

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED
IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB

A ROENTGENOGRAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM

長崎における胎内被爆児の研究

骨格系のレントゲン撮影による調査

WATARU W. SUTOW, M. D.

EMORY WEST, M. D.

Laboratories of the Atomic Bomb Casualty Commission

原爆傷害調査委員会検査室

(Originally published 1958 既発表)

RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO
SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION

降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応

EUGENE P. CRONKITE

ROBERT A. CONARD

RICHARD S. FARR

EUGENE BROWNING

VICTOR P. BOND

RAPHAEL SHULMAN

STANTON H. COHN

Naval Medical Research Institute, Bethesda, Md., and U. S.

Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco

Bethesda 市海軍医学研究所および San Francisco 市海軍放射能防衛研究所

(Originally published 1955 既発表)



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)

TABLE OF CONTENTS

目 次

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB A ROENTGENOGRAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM 長崎における胎内被爆児の研究 骨格系のレントゲン撮影による調査	<i>Page</i>
MATERIALS AND METHODS 資料および方法	1
RESULTS AND DISCUSSION 結果および考察	5
SUMMARY 要 約	11
REFERENCES 参考文献	11
RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION 降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応	<i>Page</i>
CLINICAL OBSERVATIONS, THERAPY, AND HEMATOLOGICAL FINDINGS 臨床観察, 治療および血液学的所見	3
INTERNAL RADIATION HAZARD 内部放射線の危険	11
SUMMARY AND CONCLUSIONS 総括および結論	11
REFERENCES 参考文献	13

LIST OF TABLES AND FIGURES

挿入図表一覧表

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB A ROENTGENORAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM 長崎における胎内被爆児の研究 骨格系のレントゲン撮影による調査

	<i>Page</i>
Table 1. Children exposed in utero to radiation from the atomic bomb in Nagasaki and examined in 1952 表 長崎で原爆の放射能を受け、1952年に受診した胎内被爆児	3
2. Incidence of neural arch defects 椎弓欠損の発生率	4
3. Incidence of anomalies of hand bones 手骨異常の発生率	7
4. Incidence of rib abnormalities 肋骨異常の発生率	8
5. Incidence of variations of lumbosacral vertebrae 腰、仙椎骨変異の発生率	9
6. Occurrence of multiple skeletal abnormalities 多発性骨格異常の発生	10

RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION

降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応

	<i>Page</i>
Figure 1. Mean leukocyte changes in highest exposure group (64 people) 図 最も強度の被曝群 (64名) における平均白血球数の変化	4
2. Mean platelet changes in highest exposure group (64 people) 最も強度の被曝群 (64名) における平均血小板数の変化	5
3. A Epilation in 7-year-old girl at 28 days B Six months later, showing complete regrowth of hair A 28日目における7才の少女の脱毛 B 6か月後毛髪の完全なる再生を示す	6
4. A Pigmented lesions of neck and antecubital fossae in 13-year-old boy (29 days after exposure). Desquamation with depigmentation of neck lesions has begun. B Extensive lesions in 13-year-old boy at 45 days after exposure A 13才の少年における首および肘前窩の色素沈着患部 (被曝29日後) 頸部病変の色素脱失と落屑が始まっている。 B 被曝45日後における13才の少年の広範囲の病変	6
5. A Hyperpigmented raised plaques and bullae on dorsum of feet and toes at 28 days. One lesion on left shows deeper involvement. Feet were painful at the time. B Six months later. Foot lesions have healed with repigmentation, except for depigmented spots persisting in areas where deepest lesions were. A 28日目の足および趾の背面における色素過剰の隆起した斑点および水疱。右足における1つの病変は深部に達している。この時足に痛みがあった。 B 6か月後足の最も深い病変があった場所に色素脱失部が持続している以外は、再色素沈着が起り治癒している。	7
6. Desquamation of back of scalp at 28 days. Epilation occurred earlier in desquamated area. Note persistent ulceration of left ear. 28日目における後頭部頭皮の落屑。 脱毛は落屑部においてより早く起きた。左耳に頑固な潰瘍を認める。	8
7. Photomicrograph of pigmented skin lesion three weeks after exposure (X 100). Extensive transepidermal damage with less involved areas on either side. Loose lamination of stratum corneum, absence of stratum granulosum, and disorganization of mulphighian layer. Dermis shows mild edema of pars reticularis, indistinct capillary loops, moderately pronounced perivascular cellular infiltrate, and mild telangiectasia. 被曝3週間後における色素沈着性皮膚病変の顕微鏡写真 (100倍)。表皮全層の強圧の障害があり、その両側に障害のより軽い部分がある。角質層の粗雑な断層形成膠様層の欠如およびマルピギー層の崩壊、真皮には網状部の軽度の浮腫、不明瞭なる毛細管係蹄部、中等度に顕著な血管周囲の細胞浸潤および軽度の毛細管拡張症を認める。	10

RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION

降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応

EUGENE P. CRONKITE, Commander, U. S. Navy*
VICTOR P. BOND, M. D.
ROBERT A. CONARD, Commander, U. S. Navy
RAPHAEL SHULMAN, U. S. Navy
RICHARD S. FARR, Lieut., U. S. Navy
STANTON H. COHN, Ph. D.
EUGENE BROWNING, Lieutenant, U. S. Army

