

STUDY OF ADOLESCENTS EXPOSED IN UTERO

胎内被爆児の思春期調査

CLINICAL AND LABORATORY DATA 1958-59 NAGASAKI

REPORT 2 GROWTH AND DEVELOPMENT

診察ならびに臨床検査から得た資料 1958-59年 長崎

第2報 成長および発育

GERARD N. BURROW, M.D.

HOWARD B. HAMILTON, M.D.

ZDENEK HRUBEC, Sc.D.

in collaboration with 共同研究者

KICHIRO AMAMOTO, M.D. 天本吉郎

FUMIE MATSUNAGA, M.D. 松永文江

A. BERTRAND BRILL, M.D.



TECHNICAL REPORT SERIES

業 績 報 告 書 集

The ABCC Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, advisory councils, and affiliated government and private organizations. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

ABCC 業績報告書は、ABCC の日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

STUDY OF ADOLESCENTS EXPOSED IN UTERO

胎内被爆児の思春期調査

CLINICAL AND LABORATORY DATA 1958-59 NAGASAKI

REPORT 2 GROWTH AND DEVELOPMENT

診察ならびに臨床検査から得た資料 1958 - 59 年 長崎

第 2 報 成長および発育

GERARD N. BURROW, M.D.¹

HOWARD B. HAMILTON, M.D.²

ZDENEK HRUBEC, Sc.D.³

in collaboration with 共同研究者

KICHIRO AMAMOTO, M.D.¹ 天本吉郎

FUMIE MATSUNAGA, M.D.¹ 松永文江

A. BERTRAND BRILL, M.D.^{1,3}

Departments of Medicine,¹ Clinical Laboratories² and Statistics³

臨床部,¹ 臨床検査部² および統計部³



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

A Cooperative Research Agency of
U.S.A. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES · NATIONAL RESEARCH COUNCIL
and
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE
with funds provided by
U.S.A. ATOMIC ENERGY COMMISSION
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH
U.S.A. PUBLIC HEALTH SERVICE

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米 国 学 士 院 - 学 術 会 議 と 厚 生 省 国 立 予 防 衛 生 研 究 所
と の 日 米 共 同 調 査 研 究 機 関

(米国原子力委員会、厚生省国立予防衛生研究所および米国公衆衛生局の研究費による)

CONTENTS

目次

Introduction	緒言	1
Materials and Methods	資料および方法	2
Results	結果	3
Discussion	考案	13
Summary	要約	16
References	参考文献	17

TABLES 表

1 Mean estimated radiation dose, Group I children, age 14 平均推定放射線量, 第 I 群, 14歳	2
2 Mean head circumference by group 群別平均頭囲	4
3 Mean head circumference, female, Group I 平均頭囲, 女子, 第 I 群	5
4 Mean standing height, male, by group 群別平均身長, 男子	6
5 Mean standing height, female, Group I 平均身長, 女子, 第 I 群	7
6 Mean sitting height, weight and chest circumference, female, Group I 平均座高, 体重および胸囲, 女子, 第 I 群	9
7 Mean age at first menstrual period by group 群別初潮時平均月齢	10
8 Percent with one or more epiphyseal closures, female, by group 1 つ以上の骨端閉塞を伴う女子の群別百分率	11
9 Direction of significance of differences in mean values of various measurements 諸測定値の平均値の方向および差の有意性	12

STUDY OF ADOLESCENTS EXPOSED IN UTERO

胎内被爆児の思春期調査

CLINICAL AND LABORATORY DATA 1958-59 NAGASAKI

REPORT 2 GROWTH AND DEVELOPMENT

診察ならびに臨床検査から得た資料1958-59年 長崎

第2報 成長および発育

INTRODUCTION

Because of the known sensitivity of fetal tissues to ionizing radiation,¹⁻¹⁰ children who were exposed in utero to the atomic bomb in Nagasaki and Hiroshima and appropriate comparison groups are under study at the Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC). Earlier studies of these children have shown an increased incidence of microcephaly and mental retardation among those close to the hypocenter.^{11,12}

When these children entered adolescence, an intensive study was initiated to detect differences that might become apparent during the stress of puberty. In a report of the general aspects of the study,¹³ for ages 13 and 14, the increased incidence of mental retardation in the group closest to the hypocenter has confirmed earlier studies. Females, who as fetuses in the first trimester of gestation had received higher doses of radiation judging by the presence or absence of the acute radiation syndrome in the mother, were found to have slightly decreased visual acuity when compared to those who received lower doses. No cases of leukemia or cancer were found. Serum butanol extractable iodine determinations were done on a subsample of this group¹⁴ to assess their thyroid function, but no significant differences between comparison groups were apparent.

The present report deals with anthropometric measurements and developmental data in 286 children, all of whom were in utero at the time of the atomic bombing (ATB) in Nagasaki, Japan. Results in three comparison groups were analysed according to age at examination, sex, trimester of pregnancy ATB, tentative maternal radiation dose,¹⁵ distance from the hypocenter, and the presence or absence of the acute radiation syndrome in the mother.¹⁶

緒言

胎児の組織が電離放射線に対して感受性が高いということが知られているが、¹⁻¹⁰ 原爆傷害調査委員会 (ABCC) においては、長崎および広島における胎内被爆児童とそれに適した比較群を対象として調査を行なっている。これらの児童について以前行なった調査では、爆心地の近くで被爆した児童の間で、小頭症および知能遅滞の頻度の増加が認められた。^{11,12}

これらの児童が思春期に至り、思春期のストレスで差異が現われると考えられ、これを発見するため綿密な調査を開始した。本調査の総論を取り扱った報告¹³において、それ以前の調査で示されていた爆心地に最も近い群に知能遅滞の頻度が増加するということが13歳と14歳児に確認された。また、母親の急性放射線症候群の発現有無別によって被曝線量を推定した場合、妊娠前期に高い放射線量を胎内で受けた女子は、低い線量を受けた女子に比較して、視力がわずかに減少していたことが認められた。白血病ないし癌は認められなかった。この調査群の小標本について血清ブタノール可抽出性碘度値の測定を行なって甲状腺機能を評価したが、比較群の間には有意な差異は認めなかった。¹⁴

本報告書は、長崎において原爆時胎内にいた286名の児童の身体計測ならびに成長発育の資料に関するものである。3つの比較群の結果は、検査時年齢、性、原爆時の妊娠期、母親の暫定放射線量、¹⁵ 爆心地からの距離および母親の急性放射線症状の発現有無別¹⁶に解析した。

MATERIALS AND METHODS

The methods of the study have been presented in detail elsewhere.¹³ The sample of 286 children included three comparison groups:

Group I 100 whose mothers were within 2000 m from the hypocenter ATB (53 males, 47 females).

Group II 99 whose mothers were between 3000-4999 m (53 males, 46 females).

Group III 87 whose mothers came into the city after the bombing (43 males, 44 females).

Groups II and III were matched to Group I according to sex, trimester of gestation ATB, and socioeconomic status, the latter evaluated from observation of the home environment and from biographical information.

Tentative dose (T57D) estimates of the amount of radiation received by the mothers of the children in Group I ranged from 0 to 459 rad and all except six mothers received an estimated dose of at least 10 rad¹⁵ (Table 1).

