

骨成熟と顎顔面頭蓋の成長に関する研究

両 川 弘 道

新潟大学歯学部歯科矯正学教室（主任 福原達郎教授）

（昭和50年11月4日受付）

Relative Growth Study on the Craniofacial Structure and Bone Maturation

Hiromichi RYOKAWA

*Department of Orthodontics, Niigata University School of Dentistry
(Director: Prof. Tatsuo Fukuhara).*

目 次

- I 緒 言
- II 資料および研究方法
 - 1. 資 料
 - 2. 研 究 方 法
- III 計 測 結 果
 - 1. BMI と 暦 齢 と の 関 係
 - 2. BMI と 身 長, 顎 顔 面 各 部 と の 関 係
 - A. BMI と 身 長 の 関 係
 - B. BMI と 前 頭 蓋 底 部 の 関 係
 - C. BMI と 上 顎 骨 長 の 関 係
 - D. BMI と 下 顎 骨 長 の 関 係
 - E. BMI と 下 顎 枝 高, 下 顎 骨 体 長 の 関 係
 - 3. BMI 増 加 に 伴 う 身 長 お よ び 顎 顔 面 頭 蓋 各 部 の 関 係
 - 4. BMI と facial diagram について
- IV 考 察
 - 1. 資 料 について
 - 2. BMI と 暦 齢 について
 - 3. BMI と 身 長, 顎 顔 面 頭 蓋 各 部 と の 関 係
 - 4. い わ ゆ る 晩 期 成 長 (maturation changes) について
 - 5. 本 研 究 の 今 後 の 方 向 について
- V 結 論

I 緒 言

歯科矯正学の分野において、顎顔面頭蓋の成長発育に関する研究は、その臨床における診断、治療方針、治療開始時期の決定をはじめとくに予後の判断をめぐる成長の予測などにとって、必要不可欠のものである。

このため古くから多くの研究者が様々な手段、方法によって追究をすすめてきた。とくに、後に述べるように、1931年のBroadbentあるいはHofrathらによる頭部X線規格写真計測学(roentgenographic cephalometrics, 以下cephalometricsという)の開発は、単に診断学の確立にとどまらず、顎顔面頭蓋の成長発育研究に画期的な役割を演じたのである。

勿論、顎顔面頭蓋や歯列の成長変化の研究は、歯科矯正学の分野に限らず古くから人類学や解剖学をはじめ、多くの生物学的領域において進められてきたことは言うまでもない。

すでに18世紀前半にBelchierやDuhamelが有機染料が骨組織に対する特異な反応を示すことから生体染色法を採用した。約30年の後、Hunterは茜草(madder feeding)による豚の下顎骨に対する生体染色の研究を行っている。これと同成分のAlizarin Red SをSchour, Massler¹⁾らが顎顔面部の成長研究に取入れたのは1930年代の

ことである。ほとんど同じ時期に、岡田、三村²⁾らによって発表された酢酸鉛による生体染色法は、時刻描記線が永久的であることから、画期的な発見として、この分野の研究に大きく貢献した。顎骨の実験成長学的研究としては、小森³⁾らの研究にその成果が表われている。また最近では、autoradiography による研究も進められ、下顎関節頭の発育変化について野口⁴⁾らの業績が発表されている。

しかし、これらの方法はすべて実験動物におけるものであり、ヒトの顎顔面歯列の成長の量的把握については、古くは主として生体計測法⁵⁾がその主流をなしていた。この方法は、生体の各部位の計測を軟組織上の計測点によって求めるものである。次いで顎顔面と歯列との立体的観察を可能にした Simon⁶⁾の顎態計測は、不正咬合の臨床診断上の目安を与えはしたが、厳密な計測による成長の量的変化を捕えるには至らなかった。

歯科矯正学の領域での成長研究が最も盛んになってきたのは、cephalometrics の開発が進められてからである。この方法の特徴は、同一被験者に対して、常に一定の規格された条件のもとに顎顔面歯列のレントゲン写真（以下 cephalogram という）を撮影することにある。ある個体について、現時点で撮影した cephalogram と一定期間後、同一条件でとった cephalogram との両者に差異があれば、殆んどそれはその個体の成長発育による変化量と考えられるわけである。

さて、Brodie^{7,8)}によって始められた cephalometrics による成長研究は、歯科矯正学の領域では極めて膨大な量にのぼっている。なかでも、Nanda⁹⁾, Bambha¹⁰⁾, Harris¹¹⁾, Irie¹²⁾, 日置¹³⁾, Singh¹⁴⁾, Fukuhara¹⁵⁾, Thompson¹⁶⁾らのものは、顎顔面形態と身長などの成長との関係を扱っている。これらの研究は、顎顔面頭蓋各部の成長が、身長とほぼ類似した経過をとることを示唆している。また、cephalometrics による顎顔面各部の成長変化についての情報は、人種間の差異をかなり明確に浮彫りにしたし、またある集団やそれぞれの年齢群についての横断的平均成長 (average growth) については、ほとんど知りつ

くされた観がある。生体の成長は顎顔面部に限らず、すべて遺伝的情報はもとより、栄養・ホルモンなどの環境的な多数の情報が相互的に集積されたものであり、したがって、average growth は、理論的には同一種内における大まかな成長の様相を物語るのみである。

特定の個人についての予測に関して、中田¹⁷⁾によれば、顔の形の予測は、子供の身長、性別、および年齢だけの情報による場合 64.4%まで可能であり、これに、親についてのそれらの計測値を加えると 71.7%に上昇し、さらに親の cephalometrics での数種の計測値を加えると 80%までの予測が可能であるとしている。とはいえ、矯正臨床において最も必要とされる特定の個人の将来の成長予測に対しては、これらの遺伝的情報も average growth の資料も、必ずしも具体的には有効ではない。それほどに個体の成長、つまり個成長 (individual growth) とは変異にとんだ個性的なものであるといえよう。

Individual growth study の各個体間の比較にみられるこの大きな変異は、実は個体内の growth change を、成長に直接関連のない暦齢を scale にする研究方法（絶対成長研究法、absolute growth study）でみるものが大きく関与していると思われる。

Absolute growth study では、年齢に対する函数として、その変数が求められてきたが、この天文学的時間 (chronological time) を潜在要因 (latent factor) の範囲におさえ、生体の一部または全部と、その他の部分との相対的成長を研究する方法がここに、新たに登場してくる必然性があった。この相対成長 (allometry, relative growth) の概念は、Huxley (1932年) や Teissier (1934年) により、研究されたものであり、 x, y をそれぞれ生体の部分とすれば、

$$y = \beta x^{\alpha}$$

という allometry の式が成立することを発表している。後に Thompson¹⁸⁾ (1942年) は、これらの間に簡単な一次方程式

$$y = ax + b$$

が成立することを示唆した。すでに、Shepherd

19) (1949年)らは、生体計測法により、ロンドン市内に在住する850人の生後2日目から20歳までの男子の身長と下顎骨体長の間、 $y=0.045x+39.80$ の関係があることを発表している。松本²⁰⁾は、cephalogram 上での顎顔面頭蓋各部と身長との相対成長について研究し、前頭蓋基底部 (Sella-Nasion), 上顎骨 (Ptm'-A') および下顎骨 (Condylion-Gnasion) との間、Shepherdらと同様な所見を発表した。また、この身長と顎顔面頭蓋各部、とくに下顎との相対成長に関する臨床的応用の可能性について Fukuhara²²⁾ が言及している。

これら相対成長研究の特徴は、同一個体内の x および y が、両対数図表ないしは、通常が目盛図表の上で、直線関係を保つことであり、例えばある時点での cephalogram 上の変量 y_1 と、適当な時期ののちにとられた y_2 とから、 y_3 が理論的には推定できるであろうということである。もっともこの相対成長による研究の欠点は、時間を latent factor におさえるため、実際に臨床に応用するに当たって、やはり、“何時” その変化 y_3 がおこるかという、時間的 factor が不明確であるという点である。

一方、成長量の変化についての研究において、さきにあげた chronological time に対し、より生物学的な scale として、bone age, dental age などがあげられている。骨の成熟過程が、生体の成長と密接な関連をもつことは十分に予想されるところであり、解剖学者はもとより広く臨床家達によっても追究されている²³⁻³²⁾。つまり骨も、他の器官や臓器同様、形態的にも機能的にも変化してゆくものであり、殊に骨の成熟ないし老化という現象は、当然、骨の生理的あるいは生化学的「ふるさ」を示すものといえよう。これは、いわゆる時間的ふるさ、つまり chronological time とは別個のものとして取扱われるべきものである。従って、個体の成長を考えるに当たって、骨年齢が暦齢に対して相応の成熟を示しているか否かは、重要な評価基準になる。興味あることは、同一個体であっても、種々の骨核は等しく一様な tempo での化骨過程をとるものではなく、ある

骨核はより早く、また他の骨核はより遅く化骨現象を示すという事実である。この化骨現象の時差は、生体の成熟度を示す骨年齢の重要な点であり、手腕部における骨の成熟度も例外ではない。著者は、この点に着目して、顎顔面頭蓋の成長についての従来の相対成長研究を補完するため、手腕部の骨年齢、なかんずく種子骨、豆状骨の化骨を含め、骨の成熟度を直接表示する新たな評価法を考え、これら骨成熟度指数、Bone Maturity Index (以下 B. M. I. と略す) を scale として採用することにより、顎顔面頭蓋の成長および予測について、興味ある知見を得たので報告する。

II 資料および研究方法

1. 資料

新潟県中魚沼郡において隣接する川西町および中里村の小学校1年生より中学3年生までの約400名を被験者として選んだ。これらについて、咬合位の cephalogram と右手腕部レントゲン写真を撮影し、また口腔石膏模型を採得した。それらの中から、前歯部が前突し、また被蓋の反対なるものと、資料の不備なものを除き、男子175名、女子169名のものを本研究の cross sectional な資料とした (Fig. 1)。