After detonation of a nuclear device in the Marshall Islands during the spring of 1954, radioactive material fell upon several neighboring inhabited atolls.¹ The fall-out material consisted of pulverized and incinerated coral (calcium oxide) coated with radioactive fission products, forced high into the atmosphere by the violence of the explosion. The particulate matter was then distributed over a wide area by the wind structure. The field of radiation resulting from the deposition of this radioactive material on the islands was sufficiently intense to result in significant whole-body irradiation of the inhabitants. In addition, the skin was contaminated with the material, and some of it was inhaled and ingested. The calculated whole-body dose of radiation in roentgens as measured in air and the amount of fall-out observed for each of the island groups is shown below. The exposed American servicemen were

1954年春 Marshall 群島において核装置の爆発後その付近の幾つかの環礁に放射能性物質が降った。降下物は粉碎灰化されたさんご（酸化石灰）から成り、その表面は放射能性核分裂生成物で被われ、爆発の力によって空中に高く吹き上げられたものである。この粒子状物質は風によって広い地域にわたって分布せられた。これらの島ではこの放射能性物質の蓄積によって生じた放射線の場合は、住民に有意な全身照射を与えるに十分強力なものであった。その上この物質は皮膚に付着し、一部は吸入され、また摂取された。放射線直射による全身照射量のレントゲン単位の計算値および各島群において観察された降下物の量は次の通りである。

Calculated Whole Body Dose of Radiation
全身照射線量の計算値

Island Group 島 群	Population 人 口	Whole-Body Dose in r 全身照射線量 (r)	Fall-Out Observed 観察された降下物
Rongelap	64 Masrhallese 群島民 64名	175	Heavy (snow-like) 強度 (雪のよう)
Ailinginae	18 Marshallese " 18名	69	Moderate (mist-like) 中等度 (霧のよう)
Rongerik	28 American servicemen 米軍関係者 28名	78	Moderate (mist-like) " "
Utirik	157 Marshallese 群島民 157名	14	None 無

Reprinted by permission from the Journal of American Medical Association, 159(5): 430-434, 1955

*From the Naval Medical Research Institute, Bethesda, Md., and U. S. Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco.

Bethesda 市海軍医学研究所および San Francisco 市米国海軍放射能防衛研究所

returned to duty after extensive medical examinations at Kwajalein and at the Tripler General Hospital, Honolulu, T. H. The Utirik people were returned to their native atoll after the initial period of observation. The Rongelap and Ailinginae residents were moved to Majuro Atoll for temporary occupation of dwellings built for them. These gamma ray doses were calculated from field instrument readings taken at the time of evacuation and decay schemes appropriate for the estimated times of exposure. For the sake of brevity, details will be presented only on the more severely exposed Rongelap group and the other groups will be referred to only for comparative purposes.

The detonation of the device was observed in the early morning, and hours later the exposed individuals noticed a snow-like material falling from the sky; this continued for several hours. The material was visible on the ground and sifted into the lightly constructed thatched-roof houses. The material whitened the hair and clung to the skin. During the night following the explosion and for the next two days, about two-thirds of the population developed nausea and 10% vomited and had diarrhea. During this period also, many developed itching and burning of the skin and some reported burning of the eyes with lachrimation. Supervised decontamination and medical care was not possible until the exposed individuals were evacuated to the nearby naval base at Kwajalein. By this time, initial symptoms had completely subsided.

An emergency medical team, composed largely of naval personnel from the Naval Medical Research Institute and the U. S. Naval Radiological Defense Laboratory, was organized and sent to the area arriving on the ninth day after exposure. Complete initial histories and physical examinations and frequent follow-up examinations and treatment for medical conditions were carried out on all personnel. In addition, hematological studies to assay the degree of radiation damage and urinary excretion studies for radioactive materials were performed. It was apparent from initial blood studies that significant radiation had been received, and by 12 to 14 days further evidence of radiation injury was apparent in the form of skin lesions and epilation.

被曝した米軍関係者は Kwajalein 島および米領 Hawaii の Honolulu 市 Tripler 総合病院で広範囲の医学検査を受けた後、再び軍務についた。Utirik 島の住民は、最初の観察期間が終るともとの環礁へ帰した。Rongelap 島および Ailinginae 島の住民は、Majuro 環礁へ移して、そこに建設された住居に一時居住した。前記のガンマ線量は、撤退時の現地における測定値および被曝後の経過時間に対する過大な減弱係数を用いて計算した。簡略を期するため、最も強度の放射線を受けた Rongelap 島住民についてのみに詳細を述べ、その他のものは比較のためにのみ引用することにした。

核装置の爆発は早期行なわれ、数時間後、住民たちは雪のような物質が空から降るのを目撃し、これは数時間続いた。この物質は地面の上に見ることができ、草葺き屋根の簡単な家の中へ入り込んだ。この物質は毛髪を白く覆い皮膚に付着した。爆発の夜と次の2日間に、住民の約3分の2は吐気を生じ、10%は嘔吐し下痢した。またこの期間中、多くの者は皮膚の痒感および焼熱感を生じ、中には流涙をとまなう眼の焼熱感を訴える者もあった。被曝住民を近くの Kwajalein 島の海軍基地に収容するまでは、統制のとれた汚染処理および医療処置を講ずることは不可能であった。その頃までには、初期症状は完全におさまっていた。

海軍医学研究所および米海軍放射線防護研究所の海軍職員を主体とした緊急医療班が組織されて、現地に派遣せられ、被曝後9日目に到着した。すべての被曝者に対して初期症状に関する詳細な病歴調査や身体検査を行ない。その後も繰り返し経過観察および容態に応じて治療が行なわれた。その上、放射線傷害の程度を評価するため血液検査および放射能性物質の尿中排泄の検査を実施した。初期の血液検査から、有意な放射線を受けたことが明らかとなり、12ないし14日までにはそのほかに放射線傷害の徴候として皮膚病変および脱毛症状が現われた。身体検査では、皮膚病変

With the exception of the development of skin lesions and epilation, physical examinations at no time revealed findings in any group that could be attributed with certainty to radiation.