資料および方法

調査方法は別の報告書に詳しく述べた。¹³ 客体 286 名の児童は、次の 3 つの比較群に分けた。

第 I 群 母親が原爆時爆心地から 2000 m 未満にいたもの 100 名 (男 53 名, 女 47 名)。

第 II 群 母親が 3000-4999 m にいたもの 99 名 (男 53 名, 女 46 名)。

第 III 群 母親が原爆後市内に転入したもの 87 名 (男 43 名, 女 44 名)。

原爆時の妊娠期および社会・経済状態別は、第 II 群および第 III 群を第 I 群と対応させた。社会・経済状態は、家庭環境の観察と経歴資料によって評価した。

第 I 群の母親が受けた暫定推定線量 (T57D) の範囲は 0-459 rad であって、6 名の母親を除く全員は少なくとも 10 rad の線量を受けた¹⁵ (表 1)。

TABLE 1 MEAN ESTIMATED RADIATION DOSE (T57D) FOR GROUP I CHILDREN EXAMINED AT AGE 14 BY SEX AND TRIMESTER OF GESTATION ATB

表 1 第 I 群の 14 歳被検児の平均推定放射線量 (T57D): 原爆時の妊娠期および性別

Trimester 妊娠期	Item 項目	Male 男			Female 女		
		50+ rad	<50 rad	Unknown† 不明	50+ rad	<50 rad	Unknown† 不明
First 妊娠前期	Number 数	6	12	3	3	9	1
	Mean 平均線量rad	199	23	-	81	24	-
Second and third 妊娠中期および後期	Number 数	10	18	2	12	8	5
	Mean 平均線量rad	150	23	-	165	22	-
Total 計	Number 数	16	30	5	15	17	6
	Mean 平均線量rad	168	23	-	148	23	-

† Mothers heavily shielded ATB. 原爆時重遮蔽下にあった母親。

The children were examined as close to their 13th, 14th, and 15th birthdays as possible, and also approximately at the six-month points between the birthdays. At each examination the girls were questioned as to whether menarche had occurred; since most of them had not experienced menarche until after the beginning of the

児童の検査は、第 13 回、第 14 回および第 15 回の誕生日にできるだけ近い日に、さらにまた誕生日からおよそ 6 か月目に行なった。女子については、各検査時に初経の有無について質問した。この調査の開始後まで、大部

study, it was possible to record this date with accuracy. A nurse trained in the procedures of the study recorded all the anthropometric data. The greatest circumference of the head, standing and sitting heights, and chest circumference were recorded in centimeters. Weight was measured in kilograms. At the 13-, 14-, and 15-year examinations an X-ray of the left hand and wrist was taken, from which the number of closed epiphyseal centers was determined.

The data for all measurements were scrutinized for significant differences among the three principal comparison groups. Group I children were further classified into *high* and *low* dose categories, each consisting of three additional subgroups, based on the radiation histories of the mothers. The data from Group I were also analyzed according to trimester of gestation ATB, and then further subdivided into *high* and *low* dose categories.

	High Dose Category 高線量区分	Low Dose Category 低線量区分
Distance Subgroups 距離別小群	0-1499 m Subgroup	1500-1999 m Subgroup
Rad Dose Subgroups 放射線量別小群	50+ rad Subgroup	<50 rad Subgroup
Radiation Syndrome Subgroups 放射線症候群の有無別小群	Positive Radiation Syndrome Subgroup 有放射線症候群	Negative Radiation Syndrome Subgroup 無放射線症候群

Two comments are pertinent to interpretation of the data. First, the several body measurements have been analyzed separately when they are, in fact, positively correlated variables. Therefore, the results of the various statistical tests are not independent. Second, in interpreting the results emphasis has been placed on those comparisons that have yielded significant differences. Where such differences do not emerge, one must bear in mind that in a small sample, the power to detect subtle differences is not great. That differences were not found does not necessarily mean they do not exist.

RESULTS

Mean head circumference for each sex is shown in Table 2. Group I males had a mean head circumference significantly smaller ($P \leq 0.05$) than males in Group II at the 13- and 14-year examinations, and significantly smaller than Group III at the 13-, 14-, and 15-year examinations ($P \leq 0.01$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$, respectively). Among Group I males the *High Dose Category* had a significantly smaller head circumference in every instance except for the *Rad Dose Subgroups* comparison at the 15-year examination. No significant differences were noted between Group I males who were in the first trimester ATB and those in other trimesters.

分の女子には初潮がなかったので、初潮時を正確に記録することができた。身体計測は調査要領を熟知した看護婦によって行なわれた。最大頭囲、身長、座高ならびに胸囲はセンチメートルで、体重はキログラムで記録した。13歳、14歳および15歳時の検査では、左手および手根のX線写真を取り、写真によって閉塞骨核の数を決定した。

全測定値について3つの主要比較群間に有意差の有無を綿密に検討した。母親の放射線被曝歴によって、第I群児を「高」および「低」線量群に区分し各区分を3つの小群に分けた。第I群の資料は、原爆時の妊娠期によっても解析され、さらに「高」および「低」線量群に区分された。

資料の解析については、2つの点を論じておく必要がある。第1に、数種の身体測定値は実際に明らかに相関した変数であるが、単独に解析した。したがって、種類の統計的検定の結果は独立していない。第2に、その結果を解釈するにあたって、有意差を生じた比較に重点を置いた。このような差異が現われない場合もあったが、小さな対象標本では、わずかな差異を発見する検定力は大でないことに留意しなければならない。差異が発見されなかったことは、必ずしも差異がないことを意味しない。

結 果

男女の平均頭囲は表2に示してある。13歳および14歳時検査において、第I群男子の平均頭囲は、第II群男子よりも有意に小さく($P \leq 0.05$)、13歳、14歳および15歳時検査において、第III群より有意に小さい(それぞれ $P \leq 0.01$, $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$)。第I群男子の高線量群の頭囲は、15歳時検査における放射線量別小群による比較を除き、各場合とも有意に小さい。原爆時妊娠前期にあった第I群男子とその他の妊娠期にあった男子との間には有意の差異はみられなかった。

TABLE 2 MEAN HEAD CIRCUMFERENCE BY GROUP, SEX, AGE, DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME IN MOTHER, DISTANCE FROM HYPOCENTER, AND TRIMESTER ATB

表2 平均頭囲：群・性・年齢・線量推定値・急性放射線症候群の有無・
爆心地からの距離・原爆時の妊娠期別

Age 年齢	Item 項目	Group 群			Group I Subgroups 第I群の区分								
		I	II†	III†	Dose 線量 rad		Acute Radiation Syndrome 急性放射線症候群		Distance 距離		Trimester 妊娠期		
					50+	<50	+	0	<1500 m	1500+m	1	2+3	
Male 男													
13	Number 数	53	50	40	17	31	10	43	17	36	22	31	
	Mean 平均	51.7	52.6*	52.8**	50.7	52.2*	50.1	52.1**	50.5	52.3**	51.4	52.0	
	Standard Deviation 標準偏差	2.0	1.6	1.4	2.5	1.6	2.4	1.7	2.3	1.6	1.8	2.1	
14	Number 数	51	45	39	16	30	10	41	16	35	21	30	
	Mean 平均	52.4	53.2*	53.5**	51.4	52.7*	50.7	52.8**	51.1	53.0**	52.0	52.7	
	Standard Deviation 標準偏差	2.0	1.7	1.4	2.8	1.5	2.4	1.8	2.4	1.7	1.8	2.2	
15	Number 数	50	47	38	15	30	9	41	15	35	21	29	
	Mean 平均	53.2	53.8	54.2*	52.2	53.5 ^s	51.1	53.7**	52.1	53.7*	52.9	53.5	
	Standard Deviation 標準偏差	2.2	1.6	1.5	2.9	1.7	2.7	1.8	2.8	1.7	1.9	2.4	
Female 女													
13	Number 数	45	45	41	18	18	9	36	20	25	14	31	
	Mean 平均	52.8	52.9	52.8	51.9	53.5***	51.9	53.0	52.1	53.3**	53.5	52.4*	
	Standard Deviation 標準偏差	1.6	1.4	1.5	1.2	1.4	1.3	1.6	1.3	1.4	1.2	1.5	
14	Number 数	38	34	34	15	17	7	31	16	22	13	25	
	Mean 平均	53.3	53.9	53.6	52.7	54.1**	52.2	53.6*	52.5	54.0***	53.9	53.1 ^s	
	Standard Deviation 標準偏差	1.4	1.5	1.5	1.1	1.5	0.8	1.4	1.0	1.4	1.6	1.3	
15	Number 数	39	41	37	16	16	8	31	19	20	12	27	
	Mean 平均	53.7	53.9	53.9	53.1	54.5**	52.9	53.9*	53.1	54.3**	54.4	53.4*	
	Standard Deviation 標準偏差	1.3	1.5	1.4	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.4	1.2	

^s P≤0.1 Suggestive 示唆的

* P≤0.05

** P≤0.01

*** P≤0.001

† Tested for significance against Group I 第I群に対する有意性検定.

No significant differences in mean head circumference were found among the females in the three comparison groups. However, within Group I, with one exception, the mean head circumference was significantly smaller in the *High Dose Category* (Table 2). Group I first trimester females had a greater mean head measurement than those of the other two trimesters (final two columns, Table 2), and at the 13- and 15-year examinations these differences were significant ($P \leq 0.05$). Again in Group I first trimester females, with one exception, the mean head circumference was significantly smaller in the *High Dose Category* (Table 3).