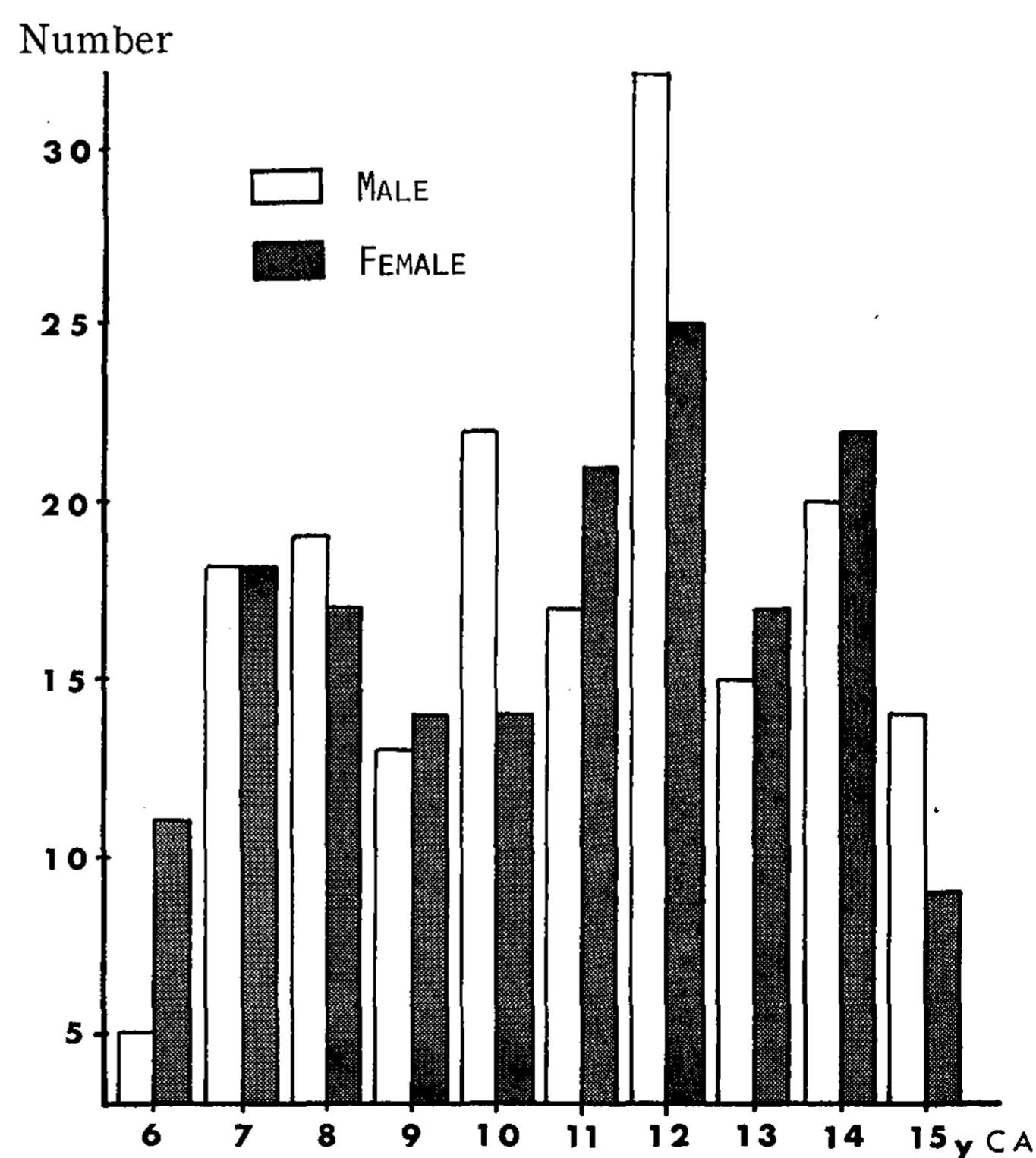


Fig. 1 Age distributions of the sample: white: males, black: females

撮影条件は、cephalogram については、日立コンデンサー式頭部X線規格写真撮影装置を使用し、富士 film, Rx-S, 増感紙 FS, 手腕部レントゲン写真では、撮影台を作り、歯科用レントゲン装置（モリタ製 max-D）の管球から 1 m の距離に右手の掌手をカセットに押しつけた状態で、60Kvp, 10mA, 0.5sec 放電した。富士 film Rx, 増感紙 FS を使用した。

現象は一定の条件下で行なうために、自動現像機、富士 pakorol を使用した。

2. 研究方法

A. cephalogram 計測方法

Cephalogram の上に貼付した acetate film 上に尖鋭な鉛筆で12個所の計測点を設定した。これらの計測点は、顎顔面頭蓋の形態を解剖学的に表わすものとして、従来の研究において広く活用されているものである³³⁻³⁸。

Sella turcica (S), Nasion (N), Anterior nasal spine (ANS), Posterior nasal spine (PNS), Subspinale (A), Supramentale (B), Maxillary incisor (U_1), Mandibular incisor (L_1), Pogonion (Pog), Menton (Me), Gonion (Go), Articulare (Ar)。

計測方法は、新潟大学歯学部附属病院所蔵の頭部X線規格写真自動分析装置（大沢商会製）により、S-N を結ぶ直線を X 軸とし、S を通り X 軸に垂直な直線を Y 軸とし、各点を座標変換し、前頭蓋底長 (S-N)、上顎骨長 (ANS-PNS)、下顎骨体長 (Ar-Pog)、下顎骨長 (Ar-Go)、下顎枝高 (Go-Me) の各距離を求めた (Fig. 2)。

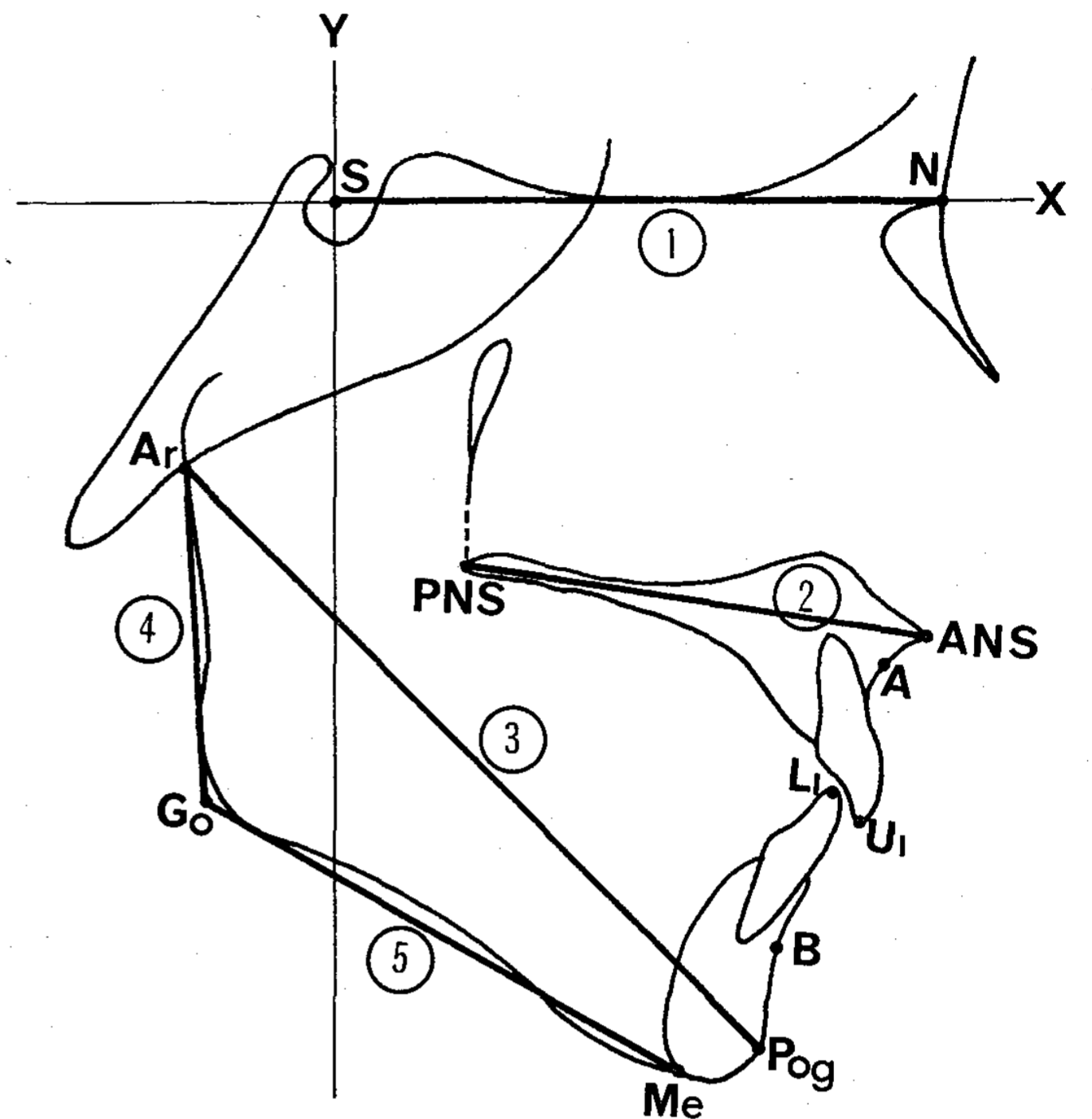
B. Bone Maturity Index (BMI) 計測方法

手腕部の各骨の score は、大和田・Sutow³⁹、松浦・中沢⁴⁰ の日本人骨格成熟標準に従い算定した。これは次に示すように、骨端核を 0~10 点の 11 段階、手根骨（円形骨）を 0~5 点の 6 段階に分けたものである。

〔骨端核〕

0：骨核未出現

1：小円形の陰影として出現（骨核出現時期に相当する）



LINEAR

- ① S—N ② ANS—PNS ③ Ar—Pog
④ Ar—Go ⑤ Go—Me

Fig. 2 Five linear measurements and landmarks.

- 2：1の段階より分化するが、まだ骨核の固有の形態をとらない。
3：核固有の分化が始まる。
4：さらに進んでその輪郭に凹凸を生ずる。しかし核の幅は骨幹の幅より小さい。
5：両者の幅が一致する。
6：骨核の骨核に対する縁が垂れ下っていわゆる“capping”の始まる時期。ただしその間に空隙を残す。
7：その距離が縮少して、2平面が平行状態となり鋸状を呈する。
8：両者の融合が始まるが、まだ完成しない時期。
9：融合が完成したとき、いまだ明確な相連続した横線を認める。
10：融合完成した成人の骨。
〔手根骨（円形骨）〕
0：骨核未出現
1：小円形の陰影として認められる。
2：まだ共通な滑かな円形を呈す時期で、1よりは一層分化した時期。

- 3 : 核固有の形態を示し始め, 多少の凹凸を生じてくる。
- 4 : 核固有の分化がさらに進み, 隣接骨との関節面が明瞭となってくる。
- 5 : 成熟完成した時期で互に重なり合ったようにみえる。

本研究では, 尺骨遠位骨端核 (distal epiphysis of the ulna), 第 I ~ 第 V 指末節骨 (epiphysis of distal phalanx) を除く, 24 箇所を算定した。母指尺側種子骨 (sesamoid of adductor pollicis) は円形骨の score の 2 倍の点数を与え加重し, 骨成熟完了時の骨点数総計が 200 点となるようにした。すなわち, a から p までの 16 箇所については各 10 点を与え, q から x に至る 8 個については各 5 点を与え, これを合計し, 2 で除した値を % とした。

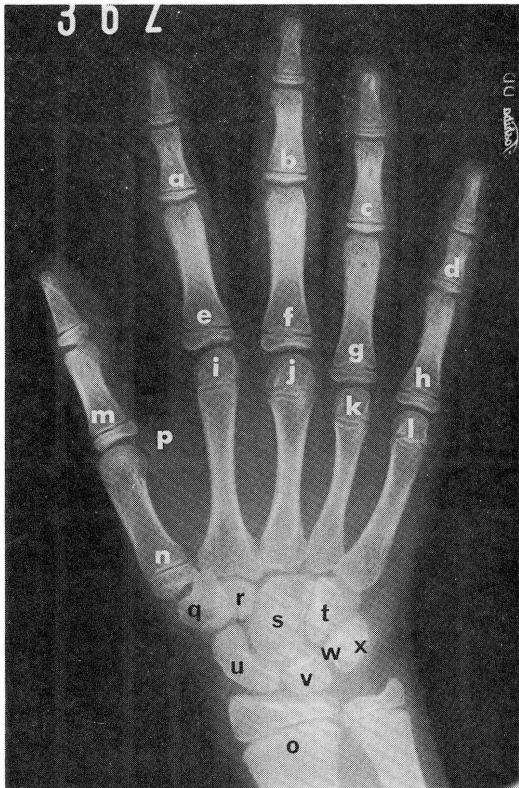


Fig. 3 Radiographic survey of right hand. Abbreviations shown in Tab I.

$$\text{Bone Maturity Index (BMI)} = \frac{\text{Total score}}{2} (\%)$$

C. 統計処理

各計測値について, HITAC 8350, Fortran 水準 7000, XY プロッターを用い, 通法に従い統計処理を行った。

Table I. Survey of Bone Maturation Index (BMI). Score

(0-10) 点

- a : epiphysis of middle phalanx of the second digit (第 2 中節骨)
- b : epiphysis of middle phalanx of the third digit (第 3 中節骨)
- c : epiphysis of middle phalanx of the fourth digit (第 4 中節骨)
- d : epiphysis of middle phalanx of the fifth digit (第 5 中節骨)
- e : epiphysis of proximal phalanx of the second digit (第 2 基節骨)
- f : epiphysis of proximal phalanx of the third digit (第 3 基節骨)
- g : epiphysis of proximal phalanx of the fourth digit (第 4 基節骨)
- h : epiphysis of proximal phalanx of the fifth digit (第 5 基節骨)
- i : epiphysis of the second metacarpal (第 2 中手骨)
- j : epiphysis of the third metacarpal (第 3 中手骨)
- k : epiphysis of the fourth metacarpal (第 4 中手骨)
- l : epiphysis of the fifth metacarpal (第 5 中手骨)
- m : epiphysis of the proximal phalanx of the first digit (第 1 基節骨)
- n : epiphysis of the first metacarpal (第 1 中手骨)
- o : distal epiphysis of the radius (橈骨)

(0-5) 点 × 2

- p : sesamoid (種子骨)

(0-5) 点

- q : trapezium (大菱形骨)
- r : trapezoid (小菱形骨)
- s : capitate (有頭骨)
- t : hamate (有鈎骨)
- u : scaphoid (舟状骨)
- v : lunate (月状骨)
- w : triquetral (三角骨)
- x : pisiform (豆状骨)