CLINICAL OBSERVATIONS, THERAPY, AND HEMATOLOGICAL FINDINGS

Since the degree of depression of peripheral blood elements is believed to be the best index of severity of radiation injury, systematic serial determinations were carried out. These determinations consisted of total leukocyte, neutrophil, lymphocyte, and platelet counts and hematocrit determinations. Control groups, as comparable as possible to the exposure groups in respect to age, race, sex, and background, were selected. Findings are expressed in terms of percentage of control values. Significant age and sex difference in blood cell counts were noted in the control groups, and the data are presented in accordance with the differences noted.

The absolute neutrophil count (Fig. 1) of both younger and older age groups fell to a value of approximately 70 to 80% of that of the controls during the second week, followed by a period of fluctuation until the fifth week. At this time the beginning of a second depression was noted for both age groups, and a low value of approximately 50% of that of the controls was reached. The level was maintained at approximately 75% of the control values from the 7th week to the end of the critical period of observation (10th week). The values for the lower age group were below those of the older age group throughout most of the period of observation. The absolute lymphocyte count (Fig. 1) of the older age group had fallen by the third day to a value of approximately 55% of the control value. This value was maintained throughout the study, with no definite evidence of an upward trend. The values for the younger age group also fell before the third day to a value of approximately 25% of the control value, after which there was a significant upward trend, recovery being more rapid in the younger age group. Since the mean lymphocyte counts remained essentially constant throughout the study, the fluctuation in total white blood cell count was a reflection of changes in the neutrophil component (Fig. 1).

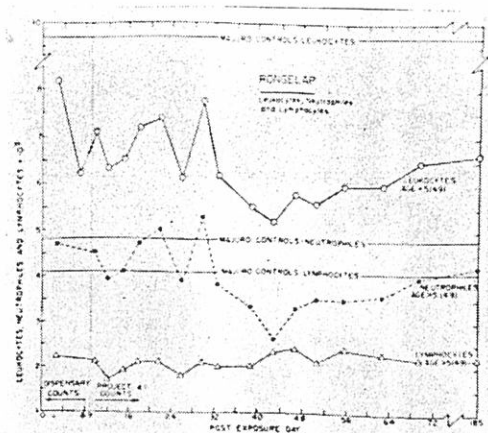
および脱毛症状を除いては、どの調査群にも放射線に基因すると断言できるような所見は、認めなかった。

臨床観察、治療および血液学的所見

末梢血液成分の減少の程度は、放射線障害の強度を示す最良の指標であると信じられるから組織的に一連の血液検査を行なった。検査の内容は、白血球総数、好中球数、リンパ球数、血小板数およびヘマトクリット測定であった。年齢、人種、性および背景の点に關してできるだけ被曝群に匹敵するような対照群を選んだ。所見は、対照群の値に対する百分率として示す。対照群の血球数には、年齢別および性別に有意差を認めた。結果については被曝群と対照群との差として示した。

若年群および老年群における好中球の絶対値(図1)は第2週に対照群の好中球数の70ないし80%に減少し、その後、第5週まで変動期が続いた。それから若年群および老年群共に第2回目の血球減少が起り、対照群の約50%の低い値に達した。第7週から観察の最も重要な時期の終り(第10週)までは、対照群の約75%の値が維持された。観察期間の大部分を通じて、若年群の値は老年群よりも低かった。老年群におけるリンパ球の絶対値(図1)は、3日目までに対照群の約55%に減少した。この値は、全研究期間を通じて維持せられ、上昇傾向のはっきりした徴候はみられなかった。若年群の値も第3日目以前に対照群の約25%に減少し、その後有意な上昇傾向がみられたが、回復は若い程迅速であった。平均リンパ球数は、全研究期間を通じて大体一定であったので、総白血球数の変動は、好中球数の変化を反映するものであった。(図1)

Fig. 1. Mean leukocyte changes in highest exposure group (64 people).
 図 1 最も強度の被曝群 (64名) における平均白血球数の変化



The sequelae of depression of hemopoiesis are generally considered as the major source of morbidity and mortality from whole-body radiation injury.² Therefore, in view of the low leukocyte counts that developed in the Rongelap people, the use of prophylactic administration of antibiotics was given careful consideration. Twenty-seven individuals had absolute neutrophil counts of 2,500 per cubic millimeter or less at some time during the period of observation. Temporary depressions as low as 700-1,000 were observed. Prophylactic administration of antibiotics was not instituted because all individuals were under continuous medical observation and it was felt that such drugs might obscure medical indication of treatment and lead to the development of drug-resistant organisms. An epidemic of upper respiratory infection developed between the 27th and 47th days after exposure in all of the exposed groups. Fifty-eight per cent of the Rongelap people were involved. The disease did not appear to be more severe in this than in the other less exposed groups. There was no correlation between leukopenia and incidence of infection.