3つの比較群の女子の間では、平均頭囲に有意な差異はなかった。しかし、第I群女子では、1つの例外を除いて、平均頭囲が高線量群において有意に小さかった(表2)。妊娠前期にあった第I群女子の平均頭囲は、その他の2つの妊娠期(表2、最後の2欄)の女子よりも大きく、13歳時および15歳時検査では、これらの差異は有意であった($P \leq 0.05$)。さらに、1つの例外はあったが、第I群妊娠前期女子の平均頭囲が高線量群において有意に小さかった(表3)。

TABLE 3 MEAN HEAD CIRCUMFERENCE FOR GROUP I FIRST TRIMESTER FEMALES BY DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME, AND DISTANCE FROM HYPOCENTER

表3 第I群妊娠前期女子の平均頭囲：線量推定値・急性放射線症候群の有無・爆心地からの距離別

Age 年齢	Item 項目	Dose 線量 rad		Acute Radiation Syndrome 急性放射線症候群		Distance 距離	
		50+	<50	+	0	<1500 m	1500+ m
13	Number 数	4	9	2	12	2	12
	Mean 平均	52.1	54.1*	51.4	53.8*	51.8	53.7 ^s
	Standard Deviation 標準偏差	0.9	1.3	0.5	1.5	1.1	1.3
14	Number 数	3	9	2	11	2	11
	Mean 平均	52.3	54.5*	52.1	54.2*	52.0	54.3*
	Standard Deviation 標準偏差	1.0	1.2	1.4	1.1	1.1	1.0
15	Number 数	2	9	1	11	2	10
	Mean 平均	52.3	54.9*	51.4	54.7	52.3	54.8*
	Standard Deviation 標準偏差	1.3	1.0	0.0	1.1	1.3	1.0

^s $P \leq 0.1$

* $P \leq 0.05$

The head circumference of females with six or more epiphyseal closures in the hand and wrist at age 14 was evaluated. The three comparison groups did not differ to any great degree, but among those in Group I, significantly low values were noted for girls in the *Positive Radiation Syndrome Subgroup* ($P \leq 0.05$) and those in the *0-1499 m Subgroup* ($P \leq 0.05$).

Significant differences in mean head circumference were still present in the male comparisons, even after excluding six cases from Group I and two from Group III

14歳時に手および手根に6個以上の骨核閉塞を有する女子の頭囲を検討した。3つの比較群には大差はなかったが、第I群の間では、有意に低い値が有放射線症候群の女子($P \leq 0.05$)および0-1499 m群の女子($P \leq 0.05$)にみられた。

成長発育に悪影響を及ぼすかと思われる知能遅滞、結核症、または脳性麻痺を有する第I群の6例と第III群

who were either mentally retarded, or had tuberculosis or cerebral palsy, any of which might adversely affect growth and development. Under these circumstances, at 13 years the mean head circumference for Group I was 52.1 cm compared to 52.6 cm for Group II ($P \leq 0.1$) and 52.9 cm for Group III ($P \leq 0.05$).

The mean standing height for males in the three comparison groups is shown in Table 4. At all examinations Group I males were shorter than Group III males, the difference being suggestive at the 13- and 15-year ($P \leq 0.10$) examinations and significant ($P \leq 0.05$) at the 14-year examination. There were no significant differences between Group I males by dose categories, although the *High Dose Category* had a smaller mean standing height in every instance at all three examinations. No significant differences were found between Group I first trimester males and those in the other two trimesters ATB.

の2例を除外したあとでも、男子の比較において、平均頭囲に依然として有意の差異があった。このような条件で、13歳における各群の比較では、第I群の平均頭囲は52.1cm、第II群は52.6cm($P \leq 0.1$)、第III群は52.9cm($P \leq 0.05$)であった。

3つの比較群の男子の平均身長は表4に示す。全検査において第I群男子は第III群男子よりも低く、その差異は、13歳と15歳時検査では示唆的($P \leq 0.10$)であり、14歳時検査では有意であった($P \leq 0.05$)。第I群の線量区分群の男子間では有意な差異はなかったが、3つの検査において、いずれの場合にも高線量群の平均身長は小さかった。原爆時第I群妊娠前期の男子とその他の妊娠期男子との間には、有意な差異はみられなかった。

TABLE 4 MEAN STANDING HEIGHT FOR MALES BY GROUP AND AGE

表4 男子の平均身長：群および年齢別

Age 年齢	Item 項目	Group 群		
		I	II	III
13	Number 数	53	50	40
	Mean 平均cm	142.0	142.7	145.3 ^s
	Standard Deviation 標準偏差	9.1	8.1	7.1
14	Number 数	51	45	39
	Mean 平均cm	149.6	150.9	153.9*
	Standard Deviation 標準偏差	10.7	8.6	7.9
15	Number 数	50	47	38
	Mean 平均cm	156.1	156.7	159.9 ^s
	Standard Deviation 標準偏差	10.3	8.4	7.0

^s $P \leq 0.1$

* $P \leq 0.5$

For females there were no significant differences in mean standing height among the comparison groups, but Group I females in the *High Dose Category* were significantly shorter than those in the *Low Dose Category* in every instance except one at all three examinations (Table 5). At the 13- and 14-year examinations, Group I first trimester females were significantly taller ($P \leq 0.05$) than the other trimester females, and the difference was suggestive at the 15-year examination.

女子の平均身長には、比較群の間で有意な差異はなかったが、第I群女子の高線量群は、3つの検査において1例を除き、いずれの場合にも、低線量群児童よりも身長が有意に低かった(表5)。13歳時および14歳時検査では、第I群妊娠前期の女子の身長は、その他の妊娠期の女子よりも有意に高く($P \leq 0.05$)、その差異は、15歳時検査では示唆的であった。

TABLE 5 MEAN STANDING HEIGHT FOR GROUP I FEMALES BY DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME, DISTANCE FROM HYPOCENTER AND TRIMESTER ATB

表5 第I群女子の平均身長：線量推定値・急性放射線症候群の有無・爆心地からの距離・原爆時の妊娠期別

Age 年齢	Item 項目	Dose 線量 rad		Acute Radiation Syndrome 急性放射線症候群		Distance 距離		Trimester 妊娠期	
		50+	<50	+	0	<1500 m	1500+ m	1	2+3
Total 計									
13	Number 数	18	18	9	36	20	25	14	31
	Mean 平均	143.3	148.1*	141.7	146.3*	142.0	148.1***	148.8	143.8*
	Standard Deviation 標準偏差	7.1	5.3	8.4	5.6	5.8	5.3	4.3	6.6
14	Number 数	15	17	7	31	16	22	13	25
	Mean 平均	148.6	152.1*	145.0	151.6**	147.6	152.4**	152.7	149.1*
	Standard Deviation 標準偏差	5.6	4.3	5.8	4.1	4.8	4.3	3.8	5.3
15	Number 数	16	16	8	31	19	20	12	27
	Mean 平均	150.5	154.0*	149.9	153.0	150.1	154.6**	154.5	151.4 ^S
	Standard Deviation 標準偏差	5.7	3.6	7.8	4.3	5.7	3.6	2.8	5.8
First Trimester Only 妊娠前期のみ									
13	Number 数	4	9	2	12	2	12		
	Mean 平均	145.8	150.1	142.7	149.9*	144.0	149.9 ^S		
	Standard Deviation 標準偏差	4.8	4.1	0.0	3.8	1.8	4.1		
14	Number 数	3	9	2	11	2	11		
	Mean 平均	148.6	153.7*	147.8	153.7*	150.4	153.2		
	Standard Deviation 標準偏差	3.0	3.3	3.6	3.3	0.0	4.1		
15	Number 数	2	9	1	11	2	10		
	Mean 平均	150.5	155.3*	150.5	154.9	150.5	155.3*		
	Standard Deviation 標準偏差	0.0	2.4	0.0	2.5	0.0	2.2		

s P≤0.1
* P≤0.05
** P≤0.01
*** P≤0.001

Among Group I first trimester females the *High Dose Category* was shorter than the *Low Dose Category* and some of the differences were statistically significant (Table 5). Moreover, these Group I first trimester females in the *Low Dose Category* were taller than either those in Group II (e.g., for the <50 rad Subgroup at age 13, $P \leq 0.05$; at 14, $P \leq 0.1$; at 15, $P \leq 0.01$) or Group III (e.g., for the <50 rad Subgroup at all three examinations, $P \leq 0.01$). They were also taller than the Group I females in the other two trimesters in the *Low Dose Category* (for *Negative Radiation Syndrome Subgroup*, $P \leq 0.01$ at age 13, $P \leq 0.1$ at 14, and $P \leq 0.05$ at 15).

