

9歳から17歳にいたる子供の筋力，筋酸化能力
および呼吸循環系機能の縦断的発達

東京大学	跡見順子
(共同研究者) 同	福永哲夫
同	川原貴
同	八田秀雄
相模女子大学	山本順子
日本大学	佐竹隆
東京大学	岡島佳樹
日本女子大学	池川繁樹

**Longitudinal Study of Cardiorespiratory, Muscular and Muscle
Oxidative Function of Japanese Boys from 9 to 17 Years
of Age on the Basis of Skeletal Growth**

by

Yoriko Atomi, Tetsuo Fukunaga, Takashi Kawahara, Hideo Hatta

Department of Sports Sciences, College of Arts and

Sciences, University of Tokyo

Yoriko Yamamoto

Sagami Wo'mens University

Takashi Satake

Nihon University

Yoshiki Okajima

Faculty of Education, University of Tokyo

Shigeki Ikegawa

Nihon Wo'mens University

ABSTRACT

The development of cardiorespiratory ($\dot{V}O_{2max}$), muscular (muscle strength of knee extension (TMS)) and muscle oxidative function (Lactate threshold, LT) for 9 boys were longitudinally studied from 9 to 17 years of age, on the basis of skeletal growth, related to their corresponding structure (left ventricular diastolic diameter (LVDD), cross-sectional area of thigh muscle (TCSA), and relative gastrocnemius area to plantar flexor (G/PF respectively). When each parameter was compared on the basis of chronological age, the age of spurt relatively varied from child to child and from parameter to parameter. However, the age of spurt for each parameter on the basis of skeletal age was 13 ~ 16 years for body height, 12 ~ 15 years for LVDD, 13 ~ 15 years for $\dot{V}O_{2max}$, and 12 ~ 16 years for TMS and 13 ~ 16 years for LT- $\dot{V}O_2$. In the development of cardiorespiratory system the tendency which the structure increases faster than function was observed, while there was no a given relation between TCSA and TMS. The intraindividual agreement of the age of spurt among various parameters was observed in the boys who showed the spurt in the body height on the basis of the skeletal age. Such agreement was not always observed in the boys who did not show the spurt in body height to skeletal age. LT- $\dot{V}O_2$ tended to increase with age without last maturity and $\dot{V}O_{2max}$ increased more than LT. Therefore %LT didn't show a constant relation to age. As a result, large interindividual differences were observed. This interindividual difference was dependent on G/PF. The correlation between %LT and G/PF was maintained through the development. From these results, the longitudinal study on the basis of skeletal growth and body height was available to describe the physiological maturation and relating function through the development including puberty.

要 旨

暦年齢 9～10 歳の特別に運動習慣をもたない男子 9 名を対象として、思春期をはさむ 8 年間にわたり、呼吸循環系機能（左室拡張期径 (LVDD), $\dot{V}O_{2max}$ ）、筋機能（大腿筋断面積 (TCSA)、脚伸展力 (TMS)）および下腿筋の酸化能力（腓腹筋/下腿三頭筋比 (G/PF)、トレッドミルによる乳酸性閾値 (CT)）について年 1 回縦断的に測定を行い思春期の体力の発達の様相ならびに相互関係について観察し検討した。暦年齢によって各測定値を比較すると項目ごとの急増期にかなりのばらつきがみられた。

骨年齢によって項目ごとの急増期を比較すると身長で 13～16 歳 LVDD 12～15 歳、 $\dot{V}O_{2max}$ 13～15.5 歳、TCSA 14～16 歳、TMS 12～16 歳で、呼吸循環系では形態の発達が機能に対しやや先行する傾向、筋の発達はやや遅れる傾向がみられたが、筋力では個人により発達のパターンが異なり筋断面積との間に一定の関係はみられなかった。また LT- $\dot{V}O_2$ では 13～16 歳であった。

この骨年齢に対する個人内での各項目間のスパート時期の一致度をみると、身長にスパートのみられる者（7 名）ではその時期に対応して LT % 以外のスパートがみられたが、身長にスパートのみられない者では呼吸循環系、筋系ともにスパートの変化が小さくまた必ずしもその増加時期は一致しなかった。

LT- $\dot{V}O_2$ は発育にともない上昇する傾向を示したが、 $\dot{V}O_{2max}$ の上昇がそれにまさって大きく、したがって LT% の低下する者がみられ個人差を大きくした。この個人差は G/PF によりかなり説明され、%LT との間に 9～17 歳の発育期間中相関を示した。

これらのことから子供の発育発達を生理学的に知るためには縦断的研究と骨の発育（化骨：骨年齢と長軸方向：身長）を指標とした解析が有用で

あることが明らかになった。

1. 緒 言

思春期の適度な運動刺激は、将来の体力水準を高めるためにも不可欠であろう。現代社会では、子供といえども充分運動している者ばかりとはいえない。又、他方では Over Use による運動障害も大きな問題になっている。教育の現場では思春期の発育発達を、さらに正確に把握することが求められている。

