双生児法による幼児の顔面頭蓋形態に 関する遺伝学的研究

中 田 稔

東京医科歯科大学小児歯科学教室

指導：小児歯科学教室 山下 浩 教授

人類遺伝学研究室 大倉興司助教授

(昭和42年10月15日受付)

Genetic study on infantile cranio-facial pattern by twin method

Minoru Nakata

Department of Pedodontics, Tokyo Medical and Dental University

(Directors: Prof. Hiroshi Yamashita, Dept. of Pedodontics

Assist. Prof. Koji Ohkura, Dept. of Human Genetics)

緒 言

生物の個体および集団にみられる諸形質の変異は、それぞれの遺伝的組成と環境的要因との相互作用によつておこるものである。しかしながら、いずれの形質もその発現に 関与する遺伝的要因と環境的要因の 占める割合は それ ぞれ 異なつて いる。

人類も含めて生物の遺伝的形質には、血液型や血清型あるいはある種の異常にみられるように、はつきりと2種もしくはそれ以上の表現型に区別できる形質があり、これを質的形質とよんでいる。これに対して身長、体重などのように連続量として測定しうる形質があり、これらを量的形質といつている。

歯学の領域において頭部X線規格写真法が確立されて以来、非常に重要な問題の1つである顔面頭蓋の形態が、客観的に捉えられるようになった。そして生体において顔面頭蓋を正確、かつ統一された方法によつて断面的に観察したり、あるいは同一個体を経年的に観察して、その成長発育の過程を知るために、数多くの研究が試みられてきて

いる¹⁻³⁾。このような方法で得られた顔面頭蓋の大きさを測定可能な量的形質としてとらえることによつて、その変異の決定に 関与する遺伝的要因の占める割合を推定することができるようになった⁴⁾。これは遺伝学、特に人類遺伝学における量的形質の統計学的解析法の発展によるものである。

顔面頭蓋の発育が遺伝的要因と環境的要因によつてどのように支配されるか、そしてこれらの要因がどのような大ききで互に 関与し合つて いるかを知ることは、発育過程を重視しなければならない小児を対象とする臨床においてきわめて必要であるとともに、顔面頭蓋の成長発育研究にとつても重要である。

こうした問題を解析するのに、有力な手がかりの1つとして双生児を用いる方法があり、今日までにすでに多くの形質について研究が行なわれてきている。ただ従来の歯学における双生児による遺伝学的研究は、単に特定の形質の類似性などを主観的に判定し、比較するような方法のものが多かった。本質的に詳細な分析をするには、頭部X線規格写真法により顔面頭蓋をいくつかの測定可

能な量的形質としてとらえ、遺伝学的立場から統計学的処理を応用しなければならないものと考えられる^{5,6)}。

これまでに双生児を対象とした頭部X線規格写真法による顔面頭蓋の遺伝学的研究として、Lundström⁴⁾、Wylie⁷⁾、Curtner⁸⁾、Stein *et al.*⁹⁾、Kraus *et al.*¹⁰⁾、Horowitz *et al.*¹¹⁾、Prorok¹²⁾、Jacobs¹³⁾、Ross *et al.*¹⁴⁾らの研究がある。しかし、これらの研究では思春前期から成人にいたる比較的高年齢の双生児を対象にしており、乳歯列期から交換期にいたる幼児期において観察したものはない。

そこで著者は顔面頭蓋に関連した成長発育の様相をより基本的に解明する研究の一端として、顔面頭蓋の発育が遺伝と環境の相互作用によりどのように支配されるかを知るために双生児を低年齢時より観察中であるが、本研究は幼児の顔面頭蓋各部の形態に関与する遺伝的要因と環境的要因の大きさを知ることを目的として行なった。

研究方法

双生児を用いて行なう研究の大きな目的の1つは、人類の形質に関与する遺伝と環境の受け持つ役割を知ることにある。それは1卵性および2卵性双生児のもつ遺伝的特性から、次に述べるような分析により可能となる¹⁵⁻¹⁷⁾。

1卵性双生児は互にまったく同一の遺伝子型をもっており、もし双生児間で形質に差異が現われれば、それは出生前あるいは出生後を通じてうけた環境の違いによるとみなすことができる。一方、遺伝的には同胞と同程度に異なるが、成長発育中に遭遇する環境がほとんど同じと考えられる2卵性双生児の個体間にみられる差は、遺伝的要因と環境的要因の2つの要因によると考えられる。したがって、ある形質について1卵性、2卵性双生児の両者を同時に観察すれば、同一遺伝子型に対する異なった環境の影響や、ほぼ同じ環境下における異なった遺伝子型の形質発現に対する相違を知ることができるわけである。

一般に、ある形質の表現型の分散 V_P は遺伝的要因による分散 V_G と環境的要因による分散 V_E の和であつて、

$$V_P = V_G + V_E$$

として表わされる。

そこで1卵性双生児群と2卵性双生児群の間で成長発育中に遭遇する環境条件に特に差がないと仮定すれば、1卵性双生児組内差の分散 V_{MZ} は環境的要因によつて生じた差の分散 V_E とみなすことができ、2卵性双生児組内差の分散 V_{DZ} から1卵性双生児組内差の分散 V_{ME} を除いたものが、遺伝的要因による分散 V_G となるわけである。すなわち、

$$V_E = V_{MZ}$$

$$V_G = V_{DZ} - V_{MZ}$$

となる。

Holizinger¹⁸⁾ は遺伝と環境の相互作用を知る方法として、1卵性双生児と同性2卵性双生児の階級内相関係数を用いて遺伝的要因の関与の大きさを示す遺伝力 h^2 の推定を、

$$h^2 = \frac{r_{MZ} - r_{DZ}}{1 - r_{DZ}}$$

r_{MZ} ; 1卵性双生児階級内相関係数

r_{DZ} ; 2卵性双生児階級内相関係数

なる式で示した。

Clark¹⁹⁾ は双生児組内差の分散を用い、次の式によつて多くの身体計測値について遺伝力 (H) 推定を行なっている。

$$H = \frac{V_{DZ} - V_{MZ}}{V_{DZ}}$$

すでに述べたように、この式は

$$H = \frac{V_G}{V_G + V_E} = \frac{V_{DZ} - V_{MZ}}{V_{DZ}}$$

からも導かれる通り、ある形質の変異の原因に関与する遺伝的要因の大きさを示している。

本研究においては、次の観察方法にもとづいて得られた計測結果について1卵性双生児組および2卵性双生児組の組内差分散を計算し、分散比 (F 比) によつて有意性を検定した後、Clark¹⁹⁾ の式にもとづいて遺伝力推定をおこなつた。

資 料

1. 資料

本研究に使用した双生児資料は、1961年から行なっている東京医科歯科大学小児歯科学教室における双生児の遺伝学的研究のために集められているものの一部である。

用いられた双生児組はすでに報告されているが²⁰⁾、次のような方法で収集されたものである。

1) 1961年4月より東京区部5カ所および都下1カ所の主要産院と緊密な連絡をとった。そしてこれら産院から多胎分娩が報告されると、それにもとづき著者あるいは共同研究者が産院におもむき、双生児の家族歴、母親の妊娠歴、妊娠経過および病歴、分娩状態などを記録して台帳を作製し、また同時に母（あるいは父）に会って今後の調査の協力を直接依頼した。また各産院の分娩台帳を定期的に調査して報告もれのように注意した。

2) 1958年までさかのぼって、上記6産院における多胎分娩の記録を調査し、これにもとづき台帳を作製した。

3) これら以外に小児歯科外来に来院中および1961年以降外来を訪れた双生児についても同様の記録を作製し台帳に加えた。

以上の方法で登録された双生児がほぼ2歳に達した時期から、約6カ月間隔で小児歯科外来において口腔診査、全顎X線写真および頭部X線規格写真の撮影、上下顎歯列の印象採得をおこなった。

2. 卵性診断

双生児研究では確実な卵性診断がまず必須の基本条件である。

本研究では下記の血液型によつて卵性診断をおこなった。血液は肘静脈あるいは耳朶から採得した。

血液型	抗血清
1) ABO 式	抗 A, 抗 B
2) MNSs 式	抗 M, 抗 N, 抗 S
3) Rh 式	抗 C (rh'), 抗 c (hr'), 抗 D (Rho), 抗 E (rh''), 抗 e (hr'')
4) Q 式	抗 Q

5) Lewis 式 抗 Le^a

上記5種類の血液型を用いて卵性診断を行なった場合、2卵性双生児の約90%が確認できる。すなわち、2卵性双生児で上記5種の血液型が偶然一致したために、1卵性と誤認される確率は約10%である²⁰⁾。したがって、本研究の資料においても、この程度で1卵性双生児と診断されたものの中に2卵性双生児が含まれる可能性がある。

登録された543組の双生児のうちで、死亡、転居、地理的条件、その他の理由で観察不能のものを除き、長期間にわたる調査の承諾をえた85組と、外来よりえられた11組の合計96組が最終的

A, subspinale; $\bar{A}$ and $\bar{A}$, maxillary and mandibular primary central incisor; $\bar{I}$ and $\bar{I}$, maxillary and mandibular central incisor; ANS, anterior nasal spine; Ar, articulare; Co, condylar head; $\bar{E}$ and $\bar{E}$, maxillary and mandibular primary first molar; $\bar{6}$ and $\bar{6}$, maxillary and mandibular first molar; Gn, gnathion; Go and Go', gonion; Me, menton; N, nasion; Or, orbitale; PNS, posterior nasal spine; Pog, pogonion; PTM, pterygomaxillary fissure; S, sella turcica.