At the 13-year examination Group I males had a mean sitting height of 76.2 ± 5.3 cm compared to 78.7 ± 4.1 cm for males in Group III ($P \leq 0.05$). At the 14-year examination the mean sitting height for the two groups was 80.5 ± 6.6 cm and 82.8 ± 4.6 cm, respectively ($P \leq 0.05$) the comparable values at the 15-year examination were 84.3 ± 6.3 cm and 86.6 ± 4.3 cm ($P \leq 0.1$). Group I males were also shorter than Group II males, but not significantly so. When Group I males were compared by dose category, and again by trimester of gestation ATB, the differences were not significant.

There were no significant differences in the mean sitting height of females between Group I and Groups II and III. However, Group I females in the *High Dose Category* had a shorter mean sitting height than did those in the *Low Dose Category* and these differences were significant in seven of the nine comparisons tested (Table 6). Group I first trimester females had a significantly greater mean sitting height at all three examinations than did Group I females who were in the other two trimesters ATB.

Group I males generally weighed less than the males in Groups II and III, however, the differences were not significant even when compared by *High* and *Low Dose Categories* though the former were lighter.

Group I females were also not significantly lighter than females in Groups II and III, but the *High Dose Category* as a whole was lighter than the *Low Dose Category*, and some of the differences were significant (Table 6). Group I females who were in the first trimester ATB were heavier than females who were in the other trimesters, and this difference was significant at the 13-, 14-, and 15-year examinations ($P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$, and $P \leq 0.05$, respectively).

The mean chest circumference in the Group I males was less than in Group II or III, and males in the *High Dose Category* also had a smaller mean chest circumference than those in the *Low Dose Category*, but the differences were not significant.

第I群妊娠前期の女子の高線量群は低線量群より低く、その差異の若干は統計的に有意であった(表5)。さらに、低線量群に属する第I群妊娠前期の女子は、第II群女子(たとえば、13歳時の<50 rad群については $P \leq 0.05$, 14歳では $P \leq 0.1$, 15歳では $P \leq 0.01$)または第III群(たとえば、3つの検査時の<50 rad群について、 $P \leq 0.01$)のいずれよりも身長が高かった。これらの女子は低線量群に属するその他の妊娠期の第I群女子よりも身長が高かった(無放射線症候群のものについては13歳では $P \leq 0.01$, 14歳では $P \leq 0.1$, および15歳では $P \leq 0.05$)。

13歳時検査では、第I群男子の平均座高が 76.2 ± 5.3 cmであるのに対し、第III群男子の座高は 78.7 ± 4.1 cm ($P \leq 0.05$)であった。14歳時検査では、この2つの群の平均座高は、 80.5 ± 6.6 cmおよび 82.8 ± 4.6 cm ($P \leq 0.05$)であって、15歳時検査では、それぞれ 84.3 ± 6.3 cmおよび 86.6 ± 4.3 cm ($P \leq 0.1$)であった。第I群男子も第II群男子より身長が低かったが、有意ではなかった。第I群男子を線量区分別ならびに原爆時の妊娠期別に比較した場合のいずれにも有意な差異はなかった。

第I群と第II群・第III群との間で、女子の平均座高には有意の差異はなかった。しかし、高線量群に属する第I群女子の平均座高は、低線量群に属する第I群女子のそれよりも低く、これらの差異は、検定した比較9のうち7に有意であった(表6)。第I群妊娠前期の女子の平均座高は、3つの検査において、原爆時妊娠中・後期にあった第I群女子よりも有意に大であった。

第I群の男子の体重は一般に第II群・第III群の男子よりも少なかったが、その差異は有意ではなく、高線量群と低線量群とを比較しても、前者の方が軽かったが、その差異は有意ではなかった。

第I群女子の体重も第II群・第III群の女子より有意に軽くなかったが、高線量群は群としては低線量群より軽く、若干の差異は有意であった(表6)。原爆時妊娠前期にあった第I群女子の体重は、その他の妊娠期にあった女子よりも重く、この差異は、13歳、14歳および15歳時検査において有意であった(それぞれ $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$ および $P \leq 0.05$)。

第I群男子の平均胸囲は、第II群あるいは第III群の男子よりも小であって、高線量群男子の平均胸囲も低線量群よりも小であったが、その差異は有意ではなかった。

TABLE 6 MEAN SITTING HEIGHT, WEIGHT AND CHEST CIRCUMFERENCE FOR GROUP I FEMALES BY DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME, DISTANCE FROM HYPOCENTER AND TRIMESTER ATB

表6 第I群女子の平均座高、体重および胸囲：線量推定値・急性放射線症候群の有無・爆心地からの距離・原爆時の妊娠期別

Age 年齢	Item 項目	Dose 線量 rad		Acute Radiation Syndrome 急性放射線症候群		Distance 距離		Trimester 妊娠期	
		50+	<50	+	0	<1500 m	1500+ m	1	2+3
13	Examined 検査数	18	18	9	36	20	25	14	31
14	Examined 検査数	15	17	7	31	16	22	13	25
15	Examined 検査数	16	16	8	31	19	20	12	27
Sitting Height 座高 cm									
13	Mean 平均	78.5	82.0*	77.7	80.8 ^s	77.7	82.3***	82.8	79.0**
	Standard Deviation 標準偏差	4.6	3.6	5.6	3.6	3.6	3.6	3.6	4.1
14	Mean 平均	81.8	84.3 ^s	80.0	83.6*	80.8	84.6***	85.1	81.8**
	Standard Deviation 標準偏差	3.8	3.3	4.1	3.0	2.8	3.0	2.8	3.3
15	Mean 平均	83.0	85.7*	82.6	85.1*	83.1	86.0**	86.4	83.8*
	Standard Deviation 標準偏差	3.1	2.8	4.5	2.6	3.1	2.7	2.7	3.1
Weight 体重 kg									
13	Mean 平均	35.1	39.9*	34.7	38.3	34.1	40.4***	41.9	35.6**
	Standard Deviation 標準偏差	6.5	5.9	7.5	6.0	5.0	6.1	5.6	5.8
14	Mean 平均	39.6	44.7*	38.9	43.4 ^s	38.8	45.3***	45.5	41.0*
	Standard Deviation 標準偏差	5.6	5.1	5.5	5.7	4.5	5.3	5.6	5.5
15	Mean 平均	41.9	45.9*	41.9	45.6	42.7	46.8*	48.2	43.4*
	Standard Deviation 標準偏差	4.2	4.9	6.7	5.3	5.2	5.6	6.1	5.0
Chest Circumference 胸囲 cm									
13	Mean 平均	67.6	71.8*	68.6	70.1	67.6	71.6*	73.6	68.1**
	Standard Deviation 標準偏差	5.8	4.8	7.3	5.1	4.8	5.5	4.5	5.2
14	Mean 平均	72.0	76.1*	72.2	75.0	71.5	76.6**	76.8	73.3*
	Standard Deviation 標準偏差	5.0	4.2	5.6	4.9	4.2	4.5	4.8	4.8
15	Mean 平均	74.4	77.9*	74.1	77.7 ^s	75.4	78.4 ^s	79.6	75.8*
	Standard Deviation 標準偏差	4.3	4.4	5.4	4.6	4.8	4.7	4.7	4.7

s P≤0.1
* P≤0.05
** P≤0.01
*** P≤0.001

Females in Group I had a smaller mean chest circumference than in Groups II and III, except for those in Group III at the 13- and 15-year examination, but the differences were not significant. Group I females in the *High Dose Category* did have a significantly smaller mean chest circumference than the *Low Dose Category* for the *Rad Dose Subgroups* at all examinations and the *Distance Subgroups* at ages 13 and 14 (Table 6). Group I females who were in the first trimester ATB had a significantly larger mean chest circumference on all examinations than those who were in the other trimesters ATB.

The mean onset of menarche is shown in Table 7 for each comparison group; the differences are not significant. Among Group I females, the onset of menses for the *High Dose Category* was, on the average, later than the *Low Dose Category*, and significantly so for *Distance Subgroups*. Group I first trimester females had an earlier menarche than those in the other trimesters, but the differences were not significant.