子供の身体の発育とそれにとまなう体力の発達速度は、思春期で最大となるといわれているが、それを裏づける資料は極めて少ない⁵⁾。それは発育発達の過程が個人差の大きいものであるにもかかわらず、人の子供の発達には長い時間がかかるために、同一被検者を縦断的に追跡研究することが困難であるためであろう。そこで本研究では、形態発育と体力発達の両面について、思春期前から思春期終了に至るまでの間を通して縦断的に観察することを目的とした。そこから、形態発育と体力発達、それぞれの特徴と、両者の関係について考察した。

2. 研究方法

1) 被検者

特別な運動選手を含まない男子 9 名について、暦年齢 9.8 ± 0.27 歳 (Mean \pm SE) を被検者とした。その後同一被検者について毎年 1 回ほぼ同時期に測定を続け、骨年齢から判定して被検者の多くが成人に達した 8 年後に測定を終了した。被検者の身体特性は表 1 に示した。

2) 測定項目および測定方法

①骨年齢

被検者の生理的成熟度を知るために、骨年齢を測定した。左手首 X 線撮影を行い、TW 2 法⁶⁾により骨年齢を決定した。

②左室拡張期径

表1 Mean Values of Physical Characteristics and some cardiorespiratory and muscular parameters of the subjects from 9 to 17 years of chronological ages.

Measurements	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
CHRONOLOGICAL AGE(Years)	9.8 (.3)	10.6 (0.2)	11.5 (.2)	12.6 (.2)	13.5 (.2)	14.6 (.2)	15.6 (.2)	16.5 (.2)
SKELETAL AGE (Years)		10.3 (.2)	11.6 (1.3)	13.1 (0.4)	13.9 (1.3)	15.2 (.5)	16.7 (.4)	17.5 (.4)
BODY HEIGHT(cm)	138.3 (1.8)	140.1 (1.5)	144.8 (1.7)	153.3 (2.3)	160.8 (2.7)	165.6 (2.5)	169.2 (1.7)	171.3 (.1)
BODY WEIGHT(kg)	31.4 (1.5)	34.1 (1.7)	36.5 (1.4)	42.4 (2.1)	49.3 (2.9)	53.7 (2.9)	57.8 (3.1)	62.4 (3.5)
LVDD(mm)		39.7	40.6	41.8	44.4	45.9		
MAXIMAL OXYGEN UPTAKE		(1.1)	(0.7)	(1.1)	(1.1)	(1.0)		
$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	1.64 (.09)	1.67 (.09)	1.87 (.07)	2.04 (.11)	2.48 (.49)	2.69 (.14)	2.85 (.14)	3.43 (.16)
(ml/kg. min)	53.5 (.9)	50.1 (.9)	51.8 (1.1)	43.4 (2.0)	52.2 (5.0)	53.7 (2.9)	47.6 (1.6)	55.4 (1.7)
LACTATE THRESHOLD								
LT- $\dot{V}O_2$ (l/min)	1.19 (.09)	1.28 (.08)	1.29 (.07)	1.28 (.13)	1.66 (.11)	1.69 (.10)	1.81 (.12)	
LT-% $\dot{V}O_{2max}$	72.2 (2.0)	70.6 (2.1)	64.5 (1.7)	63.8 (2.4)	61.8 (3.3)	64.9 (1.6)	64.5 (2.6)	
CROSS SECTIONAL AREA OF LEG								
THIGH MUSCLE (cm ²)		64.4 (3.0)	74.6 (2.7)	95.9 (6.0)	89.1 (4.6)	103.7 (8.9)	126.9 (7.0)	125.6 (3.4)
THIGH EXTENSOR (cm ²)		40.0 (1.6)	43.9 (1.3)	50.4 (4.5)	51.8 (3.5)	60.1 (5.0)	73.5 (3.2)	73.7 (8.2)
LEG MUSCLE (cm ²)		37.8 (1.8)	42.8 (2.9)	44.9 (2.4)	44.9 (2.4)	52.6 (3.0)	61.0 (2.6)	59.6 (0.4)
LEG FLEXOR (cm ²)		28.5	33.3	33.5	33.8	39.8	46.4	45.2
MAXIMAL MUSCLE STRENGTH		(1.5)	(2.2)	(1.8)	(1.8)	(2.4)	(2.0)	(2.9)
KNEE EXTENSION(kg)		24.8 (1.3)	22.4 (1.6)	28.6 (1.2)	35.2 (2.4)	39.7 (2.9)	43.7 (2.8)	
PLANTAR FLEXION : (kg)		60.9 (3.9)	71.8 (3.6)	74.8 (5.2)	99.5 (5.2)	109.1 (7.5)	111.7 (8.9)	123.3 (6.3)

Values in () show S. E..