Fig. 1. Reference points used.

Fig. 2. Coordinate measurements.

に調査の対象となった。

しかし、経年観察を行ない得た女子2卵性双生児組数がきわめて少なく、統計学的処理を行なうのに不十分なため女子の双生児は本研究から除外した。

これら資料のうち、3～4歳時(平均3.6歳時)に完全な観察を行なえた男子1卵性双生児19組、同2卵性双生児11組について撮影した側方頭部X線規格写真を本研究資料として用いた。なおこれらの双生児群について行つた浅野²⁰⁾の研究から、乳歯の近遠心径について著るしく大きい組内差を示した1卵性双生児2組は本研究資料から除外した。

また、これら双生児群と比較する対照群(UP)として、撮影時年齢の一致した双生児組を任意に2組ずつ選び出し、各組の1人ずつを組合わせて構成した11組を用いた。組合わせの際、双生児の出生順位はそれぞれ対応することとした。

頭部X線規格写真の撮影条件は焦点フィルム間距離165 cm、露出条件110 KV、100 mAである。

3. 観察方法

Lengths ;

1. S—N
2. S—PNS
3. ANS—PNS
4. N—ANS
5. S—Ar
6. Co—Go
7. Co—Gn
8. Go—Gn
9. Go—Me
10. Gó—Me

Angles ;

1. S · N · A
2. S · N · ANS
3. N · S · Ar
4. N · S · PNS
5. S · PNS · ANS
6. N · ANS · PNS
7. SN · NF
8. Gonial angle
9. $\underline{A}$ —SN
10. $\underline{A}$ —NF
11. $\underline{A}$ —MP

Fig. 3. Linear and angular measurements.

側方頭部X線規格写真上の計測点はすでに人類学、矯正学、小児歯科学の分野で通常使用されている諸点を用いた(Fig. 1)。

側方頭部X線規格写真上の計測は次の3つの方法によって行なつた。

1) 座標による計測—顔面頭蓋を上下に分け、それぞれ別の基準面を設けた。すなわち、上顔面部ではS点(sella turcica)を原点とし、S-N平面を基準平面とする直交座標を用い、下顔面部では下顎下縁平面を基準平面とし、pogonionからの垂線との交点を原点とする直交座標を用いた。そしてこれらの座標上で各計測点の深さと高さを求めた^{21,22)}(Fig. 2)。

2) 長さの計測—顔面頭蓋の大きさをみるために各計測点を結ぶ10項目の長さを測定した^{23,24)}(Fig. 3)。

Table 1. Coordinate measurements (I).

			DEPTH				HEIGHT			
		No. of Pairs	Mean of Difference (mm)	V.	F-ratio	H.	Mean of Difference (mm)	V.	F-ratio	H.
O	ME	19	0.29	0.42			0.34	0.11		
	MZ		0.84	0.54			0.73	0.27		
	DZ	11	2.61	4.07	7.53**	86.7	1.85	0.74	2.74*	63.5
	UP	10	2.60	4.80	1.17		1.76	1.18	1.59	
ANS	ME		0.29	0.02			0.19	0.00		
	MZ	19	0.98	0.45			0.86	0.16		
	DZ	11	2.58	4.07	9.04**	88.9	1.74	1.06	6.62**	84.9
	UP	10	3.44	5.87	1.44		2.80	3.09	2.91	
A	ME		0.18	0.02			0.37	0.09		
	MZ	19	0.88	0.52			0.92	0.26		
	DZ	10	2.88	3.51	6.75**	85.1	2.72	4.72	18.15**	94.4
	UP	10	3.68	10.69	3.04		3.12	3.44	11.37	
Ar	ME		0.20	0.01			0.25	0.01		
	MZ	15	1.01	0.40			1.20	0.93		
	DZ	11	3.74	5.89	14.72**	93.2	1.96	1.26	1.35	22.2
	UP	10	3.60	5.90	1.00		2.60	3.24	2.57	
PTM	ME		0.20	0.09			0.25	0.03		
	MZ	19	0.75	0.31			0.86	0.34		
	DZ	11	2.76	1.39	4.48**	77.6	1.67	1.75	5.14**	80.5
	UP	10	3.68	10.69	7.69**		3.12	3.44	1.96	
PNS	ME		0.22	0.02			0.20	0.02		
	MZ	19	0.69	0.47			0.65	0.27		
	DZ	11	2.94	3.11	6.61**	84.8	1.49	0.77	2.85*	64.9
	UP	10	2.76	1.47	2.11		2.68	3.06	3.97*	
<u>1</u>	ME		0.15	0.03			0.14	0.03		
	MZ	19	1.03	0.94			1.22	0.72		
	DZ	9	3.02	5.28	5.61**	82.1	1.46	1.56	2.16	53.8
	UP	9	3.15	3.57	1.47		2.40	1.36	1.14	
<u>A</u>	ME		0.21	0.02			0.18	0.02		
	MZ	19	1.45	1.74			1.11	0.75		
	DZ	11	2.61	4.17	2.39	58.2	1.70	1.12	1.49	33.0
	UP	10	4.44	11.21	2.68		3.12	3.44	3.07	
<u>6</u>	ME		0.16	0.04			0.18	0.00		
	MZ	19	0.95	0.75			0.93	0.83		
	DZ	11	2.18	4.58	6.11**	83.6	2.40	0.98	1.18	15.3
	UP	10	2.20	3.56	1.28		2.92	6.47	6.60**	
<u>E</u>	ME		0.27	0.01			0.23	0.04		
	MZ	18	1.22	1.53			1.04	0.58		
	DZ	9	3.11	8.23	5.37**	81.4	3.11	3.19	5.50**	81.8
	UP	10	2.80	5.54	1.48		3.20	5.51	1.72	
Co	ME		0.59	0.43			0.67	0.10		
	MZ	19	1.26	0.98			1.60	1.67		
	DZ	11	4.80	7.00	7.14**	86.0	4.40	6.43	3.85**	74.0
	UP	10	4.52	5.97	1.17		3.24	8.30	1.29	
<u>6</u>	ME		0.18	0.00			0.14	0.05		
	MZ	19	0.75	0.37			0.90	0.33		
	DZ	11	1.89	1.33	3.59**	72.1	1.78	2.79	8.45**	88.1
	UP	10	1.48	1.16	1.14		1.96	1.97	1.41	

Table 1. Coordinate measurements (II).

			DEPTH				HEIGHT			
		No. of Pairs	Mean of Difference (mm)	V.	F-ratio	H.	Mean of Difference (mm)	V.	F-ratio	H.
$\bar{E}$	ME		0.19	0.00			0.18	0.01		
	MZ	15	0.53	0.25	4.16*		0.93	0.40		
	DZ	6	1.93	1.04		75.9	1.60	1.60	4.00*	75.0
	UP	6	1.46	2.79	2.68		1.33	2.22	1.38	
$\bar{I}$	ME		0.21	0.02			0.15	0.00		
	MZ	19	0.63	0.30			0.54	0.53		
	DZ	11	1.01	0.68	2.26	55.8	2.36	1.23	2.32	56.9
	UP	10	1.48	1.53	2.25		1.76	0.71	1.73	
$\bar{A}$	ME		0.17	0.00			0.13	0.02		
	MZ	19	1.01	0.38			0.77	0.64		
	DZ	11	1.05	1.28	3.36*	70.3	2.52	2.29	3.57*	72.0
	UP	10	1.72	4.66	3.64*		2.00	1.77	1.29	

Significant at ** 1 % and at * 5 % level.

V. : Variance.

H. : Heritability.

ME; measurement error, MZ; monozygous twins, DZ; dizygous twins, UP; unrelated pairs.