Platelets were first counted 10 days after exposure (Fig. 2), at which time the level in the females were approximately 60% of the appropriate control group. After this, the platelet count fell, reaching a low of approximately 30% of the control value during the fourth week. (At this time counts in 20% of the Rongelap people were below 90,000 platelets per cubic millimeter.) The platelet level

造血機能減退の後遺症は、全身照射による放射線障害後の罹病および死亡の主要原因であると一般に考えられている。³⁾ 従って Rongelap 住民に白血球数の減少がみられたので、抗生物質の予防的投与が慎重に考慮された。観察期間中のある時期に、27名の好中球絶対値が2500/mm³以下になった。一時は700ないし1000という著しい減少が認められた。すべての患者は継続的に医学的観察を受けており、また、抗生物質の使用によって治療の医学的適応が曖昧になり、かつ耐薬菌の発生を来たすかも知れないと思われたので、抗生物質の予防的投与は行なわなかった。被曝群のすべての者は被曝後27日から47日までの間に上気道感染を生じた。Rongelap 島住民の58%がこれにかかったが、この群では、その他の被曝程度の軽い群よりも重症であるようには見えなかった。白血球数減少と感染発生率との間には相関関係は無かった。

血小板は被曝後10日目に始めて測定した (図2)。その時女性における血小板数は、対応する対照群の約60%であった。この後、血小板数は減少し、第4週には対照群の約30%という低い値に達した、(この時 Rongelap 島住民の20%は血小板数が90,000/mm³以下であった。) 血小板数は第5週と第6週にかけて上昇

rose during the fifth and sixth week and had reached the value noted for the initial counts on the 10th day. A second decrease in platelets developed during the seventh and eighth week, and values remained at approximately 70% of the control values during the remainder of the observation period. The pattern of the platelet counts in the male groups was similar to that noted for the females. Counts of the lower age group, males, were consistently higher than those of the adult group in absolute counts but consistently lower as percentage of control.

There was no evidence of hemorrhage into tissues, even though in 11 individuals platelet count levels reached between 35,000 and 65,000 per cubic millimeter. Two women menstruated when their platelet counts were 150,000 and 130,000 per cubic millimeter respectively. Both experienced excessive menstrual bleeding, insufficient to cause them concern, which subsided without therapy.

Six months after the accident, blood cell counts showed only slight increase over previous ones during the last week (10th) of the initial observation period and were still below control levels. Follow-up studies at one year after the accident showed that the neutrophil counts of the exposed individuals were back to the control level; however, the lymphocytes, monocytes, eosinophils, and platelets were still below control levels, though they were higher than after six months. Hematocrit determinations first done on the 22nd day were slightly

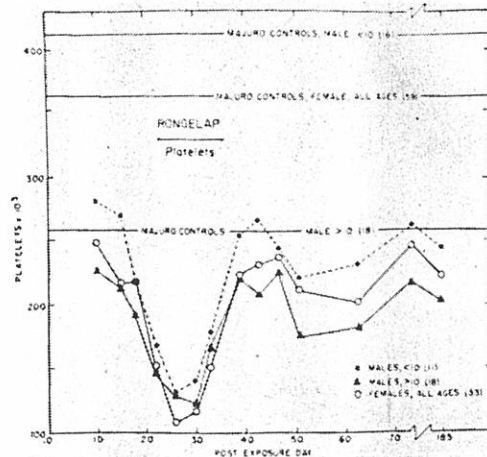
し、10日目に行なわれた最初の血小板検査の数値に達した。第7週と第8週に血小板数の第2回目の減少がおこり、その後の観察期間中は対照群の約70%を維持した。男性における血小板数の変動は、女性の場合と同様であった。男性の若年群の血小板数は成人群に比べてその絶対値は絶えず高かったけれども、対照群に対する百分率は絶えず低かった。

11名の患者において血小板数は35,000から65,000/ mm^3 にも達したけれども組織内への出血の徴候は認めなかった。2名の婦人は、血小板数が夫々150,000と130,000/ mm^3 の時に月経があった。両名とも過度の月経出血があったが、本人が心配する程のことはなく治療を受けなくておさまった。

爆発6か月後の血球数は、最初の観察期間の最後の週(第10週)に測定した血球数より僅かの増加を示したに過ぎず、依然対照群よりは低かった。爆発1年後の経過観察の時には被曝者の好中球数は対照群の水準に回復していたが、リンパ球、単球、好酸球および血小板は被曝後6か月目の時よりは高かったけれども、依然対照群の水準よりは低かった。22日目に始めて行なったヘマトクリット測定の結果は対照群よりは僅か

Fig. 2. Mean platelet changes in highest exposure group (64 people).

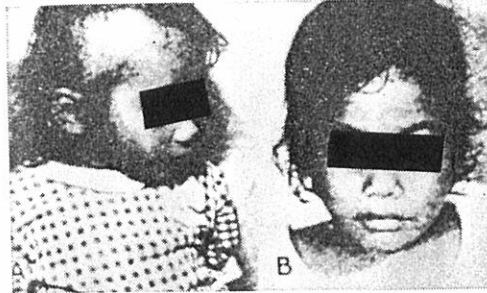
図 2 最も強度の被曝群(64名)における平均血小板数の変化



below those of the control population. A significant trend in values after this time could not be detected statistically. The less-exposed island groups showed similar, but in most cases less pronounced, hematological change that was consistent with the lower doses calculated for these groups.