心形態の測定はフクダ社製 SSD-720 断層心エコー装置を用い、安静臥位にて行った。断層像モードにより、ビームの方向を確認しながら Mモード記録を行い左室拡張期径 (LVDD) を計測した。

③大腿及び下腿筋断面積

体肢を構成する組織の横断面積は、超音波法に

より測定した。本研究に用いた超音波装置は、ALOKA 製エコービジョン (SSD-120 型) に円型コンパウンド走査方式を接続したものであった。使用した超音波の発振波数は 5 MHz であった。超音波による体肢断面像の測定部位は、下腿：脛骨長 (果点から脛骨点までの距離) の遠位 1/10、大腿骨長 (脛骨点から大転子までの距離) の

1/2とした。これらの部位は下腿囲，大腿囲がそれぞれ最大となる部位である。測定は両部位とも伸展位で行った。各組織の断面積はプランメーターを用いて行った。

④乳酸性作業閾値 (Lactate threshold : LT) および最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$)

LTの測定には，トレッドミルによる速度漸増負荷法を用いた。水平位で80 m/minからスタートし，年齢， $\dot{V}O_{2max}$ に応じて15 m/分又は20 m/分の幅でスピードを上げ，exhaustionに追いこんだ。各負荷3分間の歩行あるいは走行の後，採血のために1分間の停止をはさんだ。その停止の間にヘパリン処理したヘマトクリフト管に耳朶血を採取し，除蛋白後酵素法を用いて血中乳酸濃度を測定した。

実験中は，アニマ社製呼気ガス分析器を用いて，連続的に呼気ガスを分析した。血中乳酸濃度の安静レベルから立ち上がる点を3名の検者により判定し，LTを決定した。この実験におけるPeak $\dot{V}O_2$ は， $\dot{V}O_{2max}$ をほぼあらわすことが示されているので⁹⁾ Peak $\dot{V}O_2$ を似って $\dot{V}O_{2max}$ とした。

⑤筋力 (膝関節伸展力・足関節底屈力)

膝関節伸展力は，椅座位で膝関節110°で実施した。足関節底屈は，椅座位で下腿を垂直にし，足関節を90°にし測定した。最大努力による静的筋力を3回発揮し，その最大値を最大筋力とした。

3. 実験結果

9～10歳の小学4年生の終りに第1回目の測定を開始し，その後年一回同一被検者を同一時期に継続的に測定を実施した。測定回ごとの平均値の変化を(すなわち暦年齢を横軸にして)図1に示した。平均値で見ると骨年齢は暦年齢に対し直線関係を示し急増はみられなかった。暦年齢11～13歳および12～13歳にかけて身長と体重の急増がみられた。LT- $\dot{V}O_2$ ， $\dot{V}O_{2max}$ ，LVDD，脚伸

展力も12～13歳で急増した。これは骨年齢の13～14歳に相当した。

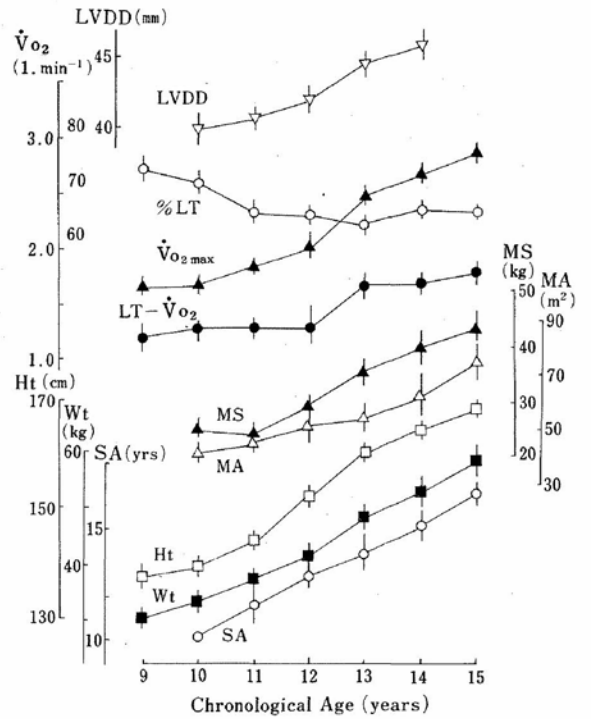


図1 The development of physical characteristics and some physiological parameters with chronological ages.

図2に暦年齢でみた時の各測定間の測定値の差が最大になる時期を各測定項目について個人ごとに示した。暦年齢すなわち物理的時間に対する各測定項目の発達速度は，身長と骨年齢の急増期が一致したのが9名中3名，1年のずれを示したのが4名，残り2名は両者が3～4年のずれを示した。 $\dot{V}O_{2max}$ は身長，骨年齢の急増に一致する者が3名，1年ずれる者が5名，左室拡張期径は一致する者が5名，先行する者が3名，おくれる者が1名であった。大腿の筋断面積との間では急増期の一致する者5名，1～3年おくれる者が4名，脚伸展力では一致する者が5名，おくれる者が4名であった。

また心臓の形態と $\dot{V}O_{2max}$ ，筋断面積と脚筋力の関係を見ると，前者では心臓の形態の増大が $\dot{V}O_{2max}$ の急増に先行する例が多かったが，後者につ

