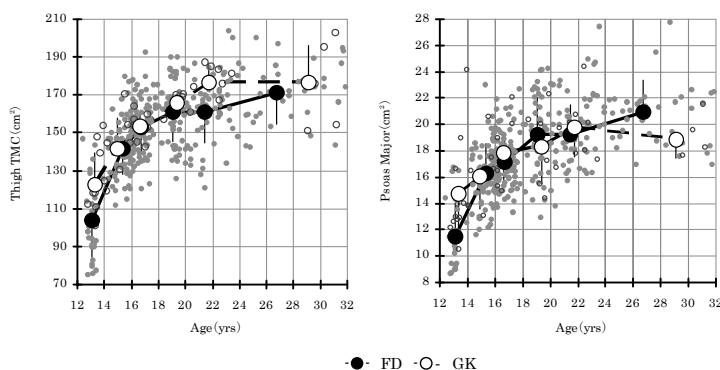


Figure 2 Age related changes in CSA of thigh TMC(left) and PM(right) in the cross-sectional sample.

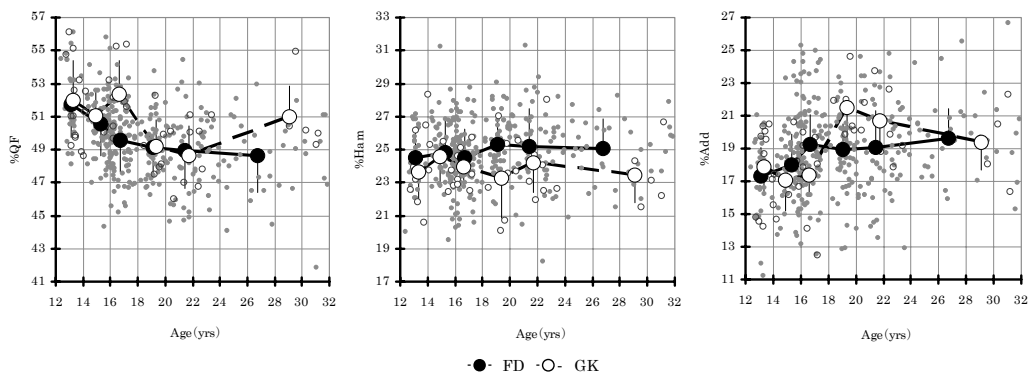


Figure 3 Age related changes in %QF, %Ham and %Add in the cross-sectional sample.

Figure 3 は、%QF、%Ham、%Add の年齢グループ間の比較である。FD、GK とともに、年齢が上のグループ (U19 ~ O23) が下のグループ (U13、U15) と比較し %QF が低く %Add が大きい傾向にあった。%QF は FD では U15 が U13 より、U19 以上が U15 より有意に低い値を示し、GK では、U22 が U13、U17 よりも有意に低かった。%Add は %QF の逆の傾向で、FD では U17 以上が U13 より、O23 が U15 よりも有意に高い値を示し、GK では U19、U22 が U15 より、U19 が U17 以下よりも有意に高い値を示した。%Ham は、GK、FD とともに各年齢グループ間に有意な差異がなくほぼ一定であった。

Figure 4 は、大腰筋断面積と全大腿筋断面積の比の年齢グループ間の比較である。この比は平

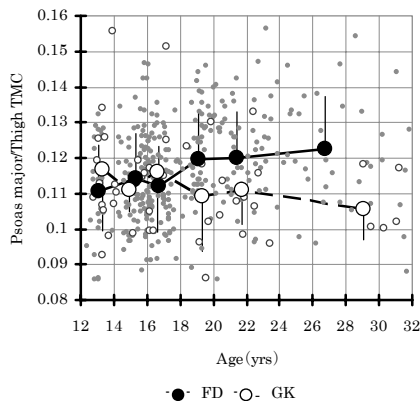


Figure 4 Age related changes in the CSA ratio of PM to thigh TMC in the cross-sectional sample.