3) 角度の計測—顔面頭蓋各部分の角度的関係をみるために11項目の角度を計測した²³⁾ (Fig. 3)。

以上の計測は長さについては2/5 mm 目盛のスケール, 角度については1/2度目盛の分度器を用いて行なった。

なお, 計測点によつては設定の難易という問題があるので, 各計測項目についてそれぞれ計測誤差を求めた。

結果ならびに考察

以上の目的と方法により, 1卵性ならびに2卵性双生児の各組内差の分散および分散比を各計測項目について示したのが Tables 1, 2, 3である。

これらをみると, ANS-PNS (Table 2)を除くすべての計測項目で2卵性双生児群 (DZ) よりも1卵性双生児群 (MZ) の組内差分散の方が小さかった。また2群にみられる分散の差は多くの場合1~5%の危険率で有意であつた。

Figs. 4, 5はいずれも図の左半分に差の平均値を mm 単位あるいは度単位で示し, 右半分にそれらの分散値を示してある。これらから明らかにわかるように, 大部分が1卵性双生児群, 2卵性

双生児群, 対照群の順で大きい値を示している。

2卵性双生児群と対照群の組内差および分散を比較すると多くのものは対照群の方が大きい, まれに2卵性双生児群の方が大きいことがある。同胞と同程度に遺伝的組成の似ていると考えられる2卵性双生児の組内差より, 遺伝的になんら共通性のない対照群における組内差ならびに分散の方が大きいことは当然予想されたとおりである。ただ本研究においては双生児の片方を対照群の構成人員としたこと, あるいは資料数の不足などの理由からこのようなことが偶然に起つたものと考えられる。

Clark¹⁹⁾ は平均16歳の男女双生児を対象に数多くの身体計測をおこない, その結果より推定した遺伝力がいくつかの形質を除いて, かなり高く推定できたことから, 身体の量的諸形質には遺伝的要因の関与がきわめて強いと述べている。

顔面頭蓋形態の諸形質について遺伝力の推定をおこなつた研究としては, 本研究において用いたと同じ資料について行なつた乳歯の大きさに関する落合ら²⁵⁾の研究をみるのみである。本研究でも遺伝力推定を行ない, その結果を Figs. 6, 7, 8, 9に図示した。図中, 中心を通る細線 (H_{50}) が遺

Tabel 2. Linear measurements

		No. of Pairs	Mean of Difference (mm)	Variance	F-ratio	Heritability
S-N	ME		0.15	0.09		
	MZ	19	0.65	0.51		
	DZ	11	2.94	2.72	5.33**	81.2
	UP	10	3.40	6.23	2.29	
ANS-PNS	ME		0.25	0.01		
	MZ	19	0.71	0.24		
	DZ	11	2.03	0.23	1.04	
	UP	10	1.68	1.09	4.73**	
S-Ar	ME		0.12	0.05		
	MZ	15	0.80	0.27		
	DZ	11	2.90	4.03	14.92**	93.3
	UP	10	2.92	3.62	1.11	
N-ANS	ME		0.21	0.01		
	MZ	19	0.80	0.32		
	DZ	11	1.85	1.32	4.12**	75.7
	UP	10	2.68	4.55	3.44*	
S-PNS	ME		0.22	0.11		
	MZ	19	0.77	0.29		
	DZ	11	1.92	0.53	1.82	
	UP	10	2.12	2.84	4.95**	45.2
Co-Go	ME		0.42	0.22		
	MZ	19	1.55	2.32		
	DZ	11	3.09	2.46	1.06	5.6
	UP	10	2.32	3.65	1.48	
Co-Gn	ME		0.50	0.13		
	MZ	19	1.53	1.07		
	DZ	11	4.14	6.85	6.40**	84.3
	UP	10	4.24	7.83	1.14	
Go-Gn	ME		0.39	0.09		
	MZ	19	1.41	2.09		
	DZ	11	3.73	3.97	1.89	47.3
	UP	10	5.04	17.75	4.47*	
Go-Me	ME		0.33	0.13		
	MZ	19	0.96	0.43		
	DZ	11	3.70	5.28	12.27**	91.8
	UP	10	4.44	12.71	2.40	
Go'-Me	ME		0.27	0.08		
	MZ	19	0.71	0.20		
	DZ	11	2.83	2.44	12.20**	91.8
	UP	10	3.48	5.79	2.37	

Significant at ** 1 % and at * 5 % level.

伝力 50 の位置を示し、太線（角度計測の場合には点の部分）が遺伝力の大きさを示すものであるが、全般的にこれらの計測値は遺伝力 50 をはるかに越え、高い遺伝力を示した。このことから顔面頭蓋の形や大きさの決定には、他の身体諸形質と同様に遺伝的要因により強い支配を受けていること

が明らかである。しかし部位によつてはこれらの値が小さいものもあり、特に座標計測における結果からもわかるとおり、同一点であつても高さと深さで遺伝力の値が同様とは限らない。

Lundström⁴⁾ や Horowitz *et al.*¹¹⁾ は顔面頭蓋の形態に關与する遺伝的要因の大きさを 知るため

Table 3. Angular measurements

		No. of Pairs	Mean of Difference (degree)	Variance	F-ratio	Herita- bility
Go. ang.	ME		0.63	0.54		
	MZ	19	3.39	3.04		
	DZ	11	7.13	21.05	6.92**	
	UP	10	5.75	16.51	1.27	85.5
SNA	ME		0.45	0.18		
	MZ	19	1.63	1.85		
	DZ	10	3.85	10.33	5.58**	
	UP	10	5.15	10.50	1.01	82.0
S·N·ANS	ME		0.52	0.25		
	MZ	19	1.89	2.54		
	DZ	11	3.81	10.36	4.07**	
	UP	10	4.60	11.76	1.13	75.4
PNS·ANS·N	ME		0.62	0.25		
	MZ	19	2.23	2.26		
	DZ	11	3.18	9.16	4.05**	
	UP	10	4.20	8.23	1.11	75.3
S·PNS·ANS	ME		0.62	0.32		
	MZ	19	2.42	2.92		
	DZ	11	3.95	5.77	1.97	
	UP	10	4.45	8.08	1.40	49.3
N·S·Ar	ME		0.45	0.10		
	MZ	15	3.56	11.10		
	DZ	11	5.22	24.66	2.22	
	UP	10	7.00	14.55	1.69	54.9
N·S·PNS	ME		0.55	0.46		
	MZ	19	1.18	1.00		
	DZ	11	3.68	5.86	5.86**	
	UP	10	2.65	6.33	1.08	82.9
SN·NF	ME		0.52	0.30		
	MZ	19	1.84	0.86		
	DZ	11	1.63	1.05	1.22	
	UP	10	3.60	3.87	3.68*	18.0
<u>A</u> to SN	ME		1.40	2.21		
	MZ	18	4.75	7.27		
	DZ	9	5.11	19.86	2.73	
	UP	10	7.35	33.47	1.68	63.3
<u>A</u> to NF	ME		1.60	1.43		
	MZ	18	3.63	5.11		
	DZ	9	5.88	10.04	1.96	
	UP	10	7.00	30.27	3.01	49.1
<u>—</u> A to MP	ME		1.49	1.33		
	MZ	19	2.44	3.35		
	DZ	11	3.95	5.77	1.72	
	UP					41.9

Significant at** 1 % and at * 5 % level.

に、組内差の平均値あるいは分散値を検討した。
前者は1卵性、2卵性双生児組内差および組間差
を比較することにより、各集団間の差から遺伝的

要因や環境的要因による変異の大きさを推定し、
後者は分散比の大きさから卵性間の相違の程度を
あらわしている。

1. S—N	6. Co—Go
2. S—PNS	7. Co—Gn
3. ANS—PNS	8. Go—Gn
4. N—ANS	9. Go—Me
5. S—Ar	10. Go'—Me

ME, measurement error; MZ, monozygous twins
DZ, dizygous twins; UP, unrelated pairs.

Fig. 4. Means and variances of intrapair differences of the linear measurements.

Fig. 6. Heritability estimates on coordinate measurements of the upper facial part.

これらの観察では、一部を除いて計測項目が一致しないので本研究と同じ立場での比較はできないが、S—N の長さについては本研究も含めて三者が同様の計測を行なっているため、その結果を比較した (Table 4)。

著者の研究とこれらの研究では対象が白人と日本人という人種差があり、また年齢的にも大きな違いがあるにもかかわらず、数値はいずれもかなり一致したのを示し、特に分散比ではほとんど一

1. S · N · A	7. SN—NF
2. S · N · ANS	8. Gonial angle
3. N · S · Ar	9. $\bar{A}$ —SN
4. N · S · PNS	10. $\bar{A}$ —NF
5. S · PNS · ANS	11. $\bar{A}$ —MP
6. N · ANS · PNS	

Fig. 5. Means and variances of intrapair differences of the angular measurements.

Fig. 7. Heritability estimates on coordinate measurements of the lower facial part.