III 計測結果

1. BMI と暦齢との関係

この両者の関係を把握するために、各年齢における BMI の平均値を図示した (Fig. 4)。男子では BMI 30%から 50%に至るまでに約 5 年かかるが、その後急激に増加の傾向を示し、55%から 75%に増加するのは 12歳から 13歳迄のほぼ 1 年間である。また、Table II における 12歳の被験者の 32 人については、BMI の最小値 38.0%、最大値 77.5%と range も大きく、この時期が最大思春期性発育期 (puberal growth spurt) であることを示している。図の矢印 P は豆状骨 (pisiform) の出現、S は母指尺側種子骨 (sesamoid) の出現、S' は sesamoid の完成を示す。

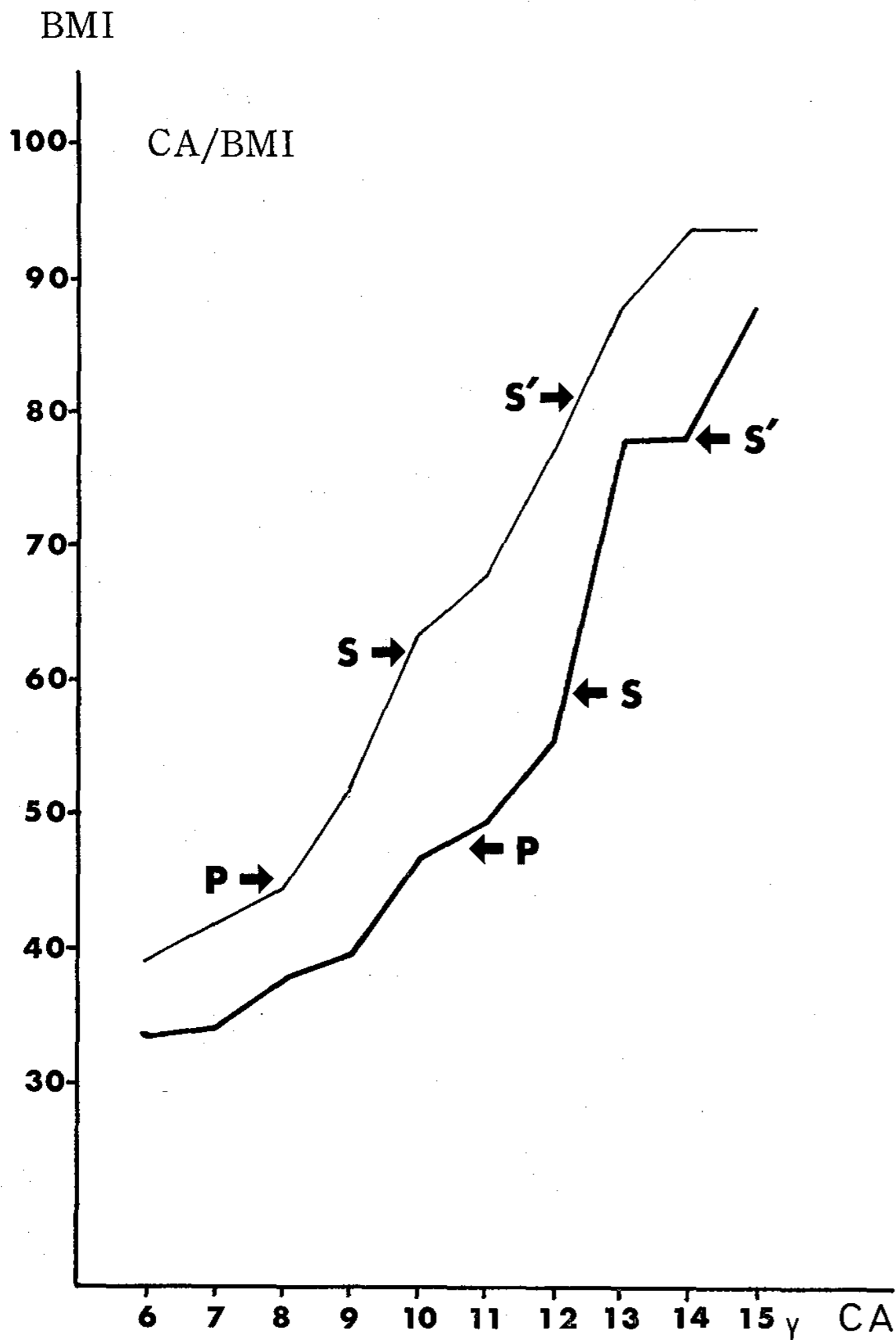


Fig. 4 Ossification and maturation times of pisiform and sesamoid in relation to the BMI and chronological age.
 P: Ossification of pisiform.
 S: Ossification of sesamoid.
 S: Maturation of sesamoid.

47.17%で pisiform が出現し、以後 BMI の増加を認めた。Sesamoid は 59.64%で出現し 78.58%で完成直前に至ることから、この期間中に BMI が約 20%程度急激に増加したことになる。この後 13歳から 14歳に至る間、一時停滞し以後再び増加した。

一方、女子では男子ほどの停滞や急増加は認められず、8歳から 10歳の間、BMI は 45%から 65%に、11歳から 13歳の間、75%から 95%にわずかに大きな増加を示すだけである。全体に女子の BMI は、同年齢の男子のそれより 10~20% 凌駕している。BMI 45.19%のとき pisiform が出現し、sesamoid の出現は 62.17%のとき始まり 81.14%の頃完成直前を示した。

先に述べた 2 度のわずかに大きな増加のうち、はじめの 45%からの増加は pisiform の出現と同

Table II. Distribution of BMI (%) with chronological age groups.

MALE									
Years	BMI 21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100 (%)	Total
6	5								5
7	2	15	1						18
8		15	4						19
9		7	6						13
10		1	16	3	1				21
11			10	6	1				17
12		1	12	9	5	5			32
13			1			8	6		15
14			1		2	12	4	1	20
15						2	5	7	14

FEMALE									
Years	BMI 21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100 (%)	Total
6		5	6						11
7		2	15	1					18
8			15	2					17
9			6	6	2				14
10			1	4	5	4			14
11				5	9	6			20
12				2	2	13	4	4	25
13						3	6	8	17
14							6	16	22
15							2	7	9

時であり，2度目の75%~95%の増加のうちで75%は sesamoid の出現，95%はこれの完成直前のそれぞれ1年前に相当する。

2. BMI と身長，顎顔面各部との関係

両者の関係についての概略を知るため，以下に示す統計学的検討を行った。

A. BMI と身長の関係

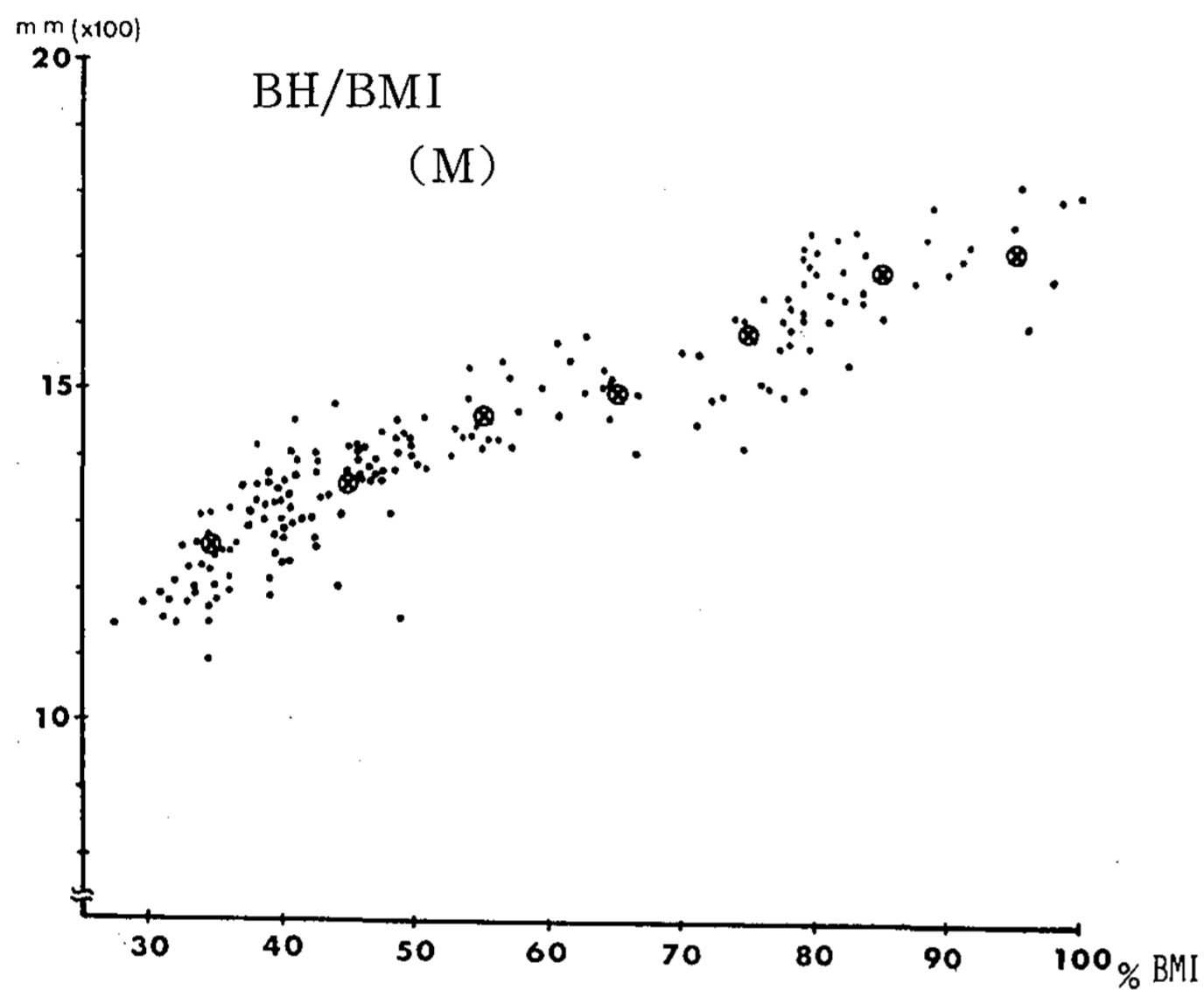


Fig. 5 Correlation of stature and BMI (%) in male samples.