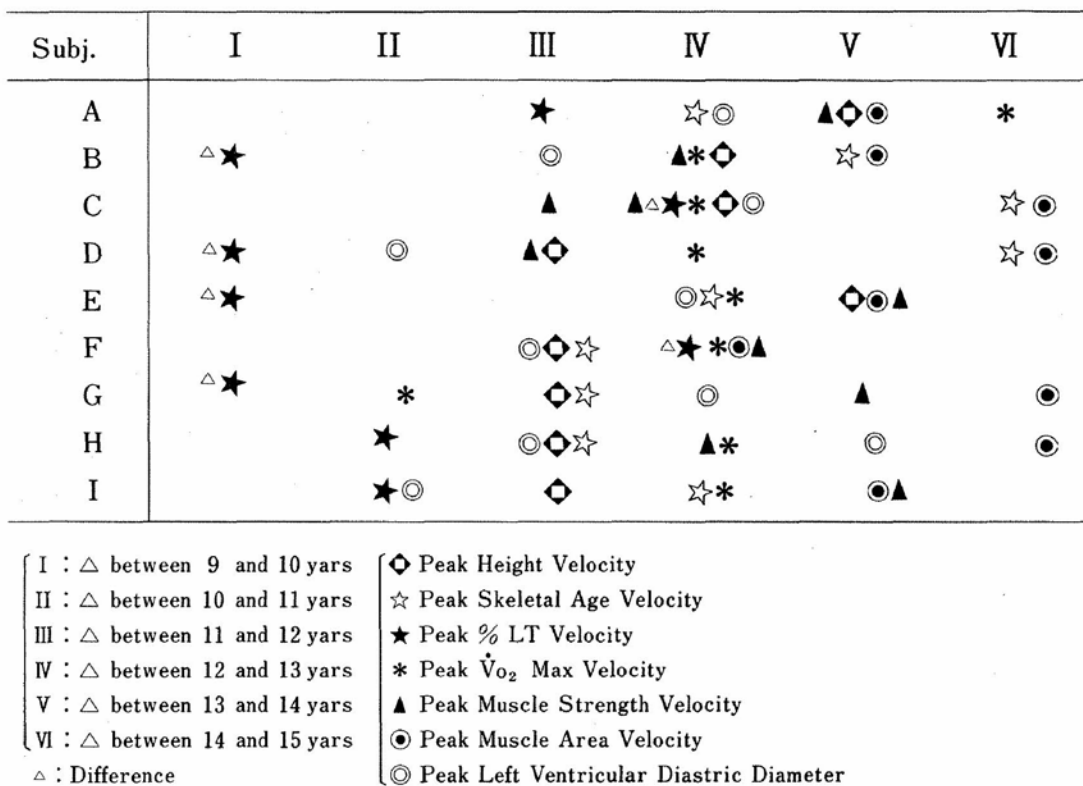


図2 The age appearing peak velocity for various physical characteristics and physiological parameters.

いては両測定値が一致する者が4名、筋力が先行する者が5名で、両者間の関係は異なった様相を示した。

次に各体力の構成要素の発達がすべて生理的な成熟度の指標と考えられている骨年齢に依存するかどうか、あるいは生理的成熟度で正規化した場合にいかなる発達の様相を示すのかについて検討を加えた。もしもその指標が骨年齢に依存するとすれば直線的関係を示し、骨年齢以外のホルモン分泌等の要因の影響があれば、骨年齢に対し発育の急増がみられるはずである。図3は骨年齢を横軸にして各測定項目を平均値でみたものである。骨年齢の11歳前、15歳以降を除いて、左室拡張期径、身長、体重、 $LT-\dot{V}O_2$ は骨年齢に対し直線的であった。 $\dot{V}O_{2max}$ 、脚筋断面積、脚伸展力は骨年齢14~15歳でやや増加が大きい傾向がみられ

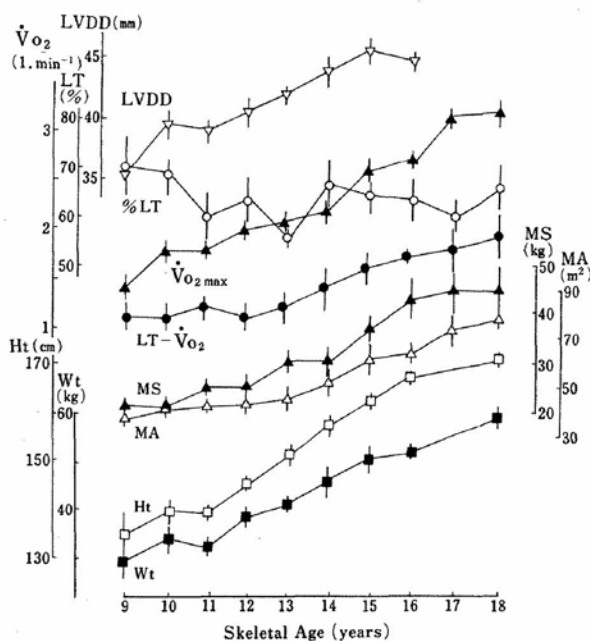


図3 The development of physical characteristics and some physiological parameters with skeletal ages.