に低かった。その後はヘマトクリット値に統計的に有意なる傾向は認められなかった。被曝程度の軽い島の住民も同様な血液学的変化を示したが、多くの場合、その変化はより軽度で、この人々に対して計算されている低い放射線量に相応した変化を示した。

Fig. 3.—A. Epilation in 7-year-old girl at 28 days.
 B. Six months later, showing complete regrowth of hair.
 図3—A 28日目における7才の少女の脱毛
 B 6か月後毛髪の完全なる再生を示す。



The time course of hematological changes corresponded most closely with the low-dose Japanese groups exposed to radiation from the Hiroshima and Nagasaki bombs³ in which definite signs of severe radiation exposure were present in some individuals but in which no mortality occurred. Comparison with hematological data in Japanese groups in which fatalities occurred make it probable that exposure in the highest exposure group of

この血液学的変化の時間的経過は、広島および長崎の原爆放射線を少量受け、死亡しなかった日本人被爆者の所見³⁾に非常に似ている。これらの日本人被爆者の中には強度の放射線照射の明確な徴候を示した者も若干名あった。日本人被爆群における死亡例の血液学的資料と比較してみると、Marshall群島住民中の最も強度の放射線を受けた群の被曝線量は中等度と思われる

Fig. 4.—A. Pigmented lesions of neck and antecubital fossae in 13-year-old boy (29 days after exposure). Desquamation with depigmentation of neck lesions has begun.
 B. Extensive lesions in 13-year-old boy at 45 days after exposure.
 図4—A 13才の少年における首および肘前窩の色素沈着患部（被曝29日後）頸部病変の色素脱失と落屑が始まっている。
 B 被曝45日後における13才の少年の広範囲の病変



Marshallese was moderately severe, probably within 50 to 100 r of the level where some fatalities would have resulted. The skin and internal radioactive contamination were considered not to have contributed significantly to the depression of the hematological elements.

The body weight of individuals in the Rongelap and Ailinginae groups was followed routinely. Adults as well as children lost some weight during the period of observation in spite of the fact that they lived inactive lives and ate heartily. Whether the failure to gain weight was connected with radiation or change in environment is open to question. Four women in the Rongelap group were pregnant when brought to Kwajalein. None of these women had abnormal symptoms referable to radiation. All of the pregnancies have since terminated in delivery of apparently normal babies.

すなわちある程度の死亡例が出るであろうと考えられる線量より、50ないし100r低い程度であろう。皮膚および体内の放射能汚染は、血液学的成分の減少の有意なる原因ではなかったと考えられた。

Rongelap および Ailinginae 群の体重について定期的に経過観察を行なった。成人も子供も労働につかず、腹いっぱい食べたけれども、観察期間中ある程度体重が減少した。体重の増加が起らなかったことが、放射線に関係するか、または環境の変化によるものかは、問題になる点である。Rongelap 群中4名の婦人は Kwajalein に連れて来られた時に妊娠していた。これらの婦人の何れも放射線に起因する異常症状を示さなかった。これら妊娠は凡てその後、正常と思われる嬰兒を分娩した。

Fig. 5.—A. Hyperpigmented raised plaques and bullae on dorsum of feet and toes at 28 days. One lesion on left foot shows deeper involvement. Feet were painful at the time.
B. Six months later. Foot lesions have healed with repigmentation, except for depigmented spots persisting in areas where deepest lesions were.

図 5—A 28日目足の背および趾の背面における色素過剰の隆起した斑点および水疱。右足における1つの病変は深部に達している。この時足に痛みがあった。
B 6か月後足の最も深い病変があった場所に色素脱失部が持続している以外は、再色素沈着が起り治癒している。



SKIN LESIONS AND EPILATION

Irradiation of the skin resulted largely from beta radiation from the fall-out material deposited on the skin. Due to the complex composition of the

皮膚病変および脱毛

皮膚に対する照射は主として付着した降下物質のベータ放射線のためであった。この放射能物質の複雑な

radioactive materials, and because of other uncertainties, it was impossible to calculate the skin dose accurately. The dose was sufficiently large, however, to produce epilation and widespread lesions of the skin in 90% of the Rongelap group, beginning about 12 to 14 days after the exposure. In the less heavily exposed groups (Ailinginae and Rongerik), the lesions did not appear until approximately 20 days after the accident. In the Utirik group, radiation lesions of the skin did not appear. The lesions occurred primarily on the exposed parts of the body not protected by clothing. Those who remained under shelter during the fall-out developed less severe or no lesions. Some protection was afforded those who bathed during this period. Almost simultaneously with development of skin lesions, spotty epilation of the scalp was noted (Fig. 3 A). Epilation was usually accompanied or preceded by lesions of the scalp. This was more extensive and severe among the children (birth to 15 years). Over 90% of the children showed some degree of epilation, as compared to 28% in the older age group. Regrowth of hair of normal color and distribution was noted beginning about nine weeks after irradiation and was complete six months after the accident (Fig. 3 B).