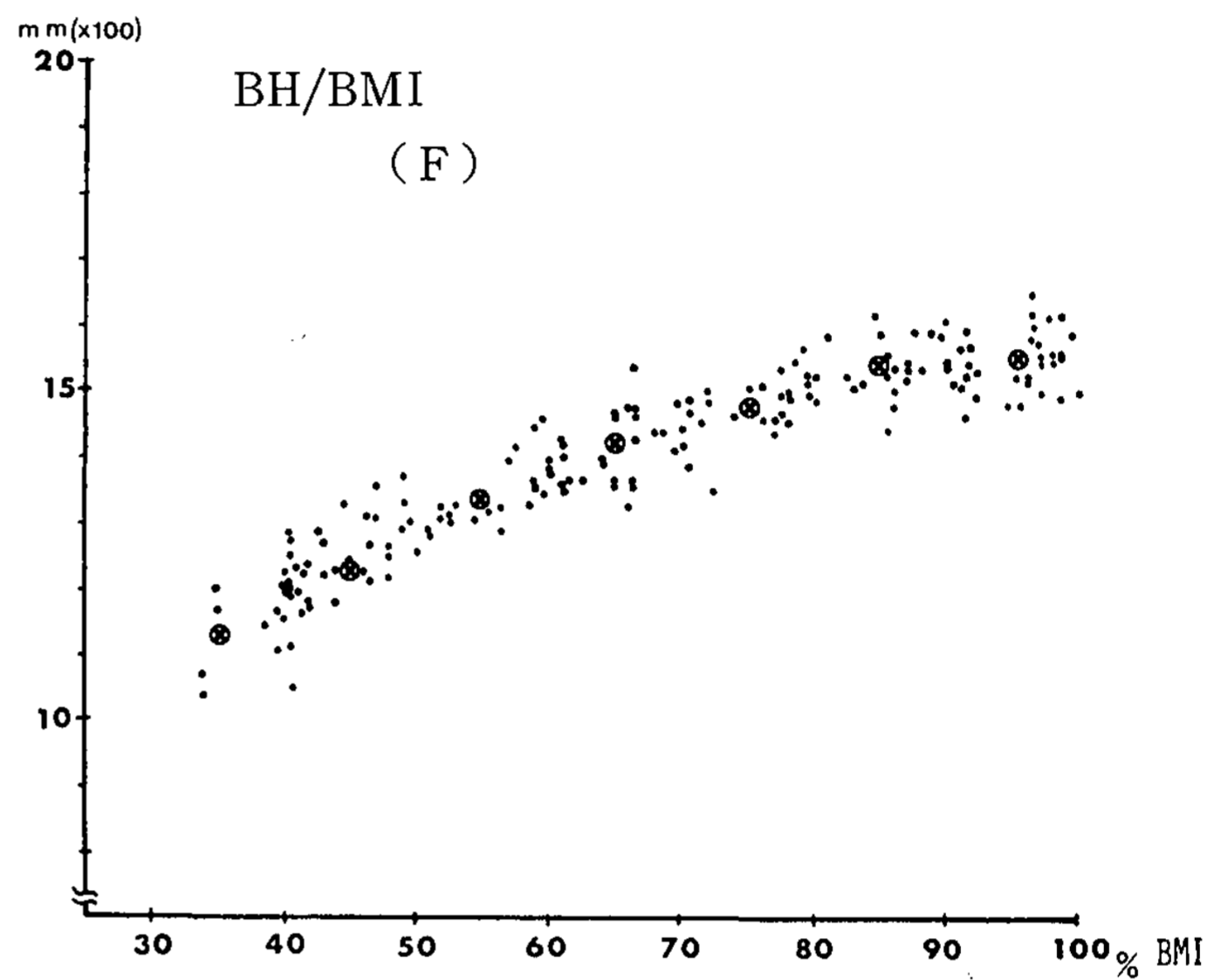


Fig. 6 Correlation of stature and BMI (%) in female samples.

Table III. Allometric equations of Body Heights and other measurements in relation to the BMI. High correlation coefficient (r) in body height and mandibular length (Ar-Pog) in relation to BMI. Significance at 0.1% level.

MALE

	Regression line	Standard error of Y	Correlation r	Correlation ratio "	Significance of linear correlation
BH	$Y = 990.43 + 7.90X$	63.64	0.92	0.91	$r - \eta < S\delta$
SN	$Y = 62.51 + 0.10X$	2.91	0.57	0.56	//
ANS-PNS	$Y = 43.67 + 0.14X$	2.65	0.70	0.69	//
Ar-Pog	$Y = 84.82 + 0.36X$	4.06	0.86	0.84	//
Ar-Go	$Y = 32.79 + 0.20X$	3.52	0.74	0.75	//
Go-Me	$Y = 55.29 + 0.24X$	3.80	0.77	0.76	//

FEMALE

BH	$Y = 956.61 + 6.59X$	52.75	0.93	0.93	$r - \eta < S\delta$
SN	$Y = 60.31 + 0.09X$	3.11	0.51	0.52	//
ANS-PNS	$Y = 43.43 + 0.10X$	2.56	0.63	0.61	//
Ar-Pog	$Y = 83.44 + 0.28X$	4.45	0.79	0.78	//
Ar-Go	$Y = 32.94 + 0.15X$	3.58	0.66	0.64	//
Go-Me	$Y = 54.63 + 0.18X$	3.75	0.71	0.71	//

な集中や分散の傾向は少ない。また BMI 60%に相当する身長は平均は 130cm である。

男女とも、相関係数は 0.92, 0.93 と極めて高い値を示した。また身長 (y) と BMI (x) の allometry の regression の式で明らかのように同じ程度の BMI においても常に男子は女子よりもほぼ 10cm 程度凌駕している。

B. BMI と前頭蓋底部の関係

身長の場合と異なり、相関は著しく低く、両者の間には関係が殆んどない。Regression line も男子の $y=62.51+0.10x$ で示すように BMI (x) の増加に対して、前頭蓋底長 (y) は殆んど変化しない。

C. BMI と上顎骨長の関係

前頭蓋底部との場合に比してやや高い相関係数を示すものの、BMI の増加と上顎骨長の長さとは相対性を殆んど示さず、特に女子では、 $y=43.42+0.10x$ に示されるように、前頭蓋底部と全く同じ傾向にある。

D. BMI と下顎骨長の関係 (Fig. 7, 8)

男女ともに、身長について高い相関を示し、相関係数はそれぞれ 0.86, 0.79 であった。BMI との相対成長係数も、男子で 0.36, 女子で 0.28 であり、BMI score 10% 上昇ごとに 3.6mm ないし 2.8mm の下顎骨長の増加がみられることを示している。

E. BMI と下顎枝高, 下顎骨体長の関係

両者ともに、下顎骨長よりは低い相関係数を示し、男子ではそれぞれ 0.74, 0.77, 女子では、それぞれ 0.66, 0.71 であった。相対成長係数も殆んど類似の傾向を示し、男子で 0.20, 0.24, 女子で 0.15, 0.18 であった。

3. BMI 増加に伴う身長および顎顔面頭蓋各部の関係

統計学的立場からみた BMI と身体各部の相関関係はすでに述べたとおりであるが、ここでは、さらに BMI の変動がいかに身長その他の部分の成長と関連するかを検討した (Fig. 9, 10)。

図の下段の上方に向った黒い矢印は sesamoid の出現期を示し、下方に向っているのはその完成期を示す。また女子における中ぬきの矢印は pisiform の出現期を示す。

BMI 10% ごときの増加に伴う身長をはじめとする各部の増加量を示したものであるが、男女間の性差は一見して明らかである。

男子の場合身長の増減は特徴的である。BMI 40% から 60% にかけて漸次減少し、60% の時に最低値を示すが、この時期にほぼ一致して sesamoid の出現がはじまり、80% に至るまで再び身長の増加がある。80% の時点が sesamoid の完成期に相当し、それまで増加していた身長は急激に減少し、次第に終極点を指向する傾向を示す。

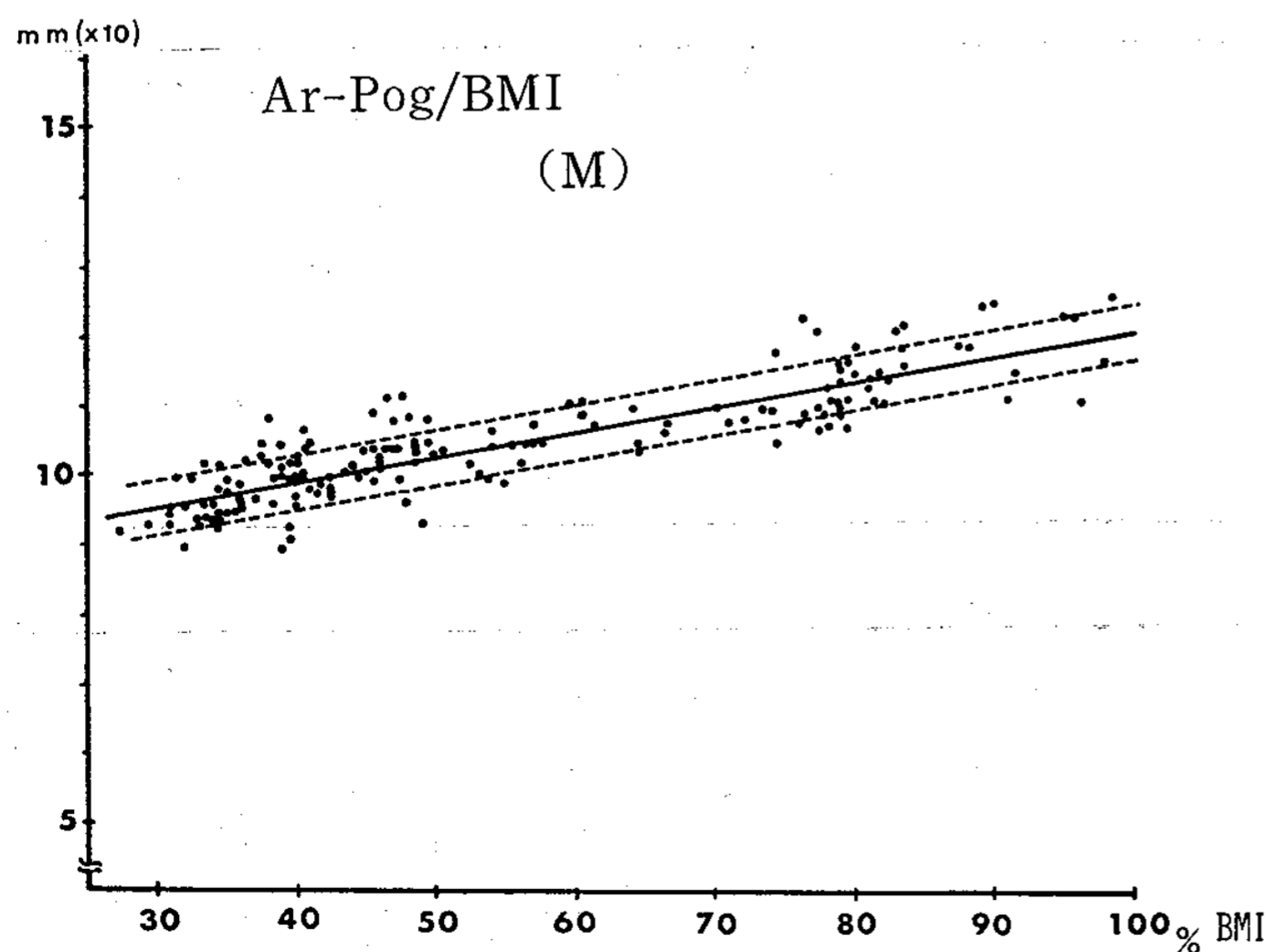


Fig. 7 Correlation of mandibular length and BMI (%) in male samples.

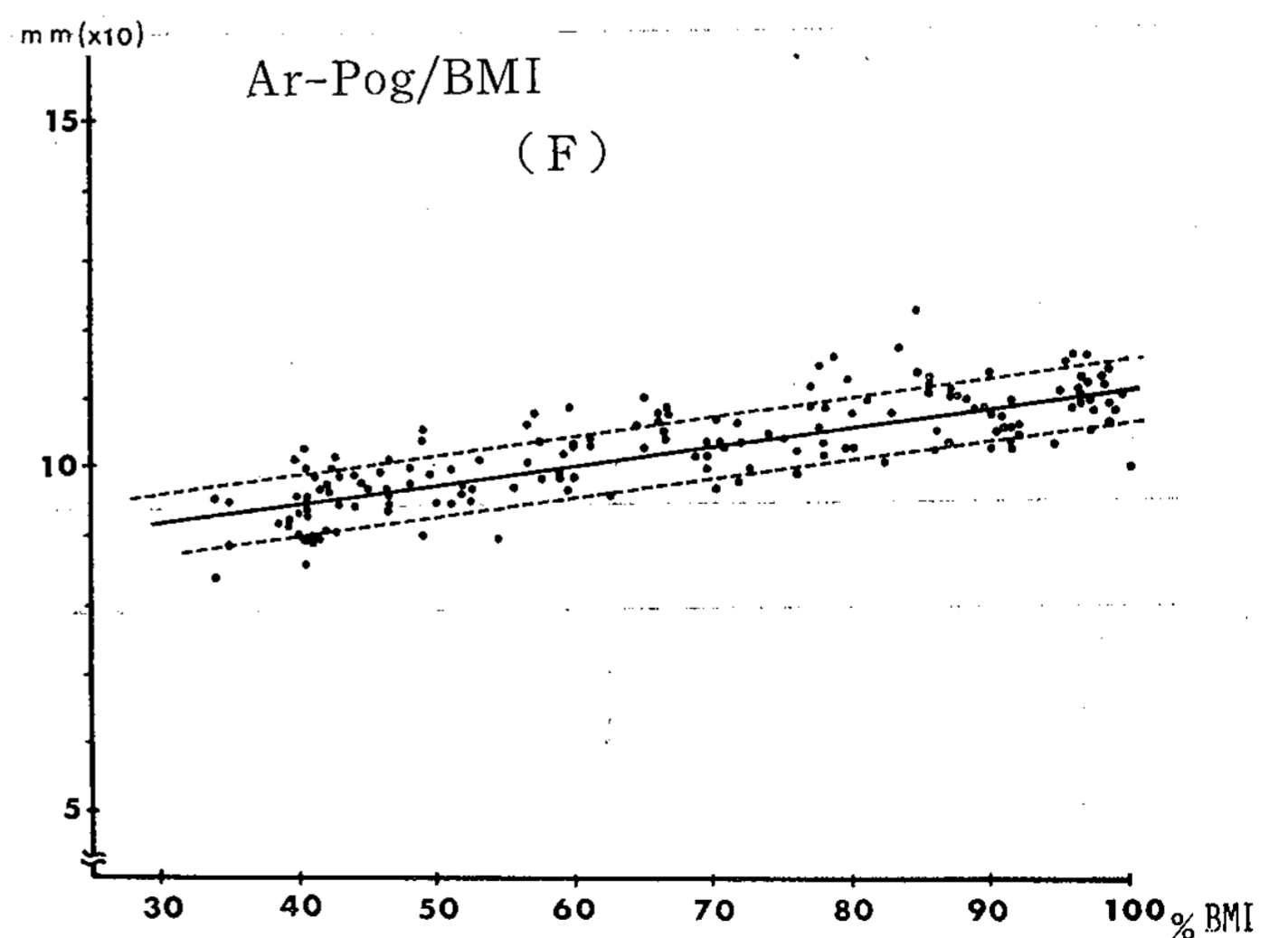


Fig. 8 Correlation of mandibular length and BMI (%) in female samples.