致した値となつている。また遺伝力推定の結果についても、Horowitz *et al.*¹¹⁾ の研究と本研究とでは分散値がやや異なるにもかかわらず、類似しているのは興味あるところである。

S—N 部はこの種の研究で使用する頭部X線規格写真上では、脳頭蓋と顔面頭蓋の境界としている部分であり、この部の前後方向への拡大は胎生期に蝶篩骨結合部の成長によつておこり、出生後の成長量は他の顔面骨に比して小さいといわれてい

Fig. 8. Heritability estimates on the linear measurements.

Fig. 9. Heritability estimates on the angular measurements.

Table 4. Comparison of heritability estimates of S-N length in three studies.

Investigator	Age of twins	Zygosity	No. of pairs	Intrapair differences	Variance	F-ratio	Heritability
Lundström (1954)	14y.	MZ	50	1.00 ⁺			
		DZ	50	2.50 ⁺			
Horowitz <i>et al.</i> (1960)	24y.	MZ	35		1.650*		
		DZ	21		9.607*	5.82**	83 ⁺
Nakata (1967)	3.6y.	MZ	19	0.65	0.51		
		DZ	11	2.94	2.72	5.33**	81

+ : calculated from the original articles by investigator. ++ : mean intrapair variance.

** : significant at 1 % level.

る²⁶⁾。したがって、このように構成する顔面骨の数が少なく、構造が単純で成長量もそれほど大きくない部分では、環境的要因による影響を受けにくいといえよう。

この点について Kraus *et al.*¹⁰⁾ は3つ子の顔面頭蓋を比較し、顔面頭蓋を全体の大きさで比較するより、各構成要素 (bone unit) で捉える方が遺伝的要因を見つけやすいと述べ、トルコ鞍やオートガイ部の輪郭などの17種の骨形質をあげている。そして遺伝的要因はおのこの骨自身の形態の決定を強く支配するが、それらが組み合わせられて複雑な構成を行なうと、多くの環境的要因が影響してくると述べている。

このように頭蓋底部で強い遺伝的要因をうけているのに対して、本研究では上顎骨基底部分をあらわす ANS-PNS の長さには、遺伝的要因の関与を

みることができなかつた。そこでさらにこれを検討するために、S-N 平面あるいは NF 平面 (ANS-PNS によつてなされる平面) となすいくつかの角度をとりあげた (Fig. 9)。まず S-N 平面と NF 平面のなす角度をみると遺伝的要因の関与がきわめて小さい。さらに、 $\angle N \cdot S \cdot PNS$ と $\angle S \cdot PNS \cdot ANS$ を比較し、乳中切歯 (A) の歯軸の延長と S-N 平面のなす角度および同じく NF 平面とのなす角度を比較すると、それぞれ前者、すなわち S-N 平面に関連した角度の方が遺伝的要因の関与が大きく、一方 NF 平面に関連した角度は環境的要因による変異の大きいことがわかる。NF 平面を構成する諸構造をみると、上部は上顎洞、下部は口腔という位置的特徴を考えなくてはならない²⁷⁾。すなわち、上顎骨基底部の形態は、呼吸および発声などの機能的発達と強く関連すると思われる上

顎洞の発育によつて影響をうける。また硬口蓋の形態は、咀嚼などの機能的発達に関連する口腔の発育と密接な関係があることが指摘されている。

このように生理的機能と強い関連性をもつ部分では、骨の発育は遺伝的要因の支配というより、他の非遺伝的要因の関与を考慮する必要があるものと思われる。

また Johnson²⁸⁾, Stockard²⁹⁾ らは、動物の交配実験から上下顎ではそれぞれ遺伝的支配に差異のあることを認め、Horowitz *et al.*¹¹⁾ は下顔面部における方が遺伝的要因の関与が大きいことを述べている。本研究においては上下顎間の顎関係について観察していないので、その間の相違について明確に論ずることはできないが、下顎骨では Co-Go, Go-Gn の長さを除いては gonial angle を含めて遺伝力が非常に高くなっている。下顎骨体長をあらわす Go-Gn, Go-Me, Go'-Me をみると、これらの計測点がほぼ似かよつた位置にありながら、Go-Gn では遺伝力が他の2項目に比べて小さい。Gn 点の動きが下顎骨の下方あるいは前方への発育と関連し、また Co 点が成長変化の大きい部位であり、環境的要因の関与ということも推論できるが、後に述べる計測点の設定上の問題ということも考えられるので、これらの部位に関しては今後さらに検討を要するところである。

全般的にみて以上のような結果がえられたのであるが、本研究において用いられた計測点の設定あるいは計測そのものに問題がまったくないわけではない。本研究の対象は平均3.6歳の幼児期であるため、頭部X線規格写真が常に中心咬合位で撮影されたとは限らず、双生児対を比較する場合に上下顎の関係を一定させることが困難な場合もあった。したがつて、本研究の計測点あるいはそれにもとづく計測項目の設定に際して、上下顎を一体として同一基準面から各点を計測することが困難であつたため、上下顎に対してそれぞれ独立した基準面を求めることが必要であつた。この点に関しては、すでに Johnson²⁸⁾, Stockard²⁹⁾, Horowitz *et al.*¹¹⁾ は、上顎および下顎に対する遺伝と環境の作用は同じでなく、かなり独立したも

ので、この種の研究においては上下顎をそれぞれ独立させて観察すべきことを示唆している。

頭部X線規格写真撮影の実際上の問題と、これら研究からの示唆を考慮して、下顎に対しては別の基準面を設定した。したがつて、下顎においては比較的計測誤差も大きく、計測点の設定上不利な点もあるが、あえて下顎頭の先端 Co をとつた。すなわち、座標計測において大部分の点で計測誤差が0.13~0.37 mm であり、この値は本研究で使用されたスケールの最小単位より小さかつたにもかかわらず、Co 点では0.59 mm (深さ)、0.67 mm (高さ) とかなり大きくなっている。さらに、これら計測点を結んでえられる長さの計測に際しても Co-Go 0.42 mm, Co-Gn 0.50 mm が最大の計測誤差値を示している。しかし、発育変化がきわめて大きいと予想される下顎頭の位置は、下顎骨の発育を観察する場合に、無視できないことも事実であり、この点に関してもさらに検討を加える必要がある。

これまで顔面頭蓋の大きさの決定に関与する遺伝的要因について、双生児法による研究結果を述べたのであるが、ここで双生児そのものに含まれる限界性と、双生児であるということによる特殊性から、その結果を直接一般集団に適用することには制約があることも十分に認識しなくてはならない。

すなわち、双生児法が成立する条件として、1) 卵性診断の確実性、2) 1卵性双生児と2卵性双生児の間で環境に大きい差異がないことがあげられる。しかし実際には多胎という本質的な環境的要因の特徴がある双生児集団からえた資料を、直ちに単産児集団に適用してよいかどうかについての検討も必要である³⁰⁻³²⁾。

双生児法は正確な卵性診断の上に成り立つものであるが、現在までに確立されている個々の診断法は、数多く組合わせることによつて診断の確実性が高まるとはいえ、絶対的な卵性の鑑別は実際にはかなり困難である。本研究においても資料の項で述べたように、著者の用いた診断法では1卵性双生児の約10%に2卵性双生児の混入して

いる可能性がある。

また本研究においては1卵性双生児組内でうける環境的要因の大きさと、2卵性双生児組内でうける環境的要因の大きさはまったく等しいと仮定しているが、胎生時、出生後を通じて常に同等であるとはいえない。

Price³⁰⁾は出生前の環境の偏よりを出生時要因、左右逆転および血液交流の影響(Freemartinism³³⁾)の3種に分類し、これらを primary bias といっている。すなわち、1絨毛膜性の1卵性双生児では血管の発育過程における相違によつて、血液供給にずれのあることの可能性、出生順位による影響などによる1卵性双生児組内の不同性、あるいは胎生時の血液交流作用が2卵性双生児を遺伝的組成による以上に類似させることの可能性をあげている。

しかし、本研究ではこれらの点に関して十分な資料がないので、各双生児組では環境はほぼ同じとみなして処理した。

総 括

男子1卵性双生児19組、同2卵性双生児11組について、ほぼ3.6歳時に撮影された頭部X線規格写真により顔面頭蓋の形態に関する遺伝学的研究をおこなった。

頭部X線規格写真の分析による諸計測値について、1卵性双生児群ならびに2卵性双生児群の組内差および分散値を計算し、Clark¹⁹⁾の遺伝力推定式にしたがつて、各計測項目における遺伝力推定を行なった結果、次の所見を得た。

1. 卵性間の組内差およびその分散値は、全般的にみて2卵性双生児群よりも1卵性双生児群の方が小さく、幼児期顔面頭蓋の形態には Tables 1, 2, 3および Figs. 4, 5に示したように、遺伝的要因の関与がかなり強い。

2. 大部分の計測項目において遺伝力50を越え、遺伝力推定の結果によつても、Figs. 6, 7, 8, 9より明かなように、遺伝的要因の関与の大きいことを示すことができた。