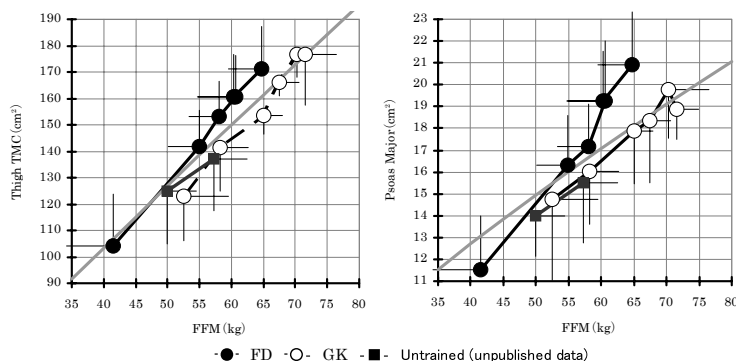


Figure 5 Changes in the CSA of thigh TMC (left) and PM (right) in relation to FFM from the cross-sectional sample. See the results section for explanation of gray lines backside.

均値としては年齢が上のグループ (U19 ~ O23) が GK では低い値、FD では高い値を示す傾向にあった。しかし個人によるバラつきが大きく GK ではこの比に年齢グループ間の有意差はみられず、FD においても U19 以上と U17 以下の間にのみ有意差が観察された。

Figure 5 は、除脂肪体重 - 筋断面積関係を各年齢グループ間で比較したものである。Figure 5 には同時に先行研究^{6,8)}で報告した、様々な競技種目のスポーツ選手の平均的な除脂肪体重 - 筋断面積関係を示した (灰色曲線)。除脂肪体重 - 全大腿筋断面積関係の場合、FD、GK とともに年齢が上がり除脂肪体重が大きくなるにつれて全大腿筋断面積も大きくなるが、その程度はスポーツ選手の平均的な除脂肪体重 - 筋断面積関係と近似していた。その一方除脂肪体重 - 大腰筋断面積の場合、年齢があがり除脂肪体重が大きくなるにつれ、FD と GK で大腰筋断面積の差異が顕著になる傾向にあり、GK ではスポーツ選手の平均的な除脂肪体重 - 筋断面積関係に近似する一方、FD では年齢が高いグループほど、同じ除脂肪体重に対してより大きな大腰筋断面積を示す傾向にあった。

Figure 6 は、身長、除脂肪体重および各筋断面積について、GK、FD 別にそれぞれ U13 の値を 100 としたときの各年齢グループにおける相対値である。身長については、GK、FD とともに U13 から O22 にかけて数%の増大に留まったが、それ以外の項目では O23 は U13 と比較して、FD ではいずれも約 50% 以上、GK では約 30% 以上大きい値を

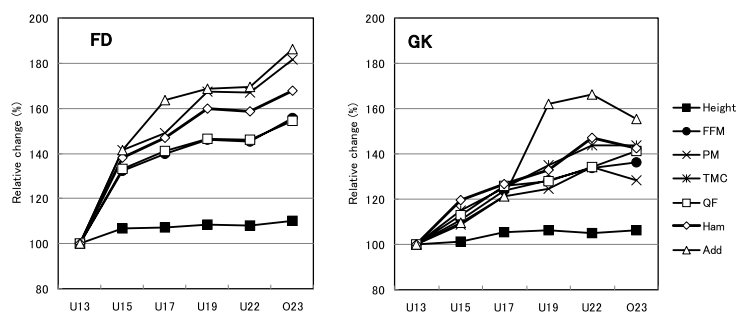


Figure 6 Relative changes in the measured variables from U13 to O23 for FD (left) and GK (right).