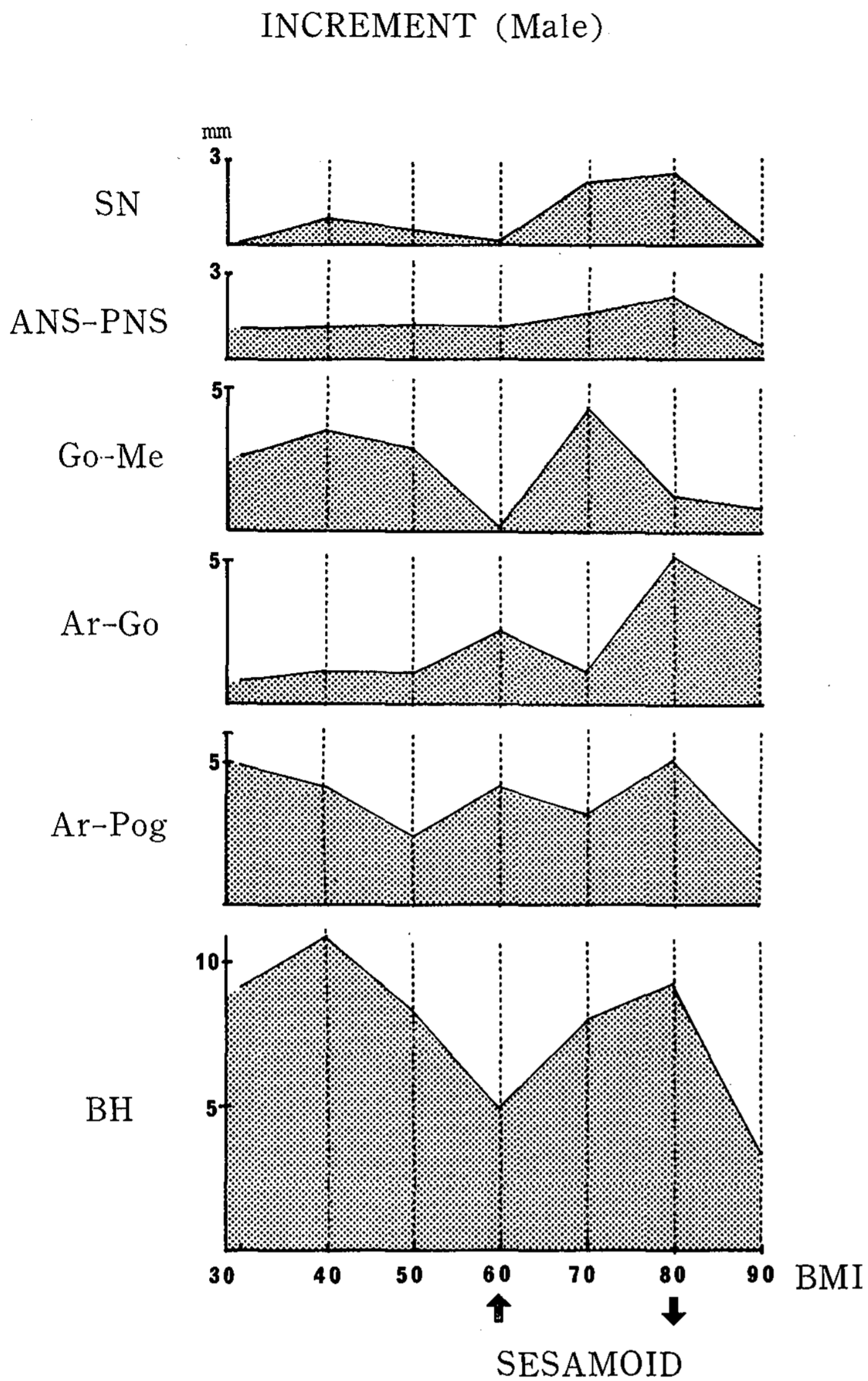


Fig. 9 Increment of stature and other measurements in relation to BMI (%) in male.
 ↑ Ossification time of sesamoid.
 ↓ Maturation time of sesamoid.
 Growth of the change in S-N ceased at BMI 90%, however, maturation changes might occur in the mandibular measurements after BMI 100%.

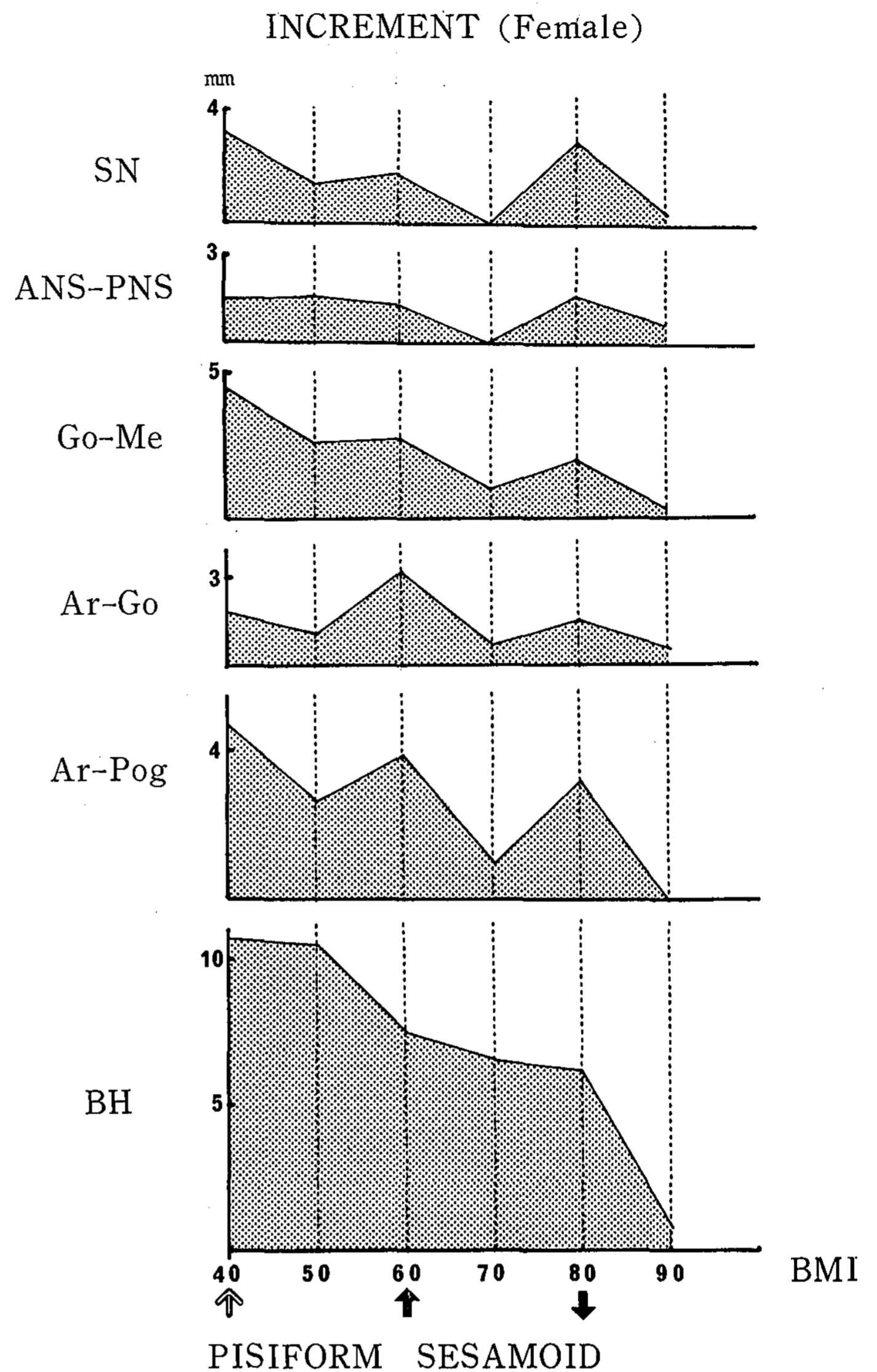


Fig. 10 Increment of stature and other measurements in relation to the BMI (%) in female.
 ↑ Ossification time of pisiform.
 ↑ Ossification time of sesamoid.
 ↓ Maturation time of sesamoid.
 Growth changes in stature and other measurements in craniofacial structure ceased at BMI 90%, compare with the male sample in Fig 9.

女子では、男子と全く異なり、BMI 40%の時に pisiform が出現し、BMI が40~50%のとき、これに対応する身長増加は最大であり、以後60%に到るまで急減し、sesamoid の出現をみる時点からは漸減し、sesamoid が完成期をむかえた BMI 80%の時点から再び急減して終極点に近づく。

顎顔面頭蓋との関係についても、男女差は明らかであり、各計測項目についても傾向は異なる。

とくに男子では、Ar-Pog, Ar-Go および Go-Me は図に示すとおり BMI 90%においてもなお、それぞれの成長が終極的に到達していない。これに対し、女子では身長と同様 BMI 90%では殆んどが成長の終極点に一致する。下顎の成長については、女子は Ar-Pog, Ar-Go, Go-Me らはほぼ同一の傾向を示すが、男子では Ar-Pog と Ar-Go はほぼ類似の傾向をみせるものの、Go-Me に