第I群女子の平均胸囲は、13歳および15歳時検査における第III群の女子を除き、第II群・第III群の女子に比し小であったが、その差異は有意ではなかった。高線量群に属する第I群女子の平均胸囲は、線量区分では各検査時、距離区分では13歳と14歳時検査において低線量群よりも有意に小さい(表6)。原爆時妊娠前期にあった第I群女子の平均胸囲は、原爆時その他の妊娠期にあった女子よりもすべての検査時で有意に大であった。

各比較群の平均初潮開始期は表7に示したが、その差異は有意ではない。高線量群に属する第I群女子の初潮は、低線量群女子よりも平均して遅く、距離区分では有意であった。第I群妊娠前期女子の初潮は、その他の妊娠期女子よりも早い、その差異は有意ではなかった。

TABLE 7 MEAN AGE AT FIRST MENSTRUAL PERIOD BY GROUP, DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME, DISTANCE FROM HYPOCENTER, AND TRIMESTER ATB

表7 初潮時平均月齢：群・線量推定値・急性放射線症候群の有無
爆心地からの距離・原爆時の妊娠期別

Item 項目	Group 群			Group I Subgroups 第I群の区分							
	I	II	III	Dose 線量 rad		Acute Radiation Syndrome 急性放射線症候群		Distance 距離		Trimester 妊娠期	
				50+	<50	+	0	<1500 m	1500+ m	1	2+3
Number 数	42	43	36	17	18	9	33	19	23	13	29
Mean 平均 months 月	160.3	160.2	159.1	161.4	158.3	158.9	160.7	164.8	156.5*	156.9	161.8
Standard Deviation 標準偏差	11.2	9.9	10.3	14.7	9.0	15.5	10.1	10.1	10.9	10.9	11.3

*P<0.05

At the 13-year examination none of the males in the study showed any epiphyseal closure in the hand or wrist, while one or more centers were closed in 27% of the females, but no significant differences were noted among the comparison groups. By the 14-year examination, 8% of the males had undergone closure of one or more epiphyses in the hand and wrist, while 72% of the females had this amount of epiphyseal closure (Table 8). At the 15-year examination 37% of the males and 93% of the females had undergone some epiphyseal closure in the hand and wrist. When Group I females were compared by *High* and *Low Dose Categories*, the mean number of epiphyses closed was higher in the latter group, and significantly

13歳時検査において、男子では手および手根の骨核閉塞を示したものはひとりもいなかったが、女子の27%に1つ以上の骨核閉塞が認められた。しかし比較群間に有意な差異はみられなかった。14歳時検査において、男子の8%に手および手根に1つ以上の骨核閉塞が認められたが、同期女子ではその72%に1つ以上の骨核閉塞があった(表8)。15歳時検査では、男子の37%および女子の93%に手および手根にある程度の骨核閉塞があった。第I群女子を高線量群と低線量群に分けて比較した場合、骨核閉塞の平均数は、後者の群に高く、14歳時検査にお

so for the *Rad Dose Subgroups* and *Distance Subgroups* at the 14-year examination and for the *Rad Dose Subgroup* at the 15-year examination. Group I females who were in the first trimester ATB had a significantly higher mean number of epiphyses closed at the 14-year examination, than did females who were in other trimesters ATB.

Table 9 summarizes the direction and significance of the differences between the various groups and subgroups. Minus signs show where the mean values for Group I, and for the *High Dose Categories* are less than that of the group or subgroup against which they are compared, and a plus sign indicates that the value is greater. No difference is indicated by 0.

いて線量および距離区分で有意であり、また15歳時検査においては、線量区分で有意であった。14歳時検査において、原爆時妊娠前期にあった第I群女子の骨核閉塞の平均数は、その他の妊娠期にあった女子より有意に高かった。

表9に種々の群と小群との間にみられる差異の方向と有意性を要約した。マイナス印は、第I群と高線量群の平均値が比較の対象となった群と小群のそれよりも低いことを示し、プラス印は、その年齢値が大であることを示す。差異のない場合は0で示した。

TABLE 8 PERCENT OF FEMALES WITH ONE OR MORE EPIPHYSEAL CLOSURES AND MEAN NUMBER OF CLOSURES AT 14- AND 15-YEAR EXAMINATION BY GROUP, DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME, DISTANCE FROM HYPOCENTER, AND TRIMESTER ATB

表8 14歳および15歳時検査における1つ以上の骨端閉塞を伴う女子の百分率ならびに閉塞の平均数：群・線量推定値・急性放射線症候群の有無・爆心地からの距離・原爆時の妊娠期別

Age 年齢	Item 項目	Group 群			Group I Subgroups 第I群の区分							
					Dose 線量 rad		Acute Radiation Syndrome 急性放射線症候群		Distance 距離		Trimester 妊娠期	
		I	II	III	50+	<50	+	0	<1500 m	1500+ m	1	2+3
14	Number 数	37	35	33	15	17	7	27	15	22	13	24
	Percent with any centers closed 骨核閉塞を伴う百分率	81	74	61	60	94 ^s	57	85	60	96*	85	79
	Mean number closed 平均閉塞数	8.2	9.0	7.9	5.3	11.3*	6.1	8.6	3.6	11.4***	12.8	5.8**
	Standard Deviation 標準偏差	7.3	7.9	8.3	7.1	6.6	6.8	7.6	4.8	7.1	7.1	6.2
15	Number 数	39	41	37	16	16	8	31	19	20	12	27
	Percent with any centers closed 骨核閉塞を伴う百分率	92	95	92	81	100	75	97	84	100	100	89
	Mean number closed 平均閉塞数	14.2	15.0	14.6	11.4	16.1*	11.3	15.0	12.3	16.1 ^s	15.9	13.5
	Standard Deviation 標準偏差	6.3	6.2	6.6	7.6	4.6	8.5	5.5	7.1	4.9	4.8	6.8

s P<0.1
* P<0.05
** P<0.01
*** P<0.001

TABLE 9 DIRECTION AND SIGNIFICANCE OF DIFFERENCES IN MEAN VALUES OF VARIOUS MEASUREMENTS FOR GROUPS BY SEX, AGE AT EXAMINATION, DOSE ESTIMATE, ACUTE RADIATION SYNDROME, AND TRIMESTER OF GESTATION ATB

表9 諸測定値の平均値の方向および差の有意性：性・検査時の年齢・線量推定値・急性放射線症候群の有無・原爆時の妊娠期別

Measurement 測定区分	Age 年齢	Group 群		Group I Subgroups 第I群の区分				Trimester 妊娠期
				Dose	Acute Radiation	Distance	1 vs 対 2+3	
				線量 rad	Syndrome	距離		
				急性放射線症候群				
		I vs 対 II	I vs 対 III	50+ vs 対 <50	+ vs 対 0	<1500 m vs 対 1500+m		
Male 男								
Head circumference.....	13	-*	-**	-*	-**	-**	-	
頭囲	14	-*	-**	-*	-**	-**	-	
	15	-	-*	-s	-**	-*	-	
Standing height.....	13	-	-s	-	-	-	+	
身長	14	-	-*	-	-	-	+	
	15	-	-s	-	-	-	+	
Sitting height	13	-	-*	-	-	-	-	
座高	14	-	-*	-	-	-	+	
	15	-	-s	+	-	+	+	
Weight	13	-	-	-	-	-	+	
体重	14	-	-	-	-	-	-	
	15	-	-	-	-	-	-	
Chest circumference.....	13	-	-	-	-	-	-	
胸囲	14	-	-	-	-	-	-	
	15	-	-	-	-	-	-	
Epiphyseal closure..... %	14	-	+	-	-	-	+	
骨端閉塞	15	+	+	0	-	-	-	
Female 女								
Head circumference	13	-	0	-***	-	-**	++	
頭囲	14	-	-	-	-*	-***	++s	
	15	-	-	-**	-*	-**	++	
Standing height	13	-	0	-*	-*	-***	++	
身長	14	-	+	-*	-**	-**	++	
	15	+	+	-*	-	-**	++s	
Sitting height	13	+	+	-*	-s	-***	+++	
座高	14	+	+	-s	-*	-***	+++	
	15	+	+	-*	-*	-**	++	
Weight	13	+	+	-*	-	-***	+++	
体重	14	-	0	-*	-s	-***	++	
	15	-	-	-*	-	-*	++	
Chest circumference	13	-	+	-*	-	-*	+++	
胸囲	14	-	-	-*	-	-**	++	
	15	-	+	-*	-s	-s	++	
Epiphyseal closure..... %	14	+	+	-s	-	-*	+	
骨端閉塞	Mean 平均	14	+	-*	-	-***	+++	
%	15	-	+	-	-	-	+	
Mean 平均	15	-	-	-*	-	-s	+	
Age at first regular menses 初潮時の年齢		+	+	+	-	++	-	

+ Mean for first group larger

最初の群の平均の方が大であったことを示す。

s P≤0.1

* P≤0.05

** P≤0.01

*** P≤0.001

DISCUSSION

Table 9 shows that Group I males consistently had smaller measurements than their counterparts in Groups II and III, the head circumference generally being significantly smaller. For the three female groups, the differences were neither consistent nor significant. For both sexes within Group I, measurements were generally smaller for those who received higher doses of radiation as judged by estimated radiation dose to the mother, acute radiation syndrome of the mother, or her distance from the hypocenter, and the differences were more often significant in the females. The most striking differences for both sexes were in the head measurements; among females, differences in all measurements were greatest for the *Distance Subgroups*. With respect to trimester of gestation ATB within Group I, no consistent or significant differences were seen for the males, but for the females almost all measurements of those in the first trimester were significantly greater than for the other two trimesters.