Table 2 Physical characteristics of subjects for longitudinal analyses (N=12)

	Age	16	17	18	19	20	Significant Difference
Height	cm	172.8(4.4)	173.5(4.3)	174.2(4.1)	174.5(4.1)	174.7(4.1)	16<17<Over 18
Weight	kg	64.0(5.3)	65.4(4.8)	66.3(5.1)	67.8(4.5)	67.8(4.5)	16<Over 18, 17<Over 19
%Fat	%	8.0(2.6)	7.3(1.8)	6.4(1.7)	6.6(2.0)	6.4(2.2)	16>18, 20

示した。特に差異が大きいのはFDのU13とU15間であり、この間では身長を除きいずれの項目も約40%の変化が見られた。その一方、U15以降では増大率に筋群ごとの違いが見られ、O23において最も大きな増大率を示したのは、GK、FDともに内転筋群であり、FDでは大腰筋の増大率も大きかった。またFDにおいてはいずれの項目もU17からU22にかけての増大が緩やかであるのに対し、O23はU22と比較し大きい値を示す傾向にあった。

3-2. 縦断変化

身長は16～18歳の間にわずかであるものの有意に増大していた。しかし18歳以降では変化が見られなかった。体重も16～19歳の間に有意に増大したが、19歳以降では変化がみられなかった(Table 2)。

Figure 7に、全被検者の除脂肪体重、全大腿筋断面積、大腰筋断面積の年齢変化と16～20歳の平均的な変化を示した。除脂肪体重は16歳から19歳にかけて有意に増大したが、18歳以降には有意な増大が見られなかった。全大腿筋断面積は、16歳から18歳にかけて有意に増大したが、17歳以降では有意な増大がみられなかった。また大腰筋断面積についても16歳から18歳にかけて有意に増大したが、18歳以降では有意な増大がみられなかった。加えてFigure 7には、比較対象のためにFigure 1、Figure 2の横断変化で得られた各項目の各年齢グループ(FD)における平均値と標準偏差を用いて、平均 $-1.5 \times$ 標準偏差($-1.5SD$)、平均 $-0.5 \times$ 標準偏差($-0.5SD$)、平均 $+0.5 \times$ 標準偏差($0.5SD$)、平均 $+1.5 \times$ 標準

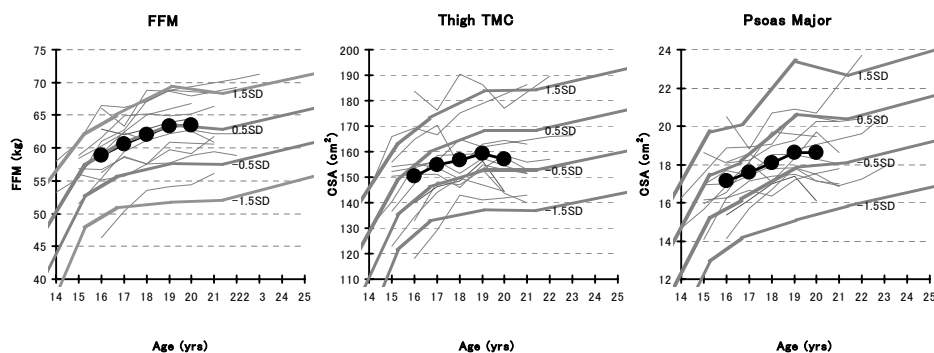


Figure 7 Changes in FFM (left) and CSA of thigh TMC(center) and PM(right) in the longitudinal sample. ●—● Average for 12 subjects. See the results section for explanation of gray lines backside.

偏差 (1.5SD) を図示した。いずれの項目も個々の被検者ごとの変動は大きいものの、12名の平均では、横断的な年齢変化のパターンとはほぼ同様であった。

%QF、%Ham、%Add および大腰筋断面積と全大腿筋断面積の比の縦断変化については Table 3 にまとめた。横断変化と同様に年齢とともに %QF の低下と %Add の上昇が観察されたが、その程度はわずかで統計的有意差が見られたのは %Add のみであった。%Ham については横断変化と同様に縦断的にも変化が見られなかった。大腰筋断面積と全大腿筋断面積の比についても、横断変化と同様に 18 歳以降において上昇する傾向にあったが、個人差が大きく統計的有意性は観察されなかった。