3. 顔面頭蓋の各部についてさらに詳細に検討

してみると、脳頭蓋底に近いS-N部では遺伝的要因の関与がきわめて大きく、これに対して上顎骨基部および下顎枝の長さについては環境的要因が大きく関与しているものと思われる。

4. 本研究の資料としたような低年齢児では、下顎頭Co点の設定にはさらに検討を要するものがある。

謝 辞

稿を終るにあたり、終始御懇篤な御指導と御校閲をいただきました山下浩教授に深謝いたします。また遺伝学的分析を中心に貴重な御教示を与えられた本学人類遺伝学研究室、大倉典司助教授ならびに多くの御援助と御助言を惜しまれなかつた落合靖一講師および小野博志講師に感謝いたします。

文 献

- 1) Brodie, A. G.: On the growth pattern of the human head from the third month to the eighth year of life, *Am. J. Anat.*, 68: 209, 1941.
- 2) Björk, A.: A discussion on the significance of growth changes in facial pattern and their relationship to changes in occlusion, *Dent. Rec.*, 71: 197, 1951.
- 3) Nanda, R. S.: The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms, *Am. J. Orthodontics*, 41: 658, 1955.
- 4) Lundström, A.: The importance of genetic and non-genetic factors on the facial skeleton studied in 100 pairs of twins, *European Orthodontic Society*, Hague, 1954, p. 92.
- 5) Schull, W. J.: The role of statistics in dentistry, in Witkop, C. J. (ed.), *Genetics and Dental Health*, p. 70, New York, McGraw-Hill Book Co., 1962.
- 6) Osborne, R. H.: Application of twin studies to dental researches, *ibid.*, p. 79.
- 7) Wylie, W.: Quantitative method for comparison of cranio-facial patterns in different individuals, *Am. J. Anat.*, 74: 39, 1944.
- 8) Curtner, R. M.: Predetermination of the adult face, *Am. J. Orthodontics*, 39: 201, 1953.
- 9) Stein, K. F. *et al.*: Influence of heredity in the etiology of malocclusion, *Am. J. Orthodontics*, 42: 125, 1956.
- 10) Kraus, B. *et al.*: Heredity and the cranio-facial complex, *Am. J. Orthodontics*, 45: 172,

- 1959.
- 11) Horowitz, S. L. *et al.*: A cephalometric study of cranio-facial variation in adult twins, *Angle Orthodont.*, 30 : 1, 1960.
- 12) Prorok, E. S.: Lateral cephalic radiograms as an aid to the determination of monozygosity, *Angle Orthodont.*, 33 : 55, 1963.
- 13) Jacobs, R. M.: Cephalometric and electro-dynamographic study of the occlusal complex in twins, *Am. J. Orthodontics*, 52 : 652, 1966.
- 14) Ross, R. B. *et al.*: Cranio-facial morphology in six pairs of monozygotic twins discordant for cleft lip and palates, *J. Canad. Dent. A.*, 3 : 149, 1965.
- 15) Osborne, R. H. *et al.*: *Genetic Basis of Morphological Variation*, Cambridge, Harvard University Press, 1959.
- 16) Gedda, L. (ed.): *Twins in History and Science*, Springfield, Thomas, 1961.
- 17) Shields, J.: *Monozygotic Twins*, London, Oxford University Press, 1962.
- 18) Holizinger, K.: The relative effect of nature and nurture influences on twin differences, *J. Educ. Psychol.*, 20 : 241, 1929, 19) より引用.
- 19) Clark, P. J.: The heritability of certain anthropologic characters as ascertained from measurements of twins, *Am. J. Human Genet.*, 8 : 49, 1956.
- 20) 浅野秀明: 双生児による乳歯歯冠近遠心幅径の遺伝学的研究, *人遺誌*, 10 : 72, 1965.
- 21) 坂本敏彦: 日本人の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, 1959.
- 22) 小野博志: 頭部X線規格写真法による日本人幼児の顔面頭蓋の成長に関する研究 (第1報), *口病誌*, 27 : 436, 1960.
- 23) Downs, W. B.: Variations in facial relationships; their significance in treatment and prognosis, *Am. J. Orthodontics*, 34 : 812, 1948.
- 24) Harris, J.: A cephalometric analysis of mandibular growth rate, *Am. J. Orthodontics*, 14 : 161, 1962.
- 25) 落合靖一ら: 乳歯の歯冠近遠心幅径に関する遺伝と環境との効果の分析, *人遺誌*, 10 : 175, 1966.
- 26) Applebaum, E.: Integration of anatomic and cephalometric studies of growth of the head, *Am. J. Orthodontics*, 39 : 612, 1953.
- 27) Moss, B. L.: The functional matrix, in Kraus, B. (ed.), *Vistas in Orthodontics*, p. 85, Philadelphia, Lea and Febiger, 1962.
- 28) Johnson, A. L.: The constitutional factors in skull form and dental occlusion, *Am. J. Orthodontics*, 26 : 627, 1940.
- 29) Stockard, C. R.: The genetic and endocrine bases for differences in form and behavior, in press, 28) より引用.
- 30) Price, B.: Primary biases in twin studies; a review of prenatal and natal difference-producing factors in monozygotic pairs, *Am. J. Human Genet.*, 2 : 293, 1950.
- 31) Lundström, A.: Hereditary limitations in orthodontic therapy, in Kraus, B. (ed.), *Vistas in Orthodontics*, p. 287, Philadelphia, Lea and Febiger, 1962.
- 32) Neel, J. V., *et al.*, *Human Heredity*, Chicago, The University of Chicago Press, 1954.
- 33) Anderson, D., *et al.*: The use of skin grafting to distinguish between monozygotic and dizygotic twins in cattle, *Heredity*, 5 : 379, 1951.

Appendix 1. Data of linear measurements (d: depth, h: height) (I)