Differences in size and developmental factors between Group I and Groups II and III males, as well as between *High and Low Dose Categories* of both sexes, were consistently in the same direction and were often significant for females and both sexes combined (Table 9). This may be due in part to the fact that essentially the same children were examined at fairly closely spaced intervals, so that one would not expect large changes from one examination to the next. Also, the various body measurements of the same individual are positively correlated and this would tend to contribute to the large number of differences found.

The data may be affected by socioeconomic factors, since there is evidence that Group III children, whose mothers came into the city after the bombing, differ from those in Groups I and II.^{13,17} In selecting the sample an effort was made to match comparison Groups II and III with Group I according to socioeconomic status. Even though this may not have been wholly successful, it appears unlikely that extreme differences exist among the three groups.

The three different *High and Low Dose Categories*, are similar but generally not identical in composition. Excluded from the *Rad Dose Subgroups* are those who were heavily shielded and for whom rad dose cannot be estimated. In the *Positive Radiation Syndrome Subgroup* are a few mothers who were at peripheral distances where radiation dose estimates are in the lower part of the range for all Group I. Others have pointed out that although there is a relation between occurrence of the syndrome and the

考 案

表9に示したように第I群男子の測定値は一貫して第II・第III群男子よりも小さく、頭囲については、一般的に有意に小さい。3つの女子群については、その差異には一貫性も有意性もなかった。第I群内の男女双方では、母親に対する推定放射線量、母親の急性放射線症候群の有無ないし母親のいた爆心地からの距離によって線量を判定した場合、測定値は高い線量を受けたものに小であって、その差異は、女子の方がたびたび有意であった。男女双方について最も顕著な差異が認められたのは頭囲であって、女子ではすべての測定値の差異が距離区分群において最大であった。第I群を原爆時の妊娠期別にみたとき、男子には一貫したまたは有意な差異はみられなかったが、妊娠前期女子のほとんどすべての測定値が、その他の2つの妊娠期にあった女子の測定値よりも有意に大であった。

男子の第I群と第II群・第III群間ならびに男女の高および低線量群間では、身長および発育因子の差異は、一貫して同じ方向にあって、女子および男女合計ではしばしば有意であった(表9)。これは、本質的に同じ児童が概して近い間隔で検査されたという事実の一部起因するかもしれない。したがって、1つの検査から次の検査までに大きな変化が起ころうとは思われない。また、同じ人の種々の身体測定値は、明らかに相関しており、これが多数の差異に寄与しているようである。

母親が原爆後に入市した第III群児童が第I群・第II群の児童とは異なっているという証拠があるので、資料は社会・経済的要因によって影響されると思われる。^{13,17}したがって、標本抽出には社会・経済的狀態に従って、第II群・第III群を第I群と対応させようと努力した。たといこれが全く成功していなかったにしても、この点について3つの比較群の間に極端な差異があるとは思われない。

3つの高および低線量群は類似してはいるが、その標本構成は一般に同一ではない。放射線量区分からは重遮蔽者と線量の推定ができないものが除外されている。有放射線症候群小群には、線量推定値が第I群の線量の下限界にある少数の母親がいる。急性放射線症候群の発現と線量推定値、または爆心地からの距離との間には関

radiation dose estimate or the survivor's distance from the hypocenter, a number of persons reported acute radiation injury which could not be explained by the dose of ionizing radiation received, as estimated from a point source.^{16, 18, 19} Distance from the hypocenter has been most frequently used as an indicator of the amount of radiation received in lieu of actual doses. The distance subdivision was drawn at 1500 m since it has been shown that demarcation around 1400-1500 m focuses attention on a group of survivors who received substantial amounts of radiation.¹⁸⁻²⁴ Included in each *Distance Subgroup* were a few heavily shielded mothers who presumably received less radiation than they would have in more exposed situations.

Evaluation of data for each of the three comparisons within Group I has produced similar results. This indicates that the three ways of subdividing Group I are reasonably comparable and the three indices of the amount of radiation received are related, although not identical. This in turn strongly suggests that the differences observed are consistent, at least in part, with a radiation effect, either directly to the fetus or indirectly from effects on the maternal tissue. Admittedly it is difficult to separate radiation effects from those of trauma, burn, and infection, any of which can undoubtedly affect a developing fetus adversely. However, if the latter were responsible for the differences, one would not expect to find them by using a demarcation at 1500 m or at 50 rad. The frequency of burns, trauma, and infection increased with distance over close ranges and continued at a fairly high level even beyond 3000 m²⁵ whereas the gradient for radiation dose is fairly steep, having fallen to a negligibly low level at 2500 m.

The smaller head circumference of those closest to the hypocenter confirms earlier reports associating exposure to radiation with decreased head size.^{1-3, 11, 12} A previous report from ABCC suggested that irradiation during the seventh to fifteenth week of gestation might be critical for the development of microcephaly.²⁶ Here, on the other hand, the head circumference of the Group I first trimester males is only slightly smaller than those in the other trimesters, and among females the head measurements of the first trimester subgroup is larger than those of the other two trimesters.

The fact that, in Group I, first trimester females were larger, judging by head, height, weight, and chest measurements, than those in the other trimesters, seemingly contradicts previous observations²⁶ that irradiation early in gestation has a more pronounced deleterious effect than at a later period, insofar as effect on subsequent

係があるといわれるが、線源から推定した電離放射線の線量で説明できない急性放射能障害を報告したものがあ
る。^{16, 18, 19} 受けた放射線量の指標として、実際の線量の代わりに、爆心地からの距離が最もしばしば使用されてきた。1400-1500 m 区分は、相当量の放射線を受けた被爆者群に注意が集中できるので、¹⁸⁻²⁴ 1500 m を境界線とした。各距離群には、おそらく遮蔽が少なかったものよりも少量の放射線しか受けなかったと思われる少数の重遮蔽の母親が含まれている。

第 I 群の 3 つの比較群の各資料を評価したところ、同じような結果が得られた。第 I 群を区分する 3 つの方法には、相当対応性がある、受けた放射線量についての 3 つの指標が、同一ではないが関連性があることを示す。これは前述の差異が、胎児に対する直接の影響または母親の組織への影響からの間接の影響であるということ、少なくとも部分的に強く示唆する。放射線の影響を、外傷、火傷および感染から分離することは明らかに困難であるが、それらが発育中の胎児に悪影響を及ぼすであろうことは疑いない。しかし、もし後者が原因で差異が生じたとすれば、距離区分として 1500 m、線量区分として 50 rad を用いることによってそれらを見出すことは期待できない。火傷、外傷および感染の頻度は、近距離区域においては、距離とともに増加し、3000 m 以上でさえも概して高水準がみられた。²⁵ それに反して、放射線量の勾配は概してけわしく、2500 m では無視できるほどの低い水準に低下した。

至近距離被爆群に頭囲が小さいことは、小頭症は放射線と関係があるという初期の報告を裏づける。^{1-3, 11, 12} 妊娠第 7 - 第 15 週中の放射線照射は、小頭症の発生に重要であることを以前の ABCC 報告が示唆している。²⁶ 一方、第 I 群妊娠前期男子の頭囲は、その他の妊娠期男子よりもごくわずかに小さく、女子の間では、妊娠前期群の頭部測定値は、その他の 2 つの妊娠期のそれよりも大である。

第 I 群妊娠前期女子を、頭囲、身長、体重および胸部測定値についてみたとき、その他の妊娠期女子よりも「大きい」という事実は、発育成長に及ぼす影響からみた場合、妊娠前期の放射線照射が妊娠後期の照射よりも著しい有害な影響があるという以前の観察²⁶ と矛盾してい

growth and development is concerned. This may be partially explained by the fact that there were only three first trimester females whose mothers received an estimated dosage of 50 rad or more, compared to 12 in the other two trimesters. Furthermore, the mothers of these three first trimester females received less radiation than the mothers of the second and third trimester children in the *High Dose Category* (Table 1). Group I first trimester females, therefore, are similar to the *Low Dose Category* while the second and third trimester females are more similar to the *High Dose Category*. These differences in the amount of radiation received would tend to obscure any differences due to the stage of gestation ATB.