Figure 8 は、除脂肪体重 - 筋断面積関係の縦断変化 (—●—) および Figure 5 で得られた横断変化 (—●—) である。12 名の平均で見た場合、16 歳時点では、全大腿筋断面積、大腰筋断面積ともに U17 における除脂肪体重 - 筋断面積関係とは

ほぼ同じであったが、年齢があがり除脂肪体重が増えるにつれ、縦断変化と横断変化で差異が見られた。すなわち、16 ~ 20 歳の縦断変化においては、横断変化で見られるほどに除脂肪体重の増大に対して筋断面積は増大しない傾向にあった。除脂肪体重を同じにして解釈した場合、縦断的分析の被検者での 20 歳時点での筋断面積は、全大腿筋断面積、大腰筋断面積ともに U22 や O23 の値に対して小さかった。

4 考察

育成段階にあるサッカー選手の体力の発育発達に関する研究は、その対象が中学生、もしくは高校生のみに限定されることが多く、必ずしも育成期間全体にわたって同じ測定方法によって分析されたものは多くない。さらに、育成選手にとって目標とすべきプロサッカー選手までもを含めた報告は皆無である。また、サッカーのみならず他の競技種目においても、成長期のスポーツ選手の筋断面積の年齢変化を報告した先行研究は、単一の筋を

Table 3 Changes in %QF, %Ham, %Add and the CSA ratio of PM to thigh TMC in the longitudinal sample.

	Age	16	17	18	19	20	Significant Difference
%QF	%	50.5(2.1)	50.5(1.9)	50.3(2.1)	49.6(2.5)	49.8(2.6)	NS
%Ham	%	24.9(2.4)	24.7(2.0)	25.1(2.3)	25.0(2.2)	24.6(2.3)	NS
%Add	%	18.1(3.4)	18.3(3.2)	18.3(2.3)	19.2(2.4)	19.4(2.7)	Under 18 < Over 19
Psoas major/Thigh TMC		0.114(0.009)	0.114(0.007)	0.116(0.008)	0.117(0.007)	0.119(0.007)	NS

QF quadriceps femoris, Ham, hamstrings, Add, adductors, PM psoas major, TMC total muscle compartment, NS Non-Significance

%QF, %Ham, %Add indicating the CSA ratio of each muscle group to thigh TMC.

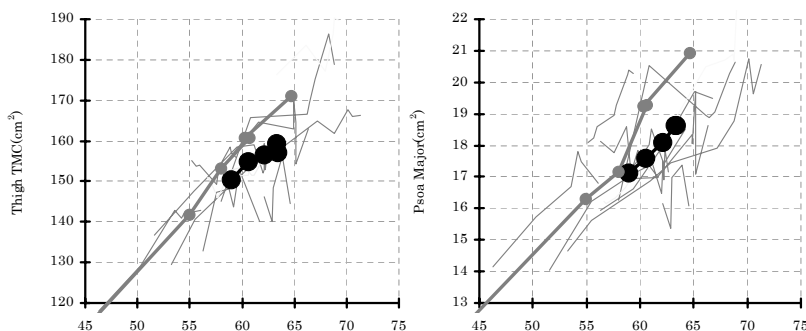


Figure 8 Changes in the CSA of thigh TMC(left) and PM(right) in relation to FFM from the longitudinal sample. ●—● Average for 12 subjects. ●—● Cross-sectional data in FD. (See Figure 5).