Case No.	Or		ANS		A		Ar		PTM		PNS		l		A		6		E		Co		6		E		I		A	
	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h
Monozygous twins																														
1	50.424	8.58	0.43	2.54	0.49	2.16	4.24	4.13	2.32	0.14	0.40	0.50	8.54	8.50	4.70	8.45	6.22	4	—	—	84.439	6.34	8.19	2	—	—	6.422	4	4.436	0
4	48.825	6.56	0.43	6.53	2.48	0.17	2.24	4.12	4.30	8.14	4.40	8.48	8.54	4.48	0.70	4.44	4.20	0	—	—	86.439	6.35	6.18	8	—	—	7.622	4	5.634	8
8	48.422	4.56	4.39	2.51	2.43	6.14	4.19	6.13	2.29	2.16	0.34	0.46	8.48	8.48	0.63	6	—	—	24.050	0.82	0.30	4.33	2.16	8.25	6.26	8	6.424	0	6.434	0
10	49.622	4.57	6.40	4.51	6.45	2.14	0.22	0.13	2.29	2.15	2.34	0.46	8.50	4.48	0.63	6	—	—	23.252	4.82	8.30	0.33	6.17	6.25	6.28	8	6.425	2	4.436	0
11	48.024	0.58	4.42	4.55	2.46	8.14	0.24	0.14	0.30	8.15	2.38	4.51	2.51	2.52	4.67	2.22	8.43	6.27	6.57	6.84	0.40	8.36	8.16	0.28	4	8.820	8	7.633	6	
22	49.623	6.59	2.41	6.55	6.46	0.12	4.25	6.14	4.30	4.15	2.38	0.51	6.52	4.52	0.67	6.22	0.44	4.26	4.57	6.84	4.39	6.35	2.16	0.28	0	7.220	8	6.433	6	
24	50.827	2.56	8.42	4.52	0.46	4.18	8.19	2.12	0.29	2.12	8.35	6.46	0.51	6.48	8.66	4.19	2.38	8.22	8.54	0.82	0.34	8.35	6.18	8.27	2	6.422	0	7.234	4	
28	50.824	4.57	2.41	6.51	6.47	6.14	8.24	0.13	6.29	2.13	2.35	6.46	0.51	6.48	4.65	2.19	2.38	0.24	4.54	0.80	4.34	4.35	6.16	0	—	—	7.619	6	4.831	6
30	47.626	4.56	0.46	0.51	2.49	6.16	0.23	2.11	2.32	0.10	8.38	8.45	2.56	0.44	0.70	0.17	2.42	8.21	6.59	2.90	0.38	0.38	8.20	8	—	—	9.624	8	10.036	4
37	48.827	2.54	4.44	0.52	0.47	6.18	0.25	2	9.237	2.14	0.42	0.47	2.57	2.48	0.72	0.20	0.46	8.24	4.62	0.84	4.40	4.35	6.22	4.28	0	8.424	8	7.236	8	
39	51.224	0.61	2.40	8.58	0.44	8.11	2.23	2.16	4.28	8.17	6.37	6.53	6.49	2.52	4.64	8.24	0.38	4.30	8.54	8.80	0.34	0.36	8.17	2.26	4	8.020	0	6.432	4	
40	52.822	0.58	4.42	8.53	2.47	2.20	0.22	8.12	8.28	4.11	6.36	0.48	0.52	4.49	2.68	4.18	8.42	8.25	2.58	4.82	0.38	0.36	4.18	8.26	4	7.620	8	5.232	8	
42	52.022	4.58	0.43	2.53	6.47	6.19	2.23	2.13	6.27	2.12	8.36	0.48	4.53	2.48	8.68	0.20	0.40	8.24	4.56	0.83	2.38	4.36	0.18	8.27	6	8.422	8	6.035	2	
44	50.025	2.57	6.43	6.53	6.48	8	—	—	12.831	6.12	0.39	2.45	6.52	0.48	4.68	0.19	2.42	8.24	0.58	0.80	0.41	6.34	8.18	8.26	4	6.420	4	2.833	2	
46	50.824	4.56	8.44	8.52	4.50	0.17	6.23	2.12	0.31	6.13	2.39	6.46	8.53	2.48	4.68	8.19	6.43	2.24	8.58	0.80	0.42	4.36	0.19	2.26	0	6.820	8	2.432	8	
55	45.624	0.56	4.44	8.51	6.48	0.18	4.21	2	9.629	2.12	4.38	8.44	8.54	4.46	8.68	8.18	0.40	8.20	8.55	2.80	0.36	8.34	4.17	6.25	6	6.022	4	2.434	4	
57	46.024	8.57	6.45	6.52	0.48	8.17	6.20	4	9.228	4.12	8.39	2.44	8.56	0.48	0.70	0.18	0.42	4.21	2.56	8.82	0.36	8.34	8.18	8.26	4	7.223	6	3.236	0	
76	52.024	4.60	8.47	2.57	6.53	6.19	6.22	4.14	0.32	4.13	2.42	4.53	2.54	0.52	4.72	4.19	2.44	8.26	0.59	6.89	0.38	0.38	0.20	8.29	2	7.224	0	6.038	4	
80	52.823	2.61	6.46	4.58	8.52	0.19	2.23	6.14	4.31	6.13	6.40	8.53	6.56	4.52	4.71	6.20	0.44	4.27	2.59	2.90	0.40	0.37	6.21	6.29	2	7.224	8	8.038	8	
	53.221	6.64	0.41	6.59	2.46	0.14	4.26	0.17	2.28	0.20	0.36	4.54	0.53	2.54	8.66	0.25	2.42	4.30	0.55	2.82	4.34	4.33	6.18	4.25	6	7.222	8	5.234	8	
	52.822	0.63	2.42	0.58	8.46	0.14	0.24	8.16	8.28	0.20	0.37	6.53	2.53	2.55	6.66	0.25	6.42	4.30	8.55	6.81	2.33	6.35	6.18	0.26	8	8.823	2	6.834	0	
	50.025	6.57	2.43	2.54	4.50	4	—	—	13.230	8.14	4.39	6.50	4.54	8.51	6.69	6.22	0.41	6.24	0.57	2.86	0.38	0.34	4.16	8	—	—	7.620	8	6.033	6
	51.625	2.58	8.42	8.55	6.50	4	—	—	13.630	0.13	2.39	6.50	4.54	4.50	8.68	8.22	8.40	8.23	6.56	8.88	4.42	4.34	8.17	2	—	—	8.820	8	6.433	2
	47.624	8.57	6.44	4.52	8.49	6	—	—	12.430	4.12	8.36	4.48	0.54	8.46	0.69	6.18	4.40	4.22	8.55	2.81	6.32	8.36	4.19	6.27	6	9.224	4	8.435	2	
	46.824	8.57	6.43	2.52	8.48	0	—	—	13.629	2.13	2.37	2.49	6.52	4.47	2.68	0.18	4.40	8.22	8.55	2.79	6.33	6.36	0.18	0.28	0	9.224	4	8.434	8	
	48.822	0.56	4.43	6.51	6.46	8.15	6.20	4.12	4.29	2.14	4.36	4.48	0.50	4.49	2.65	2.21	6.38	8.26	0.53	6.82	4.36	8.35	2.20	4.26	0	7.622	8	5.233	2	
	49.223	2.56	8.42	8.52	8.46	0.16	4.21	6.12	0.30	8.14	8.38	0.49	2.51	6.50	4.67	6.21	2.42	0.26	0.56	0.80	4.40	0.36	0.22	0.25	6	7.622	8	3.233	2	
	50.026	0.61	2.44	4.56	0.48	8.13	2.24	4.14	8.32	8.16	0.41	6.50	8.56	0.53	2.70	8.22	8.45	2.28	4.59	2.84	8.38	8.35	2.21	2.26	0	7.622	8	3.635	2	
	49.224	4.59	6.43	2.55	6.47	2.12	0.23	2.14	4.33	2.14	8.41	2.51	2.52	8.54	8.67	6.22	0.44	0.29	2.57	6.84	4.36	0.35	2.20	8.26	8	8.422	8	4.836	4	

Appendix 1. Data of coordinate measurements (d: depth, h: height) (II)