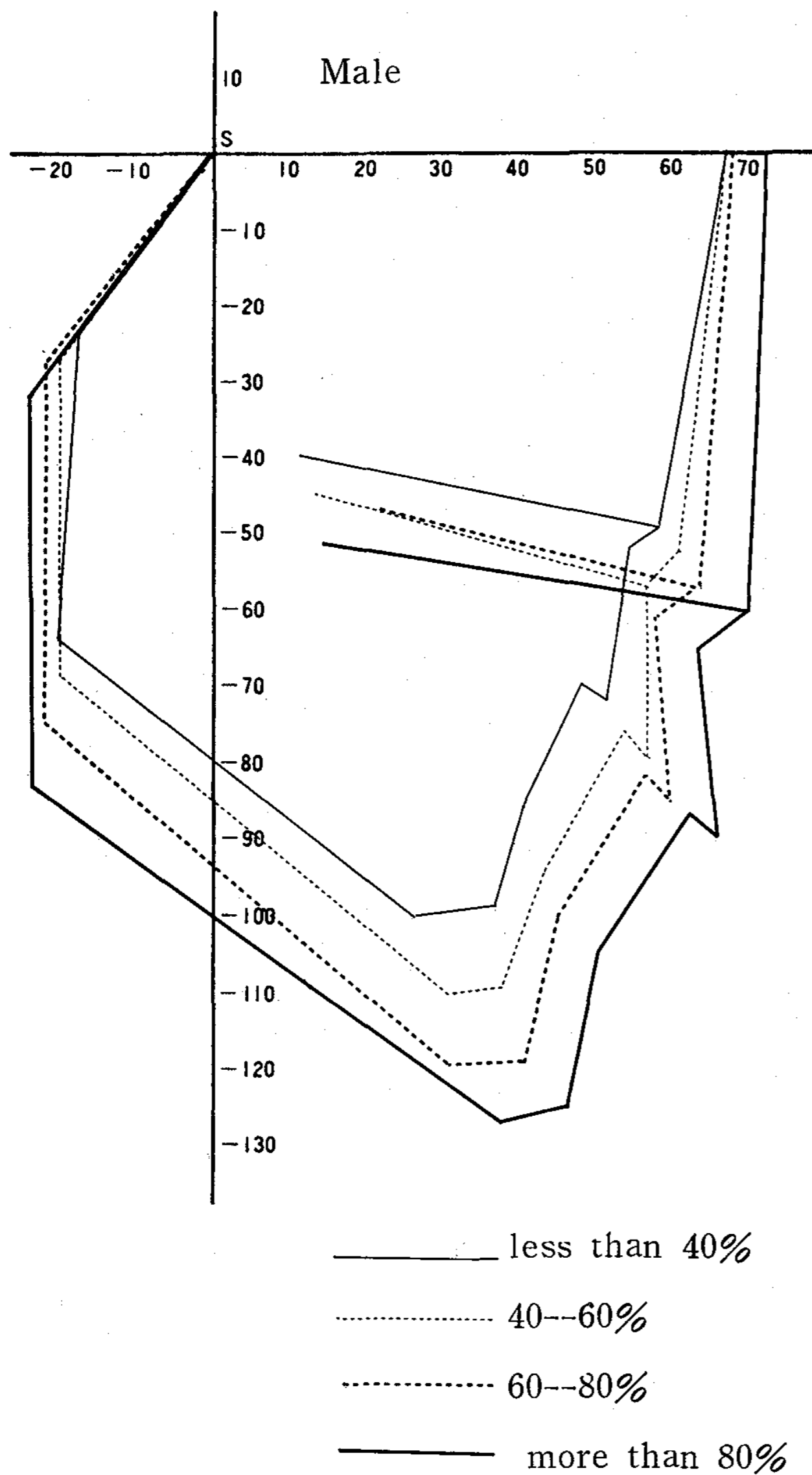


Fig. 11 Facial diagram of several BMI stages; Registered on Sella (S) and superposed on S-N line.

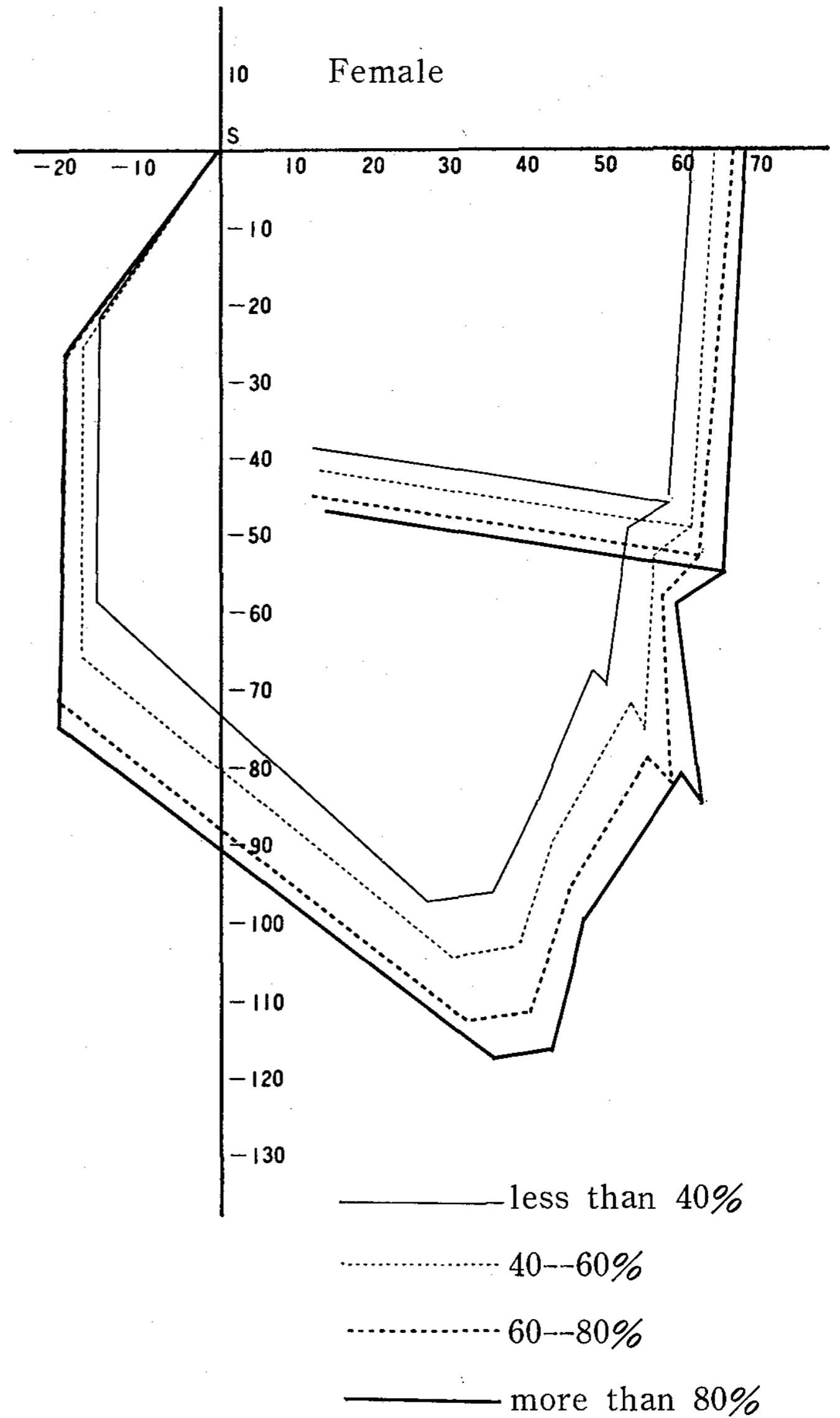


Fig. 12 Facial diagram of several BMI stages; Registered on Sella (S) and superposed on S-N line.

については特異な傾向であり、BMI 70%でひとつの peak が認められた。

4. BMI と facial diagram について

Fig. 11, 12は BMI 20% 区間ごとの facial diagram である。S を原点とし、S-N line を X 軸として、S を通りこれに直交する直線を Y 軸として、各20%区間の cephalogram 上の各計測点の平均値 (Table IV, V) を結び合わせたものである。

BMI の増加に伴う顎顔面各部の変化が一見して分ること、それぞれ実長の平均値であることより、本研究の臨床応用に役立つものである。

IV 考 察

1. 資料について

本研究に用いた資料は、暦齢により分類すると学年別生徒数の多寡が不規則な資料数として表われる (Fig. 1)。しかし、Table II にみられるごとく、暦齢と BMI は必ずしも一致しないため、資料のかたよりはないと考えられる。

資料として重要な意味をもつ cephalogram はもとより、手腕部レントゲン写真も撮影台を作り一定条件のもとで撮影現象処理を行ったので film 間における差はない。

骨点数判読では, atlas⁴¹⁾を参考にして算定するため多少の訓練をすれば判読誤差はほとんど無視できよう。BMI は計測個所が24カ所あり, total score/2 (%) で表わされるので, 全体としての誤差は小さくなる。

Sesamoid の score は円形骨のその2倍 (0, 2, 4, 6, 8, 10点の5段階) としたが, 10/200点すなわち total score の5%しかないので, sesamoid が出現する頃 BMI が急増加するのは加重したためとは考えられない。

従来の骨年齢は暦齢と比較することにより個体の成熟の程度を表わすものであり, 成熟の進行程度を直接表わすことはできない。ところが, BMI は骨成熟完了時を100%とし 骨成熟過程を直接表現しているので進行程度を理解しやすい。

2. BMI と暦齢について

Pisiform は sesamoid と共に出現時期が遅いことから, 前思春期の身体成熟標示の一つの指針とされている。とくに sesamoid は性的発育との関連が深いといわれ多数の研究⁴²⁻⁴⁶⁾がなされている。なかでも, Björk⁴⁷⁾, 黒田⁴⁸⁾, Brown⁴⁹⁾, Grave⁵⁰⁾らは, sesamoid が身長最大思春期性発育期と同時期か, 1~2年前に出現すると述べている。

Pisiform の出現時期について, 中沢⁵¹⁾は, 男子では9歳で初めて出現し, 11歳を越して25%に達し, 14歳でもなお10%近くは出現していない。女子では7歳で出現し, 急峻な成熟過程を通り, 9歳で25%に達し, 11歳11カ月で100%存在していた, と報告している。

Pryor⁵²⁾も, pisiform は出現時期について最も変動性の著明な手根骨であると述べているし, Grave は, Australian aborigines の男子では, pisiform は12.5歳で79.2%, sesamoid は13.5歳で26.6%, 女子では pisiform が10.3歳で93.7%, sesamoid は11.2歳で52.9%出現するとしている。

本研究でも, BMI 40%から50%の区間で pisiform の出現を認めたものは男子でその区間の被験者の20%, 女子では30%のみである。一方, sesamoid 出現は, BMI 55%から65%の区間で,

男子73%, 女子84%に確認された。

Fig. 4 および Fig. 5, 6 の身長と BMI との関係から, 男子では sesamoid 出現と同時に最大思春期性発育 (puberal growth spurt) が始まり, sesamoid 完成と共に終了する。女子の場合, pisiform 出現と同時期に前思春期性発育 (pre-puberal growth spurt) が始まり, sesamoid が出現するまで続く。そして sesamoid 出現後1年頃から最大思春期性発育期に入り, 完成後約1年間発育して終極点に移行すると考えられる。

これに関し興味あることは, Australian aborigines に関する Brown らの研究で, 男女とも pisiform や hook of the hamate の骨化開始は成長の極大期に先行するが, sesamoid の骨化開始と hook of the hamate の完成は男子においては成長の極大期とほぼ一致し, 女子では約半数においてのみ一致したとしている。この共同研究者の一人である Grave は先にあげた論文の中でこれら3種の骨化開始と身長の年間増加量と顎顔面頭蓋各部の peak velocities の相関について前記論文とほぼ同様な結果を示しているが, 骨化完成期についてはふれていない。

本研究においては, sesamoid の完成期と増加量の減少する時期すなわち最大思春期性発育の終了する時期を明らかにした。

3. BMI と身長, 顎顔面頭蓋各部との関係

男子において BMI 30-50%と80%の個所に分布が集中し, それらの中間である60-80%の部分で分布が若干疎になっていることを指摘したが, この区間に該当する年齢12歳前後の被験者数は少数とはいえないことから, この現象は, この時期における BMI の急増加と身長および顎顔面頭蓋各部の急成長を意味している。実際に, 男子と女子の身長および顎顔面頭蓋各部が急成長を開始するのは, それぞれ, 平均140cm, 120cmに到達した時である。このことは, 桜井⁵³⁾, 篠倉⁵⁴⁾, らの研究結果ともよく関連している。すなわち, Palmer-Reed 現象を日本人について研究した桜井によれば, 身長の急増期は年齢とあまり関係なく, 既得身長が130cmになった時に始まり, 142~144cmで極大期をむかえる。女子の場合も既得身

長が120cmに達した時に急増期にはいり132—134cmで極大期をむかえ以後減少するという。また篠倉は、身長と顎顔面頭蓋の相対成長の研究において、身長が男子では約130cm、女子では約120cmになった時から顎顔面頭蓋は、class I, class II, class IIIのそれぞれの特徴を大にすると述べている。

次に、二次性徴発現時と骨発育状態について述べた佐藤⁵⁵⁾によれば、男子においては二次性徴発現は総て種子骨発現後であり、声変り、喉頭隆起の見え始める時期は種子骨発現後6カ月で指骨各節の骨端は未だ融合開始していない。その他の二次性徴は骨端の融合しつつある時期に発現する。女子では乳房の膨隆し始める時期は種子骨発現より先行するが、初潮は種子骨発現後8カ月で、指骨中節骨端の融合開始時期にほぼ一致する。男女とも二次性徴発現期は各骨の骨端の融合期であり、種子骨発現後であると述べている。