言及するに留まり^{12,13)}、複数の部位や全身の筋の発育を同時に記録したものはほとんどみられない。われわれも先行研究においては、大腿部^{7,9)}および大腰筋¹⁰⁾について各筋単位で横断変化を報告してきた。本研究の特徴は、測定対象が中学生から成人までの幅広い年齢層であること、除脂肪体重と大腿部、体幹部という異なる部位の筋断面積を観察したことにある。加えてFDとGKという異なる運動特性をもつポジションを比較したことで、成長期にあるサッカー選手の筋断面積の発育に関してより実態を明らかにできたと考える。ここでは先行研究では分析しなかった各筋同士の比較および各筋と全身指標である除脂肪体重との関連性を中心にその年齢変化を考察する。

4-1. 横断変化

本研究では先行研究^{7,9)}に新たなデータとしてU13を加えた。U13からU15にかけてはU15以降と比較し、形態、体格の変化が相対的に大きく、FDではこのわずか2年間に身長は約11cm、除脂肪体重は13kgの増大がみられた。GKではU15とU13の身長の差異は2.2cmのみであったが、これはGKの身長はU13ですでに170cmを超えており、早熟で体格の大きな選手がGKとして選抜されたことが影響したと考えられる。FDにあっては、大腿部、大腰筋といった局所の筋断面積についても、身長、除脂肪体重の年齢変化とほぼ同様に、U13からU15にかけての増大がU15以降の増大に対して相対的に大きかった。FDの筋断面積値はいずれの筋群においてもU13からU15の2年間に約40%の非常に大きな増大がみられ、またGKについても約20%の増大が観察された(Figure 6)。このU13からU15の筋断面積の顕著な増大率は、各筋ごとに特徴的な違いがみられず、筋断面積の増大は一様に生じていることから、身長成長の大きい時期の筋断面積の増大は、サッカーに特異的な変化というよりは自然成長が強く関与した結果であると推測される。

続くU15からU22間にかけては、FD、GKともに、身長に有意な増大がみられなかった。また除脂肪体重、全大腿部断面積(FD・GKともに)、大腰筋断面積(GKのみ)についても、U17までは有意な増大がみられるものの、U17からU22

にかけての増大はわずかであり統計的にも有意性がなかった。これらの結果は、サッカー選手の全身および大腿部の筋の発育は、平均的に見ればU17近辺でおおよそ終息することが示唆される。特別なトレーニングを行わない日本の一般男子を横断的に調べたKanehisa, et al.¹¹⁾も、筋断面積の増大はおおよそ17歳までであることを報告している。したがって、筋の形態的発育の年齢変化は、量的な違いがあるものの、傾向としてはサッカー選手、一般人でほぼ同じパターンであると考えられる。

しかしFDの場合、O23の身長が、U17～U22の身長増大の頭打ち傾向と異なり、U22よりも3cm以上、統計的にも有意に高い値を示したことに言及する必要がある。この結果には、本研究の被検者は各年齢層にあっては競技水準の高いサッカー選手であったものの、とりわけO23の被検者はサッカーを職業的に行いつつレギュラー選手として実績のともなった選手群であり、競技力が一段と高かったことが影響したと考えられる。競技力の高い選手ほど身長が高くなる現象は、我々のみならず、サッカーの競技レベルが日本より高い欧州の諸外国においても共通して報告されている現象である^{3,5,17)}。これらの結果は、身長の高さ自体がサッカーの競技力に有利に働くことを示唆するが、FDのO23の場合、身長のみならず除脂肪体重、各筋断面積においてもU17～U22の傾向と異なり突出して大きかった。したがって、身長の高さが全身的、局所の筋発育をともに促進し、そのことがサッカーの競技力に貢献する可能性も考えられる。仮に身長や筋発育がサッカーの競技力と関連するとした場合、サッカー選手として成功したO23のより大きな除脂肪体重、各筋断面積が、平均的なサッカー選手と同様に身長増大が著しいU15までに獲得されるものなのか、身長増大が終息したU17～U22間においても継続して増大し続けた結果であるのかは非常に興味もたれる点である。しかし、その点は横断的分析のみでは明らかにできないものであり縦断的分析が必要となる。その点は後述する。