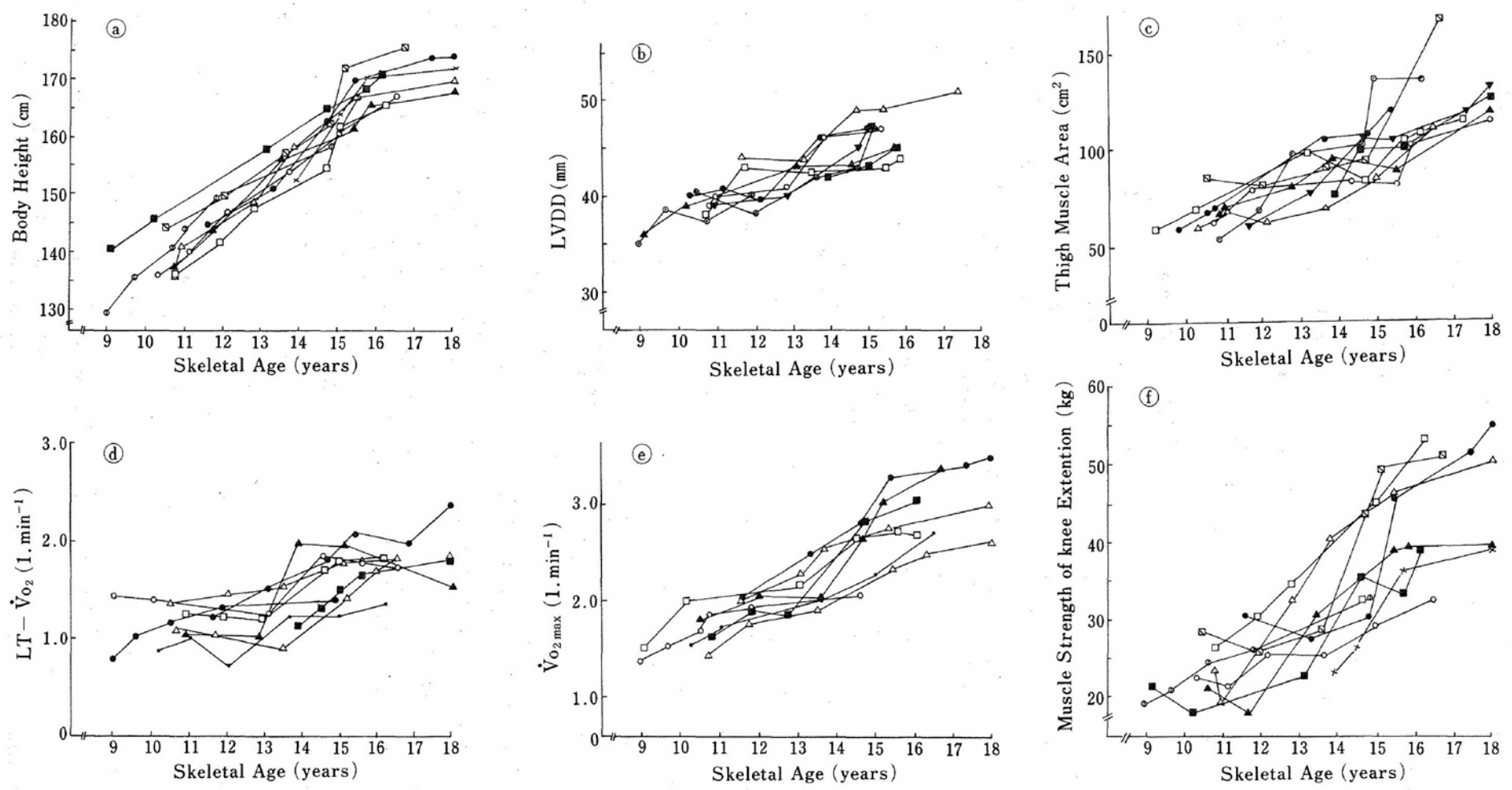


图4 Individual growth patterns of body height, left ventricular diastolic diameter (LVDD), the cross-sectional area of thigh muscle, lactate threshold (LT- $\dot{V}O_2$), $\dot{V}O_{2max}$ and the muscle strength of knee extension, with reference to skeletal ages.