構成およびその他に不明な点があるため、皮膚線量を正確に計算することは不可能であった、しかしながら Rongelap 群の90%に被曝後12日ないし14日目から脱毛および皮膚の広範囲の病変を生ずるに足る線量であった。被曝程度より軽い群 (Ailinginae および Rongerik) ではこのような病変は爆発後約20日までは現われなかった。Utirik 群においては、皮膚の放射線性病変は現われなかった。この病変は衣服で保護されていない体の露出部に主として生じた。降下物の降っている間遮蔽物の下に入っていた者には、病変は左程ひどくなかったか、または全然生じなかった。この期間に入浴した者には、ある程度の保護効果があった。皮膚病変の発生と殆んど同時に、頭髪の斑状脱毛を認めた (図3A)。一般に脱毛する時または脱毛する前に頭皮の病変があった。これは小児 (出生時から15才まで) においてより広範囲で重症であった。小児の90%以上がある程度の脱毛を示したのに対して老年群では28%に脱毛があった。毛髪の正常な色および分布の再生が被曝後約9週間目から始まり、爆発後6か月目に完全に再生した (3図B)。

Fig. 6. Desquamation of back of scalp at 28 days. Epilation occurred earlier in desquamated area. Note persistent ulceration of left ear.

図 6 28日目における後頭部頭皮の落屑。
脱毛は落屑部においてより早く起きた。左耳に頑固な潰瘍を認める。



The developing lesions did not follow the identical course as observed by Knowlton and co-workers⁴ in individuals after handling concentrated fission

これらの皮膚病変の経過は、濃縮核分裂生成物を取り扱った者、または他のベータ線火傷を受けた者⁵⁾の

products or after other beta burns. Primary and secondary erythema was not observed. The lesions showed differences in latent periods before appearance on different parts of the body and appeared in roughly the following sequential order: scalp, neck, axillary region, antecubital fossae, feet, arms, legs, and trunk. The neck and scalp lesions were most common; however, a substantial number of antecubital fossae lesions and foot lesions were seen. Lesions on the flexor surfaces tended to appear before lesions on extensor surfaces. These differences in latent periods did not appear to be related entirely to the dose to the skin, since severe foot lesions, presumably caused by the foot receiving a larger dose of radiation, did not appear until after less severe lesions.

The first indication of a lesion was an increase in pigmentation in the form of macules, papules, and raised plaques (Fig. 4 A). Usually these dark pigmented lesions had a dry, thickened, leathery feel. Most lesions were superficial. After several days, dry, scaly desquamation developed from the center of the lesion outward. Desquamation left depigmented areas similar in texture to the surrounding skin (Fig. 4 B). During the next few weeks, the lesions gradually became repigmented and the skin became relatively normal in appearance. Approximately 20% of the group developed deeper lesions. These were seen on the neck, scalp, and ear, and most frequently on the feet (Fig. 5 and 6). These lesions were painful and were characterized by wet desquamation with weeping and crusting, and, in some foot lesions, desquamation was preceded by bullous formation (Fig. 5 A). Some lesions became secondarily infected; however, all lesions except one ear lesion healed rapidly and reepithelized in a week or 10 days. The ear lesion took about four months to heal. Repigmentation gradually took place in most lesions, and some of the healing lesions, particularly on the neck, showed development of hyperpigmentation of a grayish, dusky color and a thickening of the skin with "orange-peel" appearance.

Biopsy specimens taken from lesions during third to fourth week revealed histopathological changes consistent with radiation (Fig. 7). Spotty trans-epidermal damage with atrophy and flattening of

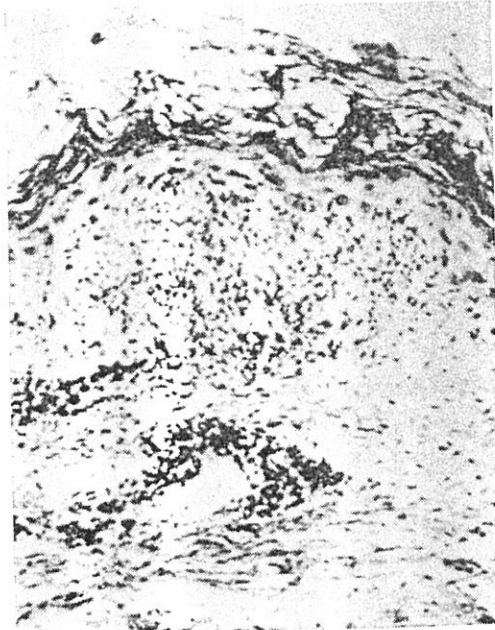
病変について Knowlton およびその他⁹⁾が、観察した経過とは異なっていた。原発性および続発性紅疹は認めなかった。この病変が現われるまでの潜伏期には部位によって差異が認められ、大体に次の順序で現われた。頭皮、首、腋窩部、肘前窩、足、腕、脚および躯幹。病変は首と頭皮に最も多く、肘前窩および足にも多くみられた。伸面よりも屈面に早く病変が現われる傾向があった。潜伏期におけるこの差異は、皮膚に対する線量に必ずしも関連しているとは思われなかった。何故ならば、恐らく大きな線量を受けたため生じたと思われる足の強度の病変は、他のより軽い病変が生じた後に現われた。