U15以降の横断変化の特徴として、筋群ごとに筋断面積の増大率が異なった点が挙げられる(Figure 6)。上述の一般男子を調べたKanehisa,

et al.¹¹⁾は、大腿四頭筋とハムストリングスの比率に10～18歳まで変化が見られず、各筋群の発育は一樣に生じることを指摘している。本研究のサッカー選手においても、U13～U15にかけての増大率は各筋群で一樣であった。それに対してU15以降にあっては、FD、GKともに%QFが低下、%Addが増加傾向を示し(Figure 3)、大腿部ではより内転筋群の増大が大きいことが示された。またFDでは大腰筋断面積の増大率も高く、このことは、サッカーの練習・トレーニングを長期的に継続することで、内転筋群や大腰筋の発育がより促進されることを意味すると考えられる。

特にFDにおける大腰筋の発育は注目される。上述したようにFDの除脂肪体重、大腿部筋断面積はともに、U17～U22にかけて有意な増大がみられなかったものの、大腰筋断面積はこの間も年齢が上のグループほど有意に高い値を示した。また、大腰筋と大腿部全筋断面積の比(Figure 4)、除脂肪体重－大腰筋断面積(Figure 5 右)の両者において、年齢がより高い群ほど大腰筋の発育がより顕著であることが示された。我々は、先行研究において様々な種目のスポーツ選手における除脂肪体重－筋断面積関係を、大腿部⁸⁾、大腰筋⁶⁾それぞれについて報告している。本研究では、年齢がより上のグループほど除脂肪体重が大きくなったが、FD、GKの除脂肪体重増大と全大腿筋断面積増大の関係性、GKの除脂肪体重増大と大腰筋断面積の増大の関係性はほぼスポーツ選手全体での回帰式上にあった。この結果は、FD、GKの大腿部の筋群とGKの大腰筋の発育は、平均的にはスポーツ選手全体の傾向と異ならず、除脂肪体重の増大すなわち全身的な筋量の獲得が、それら局所の筋群の断面積値に反映していることを意味すると考えられる。その一方でFDの大腰筋断面積は、年齢が上のグループで除脂肪体重の程度が大きくなるほど、スポーツ選手全体の回帰式より上に乖離して位置づけられるようになっていた(Figure 5 右)。このことはすなわち、サッカー選手のFDでは、競技の経験年数が長くなるほど大腰筋の形態的発育が全身の筋量の獲得以上に促進されることを示唆すると考えられる。

大腰筋の顕著な発育はFDのみに見られGKで

は観察されなかったことから、FDにおける移動距離やダッシュ、ストップ等の多さが、その発育に影響している可能性も考えられる。しかし本研究結果は、年齢または競技レベルが高いサッカー選手の大腰筋、内転筋群の顕著な発育傾向を明らかにしたものであり、それがサッカーのパフォーマンスと機能的にどのように関連するか、競技レベルとどのように因果するかは不明である。この点は今後の研究課題であるが、これらの筋群の強化は、サッカーにおける筋もしくは筋力の長期的なトレーニング計画を考える上で考慮されるべきものと思われる。

4-2. 縦断変化

本研究で縦断的に観察できた12名においては、16歳から20歳の間に、身長は1.9cm、体重は3.4kgの増加が見られていた。しかし除脂肪体重、各筋断面積はともに、有意な増大が観察されたのは身長増大がわずかながら継続していた18歳までであり、18歳から20歳にかけては、横断的分析でみられた平均的な変化と同様に、縦断的にも有意な変化は見られなかった。16歳からの20歳までの変化は、除脂肪体重で4.5kg(58.9→63.4kg)、大腿部筋断面積で6.8cm²(150.4→157.2cm²)、大腰筋断面積で1.5cm²(17.1→18.6cm²)であり、それぞれ16歳時点を100とした場合の割合では、7.6%、4.5%、8.8%の増大に過ぎなかった。横断変化ではU13からU15のたかだか2年間のうちに、いずれも40%もの増大がみられていたことを考慮すると、16歳以降のサッカー選手の全身および局所の筋の発育は、縦断的に分析した場合も横断的分析と同様に15歳までの変化に対して相対的に小さいと判断される。したがって、本研究で縦断的追跡が可能となった被検者においても、16歳までに著しい筋の発育があったうえで、その後の5年間で4～9%程度の筋の発育が見られたと考えるのが妥当であろう。