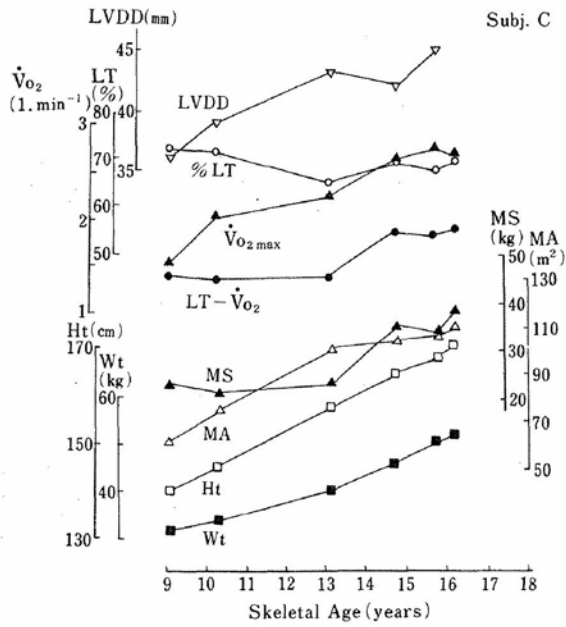
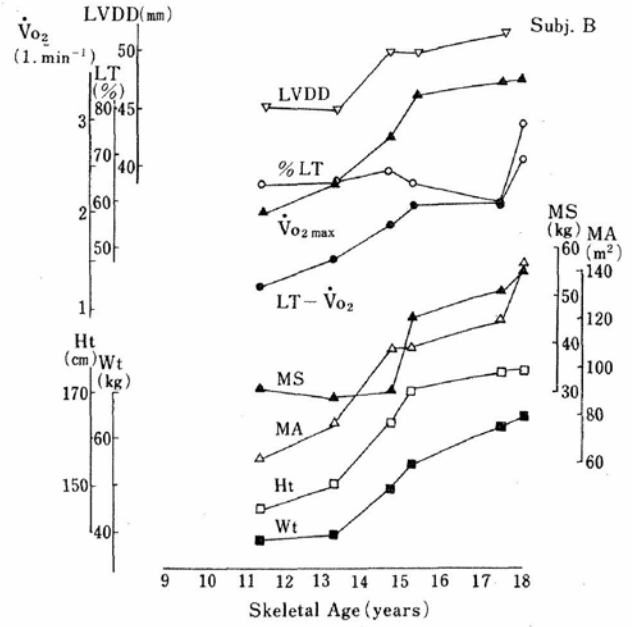
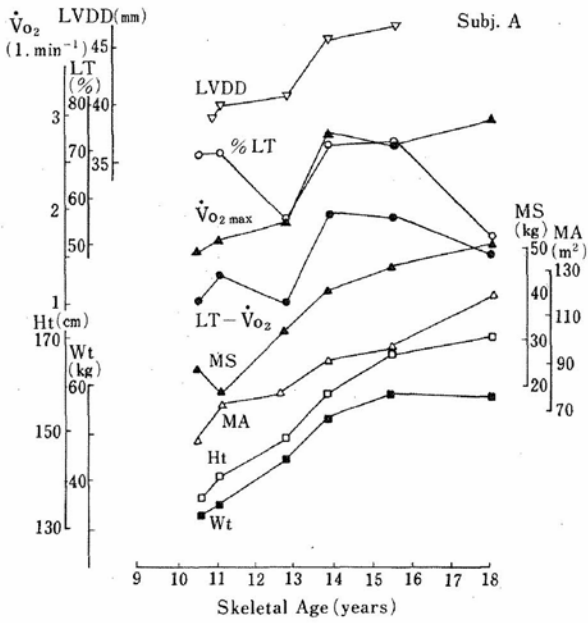


图 5 The comparisons of intraindividual growth patterns for various parameters for three different boys, with reference to skeletal ages.

た。これは暦年齢でみた場合と比べて1年ずれる。

そこで各測定項目について急増期があるのか、個人によってその急増期が13~14歳あるいは14~15歳の間に一致するのか、をみるために骨年齢を横軸にして身長、左室拡張期径、 $LT-\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}O_{2max}$ 、大腿筋断面積および脚伸展力についてみた(図4—(a)~(f))。身長は骨年齢に対してほぼ直線的に増加するが、9名中6名で13~16歳の間に身長の急増がみられ、2名はほとんどみられなかった。スポーツを示した者のうち4名は骨年齢の0.3~0.5年で身長5~10cmの急増が全員14.5~15.5歳の間にみられた。左室拡張期径についてみると急増が11歳前にある者2名、5名は13~14歳の間で、うち13~15歳にわたって増大する者が2名、14~15歳にかけてさらに急増する者が2名みられた。 $LT-\dot{V}O_2$ も左室拡張期径に似た様相を示した。これに対し、 $\dot{V}O_{2max}$ は13~15歳でほとんど全員に急増がみられた。大腿筋断面積は1人が13~14歳で、その他は14~17歳にかけて急増する傾向がみられた。脚伸展力は骨年齢11歳頃から直線的に増加する者(4名)と13歳までの増加は少なく13~15歳で急増する者(4名)とに分かれた。

次に骨年齢を基準とした時に、個人内で各測定値の急増時期が一致するかについて代表的な例3名について示した(図5—A, B, C)。Subj. Aでは測定値のほとんど全ての項目で急増が骨年齢13~14歳の間でみられた。Subj. Bでは、13~15歳の間で一致して急増がみられたが、左室拡張期径は13~14歳と先行し、 $\dot{V}O_{2max}$ は14~15歳でさらなる急増を示した。筋の発達も筋力の急増が13~14歳で先行し、その後筋横断面積が急増した。脚伸展力およびLTは17歳以降で再度急増がみられた。Subj. Cは身長に急増が全くみられない例で、脚伸展力、 $\dot{V}O_{2max}$ および $LT-\dot{V}O_2$ で13~15歳の間に急増がみられたが、その他は左

室拡張期径、%LT、大腿筋断面積および、体重はほぼ骨年齢に対し直線的かあるいは徐々にプラトーに近づく形での増大を示した。

このように骨年齢でも個人によって発達のパターンは異なった。しかし個人内では呼吸循環器系、筋系も同期化する傾向がみられた。さらに形態と機能の関係はほぼその急増期が一致する場合が多かったが、呼吸循環系と筋系では両者の急増期が逆になる傾向がみられた。