Case No.	Or		ANS		A		Ar		PTM		PNS		l		A		6		E		Co		6		E		I		A				
	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h	d	h			
82	52.025	658.443	654.048	0.13	6.27	613.230	413.639	648.854	0.48	0.69	622.043	626.458	483.635	234.021	2.26	4.30	0	0	7.224	0	5.636	0	7.224	0	5.636	0	7.224	0	5.636	0	7.224	0	
	52.026	058.044	853.249	2	—	12.830	012.039	248.054	4.46	4.70	4.21	2.43	6.24	857.682	432.834	0.20	8.27	2.28	4	8.824	4	7.236	0	8.824	4	7.236	0	8.824	4	7.236	0	8.824	4
83	47.224	055.239	251.224	2.14	4.25	612.831	214.840	447.251	2.47	2.64	0.19	642.025	256.879	234.834	418.825	6.29	2	7.224	0	5.234	4	7.224	0	5.234	4	7.224	0	5.234	4	7.224	0	5.234	4
	46.823	654.440	050.044	0.16	0.24	412.029	614.840	045.251	2.50	0.64	1818.842	0.24	856.081	634.835	219.626	4.29	2	6.424	4	4.835	2	6.424	4	4.835	2	6.424	4	4.835	2	6.424	4	4.835	2
92	50.422	058.041	253.646	4.17	2.20	010.829	212.038	048.051	6.48	0.65	2.19	2.40	424.854	082.436	0.39	217	6.30	4.24	8.11	6.21	6	9.234	4	9.234	4	9.234	4	9.234	4	9.234	4	9.234	4
	52.422	858.842	054.848	4.17	2.22	411.628	414.039	650.053	2.50	0.66	8.20	8.40	826.855	686.833	238.818	0.30	8.26	8.11	6.22	0	10.435	2	6.22	0	10.435	2	6.22	0	10.435	2	6.22	0	10.435
Dizygous twins																																	
9	48.423	258.039	652.845	2.15	6.27	611.627	613.634	848.050	4.46	8.40	0.19	2.40	0.24	854.076	832.433	2.22	0.25	6.30	0	4.435	6	4.435	6	4.435	6	4.435	6	4.435	6	4.435	6	4.435	6
	50.420	858.841	654.047	6.14	4.30	814.430	816.037	250.050	4.50	0.37	2.22	4.37	2.25	652.074	834.031	2.18	0.24	0.28	4	4.832	4	2.432	4	4.832	4	2.432	4	4.832	4	2.432	4	4.832	4
12	51.224	058.438	454.444	0.19	6.25	611.229	614.437	648.850	8.50	4.64	4.22	4.41	6.28	454.077	636.436	8.22	4.26	4.30	4	8.825	2	4.036	0	8.825	2	4.036	0	8.825	2	4.036	0	8.825	2
	52.822	861.242	456.849	2.14	4.22	814.029	615.639	250.454	0.51	6.67	6.21	6.40	4.27	256.481	641.638	4.22	4.28	0.30	4	8.824	4	5.637	2	8.824	4	5.637	2	8.824	4	5.637	2	8.824	4
14	47.225	256.443	252.449	6.19	2.27	212.032	012.838	047.653	6.48	0.67	2.19	2.43	2.24	056.886	436.035	6.18	8	—	—	8.422	0	6.033	2	8.422	0	6.033	2	8.422	0	6.033	2	8.422	0
	50.423	259.642	855.244	8.15	6.23	216.828	017.637	651.252	4.52	0.66	4.24	4.42	0.28	855.689	228.034	8.18	0	—	—	6.422	4	6.834	8	6.422	4	6.834	8	6.422	4	6.834	8	6.422	4
17	46.421	650.841	246.044	8.20	0.24	4	9.629	610.436	4.41	6.50	0.40	8.64	0.14	839.220	454.077	6.31	6.32	8.19	2	—	—	8.023	6	8.023	6	8.023	6	8.023	6	8.023	6	8.023	6
	46.022	050.840	446.044	4.16	0.21	211.228	412.834	0	—	42.863	6.15	2.36	4.20	0.51	674.838	0.37	6.18	0	—	—	7.221	2	7.221	2	7.221	2	7.221	2	7.221	2	7.221	2	
27	53.623	260.039	656.044	8.14	4.21	213.226	014.836	452.049	2.54	8.62	0.21	2.39	6.27	252.881	638.036	0.18	4.26	8.29	2	7.622	0	3.234	0	7.622	0	3.234	0	7.622	0	3.234	0	7.622	0
	46.023	254.039	250.444	0.16	4.20	410.225	010.834	044.484	8.47	6.61	2.17	2.35	6.20	8.48	873.635	634.017	6.26	0.26	0	8.821	2	3.230	4	8.821	2	3.230	4	8.821	2	3.230	4	8.821	2
32	53.623	663.240	460.444	8.15	6.24	815.626	420.436	056.450	4.58	4.65	2.26	0.42	4	—	—	83.233	635	2.20	0	—	—	6.423	2	6.423	2	6.423	2	6.423	2	6.423	2	6.423	2
	52.022	862.441	2	—	14.426	418.429	618.837	6	—	57.264	4.26	8.40	4	—	—	81.631	233	6.18	8	—	—	5.620	0	5.620	0	5.620	0	5.620	0	5.620	0	5.620	0
33	52.019	660.437	657.040	0.12	0.22	014.823	215.233	650.446	8.50	0.63	6.22	8.35	2.27	650.072	830.832	4.18	0.22	8.26	4	6.421	2	3.233	6	6.421	2	3.233	6	6.421	2	3.233	6	6.421	2
	48.022	856.840	052.046	8.14	8.24	413.626	014.036	448.050	4.48	4.66	4.20	8.38	8.24	454.878	0.37	6.36	8.19	2.26	0.29	6.823	2	3.636	0	6.823	2	3.636	0	6.823	2	3.636	0	6.823	2
34	50.820	858.040	452.446	4.10	8.21	614.426	416.034	047.648	8.46	4.63	2.21	6.34	0.25	649.678	428.435	2.17	2.27	2.26	4	6.821	2	8.433	6	6.821	2	8.433	6	6.821	2	8.433	6	6.821	2
	52.022	456.442	051.250	0.14	8.21	211.626	015.636	448.449	2.64	8.21	2.39	2.26	4.52	481.227	234.417	6.27	2.26	4	8.422	4	8.435	2	8.422	4	8.435	2	8.422	4	8.435	2	8.422	4	8.435
35	46.025	656.039	250.842	8.15	6.22	411.628	411.237	246.050	0.45	6.65	6.19	2.41	2	—	—	78.431	234	4.16	0	—	—	10.024	4	10.024	4	10.024	4	10.024	4	10.024	4	10.024	4
	48.824	057.639	252.442	0.10	4.24	814.628	215.238	049.650	0.52	8.64	8.22	0.41	2.28	456.080	0.33	2.34	4.19	2	—	—	9.220	8	9.220	8	9.220	8	9.220	8	9.220	8	9.220	8	
62	50.025	657.246	453.650	8.19	2.23	211.232	010.439	249.255	6.49	6.70	8.18	8.46	4.21	663.685	638.836	0.20	4	—	—	6.024	4	3.238	8	6.024	4	3.238	8	6.024	4	3.238	8	6.024	4
	52.023	260.844	858.048	0	9.224	815.231	616.839	652.853	6.54	4.68	0.24	0.45	2.30	056.880	436.834	4.19	2	—	—	6.020	8	2.832	8	6.020	8	2.832	8	6.020	8	2.832	8	6.020	8
79	49.221	252.842	850.045	2.17	2.20	010.426	412.435	643.252	8.44	8.67	2.17	6.33	6.22	852.086	828.836	8.20	0.29	2.29	2	9.623	6	9.636	0	9.623	6	9.636	0	9.623	6	9.636	0	9.623	6
	46.823	654.441	251.246	8.15	2.20	811.628	010.836	844.051	6.44	4.65	6.18	0.32	8.20	450.476	0.34	834.414	8.26	0.27	6	7.620	8	5.633	2	7.620	8	5.633	2	7.620	8	5.633	2	7.620	8

Appendix 2. Data of linear measurements (I).

	S-N	ANS-PNS	S-Ar	N-ANS	S-PNS	Co-Go	Co-Gn	Go-Gn	Go-Me	Gó-Me
Monozygous twins										
1	62.4	43.2	29.6	43.6	42.4	47.6	92.0	58.4	54.8	48.0
	62.4	42.0	30.0	44.4	41.6	47.6	93.2	59.2	55.2	48.0
4	60.8	41.2	24.4	40.0	37.6	38.0	85.2	57.6	54.0	48.0
	60.8	42.0	26.0	40.8	37.2	37.6	85.6	58.4	54.4	49.6
8	59.6	43.6	29.2	42.0	41.6	47.2	91.2	61.2	58.4	50.8
	60.0	44.0	28.8	41.6	41.2	45.2	90.8	60.0	57.2	50.0
10	62.8	44.8	26.8	42.8	38.0	41.6	87.2	57.6	52.8	46.4
	60.8	44.4	28.0	41.6	38.0	41.6	87.2	54.8	52.4	45.2
11	61.6	45.6	28.0	48.0	40.4	45.2	95.6	64.0	59.6	53.6
	61.2	46.4	26.8	47.2	42.0	44.4	95.2	63.2	58.8	52.8
22	62.4	41.6	32.4	43.2	44.0	43.6	94.4	65.6	62.0	53.6
	61.2	40.4	31.6	44.4	44.4	44.4	92.0	63.2	62.0	53.2
24	61.6	43.6	26.4	41.2	41.2	40.0	85.6	58.4	56.0	47.6
	62.0	43.6	26.4	42.0	41.6	44.4	89.2	58.4	56.0	47.2
28	64.8	43.6	30.4	44.0	40.0	44.0	89.2	62.4	56.4	49.2
	66.0	42.8	30.4	44.4	40.8	43.2	89.2	61.2	55.6	48.4
30	66.8	44.0	—	44.4	41.6	46.0	88.0	60.0	55.2	48.8
	66.0	44.0	29.2	45.2	41.2	46.4	88.8	58.8	54.8	48.0
37	64.4	44.4	28.0	45.2	40.8	42.8	57.6	86.4	52.4	44.0
	64.4	45.2	26.8	46.0	41.2	44.0	58.8	88.8	54.0	45.6
39	67.6	46.8	28.4	48.0	44.0	46.4	94.8	62.0	57.6	52.4
	68.4	48.4	28.0	48.0	42.8	46.8	92.4	62.4	58.0	52.4
40	64.8	44.0	30.0	41.6	42.0	43.6	87.6	55.2	51.6	46.0
	64.8	43.2	28.4	42.0	42.4	42.8	86.4	56.4	52.4	46.4
42	62.4	42.4	—	43.6	42.0	46.0	92.4	58.8	55.2	49.6
	61.6	42.4	—	43.6	44.0	51.6	95.2	59.2	52.4	48.8
55	61.6	46.0	—	44.4	38.4	39.6	86.0	58.4	54.4	48.4
	61.6	44.8	—	43.2	39.2	38.8	84.8	59.6	55.6	50.0
76	57.6	42.4	25.6	43.2	38.4	43.6	88.0	57.6	53.2	46.4
	57.2	42.0	26.4	42.8	41.6	44.8	88.4	59.6	55.2	46.8
80	64.8	45.6	25.6	44.0	44.4	47.2	91.2	56.8	52.0	44.4
	63.2	44.8	26.0	42.8	43.6	43.6	89.6	57.6	53.2	44.8
82	64.4	44.4	—	44.8	42.0	42.0	88.8	58.8	54.8	50.4
	64.8	44.8	—	45.2	41.6	40.0	88.0	59.6	53.6	49.6
83	59.2	40.4	29.2	40.4	42.4	39.6	83.2	60.4	55.2	44.8
	59.6	41.6	28.4	41.2	41.6	37.6	86.4	61.6	54.0	45.6
92	65.2	46.0	26.8	42.0	40.0	42.4	88.0	57.6	54.0	47.6
	65.6	45.6	28.0	42.4	42.0	41.6	90.8	60.0	55.6	47.2
Dizygous twins										
9	60.0	44.8	27.2	39.6	37.2	38.8	82.4	55.2	52.0	46.4
	58.8	42.8	28.8	41.6	40.4	40.8	80.4	50.8	47.2	42.4
12	58.8	44.0	34.8	38.4	40.0	40.8	84.0	56.8	53.2	46.0
	63.6	46.0	27.2	42.8	42.0	46.8	90.0	59.2	55.2	47.6
14	58.8	44.4	33.6	43.2	39.6	50.0	94.4	50.8	46.8	44.0
	61.6	42.4	29.6	40.4	41.2	46.4	92.4	52.8	48.8	42.4
17	57.2	40.4	31.6	41.6	38.0	38.0	82.4	56.4	54.0	46.4
	57.6	38.8	26.4	41.2	36.4	40.8	84.0	59.6	56.4	48.4
27	64.4	45.2	24.8	40.0	39.2	44.8	87.6	57.2	51.6	44.8
	61.6	43.6	26.0	40.0	36.0	39.6	80.0	55.6	52.4	44.4
32	64.0	43.6	28.8	43.2	41.2	41.6	88.0	64.4	59.2	49.2
	59.6	42.4	30.0	41.2	42.0	39.2	85.6	56.8	52.8	44.4
33	60.8	44.4	25.2	38.0	37.2	37.2	78.0	51.2	48.0	42.8
	58.0	42.0	28.0	40.0	39.2	42.0	85.2	57.6	55.2	48.0
34	61.6	43.6	24.0	40.4	37.6	36.8	82.0	54.0	49.2	42.0
	62.8	40.8	26.0	42.0	39.2	34.8	84.0	58.0	53.2	46.4
35	61.6	43.6	27.2	40.0	38.8	40.0	83.2	52.4	49.2	42.8
	59.2	40.8	25.6	38.4	40.8	41.6	84.8	56.8	52.4	45.6
62	62.8	46.8	29.6	46.4	40.8	45.2	92.0	60.8	56.0	46.4
	58.0	44.8	26.4	44.8	42.8	43.2	86.4	57.2	52.8	44.8
79	60.8	40.4	26.0	43.6	38.4	43.2	89.2	53.6	48.0	45.2
	57.2	42.4	24.8	41.6	37.2	41.2	81.6	52.4	49.2	43.2