日本のサッカーでは、18歳時点(高校3年生)で競技継続の可能性を審査される場合が多い。それまでに一定水準の競技力を獲得していない選手は淘汰される。すなわち、本研究で縦断追跡できた選手は、みな高校卒業後も高い競技水準でサッカーを継続しており、

サッカー選手として成功者に分類される。そのような選手にあっても18～20歳間に筋断面積の増大をみなかった縦断的分析の結果は、横断的分析において除脂肪体重、筋断面積ともにU17～U22より特徴的に大きかったO23の選手群にあっても、各筋群の発育は18歳以降に獲得されたものではなく、それ以前によるものであった可能性が高いと判断される。すなわち、将来のより高い競技力への到達のためには、全身的にも局所的にもより大きな筋量を獲得することが重要で、そのためには17歳までの自然成長が著しい時期が極めて重要であることが示唆される。

個人差が大きいために明確な統計的有意性はみられなかったものの、大腿部の筋断面積の比率においては、16～20歳にかけて%QFの減少と%Addの増大傾向が観察できた。また大腰筋と大腿部全筋断面積の比もわずかに増大傾向が見られた（Table 3）。したがって、これらの傾向は横断的、縦断的ともにみられたことになり、サッカー選手の筋発育の特徴として考えて良いと思われる。しかし、その変化の程度は極めてわずかであり2～3年程度の観察では検知できないものと思われる。

その一方、除脂肪体重－大腿筋断面積、除脂肪体重－大腰筋断面積関係の縦断変化は、横断変化とは傾向が異なるものであった（Figure 8）。横断変化では、特に大腰筋において、年齢が上になるほど除脂肪体重に対して特異的な発育が観察されたが、縦断変化ではそのようになっていなかった。この結果は、横断的分析におけるU22、O23のサッカー選手（FD）では全身の筋量の獲得に対して大腰筋の発育が著しいことを示すが、それはサッカー選手が競技を継続することで獲得される結果というよりは、その特徴をもった選手が選択された可能性が高いことを示すと思われる。大腰筋のサッカーのパフォーマンスにおける機能的意味合いは本研究からは分からないものの、競技力向上のためにトレーニング計画時には考慮すべき事項と考えられる。

5 まとめ

I. サッカー選手の除脂肪体重、大腿部、大腰筋

の断面積はいずれもU13からU15にかけての変化が極めて顕著（約40%）であり、身長成長が終息するU17以降の筋断面積の増大は緩やか（10%以下）であった。U13からU15にかけての各筋群の断面積の増大率はほぼ同じであり、サッカーに特異的な変化というよりは自然成長の影響が強いと考えられた。

- II. サッカー選手のU15以降の筋断面積の増大は、内転筋群がFD・GKともに、大腰筋がFDにおいてより顕著であった。この結果より、両筋群の発育がサッカーの練習・トレーニングの継続で促進されると考えられた。
- III. FDでは、U17～U22と比較してO23において、除脂肪体重、筋断面積が顕著に大きかった。O23はU17～U22と比較し身長が高く、身長成長とそれによる筋断面積の増大がサッカーの競技力と強く関連することが示唆された。ただし、縦断的分析の結果を合わせると、O23の大きな筋断面積も17歳までに獲得された可能性が高いと判断された。
- IV. 除脂肪体重－筋断面積関係は、GKにおいてはスポーツ選手全体の傾向と似ており、GKの大腿部・大腰筋断面積には全身的な除脂肪体重の獲得が強く影響すると考えられた。その一方FDは、年齢が上になるほど（U22、O23）、除脂肪体重が同じであっても、GKや他のスポーツ選手全体と比較し大腰筋断面積が大きく、大腰筋の特異的な発育傾向が示唆された。
- V. 16～20歳まで（FDのみ）の除脂肪体重、筋断面積の縦断変化は、横断変化とはほぼ同様な年齢変化のパターンを示した。すなわちサッカー選手の筋の発育傾向は上記I、IIに従うと考えられた。しかし、除脂肪体重－筋断面積関係の縦断変化はその横断変化と異なっており、U22・O23のサッカー選手の特徴的な大腰筋の発育傾向は、その特徴をもつ選手が選抜された（それ以外が淘汰された）結果である可能性を推測させた。