呼吸循環系および筋系の発達に比べてLTは末梢の筋の酸化能力をあらわすものと考えられるが^{1,3)}、LTの発達は前二者とはやや異った様相を示した。LTについてはすでに報告しているように、ランニングLTと下腿三頭筋に占める腓腹筋の占める比率との関係が、思春期発達の間どのように変化するかをみると(図6)、わずかに両者の間の関係が乱れる場合もあったが、LT%の発達にともなう関係は両者間の反比例的な直設関係の中で同じ傾向がみられることが明らかとなった。すなわち発達にともなうLTの増加あるいは

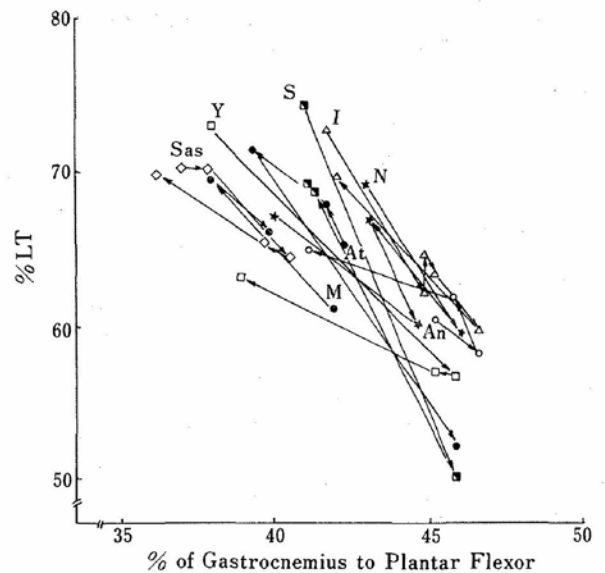


図6 Correlation between relative gastrocnemius area to plantar flexor and %LT (Lactate threshold/ $\dot{V}O_{2max}$ in $\dot{V}O_2$) through individual development. Arrows show the order of changes from 9 to 17 years of age.

減少は腓腹筋の相対比の減少，増大とほぼ対応した。このことはLTの変化が下腿の遅筋と速筋の発達によって影響されていることを示した。なおLTと $\dot{V}O_{2max}$ について個人間で縦断的に比較すると，思春期急増期にはLTの増大よりも $\dot{V}O_{2max}$ の増大の方が大きく，%LTはやや低下する傾向がみられるが，成人に近づくにつれて，もう一度その差が小さくなる者と，さらに大きくなる者とまったくかわらない者にわかれることが明らかとなった。

4. 考 察

思春期をはさむ子供の身体の発育発達は，暦年齢で見ると非常に個人差が大きい。暦年齢は必ずしも生理学的成熟度をあらわすものではない。そこで本研究では骨の化骨度から成熟度を測る骨年齢(TW 2 Method)⁸⁾を用いて呼吸循環系および筋系の体力要因の発達について縦断的測定から検討を加えた。

また身長は骨の長軸方向の発育を代表するものと考えられるので骨年齢に対する身長の急増(スパート)を成長ホルモンおよびテストステロンの急増期として推定した。骨年齢を横軸にして身長の急増する者が9名中6名みられた。またその急増する時期は全員で必ずしも一致していなかった。骨年齢に対する身長の急増がみられた者ではそのスパートに一致して左室拡張期径， $\dot{V}O_{2max}$ ，LTおよび大腿筋断面積の急増がみられた。それに比べて身長の急増のみられなかった2者ではこれらの体力構成要素の急激な変化は少なく，又思春期前後での $\dot{V}O_{2max}$ ，LT， $\dot{V}O_2$ ，大腿筋断面積および脚伸展力の変化分も小さかった。

思春期の身長の急増は成長ホルモンあるいはインシュリン様成長因子-1 (IGF-1, ソマトメジンC)を介しての成長ホルモンの作用によるであろうことが成長ホルモン欠損症やピグミー族の例から知られている⁷⁾。成長ホルモンの分泌は拍

動性でありかつ日内周期があるため思春期のスパートとの対応を示すのは24時間の追跡測定を行わねばならないが，IGF-1は思春期の身長の急増に対して一致した急増を示す^{2,6)}。

この成長ホルモンあるいはIGF-1を介しての作用は男性ホルモン(テストステロン)の急増と協調している。Parkerら⁶⁾はテストステロンが成長ホルモンの分泌の増大を介して血中IGF-1を増加させていることを示した。血清テストステロンは思春期初期には軟骨の成長を促進させることで身長を有意に増加させるように作用するが，思春期後期では骨端融合を急速に促進するので身長の増加に抑制的に働くことが明らかにされている⁷⁾。