本研究において指摘されたBMIの増加およびsesamoidの出現と、身長および顎顔面頭蓋各部の急成長を、上に述べたsesamoidの発現後二次性徴が発現するという事実を関連づけて考えることは、極めて興味深いことである。すなわちBMIの急増加およびsesamoidの発現後に起る身長および顎顔面頭蓋各部における旺盛な成長を最大思春期性発育(puberal growth spurt)といえよう。

4. いわゆる晩期成長(maturation changes)について

歯科矯正学の分野で、いわゆる晩期成長が問題としてとりあげられることがある。これに明確な定義は下されていないが、ほぼ全身の成長が終わったと考えられた時期を過ぎてなお顎顔面頭蓋あるいは歯列において、量的変化があり、例えば下顎前突などの症例でしばしばrelapseを経験するからである。

いわゆる晩期成長については、Salzmann⁵⁶⁾はresidual growthと呼び、Brodie⁵⁷⁾はlate stages of growth、またRiedel⁵⁸⁾はmaturation changesと表現した。

著者はここではRiedelに従いこの晩期成長をmaturation changesとした。

さて、Brodieはこの時期の成長変化をとりあげANSおよびPogonionは前下方へ成長し、歯列は取り残される。ただしこれらの変化は決して普遍的なものではないとしている。

本研究ではFig. 9, 10の男女の比較で明らかにBMI 90%においてすでに女子のS-NやAr-Pogをはじめ、下顎骨はほぼ100%の成長に達しているか、男子ではS-Nが100%を示すのみで著るしい性差がある。つまりBMIに対する身長のmaturation changesについては女子はほぼ終極とみられるが、男子ではまだ相当の成長量があると考えられる。佐藤の思春期前後の骨年齢の研究結果では、男子で一番おそく融合完成する時期は橈骨の17歳10カ月であった。本研究よりも15年前の資料であるので今日ではあるいはもう少し早い時期に完成を見ると考えられるが、これらを含めたBMI 100%の時期は、16~17歳の資料を得なくては論じえない。もしBMI 100%を過ぎて、なお顎顔面頭蓋に成長変化が認められれば、これをmaturation changesと考えて差支えないであろう。

5. 本研究の今後の方向について

本研究に用いた資料は、いわゆるcross-sectionalなものである。本来この種の研究は、出生より成人に至るまでの多数例のlongitudinalな資料を基に行うことが理想的である。しかし、同一集団について長期間にわたり資料を収集することは、いろいろな事情から最近はほとんど望めない。また思春期性発育の開始から終了に至る時期は短期間でありBMIの変化が著しいので、この場合特定の短い間隔で資料の収集をしなければならぬだろう。

立体的な形態を持つ器官をcephalogramのような平面像を用いて分析するには限界がある。このことは本研究でもBMIと身長との関係が他のいずれの項目より成長様式を端的に表わしていたことからもうかがえよう。そのため、成長様式をまず身長により把握してからついで顎顔面頭蓋にあてはめることが望ましい。すなわち、将来の顎骨の成長予測を行う場合、個体の成熟度、発育状態を知る一つの指標として骨年齢を、成長様式を知るうえで身長を函数の中に入れる方法が考えら

れる。試みに男子の身長と BMI と Ar-Pog との重相関を計算したところ、

$$\text{Ar-Pog} = 52.99 + 0.03 (\text{B.H}) + 0.11 (\text{BMI})$$

$$R = 0.90$$

と、非常に精度の高いものになった。今後これらに遺伝因子、環境因子等の必要な情報要素を入れることにより精度は一層高くなる。

もう一つの問題は、骨の長軸方向の成長と骨成熟との関係である。この二つの現象の進み具合は必ずしも平行的でない。その程度はホルモンの作用によって違って来る。成長ホルモンは、長軸方向への成長を強く促進し、甲状腺ホルモンは骨成熟を促進する。性ホルモンは長軸方向への成長も骨成熟をも促進するといわれている。これらホルモンと骨成長との関係を解明しなければならないだろうが、その研究においても、手腕部骨年齢と身長は重要な位置をしめるであろう。

V 結 論

6歳より15歳にわたる男子175名、女子169名の cross-sectional な資料の cephalogram と右手腕部レントゲン写真から BMI (Bone Maturity Index) と身長および顎顔面頭蓋の成長について研究し、次のような結論をえた。

1. 手腕部の BMI は顎顔面頭蓋部の骨の成長様式を把握する上で、生物学的時間としての意義を持つ。

2. 手腕部の BMI と身長および顎顔面頭蓋の成長とは高い相関々係を有する。

3. 手腕部の BMI は顎顔面頭蓋部の骨の成熟度を直接表現するもので、残りの growth potential を推測できる。

4. BMI 100%以後の身長および顎顔面頭蓋の成長を晩期成長 (maturation changes) と定義できよう。

5. Pisiform の出現は特に女子において、身長および顎顔面頭蓋の前思春期性発育到来の指針となる。

6. Sesamoid の出現で身長および顎顔面頭蓋の最大思春期性発育が到来し、sesamoid の完成でそれが終了する。

SUMMARY

Allometric relation between Bone Maturity Index (BMI) and growth of the craniofacial morphology was studied using lateral cephalograms, hand-wrist X-ray and simultaneously measured stature taken from 175 males and 169 females aged from 6 to 15 years.

The results are as follows;

1) High correlation was found among hand-wrist BMI, stature and craniofacial structures.

2) BMI is meaningful as biological time scale upon evaluation of maturity rate of the craniofacial structures and implies growth potential of the subjects.

3) After 100% of the BMI reading, maturation changes of the stature and craniofacial structures could be measured.

4) Ossification of the pisiform especially in the females provides a clue for estimating the initiation time of the prepuberal growth in the craniofacial structures and stature.

5) Ossification and maturation times of the sesamoid indicate the period of the puberal growth in the craniofacial structures and stature.

稿を終るにあたり、御指導と御校閲いただきました福原達郎教授に心から感謝致します。

また、懇切な御教示をいただきました本学情報処理センターの橋文夫先生に深く感謝致します。さらに、種々御援助下さいました本学矯正学教室の諸先生方の御理解と御協力に謝意を表します。

本論文の要旨は、第34回日本矯正歯科学会総会(昭和50年10月)において発表した。

文 献

- 1) Massler, M. and Schour, I.: The growth pattern of the cranial vault in the albino rat as measured by vital staining with alizarine red "S", Anat. Rec., 110: 83-101, 1951.
- 2) 岡田正弘, 三村 二: 鉛塩による骨及び歯牙組織新生化灰部位 生体染色法, 口病誌, 11:

- 365-366, 1937.
- 3) 小森昭二: 酢酸鉛時刻描記法による家兎顎関節の骨発育に関する研究, 口病誌, **29**: 320-339, 1962.
 - 4) 野口規久男: 外力を与えた際の幼若ラット下顎頭の研究—³H-thymidineオートラジオグラフィによる観察—, 口病誌, **37**: 222-241, 1970.
 - 5) Hellman, W. M. : Changes in the human face brought about by development, *Int. J. Orthodont.*, **13**: 475-516, 1927.
 - 6) Simon, P. W. : Fundamental principles of a systematic diagnosis of dental anomalies, The Stratford Company, Boston 1926.
 - 7) Brodie, A. G. : On the growth pattern of the human head. From the third month to the eight year of life, *Amer. J. Anat.*, **68**: 209-262, 1934.
 - 8) Brodie, A. G. : Some recent observations on the growth of the face and their implications to the orthodontist, *Amer. J. Orthodont. and Oral Surg.*, **26**: 741-757, 1940.
 - 9) Nanda, R. S. : The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms, *Amer. J. Orthodont.*, **41**: 658-673, 1955.
 - 10) Bambha, J. K. : Longitudinal cephalometric roentgenographic study of face and cranium in relation to body height, *J. Amer. Dent. Ass.*, **63**: 776-799, 1961.
 - 11) Harris, J. E. : A cephalometric analysis of mandibular growth rate, *Amer. J. Orthodont.*, **48**: 161-174, 1962.
 - 12) Irie, M., Sekiguchi, T. and Watanabe, H. : A roentgenocephalometric study of the mandible of Japanese children, *Bull. Tokyo Med. Dent. Univ.*, **12**: 219-228, 1965.
 - 13) 日置 誠: 長期観察学童における“からだ”の成長と顔の成長との関係について, 日矯歯誌, **25**: 1-30, 1966.
 - 14) Singh, I. J., Savara, B. S. and Miller, P. A. : Interrelations of selected measurements of the face and body in pre-adolescent and adolescent girls, *Growth*, **31**: 119-131, 1967.
 - 15) Fukuhara, T. and Matsumoto, M. : A longitudinal study of facial growth in relation to general body height during adolescence, *Bull. Tokyo Med. Dent. Univ.*, **15**: 161-171, 1968.
 - 16) Thompson, G. W. and Popovich, F. : Relationship of mandibular measurements to stature and weight in humans, *Growth*, **38**: 187-196, 1974.
 - 17) Nakata, M., et al. : The use of genetic data in the prediction of craniofacial dimensions, *Amer. J. Orthodont.*, **63**: 471-480, 1973.
 - 18) Thompson, D. Arcy : On growth and form, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, London, 1942.
 - 19) Shepherd, R. H., et al. : The size relationships subsisting between body length, limbs and jaws in man, *J. Anat.*, **83**: 296-302, 1949.
 - 20) 松本 稔: 顎顔面頭蓋と全身との相対成長に関する研究, 口病誌, **35**: 340-355, 1968.
 - 21) 松本 稔: 矯正臨床における全身成長の問題点と下顎前突の2治験例の長期観察について, 日矯歯誌, **27**: 125-136, 1968.
 - 22) Fukuhara, T. : Clinical application of allometric study on the growth of the craniofacial structures, *Transactions of the 3rd International Orthodontic Congress*, (in press).
 - 23) Simmons, K. and Greulich, W. W. : Menarcheal age and the height, weight, and skeletal age of girls age 7 to 17 years, *J. Pediat.*, **22**: 518-548, 1943.
 - 24) Bayley, N. : Tables for predicting adult height from skeletal age and present height, *J. Pediat.*, **28**: 49-64, 1946.
 - 25) Bayley, N. and Pinneau, S. R. : Tables for predicting adult height from skeletal age revised for use with the Greulich-Pyle hand standards, *J. Pediat.*, **34**: 423-441,