Appendix 3. Data of angular measurements.

	Go. Ang.	SNA	S·N·ANS	PNS·ANS·N	S·PNS·ANS	N·S·Ar	N·S·PNS	SN·NF	A to SN	A to NF	A to MP
Monozygous twins											
1	130.0 127.5	80.0 79.0	83.0 81.0	92.5 91.0	114.0 119.0	124.5 125.0	70.5 69.0	4.5 8.0	90.0 85.5	94.0 93.0	95.0 94.5
4	132.0 128.0	78.0 79.5	84.0 85.0	91.0 94.5	121.5 124.5	126.5 124.0	65.5 65.0	5.0 0.5	91.0 83.0	98.0 92.5	86.0 88.0
8	124.5 126.5	84.5 84.5	88.5 89.0	86.5 86.0	117.0 117.0	119.0 116.0	68.5 67.5	5.0 5.0	97.0 89.5	102.0 94.5	87.5 92.5
10	132.0 131.0	76.0 79.0	81.0 85.0	90.0 87.0	118.5 118.5	134.5 121.5	70.5 69.0	9.0 8.0	91.5 92.5	100.5 100.5	90.0 92.5
11	128.5 131.0	78.0 78.5	83.0 85.0	88.0 87.5	115.0 113.5	125.0 127.0	74.0 74.5	9.0 7.5	85.0 88.0	94.5 96.5	81.0 88.0
22	126.0 122.0	81.0 78.5	82.5 81.5	95.0 95.5	113.0 111.5	122.0 125.5	69.0 72.0	2.5 3.0	102.5 93.0	104.5 95.5	90.0 88.5
24	129.5 126.0	84.5 83.0	89.0 88.0	87.0 86.0	119.5 120.5	117.0 121.0	64.5 65.0	4.0 6.0	83.5 85.0	87.5 91.0	90.0 94.0
28	123.0 127.0	76.0 75.0	81.5 79.5	92.5 93.5	114.5 119.5	131.0 129.5	71.5 68.0	6.0 7.0	91.5 85.5	98.0 93.5	95.0 92.0
30	124.0 122.0	74.5 74.0	79.5 78.5	95.5 93.0	117.0 116.5	— 127.0	68.5 72.0	5.0 8.5	84.5 90.5	90.0 99.5	101.5 102.0
37	127.5 131.0	75.0 76.0	79.5 81.5	93.5 90.5	115.0 116.0	131.0 131.0	72.0 71.5	7.0 8.0	90.5 90.5	97.0 98.0	98.0 97.0
39	131.0 123.5	78.5 79.0	81.0 83.0	94.0 90.0	112.5 116.0	133.0 123.0	72.5 71.0	5.0 7.0	87.5 81.0	92.5 88.0	91.5 87.0
40	132.5 132.0	83.0 82.5	89.0 87.5	86.0 86.5	124.0 124.0	119.0 120.0	61.0 62.0	5.0 6.0	87.5 86.5	92.0 89.5	94.0 93.0
42	131.5 125.5	81.5 84.5	83.0 84.5	93.0 89.5	114.0 116.0	— —	70.0 71.5	4.0 6.5	89.5 93.0	94.5 98.5	90.5 91.5
55	130.5 125.5	78.5 79.5	85.0 84.5	85.0 87.5	119.0 117.5	— —	71.0 70.5	10.0 8.0	76.5 84.0	86.5 92.0	83.0 84.5
76	127.0 122.0	83.0 84.5	88.5 90.0	81.5 85.0	122.5 116.0	127.5 126.5	68.0 69.0	10.0 5.0	93.5 96.0	104.0 101.5	91.5 103.0
80	130.0 130.5	80.0 81.5	85.5 86.0	91.0 91.5	114.5 112.5	118.5 118.0	69.5 70.0	3.5 2.5	95.5 98.5	100.5 102.0	98.0 96.5
82	127.0 130.0	78.0 76.5	82.0 81.0	93.0 91.0	113.5 117.5	— —	70.5 72.0	5.0 8.0	86.0 83.5	90.5 93.0	92.5 91.0
83	123.5 126.0	80.0 77.5	84.0 83.0	95.5 95.5	109.0 112.5	119.5 124.5	70.0 69.5	0.5 1.5	— 100.5	— 102.0	91.5 92.5
92	130.0 130.0	75.0 77.5	79.5 80.5	96.5 96.0	112.0 114.0	131.0 126.5	72.5 69.5	4.0 3.5	81.5 87.5	86.0 91.0	89.5 87.0
Dizygous twins											
9	128.0 130.0	81.5 84.0	87.5 90.0	86.0 84.0	118.5 119.0	125.0 120.5	68.0 67.0	6.5 6.0	81.0 85.5	87.5 92.0	86.5 96.0
12	124.5 122.0	84.5 82.5	89.5 87.0	88.5 88.5	112.5 116.5	124.5 122.5	69.0 68.0	2.0 4.5	85.0 88.0	86.5 92.5	102.5 92.5
14	139.0 147.0	82.5 83.5	86.0 84.5	86.0 85.0	116.0 123.5	125.0 126.5	70.5 64.0	8.0 10.5	89.0 87.0	96.0 92.0	91.5 87.5
17	128.5 117.0	75.5 76.0	81.0 81.0	92.5 89.5	112.0 119.5	130.0 127.5	74.0 70.0	6.5 9.5	87.5 89.0	94.0 98.5	— —
27	128.5 120.5	79.0 75.5	83.0 79.5	93.0 93.5	116.0 114.5	125.5 124.5	68.0 72.5	4.0 7.0	97.5 99.5	101.5 106.5	101.5 101.0
32	122.5 133.5	85.0 90.0	88.0 93.5	86.0 82.0	125.0 122.5	122.5 118.5	61.0 62.0	6.0 4.5	— —	— —	102.0 93.0
33	129.0 121.0	85.0 83.0	89.0 88.5	86.0 86.5	120.5 116.5	119.0 121.0	64.5 68.5	5.0 5.0	87.0 90.0	92.5 95.0	90.5 94.0
34	132.5 134.0	— —	85.5 80.5	85.5 91.0	123.5 121.5	117.0 125.0	65.5 66.5	9.0 8.5	81.0 92.5	89.0 100.5	86.0 87.0
35	135.0 128.5	74.5 80.5	81.5 87.0	95.0 92.0	110.0 113.5	125.5 113.0	73.0 68.5	3.5 1.0	83.0 101.0	86.5 103.0	92.0 93.0
62	126.5 123.5	82.5 94.0	79.5 90.0	89.0 78.5	113.5 120.5	128.5 110.5	75.0 67.0	11.5 11.0	— —	— —	99.5 95.0
79	144.5 128.0	77.0 81.5	79.0 84.5	92.0 88.0	118.5 115.0	131.0 126.0	70.5 72.5	9.0 7.5	84.0 78.5	93.0 85.5	— —