病変の最初の徴候は色素沈着の増加であり、斑点、丘疹および隆起した板状病変として認められた (図 4 A)。一般にこれらの黒い色素沈着病変は、乾燥肥厚し皮のような触感があった。病変の多くは表在性であった。数日後から、病変の中心部から外へ向って乾性鱗状落屑が生じた。落屑後の皮膚には脱色が認められるが、きめは周囲の皮膚と同様であった (図 4 B)。その後、数週間にわたって病変は次第に再び色素を帯び、皮膚の外観は比較的正常になった。この群の約 20%にはより深部に達する病変を生じた。これらは首、頭皮、耳、特に頻繁に足にみられた (図 5 および 6)。これら病変は、痛みがあり、分泌物および痂皮形成をともなう湿性落屑を特徴とし足の病変の中には、落屑の前に水疱形成がみられたものもある (図 5 A)。病変に続発性感染を生じたものがあるが、1例における耳の病変を除いたすべての病変は、迅速に治癒し、1週間ないし 10日もたつと上皮を新生した。耳の病変は治癒するまでに約 4 か月かかった。多くの病変では次第に再び色素沈着が生じ、治癒中の病変の中には、特に頸部のものは、灰黒色の色素過剰および「オレンジ」の皮のような皮膚肥厚を生じた。

これら病変について第 3 週から第 4 週の間に行なわれた生検で、放射線障害に一致する組織病理学的変化を認めた (図 7)。表皮全層の斑状障害があり、動脈

Fig. 7. Photomicrograph of pigmented skin lesion three weeks after exposure ($\times 100$). Extensive transepidermal damage with less involved areas on either side. Loose lamination of stratum corneum, absence of stratum granulosum, and disorganization of malpighian layer. Dermis shows mild edema of pars reticularis, indistinct capillary loops, moderately pronounced perivascular cellular infiltrate, and mild telangiectasia.

図 7 被曝3週間後における色素沈着性皮膚病変の顕微鏡写真(100倍)、表皮全層の強圧の障害があり、その両側に障害のより軽い部分がある。角質層の粗雑な断層形成膠様層の欠如およびマルピギー層の崩壊、真皮には網状部の軽度の浮腫、不明瞭なる毛細管係蹄部、中等度に顕著な血管周囲の細胞浸潤および軽度の毛細管拡張症を認める。



the rete pegs was a common finding, with areas of relatively normal skin between, emphasizing the particulate nature of the radioactive material. Cells of the malpighian layer showed pleomorphic nuclei, pyknosis, and cytoplasmic halos. Focal disorganization of the malpighian and basal layers was present in extensively damaged areas. In the dermis, telangiectatic vessels were noted where the over-lying epidermis showed greatest damage. There was mild edema of the papillaris with lymphocytic infiltration, particularly around the telangiectatic vessels. Atrophy of hair follicles was observed.

Follow-up studies at six months and one year showed that the hyperpigmentation had in most cases disappeared. At the site of deeper foot lesions and the ear lesions, there were pink-to-white areas that not repigmented (Fig. 5 B). In these areas the skin appeared slightly atrophic. Treatment of the skin lesions consisted of daily

網脚部の萎縮と扁平化がしばしば認められ、その間に比較的正常な皮膚があった。このことは放射能性物質が粒子状であったことを示している。マルピギー氏層の細胞の核は、多形性で核濃縮を起しており、細胞原形質量輪を示していた。強度の障害を受けた部分にはマルピギー氏層および基底層の限局性崩壊が認められた。表皮の損傷が最も強度である部分の皮膚には血管拡張が認められた。乳頭部にリンパ球性浸潤をともなう軽度の浮腫があり、これは特に拡張した血管の周りにおいて顕著である。毛髪汗胞の萎縮が認められた、

6か月後と1年後の経過観察では過色素沈着は多くの場合消失していた。深部に達する足の病変および耳の病変には、まだ色素沈着が生じていない淡赤ないし白色の部分があった(図5B)。これらの部分では、皮膚はやや萎縮しているように見えた。皮膚病変の治療としては、毎日洗浄し対症療治を行なったのみで、

cleansing and symptomatic therapy with the exception of locally applied antibiotic ointments for infected lesions and in one case parenterally given penicillin.

The possibility that cancer might develop at the site of some of these lesions must be considered. Favoring such development are the long life expectancy of the numerous children in the exposed group, constant exposure to tropical sunlight, and the possible influence of additional sublethal whole-body exposure. Against such development are the superficial nature of the lesions, rapid healing with little in the way of residual gross defects, and only minimal evidence of histological damage by six months.

Pigmentation of the semilunar area of the fingernails and toenails was observed about the 23rd day in most of the Marshallese in the higher exposure groups and in the five American Negroes but in none of the white Americans. The pigmentation was beneath the nail and progressed distally with growth of the nail. A similar phenomenon has been observed in a Negro woman after local therapeutic irradiation.⁵

INTERNAL RADIATION HAZARD

Radiochemical analysis of numerous urine samples of exposed personnel showed that the degree of internal absorption of radioactive materials was roughly proportional to the calculated external dose and, therefore, to the concentrations of air-borne fission products. The degree of internal radiation hazard was too low to have contributed significantly to the acute radiation syndrome observed. The concentration and type of internal radioactive contaminants minimize the probability of any significant long-term effects from the internal radiation.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

After detonation of a thermonuclear device in the Marshall Islands in the spring of 1954, radioactive fall-out occurred over an area of thousands of square miles beyond the range of thermal and blast injury. Marshallese and Americans were accidentally exposed on islands in this area,