The first trimester females in the *Low Dose Category* have a larger mean head circumference than Group I females who were in the other trimesters or who were in Groups II and III. This might explain why differences were not found for females between all of Group I and Groups II and III (Table 2). The reasons for this apparent discrepancy are not clear, but would seem to indicate that the Group I first trimester females in the *Low Dose Category* may be affected by some selective factors and are not strictly comparable with the others. The possibility that among the female fetuses in the first trimester who received low radiation doses only the larger or stronger survived cannot be excluded, but this seems unlikely because no comparable effects were seen for the males and higher doses of radiation appeared to be related to smaller size even among the first trimester females. Other selective factors, such as migration, various social characteristics, and the like, might produce the inconsistencies in the data.

Greulich and Pyle have suggested that puberty correlates well with closure of the epiphyses in the hand and wrist.²⁷ In the present study, females showed a substantial number of closures, on the average, between the 13- and 14-year examinations but in the males, by the 14-year examination, the epiphyses were just beginning to close. Thus, although the males and females were chronologically the same age, from the standpoint of maturation the females were more advanced, and therefore meaningful comparisons could not be made between the sexes.

Along with the apparent smaller size of the *High Dose Category* of Group I females, a lag in development was evidenced by delayed menarche and epiphyseal closure of the hand and wrist. That those who received the larger amount of radiation lagged behind suggests that the delay in development may be related either directly or indirectly to radiation of the mothers during gestation. It is possible that the smaller body measurements noted may be a reflection of this delay.

るようである。これについては、母親が50 rad以上の推定線量を受けた妊娠前期の女子3人を対象にしたのに対し、その他の2つの妊娠期では女子12名を対象にしたという事実によって部分的に説明できるかもしれない。さらに、これら3人の妊娠前期の女子の母親は、妊娠中期および後期の高線量群の母親よりも少ない放射線量を受けている(表1)。したがって、第I群妊娠前期女子は、低線量群に近似し、他方、妊娠中・後期の女子は、高線量群により近似している。この放射線量の差異は、原爆時の妊娠期によって起こる差異を不明確にするようである。

低線量群の妊娠前期女子には、その他の妊娠期にあった第I群女子または第II群・第III群女子よりも大きな平均頭囲がある。これは第I群と第II群・第III群女子について差異が見出されなかった理由の説明になろう(表2)。この明白な齟齬の理由は明らかでないが、低線量群の第I群妊娠前期女子は、何か選択的な因子に左右されているかもしれない。厳密には、他の群と対応していないと考えられる。低い放射線量を受けた妊娠前期の女子胎児のうち、より大きなもの、または、より強いものだけが生き残ったという可能性は除外することはできないが、しかし、男子には同じような影響はみられず、高い放射線量が妊娠前期女子の小さい頭囲に関係があるようにみえたから、その可能性はおそくないと思われる。移住、種々の社会的特性などのような選択的因子が、その資料に矛盾をもたらしたかもしれない。

Greulich および Pyle は、思春期が手および手根の骨端閉塞とよく相関することを示唆した。²⁷ 今回の調査では、女子に平均して13歳-14歳時検査で相当数の閉塞を認めたが、男子では、14歳時検査までに骨端がやっと閉塞し始めていた。男子と女子とは歴年的には同年齢であったが、成熟の観点からは、女子ははるかに進んでいたため、男女間に有意義な比較はできなかった。

第I群の高線量群女子の測定値が明らかに小さいばかりでなく、この女子には手および手根の骨端閉塞および初潮遅延が認められ、発育に遅延があった。大きな放射線量を受けた群に遅延がみられたことは、発育遅延が妊娠中の母親の放射線に直接的にまたは間接的に関係していることを示唆する。身体測定において低い値が得られたことは、この遅延を反映しているかと思われる。

The question arises whether the differences represent a permanent retardation in growth or merely a delay. Although not presented here in detail data were evaluated for standing and sitting heights (Table 5 and 6), which show that the Group I females in the *High Dose Category* had a significantly greater growth rate between the 13-, 14-, and 15-year examinations than did those in the *Low Dose Category*, perhaps indicating that the differences are due to a lag in growth. Among the Group I females, at the 14- and 15-year examinations there were more children in the *High Dose Category* in whom epiphyseal closures of the hand and wrist had not yet begun than in the *Low Dose Category*. Since there is no reason to suspect that the epiphyses will not eventually close, this may be further evidence in support of delayed growth. For the head circumferences, on the other hand, no significant differences were noted between the two examinations within any one of the three comparison groups. The dependence of head circumference upon age is less at 13 to 15 years than are other growth measurements, such as stature.^{28, 29} If head girths of these children are unlikely to be altered appreciably in the years to come, as would seem to be the case, then even now it may be concluded that the head circumferences of the heavily irradiated children will remain smaller than those who received less radiation. Obviously, observations over a longer period of time are necessary to settle the question of whether the above phenomena represent delayed or permanent retardation of growth.

SUMMARY

A group of 286 adolescent children, all of whom were in utero at the time of the atomic bombing in Nagasaki, were examined as part of a long-term program to determine possible differences in growth and development that might be attributable to exposure to ionizing radiation. Three comparison groups were studied: Group I, whose mothers were within 2000 m from the hypocenter; Group II, whose mothers were located between 3000-4999 m; Group III, whose mothers were not in the city at the time of the bomb. Group I was further subdivided into *high* and *low* dose categories as judged by direct dose estimates, whether or not the mother experienced the acute radiation syndrome, or whether she was more or less than 1500 m from the hypocenter.

The age at menarche and degree of epiphyseal closure in the wrist were determined. In addition, measurements were made of head circumference, standing and sitting heights, weight, and chest circumference.

その差異が成長における永久的な遅延であるかまたは単に一時的な遅延を現わすものであるかという問題がある。ここに詳しくは述べなかったが身長および座高の資料についても検討した(表5および表6)。13歳-14歳-15歳時検査間では、高線量群の第I群女子に、低線量群よりも有意に大きな成長率があったので、おそらく差異は成長遅延に起因しているであろう。14歳および15歳時検査で、第I群女子においては、低線量群よりも高線量群の多くの児童に手および手根の骨端閉塞がまだ始っていなかった。骨端が結局は閉塞しないと疑う理由はないので、これが成長遅延のもう1つの裏づけとなるかと思う。他方、頭囲については、3つの比較群には、2つの検査間では、有意の差異は認められなかった。頭囲の年齢に対する依存度は、13歳-15歳では、身長などの成長測定値のそれよりも少ない。^{28, 29} もしこれらの児童の頭囲が、考えられるように将来ほとんど変化しないようであれば、重被曝児童の頭囲は、少量の放射線を受けたものより引き続いて小さいということを今でも結論づけることができる。前述の現象が一時的なものかまたは永久的な成長遅延を現わすものかどうかの疑問を解決するには、明らかに、長期にわたる観察が必要である。

要 約

電離放射線照射に起因すると思われる成長および発育の差異を決定するための長期研究計画の一環として、長崎の原爆時に胎内にいた286名の思春期児童群を検査した。次の3つの比較群について調査した。すなわち第I群、その母親が爆心地から2000m未満にいたもの。第II群、その母親が爆心地から3000-4999mの間にいたもの。第III群、その母親が原爆時市内にいなかったもの。第I群は、高および低線量群に区分した。この区分の判定は、直接線量推定値、その母親が急性放射線症候群を体験したかどうか、または、その母親が爆心地から1500m以内またはそれ以上にいたかどうかによって行なった。

初潮時の年齢および手根骨の骨端閉塞の程度を調査した。さらに、頭囲、身長、座高、体重ならびに胸囲について測定した。

Differences were found among some of the comparison groups which were consistent with a radiation effect. This was most significant in head circumference measurements.