- 1952.
- 26) Hewitt, D. and Acheson, R. M. : Some aspects of skeletal development through adolescence. 1. Variations in the rate and pattern of skeletal maturation at puberty, *Amer. J. Phys. Anthropol.*, **19**: 321-344, 1961.
- 27) Hansman, C. and Maresh, M. M. : A longitudinal study of skeletal maturation, *Amer. J. Dis. Child.*, **101**: 305-321, 1961.
- 28) Green, L.J. : The interrelationships among height, weight and chronological, dental and skeletal ages, *Angle Orthodont.*, **3**: 189-193, 1961.
- 29) Bambha, J. K. and Natta, P. V. : Longitudinal study of facial growth in relation to skeletal maturation during adolescence, *Amer. J. Orthodont.*, **49**: 481-493, 1963:
- 30) Johnston, F. E., et al. : Skeletal maturation and cephalofacial development, *Angle Orthodont.*, **35**: 1-11, 1965.
- 31) 須佐美隆三： 下顎前突者の顎顔面頭蓋形態の年齢的推移に関する X 線計測学的研究, *日矯歯誌*, **26**: 1-34, 1967.
- 32) Bergersen, E. O. : The male adolescent facial growth spurt: Its prediction and relation to skeletal maturation, *Angle Orthodont.*, **42**: 319-338, 1972.
- 33) 飯塚哲夫・石川富士郎： 頭部 X 線規格写真による 症例分析法の基準値 について——日本人成人男女正常咬合群——, *日矯歯誌*, **16**: 4-12, 1957.
- 34) 飯塚哲夫： 頭部 X 線規格写真法による日本人小児の顔の成長に関する 研究, *口病誌*, **25**: 260-272, 1958.
- 35) 坂本敏彦： 日本人顔面頭蓋の成長に関する研究——SELLA TURCICA を基準として——, *日矯歯誌*, **18**: 1-17, 1959.
- 36) 坂本敏彦他： 頭部エックス線規格写真法による日本人顔面頭蓋の成長に関する 研究——実測長分析, 成長率分析, 実測長百分率分析成績——, *口病誌*, **30**: 169-182, 1963.
- 37) 桑原未代子： 頭部 X 線規格写真による日本人学童の顎顔面頭蓋の成長の 累年的研究, *日矯歯誌*, **20**: 170-191, 1961.
- 38) 三谷英夫： 顎顔面頭蓋各部における年間成長量と成長率の追跡——7 歳から 15 歳まで——第一報： 年間成長量の追跡, *日矯歯誌*, **31**: 307-318, 1972.
- 39) 大和田建二・Sutow W. W. : 満 6 歳から 19 歳迄の日本健康小児の 骨格成熟標準 (骨年齢標準) に就て, *小児科臨床*, **6**: 738-746, 1953.
- 40) 杉浦保夫・中沢 修： 骨年齢——骨格発育の X 線診断——, 東京, 1968, 中外医学社. 1-54.
- 41) Greulich, W. W. and Pyle, S. I. : Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist, 2nd ed., Stanford Univ. Press, Stanford, Calif., 1959.
- 42) 門田顕治： 思春期に於ける女子の成長発育と初潮の関係に就て, 第 1 報 初潮と骨成熟過程との関係に就て, *広島医学*, 原著号, **4**: 309-314, 1955.
- 43) 諏訪城三： 四肢骨端レントゲン像と年齢, *綜合臨床*, **16**: 229-241, 1967.
- 44) Helm, S., et al. : Skeletal maturation of the hand in relation to maximum puberal growth in body height, *Tandlegebladet (Danish Dent. J.)*, **75**: 1223-1234, 1971.
- 45) Tofani, M. I. : Mandibular growth at puberty, *Amer. J. Orthodont.*, **62**: 176-195, 1972.
- 46) Chapman, S. M. : Ossification of the adductor sesamoid and adolescent growth spurt, *Angle Orthodont.*, **42**: 236-244, 1972.
- 47) Björk, A. and Helm, S. : Prediction of the age of maximum puberal growth in body height, *Angle Orthodont.*, **37**: 134-143, 1967.
- 48) 黒田敬之他： 拇指尺側種子骨の化骨時期による思春期性発育期の予測 について, *日矯歯誌*, **28**: 68-73, 1969.
- 49) Brown, T., et al. : Facial growth and skeletal maturation at adolescence, *Tandlegebladet (Danish Dent. J.)*, **75**: 1211-1222, 1971.
- 50) Grave, K. C. : Timing of facial growth in Australian aborigines, Adelaide, Univ. of Adelaide, 1971; cited from Graber, T. M. : *Orthodontics: Principles and Practice*, 3rd

- ed., Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1972.
- 51) 中沢 修: 骨年齢評価法, 日整会誌, **33**: 839-863, 1959.
- 52) Pyle, I. and Sontag, L. W.: Variability in onset of ossification in epiphyses and short bones of the extremities, Amer. J. Roentgenol., Rad. Ther. & Nucl. Med., **49**: 795-798, 1943.
- 53) 桜井冬生: 身長の個人発育に関する研究, 生物統計学雑誌, **8**: 4-14, 1961.
- 54) 篠倉 均: 不正咬合者における顎顔面頭蓋と身長の相対成長について, 新潟歯学会誌, **5**: 105-118, 1975.
- 55) 佐藤正夫: 思春期前後における生理的発育の研究特に骨年齢に関する研究, 名古屋医学, **83**: 276-294, 1960.
- 56) Salzmann, J. A.: Practice of Orthodontics, Philadelphia and Montreal: J. B. Lippincott Co., 1966, 228-250.
- 57) Brodie, A. G.: Late growth change in the human face, Angle Orthodont., **23**: 146-157, 1953.
- 58) Riedel, R. A.: Retention in: Current Orthodontics concepts and techniques, 2nd ed., Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1975, 1095-1137.

Table IV. Stature and values obtained from linear measurement on the craniofacial complex

		Male				Female			
		Less than 40%	40—60%	60—80%	More than 80%	Less than 40%	40—60%	60—80%	More than 80%
B. H	M	1,249.83	1,385.16	1,560.59	1,682.21	1,125.29	1,267.52	1,451.43	1,545.53
	Se	10.95	8.75	14.24	12.44	22.15	9.50	8.96	5.86
	Sd	75.86	73.24	86.61	60.93	58.62	75.46	59.45	43.45
S-N	M	66.35	67.40	69.65	72.42	61.27	64.88	66.24	68.50
	Se	0.40	0.33	0.54	0.61	1.35	0.34	0.56	0.40
	Sd	2.75	2.80	3.28	3.01	3.56	2.68	3.69	2.96
ANS-PNS	M	48.58	50.23	53.54	56.32	46.34	48.29	50.54	52.67
	Se	0.43	0.31	0.43	0.62	0.73	0.34	0.33	0.39
	Sd	2.95	2.62	2.64	3.02	1.93	2.70	2.17	2.90
Ar-Pog	M	97.51	102.39	110.97	117.68	90.99	96.64	104.15	108.78
	Se	0.69	0.55	0.87	1.11	1.49	0.60	0.62	0.66
	Sd	4.78	4.61	5.27	5.46	3.93	4.73	4.11	4.88
Ar-Go	M	40.75	42.15	46.37	52.80	37.83	40.04	44.18	46.77
	Se	0.52	0.39	0.60	0.95	1.29	0.44	0.54	0.53
	Sd	3.58	3.24	3.66	4.67	3.42	3.48	3.58	3.93
Go-Me	M	63.10	67.53	73.09	76.11	58.03	63.43	68.40	71.07
	Se	0.56	0.47	0.66	1.14	1.47	0.48	0.55	0.52
	Sd	3.86	3.91	3.99	5.60	3.89	3.78	3.64	3.85

M: mean of measured value (mm)
 Se: standard error
 Sd: standard deviation

Table V. Values obtained from the co-ordinate method on the craniofacial complex.

		Male				Female			
		Less than 40%	40—60%	60—80%	More than 80%	Less than 40%	40—60%	60—80%	More than 80%
N (x)	M	66.34	67.40	69.65	72.42	61.27	64.87	66.69	68.49
	Se	0.40	0.33	0.54	0.61	1.35	0.34	0.38	0.40
	Sd	2.74	2.79	3.28	3.01	3.56	2.68	2.55	2.96
ANS (x)	M	61.61	62.09	65.49	68.77	58.50	61.24	62.40	65.86
	Se	0.48	0.45	0.81	0.78	1.24	0.52	0.58	0.58
	Sd	3.33	3.79	4.90	3.80	3.29	4.11	3.82	4.27
ANS (y)	M	-49.71	-53.47	-57.33	-59.97	-45.91	-49.39	-53.81	-55.19
	Se	0.40	0.32	0.57	0.66	1.13	0.33	0.36	0.33
	Sd	2.78	2.68	3.46	3.21	2.99	2.62	2.38	2.46
PNS (x)	M	13.69	12.63	12.83	13.30	12.69	13.58	12.66	13.93
	Se	0.42	0.32	0.56	0.54	0.90	0.32	0.43	0.32
	Sd	2.90	2.66	3.43	2.64	2.37	2.54	2.87	2.38
PNS (y)	M	-42.04	-45.14	-48.16	-50.50	-39.43	-42.00	-45.20	-46.80
	Se	0.33	0.33	0.44	0.81	0.71	0.29	0.29	0.35
	Sd	2.27	2.72	2.70	3.95	1.87	2.27	1.90	2.58
A (x)	M	56.79	57.07	59.82	62.59	53.97	56.54	57.12	59.64
	Se	0.51	0.46	0.81	0.81	1.08	0.48	0.65	0.58
	Sd	3.50	3.84	4.95	3.97	2.86	3.83	4.30	4.31

		Less than 40%	40—60%	60—80%	More than 80%	Less than 40%	40—60%	60—80%	More than 80%
A (y)	M	-53.56	-57.51	-61.80	-65.10	-49.29	-53.31	-58.34	-60.05
	Se	0.45	0.35	0.53	0.74	1.12	0.36	0.44	0.34
	Sd	3.15	2.93	3.23	3.26	2.97	2.89	2.95	2.49
U ₁ (x)	M	55.54	57.98	61.44	64.49	50.54	55.49	58.12	61.49
	Se	0.63	0.61	1.04	1.15	1.32	0.64	0.85	0.70
	Sd	4.37	5.13	6.32	5.61	3.49	5.10	5.62	5.18
U ₁ (y)	M	-75.84	-81.41	-87.01	-91.07	-70.80	-75.60	-82.05	-84.94
	Se	0.66	0.49	0.60	0.84	1.51	0.52	0.41	0.44
	Sd	4.56	4.11	3.62	4.14	4.00	4.16	2.70	3.24
L ₁ (x)	M	52.99	55.06	58.74	61.30	48.51	53.01	55.55	58.39
	Se	0.59	0.62	0.97	1.11	1.38	0.62	0.85	0.66
	Sd	4.12	5.15	5.93	5.45	3.65	4.89	5.67	4.90
L ₁ (y)	M	-72.98	-77.61	-83.33	-87.35	-68.46	-72.85	-78.88	-81.38
	Se	0.66	0.45	0.68	0.91	1.11	0.46	0.41	0.44
	Sd	4.54	3.78	4.13	4.45	2.93	3.64	2.75	3.28
B (x)	M	43.54	44.11	47.16	49.82	40.87	43.73	44.94	47.20
	Se	0.68	0.67	1.09	1.28	1.79	0.78	1.05	0.80
	Sd	4.70	5.62	6.63	6.29	4.73	6.20	6.96	5.93
B (y)	M	-90.33	-95.06	-101.61	-106.08	-85.46	-89.81	-95.62	-100.36
	Se	0.70	0.52	0.86	1.01	1.10	0.61	0.79	0.50
	Sd	4.86	4.35	5.25	4.96	2.90	4.81	5.23	3.69
Pog (x)	M	38.88	38.94	42.46	45.97	35.21	39.05	40.05	43.08
	Se	0.80	0.81	1.19	1.50	1.63	0.87	1.03	0.97
	Sd	5.57	6.79	7.24	7.35	4.31	6.88	6.83	7.20
Pog (y)	M	-103.89	-111.16	-119.63	-125.92	-97.14	-103.47	-112.30	-117.22
	Se	0.82	0.63	1.05	1.18	0.87	0.63	0.59	0.59
	Sd	5.65	5.29	6.36	5.77	2.29	4.98	3.91	4.41
Me (x)	M	30.34	30.99	33.83	37.38	27.41	30.80	32.08	34.61
	Se	0.79	0.83	1.16	1.51	1.76	0.89	1.08	0.96
	Sd	5.45	6.92	7.04	7.38	4.66	7.08	7.17	7.15
Me (y)	M	-105.68	-112.64	-121.29	-128.06	-98.43	-105.33	-114.33	-118.91
	Se	0.76	0.63	1.00	1.21	0.94	0.60	0.55	0.61
	Sd	5.30	5.31	6.10	5.95	2.50	4.74	3.68	4.56
Go (x)	M	-18.74	-20.89	-23.45	-24.72	-15.86	-18.43	-21.28	-21.01
	Se	0.60	0.65	0.83	1.03	1.69	0.52	0.67	0.55
	Sd	4.17	5.42	5.02	5.07	4.46	4.10	4.45	4.11
Go (y)	M	-66.34	-69.70	-76.11	-84.57	-59.89	-65.81	-71.80	-75.19
	Se	0.60	0.56	0.89	1.48	1.04	0.55	0.74	0.71
	Sd	4.15	4.69	5.43	7.26	2.74	4.39	4.89	5.30
Ar (x)	M	-18.65	-20.02	-22.41	-24.42	-16.17	-17.90	-20.47	-19.55
	Se	0.40	0.39	0.55	0.60	1.14	0.31	0.41	0.33
	Sd	2.74	3.30	3.33	2.96	3.01	2.46	2.69	2.43
Ar (y)	M	-25.55	-28.41	-29.84	-31.90	-22.13	-25.69	-27.74	-28.57
	Se	0.26	0.76	0.55	0.96	0.66	0.32	0.39	0.40
	Sd	1.82	6.36	3.33	4.68	1.74	2.54	2.61	2.96