文献

- 1) 安部孝 (2003) 身体組成 - からだを構成する組織の量とその比率・その3. 体育の科学, 53:450-454.
- 2) Bangsbo, J. (1994) The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 151 Suppl. 619:1-153.
- 3) Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C. and Maffulli, N. (2000). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French Soccer Players. *Int. J. Sports Med.*, 22:45-51.
- 4) Forbes, G. B. (1974) Stature and lean body mass. *Am. J. Clin. Nutr.*, 27:595-602.
- 5) Hansen, L., Bangsbo, J., Twisk, J. and Klausen, K. (1999). Development of muscle strength in relation to training level and testosterone in young male soccer players. *J. Appl. Physiol.*, 87:1141-1147.
- 6) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 内山亜希子, 中嶋由晴 (2006) 高校生スポーツ選手の競技種目別の大腰筋断面積. *体力科学*, 55:217-228.
- 7) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 内山亜希子, 中嶋由晴 (2006) サッカー選手の大腿部筋断面積の横断的, 縦断的变化. *トレーニング科学*, 18:115-127.
- 8) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 内山亜希子, 中嶋由晴 (2006) 高校生スポーツ選手の大腿部筋断面積の性差と競技種目差. *トレーニング科学*, 18:375-386.
- 9) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 中嶋由晴 (2007) サッカー選手における膝関節伸展・屈曲トルクと大腿部筋体積の年齢変化. *体育学研究*, 52:431-442.
- 10) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 井伊希美, 中嶋由晴 (2009) サッカー選手の年齢別の大腰筋断面積と除脂肪体重. *トレーニング科学*, 21(1):33-44.
- 11) Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., and Fukunaga, T. (1994) Cross-sectional areas of fat and muscle in limbs during growth and middle age. *Int. J. Sports Med.*, 7:420-425.
- 12) Kanehisa, H., Funato, K., Kuno, S., Fukunaga, T. and Katsuta, S. (2003) Growth trend of the quadriceps femoris muscle in junior Olympic weight lifters: an 18-month follow-up survey. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89:238-242.
- 13) Kanehisa, H., Kuno, S., Katsuta, S. and Fukunaga, T. (2006) A 2-year follow-up study on muscle size and dynamic strength in teenage tennis players. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 16:93-101.
- 14) Marras, W. S., Jorgensen, M. J., Granata, K. P. and Waiand, B. (2001) Female and male trunk geometry: size and prediction of the spine loading trunk muscles derived from MRI. *Clin. Biomech.*, 16:38-46.
- 15) Masuda, K., Kikuhara, N., Takahashi, H. and Yamanaka, K. (2003) The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J. Sports Sci.*, 21:851-858.
- 16) Oberg, B., Moller, M., Gillquist, J. and Ekstrand, J. (1986). Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. *Int. J. Sports Med.*, 7:50-53.
- 17) Shephard, R. J.: Biology and medicine of soccer: An update. (1999) *J. Sports Sci.*, 17:757-786.
- 18) Tumilty, D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med.*, 16:80-96.
- 19) Williams, M. (2007) Expertise in football: Mapping the development of elite players. 6th World Congress on Science and Football, Antalya.
- 20) 財団法人日本サッカー協会スポーツ医学委員会 (2005) 選手と指導者のためのサッカー医学. 金原出版.