本研究ではこれらのホルモン体測定をしていないが，骨年齢に対する身長の増加率の関係からこれらホルモンの影響を推定できるものと考えた。そして身長にスパートがみられた者では他の体力要因の増大も大きい傾向を示した。Kemperら⁴⁾が暦年齢に対して骨年齢が高い早熟の子供とその逆の成長が遅い子供の $\dot{V}O_{2max}$ の縦断的発達に比べ後者で成長終了後の体重当りの $\dot{V}O_{2max}$ が高いことを報告している。本研究では骨年齢に対する身長の急増がみられなかったものは成長の遅速とは関係がみられなかった。発育期における呼吸循環系と筋肉系の体力の構成要素を形態と機能の相互発達という点から検討した。思春期の身体の発育はまず形態を発達させ機能が追従するのか。本研究では呼吸循環系機能の指標として $\dot{V}O_{2max}$ ，その形態的要因として左室拡張期径を，筋機能として脚伸展力をその形態として大腿筋断面積を測定し関係をみた。同一個人内で縦断的に観察すると年に1回の頻度の測定の範囲内ではあるが，心臓の形態の発達は $\dot{V}O_{2max}$ の増大に一致するかもしくはやや先行する傾向を示したが筋力と筋断面積の間には必ずしも一致した傾向はみられなかった。脚伸展力は大腿の筋断面積が増加しても比例的に

増加を示さない例が思春期前期に数名みられたが、思春期後期にみられる $\dot{V}O_{2max}$ の増大と一致して増大を示すことから大筋群を用いる筋力発揮には総合的な身体の発育が重要なかもしれない。これらの関係についてはさらに詳細な検討が必要である。

乳酸性作業閾値 LT は作業筋の酸化能力と非常に高い相関を示す。Atomi ら¹⁾のランニングの LT も同様に遅筋線維の多いヒラメ筋の下腿三頭筋に対する比率が高いと(腓腹筋比 (G/PF) が低いと)、高いことを示した。この G/PF 比は思春期前の 9~11 歳で急落を示す者がみられることをすでに報告しているが、本研究ではその後の思春期の発育期においても増減を示すこと、特に $\dot{V}O_{2max}$ との相対値でみた %LT の増減はこの下腿三頭筋の組成 (G/PF) との間で負の関係を示しながら変化することが明らかになった。酸素摂取量の絶対値でみた LT- $\dot{V}O_2$ は骨年齢 13~15 歳にかけて急増を示すが、多くの者でこの増加分以上に $\dot{V}O_{2max}$ が増加するため LT% は思春期のスパート後減少する者が多かったが、最終的には個人の G/PF 比に依存する傾向を示した。生物学的には身体の各組織の形態は遺伝的に決定されると考えられるので、特に激しい運動トレーニングを行っていない本研究の被検者の LT の高低は本人の遺伝的特性によるものと考えられた。

5. まとめ

本研究では思春期をはさむ身体および体力の発育を骨年齢を指標にしながら縦断的に観察した結果、骨年齢に対する身長の上昇がみられる者ではその時期に一致して呼吸循環系能力および脚筋の発達の増大がみられることが明らかになった。筋力についてはやや異った傾向がみられた。スパートのみられない者の少数は体力要因の変化幅も少なかった。これらについてはさらに詳細に検討する必要がある。

文献

- 1) Atomi, Y., T. Fukunaga, H. Hatta, Y. Yamamoto; Relationship between lactate threshold during running and relative gastrocnemius area, *J. Appl. Physiol.*, **63**, 2343-2347 (1987)
- 2) Bala, R. M., J. Lopatka, A. Leung, E. McCoy, R. G. McArthur; Serum immunoreactive somatomedin levels in normal adults, pregnant women at term, children at various ages, and children with constitutionally delayed growth, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **52**, 508-512 (1981)
- 3) Ivy, J. L., R. T. Withers, P. T. Van Handel, D. H. Elger, D. L. Costill; Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold, *J. Appl. Physiol.*, **48**, 523-527 (1980)
- 4) Kemper, H. C. G., R. Verschuur, J. W. Ritmeester, Maximal aerobic power in early and late maturing teenagers, *Int. Series Sports Sci.*, Vol. 17, 'Childrens and Exercise' XII. (Edited by J. Rutenfranz, R. Mocellin, and F. Klimt.) p. 213-225 (1986) Human Kinetics Publishers.
- 5) Kobayashi, K., K. Kitamura, M. Miura, H. Sodeyama, Y. Murase, M. Miyashita, H. Matsui; Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study, *J. Appl. Physiol.*, **44**, 666-672 (1978)
- 6) Parker, M. W., A. J. Johanson, A. D. Rogol, D. L. Kaiser, R. M. Blizzard; Effect of testosterone on somatomedin-C concentration in prepubertal boys, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **58**, 87-90 (1984)
- 7) Preece, M. A. Prepubertal, pubertal endocrinology; in Human Growth (Edited by F. Falkner, J. M. Tanner), p. 211-225 (1986) Plenum Press, New York.
- 8) Tanner J. M., Whitehouse R. H., Marshall W. A., Healy M. J. R. and Goldstein H; Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW-2 Method), Academic Press (1975)
- 9) 山本順子, 跡見順子, 八田秀雄; 9~12 歳男女児の Ventilation Threshold と Lactate Threshold, *体力科学*, **34**, 211-217 (1985)