The differences between Group I and the other two comparison groups were not thought to be due solely to a small number of severely affected children influencing the group as a whole.

It was suggested that the Group I children may be lagging behind their cohorts in growth and development, but that for the group closest to the hypocenter the head circumference may remain smaller than for the comparison groups.

若干の比較群に差異を見出したが、これは放射線の影響と一致していた。これは頭囲測定値において最も有意であった。

第I群と他の2つの比較群との差異は、群全体に影響を及ぼすような重篤な障害を受けたものが少数いたことのみ起因するものとは思われなかった。

第I群の児童が成長および発育においてその他の比較群に比し遅延していると思われるが、至近距離群については、その頭囲が他の比較群よりも引き続いて小さいであろうと示唆された。

REFERENCES

参考文献

1. GOLDSTEIN L, MURPHY DP: Etiology of the ill-health in children born after maternal pelvic irradiation: Defective children born after post-conception pelvic irradiation. *Amer J Roentgen* 22:322-31, 1929
(母体の骨盤照射後に生まれた子供の不健康の原因: 妊娠後に骨盤部照射を行なったあと生まれた奇形児)
2. MURPHY DP, SHIRLOCK ME, DOLL EA: Microcephaly following maternal pelvic irradiation for the interruption of pregnancy. *Amer J Roentgen* 48:356-9, 1942
(妊娠中絶のための母体の骨盤照射後に現われる小頭症)
3. MURPHY DP: *Congenital Malformations*. 2nd ed, Philadelphia, Lippincott, 1947
(先天性奇形)
4. STEWART A, WEBB J, HEWITT D: A survey of childhood malignancies. *Brit Med J* 1: 1495-508, 1958
(小児の悪性腫瘍に関する研究)
5. FORD DD, PATERSON JCS, TREUTING WL: Fetal exposure to diagnostic X-rays and leukemia and other malignant diseases in childhood. *J Nat Cancer Inst* 22:1093-104, 1959
(胎児の診断用X線照射と小児期における白血病とその他の悪性腫瘍)
6. KAPLAN HS: An evaluation of the somatic and genetic hazards of the medical uses of radiation. *Amer J Roentgen* 80:696-706, 1958
(放射線の医学的利用の身体的および遺伝的危険の評価)
7. COURT-BROWN WM, DOLL R, HILL AB: Incidence of leukemia after exposure to diagnostic radiation in utero. *Brit Med J* 2:1539-45, 1960
(胎内で診断用X線照射を受けたあとに発生した白血病の頻度)
8. RUSSELL LB, RUSSELL WJ: Radiation hazards to the embryo and fetus. *Radiology* 58:369-76, 1952
(胚および胎児に対する放射線危険)
9. Harmful Effects of Diagnostic Radiation. Editorial. *Lancet* 1:255-6, 1963
(診断用放射線の有害な影響)
10. MACMAHON B: Prenatal X-ray exposure and childhood cancer. *J Nat Cancer Inst* 28:1173-91, 1962
(出産前のX線照射と小児期の癌)
11. YAMAZAKI J, WRIGHT SW, WRIGHT PH: Outcome of pregnancy in women exposed to the atomic bomb in Nagasaki. *Amer J Dis Child* 87:448-63, 1954
(長崎における原爆被爆女性の妊娠結果)
12. PLUMMER G: Anomalies occurring in children exposed in utero to the atomic bomb in Hiroshima. *Pediatrics* 10:687-93, 1952
(広島市における胎内被爆児童に発現した異常)

13. BURROW GN, HAMILTON HB, HRUBEC Z: Study of adolescents exposed in utero to Atomic Bomb, Nagasaki, Japan. 1. General Aspects. *Yale J Biol Med* 36:430-44, 1964
(胎内被爆児の思春期調査, 長崎. 1. 総論)
14. BURROW GN, HAMILTON HB, MAN EB: Serum butanol extractable iodine values of adolescents exposed in utero to the atomic bomb in Nagasaki, Japan. *Amer J Med Sci* 243:751-7, 1962
(胎内で被爆した長崎の思春期児童における血清ブタノール可抽出性碘度値)
15. ARAKAWA ET: Radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. *New Eng J Med* 263:488-93, 1960
(広島および長崎の被爆生存者に関する放射線量測定)
16. NEEL JV, SCHULL WJ: The Effect of Exposure to the Atomic Bombs on Pregnancy Termination in Hiroshima and Nagasaki. Washington D C, National Academy of Sciences-National Research Council, Publication No. 461, 1956
(広島および長崎で被爆した人の妊娠終結に及ぼす原爆の影響)
17. BEEBE GW, ISHIDA M, JABLON S: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 1. Plan of study and mortality in the medical sub-sample, Selection 1, 1950-1958. *Radiat Res* 16:253-80, 1962
(原子爆弾被爆生存者の寿命調査. 第1報. 医学調査サンプルにおける死亡率と研究方法の概略, 1950-1958年)
18. FREEDMAN LR, FUKUSHIMA K, SEIGEL D: ABCC-JNIH Adult Health Study Hiroshima-Nagasaki. Report 4. 1960-62 cycle of examinations. ABCC TR 20-63
(ABCC-予研 成人健康調査. 1960-62年診察周期, 広島・長崎)
19. JABLON S, ISHIDA M, YAMAZAKI M: JNH-ABCC Life Span Study Hiroshima and Nagasaki. Report 3. Mortality from October 1950-September 1960. ABCC TR 15-63
(予研-ABCC寿命調査, 広島・長崎. 第3報. 1950年10月-1960年9月の死亡率)
20. JABLON S, ISHIDA M, BEEBE GW: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 2. Mortality in Selections I & II, 1950-1959. *Radiat Res* 21:423-45, 1964
(予研-ABCC寿命調査. 第2報. 第I次第II次抽出サンプルにおける死亡率の研究, 1950年10月-1959年9月)
21. HOLLINGSWORTH JW, BEEBE GW, et al: Medical findings and methodology of studies by the Atomic Bomb Casualty Commission on atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. In the Use of Vital and Health Statistics for Genetic and Radiation Studies, Proceedings of the Seminar sponsored by UN and WHO held in Geneva, 5-9 September 1960. New York, United Nations, 1962. pp 77-100
(広島および長崎におけるABCCの被爆者調査の医学的所見と方法)
22. HOLLINGSWORTH DR, HAMILTON HB, et al: Thyroid disease: A study in Hiroshima, Japan. *Medicine* 42:47-71, 1963
(甲状腺疾患: 広島における調査)
23. SOCOLOW EL, HASHIZUME A, et al: Thyroid carcinoma in man after exposure to ionizing radiation. A summary of findings in Hiroshima and Nagasaki. *New Eng J Med* 268:406-10, 1963
(電離放射線を受けた人間の甲状腺癌)
24. BRILL AB, TOMONAGA M, HEYSSEL RM: Leukemia in man following exposure to ionizing radiation. A summary of the findings in Hiroshima and Nagasaki and a comparison with other human experience. *Ann Intern Med* 5:590-609, 1962
(電離放射線を受けた人間に発生する白血病, 広島および長崎における所見の総括ならびに他の照射例との比較)
25. OUGHTERSON AW, WARREN S: Medical Effects of the Atomic Bomb in Japan. New York, McGraw-Hill, 1956
(日本における原子爆弾の医学的影響)
26. MILLER RW: Delayed effects occurring within the first decade after exposure of young individuals to the Hiroshima atomic bomb. *Pediatrics* 18:1-18, 1956
(広島において原子爆弾被爆後最初の10年間に青少年に現われた遅発性影響)
27. GREULICH WW, PYLE SI: Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. 2nd ed, Stanford, Stanford University Press, 1959
(手および手首の骨格発育のX線写真図譜)
28. KOMAI T: Preliminary reports of studies on genetic effect of consanguineous marriages. 1. Anthropometric data. *Proc Japan Acad* 39:380-4, 1963
(近親結婚の遺伝的影響調査の予報. 1. 人体計測資料)
29. SCHULL WJ, NEEL JV: Sex linkage, inbreeding, and growth in childhood. *Amer J Human Genet* 15:106-14, 1963
(伴性, 近親結婚および小児期の成長)