例外として、感染した病変に対しては局部的に抗生物質軟膏を施こし1例にペニシリン注射を行なった。

これら病変に癌が発生する可能性は考慮しなければならない。癌発生の可能性を強める条件としては、被曝群には小児が多く、平均余命の長いこと、絶えず熱帯の陽光に曝されていること、および致死量以下の放射線全身照射の影響の可能性などがある。また癌発生の可能性を弱める条件としては、病変が表在性であること、肉眼的欠損を殆んど残すことなく早く治癒すること、および6か月までには組織学的損傷の徴候が極めて軽微であることである。

23日目頃に強度に被曝した Marshall 群島住民の大部分および5名のアメリカ黒人の手足の指の爪の半月形部に色素沈着が認められたが、米国白人にはこれをみなかった。色素沈着は爪の下で爪が伸びるにつれて先端に向って進んだ。同様の現象が、局部的に医療用照射を受けた1人の黒人婦人にも認められている。⁶

内部放射線の危険

被曝者について多数の尿標本の放射化学的分析を行なった結果、放射性物質の体内吸収の程度は大体において体外線量計算値に比例し、従って空中の核分裂生成物の濃度に比例することが分った。体内放射線危険度は非常に低いので、観察せられた急性放射線症状の有意なる原因とはならなかった。体内放射性汚染物の濃度および種類からみると、体内放射能による有意なる長期影響の可能性は非常に少ない。

総括および結論

1954年の春、Marshall 群島における熱核装置の爆発後、熱傷害および爆風傷害のあった地域以外に、数千平方マイルの範囲にわたって放射性降下物が降った。この海域における島々で、Marshall 島民や米人が、偶然に被曝し、全身ガンマ線照射、皮膚のベータ

receiving whole-body gamma radiation, beta radiation injury to skin, and minimal internal contamination. The highest dose (an estimated 175 r) was received by a group of 64 Marshallese. The dose of radiation received proved to be sublethal. Though there was significant depression of hemopoiesis, no clinical signs or symptoms developed that could be attributed with certainty to this effect. Prophylactic administration of antibiotics or other specific therapy was not found to be indicated.

Skin lesions and epilation developed in 90% of the group beginning about two weeks after the exposure. The lesions occurred largely on exposed parts of the body not protected by clothing, and varying degrees of protection were also afforded those who remained indoors or bathed during the fall-out period. Most of the skin lesions were superficial and exhibited pigmentation; dry, scaly desquamation; and rapid healing with little pain. Some lesions were deeper, exhibiting wet desquamation, and a few became secondarily infected. Treatment was largely palliative except for use of antibiotics for secondarily infected lesions. Histopathological examination of lesions showed changes consistent with radiation damage. Bluish-brown pigmentation was noted in the fingernails and toenails of the dark-skinned people but not in the white Americans. Minimal amounts of radioactive material were detected in the urine. The internal deposition was insufficient to contribute significantly to the acute reaction, and is believed there is no long-term hazard. Examinations conducted one year after the exposure revealed these people to be in generally good health. Slight depression of lymphocytes and platelets persisted. A few pigment aberrations and minimal atrophy remained at the site of the deeper skin lesions.

放射線障害と、極く軽微な体内汚染を受けた。このうち64名の Marshall 島民が最も大きな線量（推定 175 r）を受けた。放射線量は致死量以下であることが分かった。造血機能には有意なる減退が認められたけれども、確実に放射線の影響であるといえるような臨床的徴候または症状は発生しなかった。抗生物質の予防的投与またはその他の特定の治療が必要であるとは認められなかった。

皮膚病変および脱毛は被曝後約2週間から被曝群の90%に起った。これら病変は衣服で覆われていない身体の露出部分に主として発生した。そして降下物の降った期間中室内に残っていたものまたは入浴したものに対しては、ある程度の保護効果があった。皮膚病変の大部分は表在性であって、色素沈着や乾性鱗状落屑があり、殆んど痛みもなく急速に治癒した。病変の中にはより深部に達しており湿性落屑を示したものもあった。そして少数のものは続発性感染を生じた。治療としては続発性感染を生じた病変に対して抗生物質を使用したことを除いては大部分姑息的であった。病変の病理組織検査の結果、放射線障害に一致する変化を認めた。皮膚の黒い住民の手足の指の爪に青みがかかった褐色の色素沈着が認められたが、白色人種の米人には認めなかった。尿には極く軽微の放射能性物質が認められた。放射能性物質の体内堆積は急性症状の有意なる原因と看做するには不十分であった。そして長期の危険はないと信ぜられる。被曝1年後に行なった検査の結果これらの人々は全般的に健康状態は良好であることが分かった。しかしリンパ球および血小板の軽度の減少が持続した。深部に達する皮膚病変のある部分には少数の色素異常と極く軽微の萎縮が残っていた。

REFERENCES

参考文献

1. Effects of High-Yield Nuclear Explosions, statement by Lewis L. Strauss, chairman, and report by United States Atomic Energy Commission, Atomic Energy Commission, Feb., 1955.
(高度の核爆発の影響)
2. Dunham CL, Cronkite EP, LeRoy GV, Warren S: Atomic Bomb Injury: Radiation, Council on National Emergency Medical Service, JAMA 147: 50 (Sept. 1) 1951.
(原子爆弾の障害)
Cronkite EP, Brecher G: Defects in Hemostasis Produced by Whole Body Radiation, in Clotting and Allied Problems: Transactions of the Fifth Conference, January 21 and 22, 1952, edited by Joseph E. Flynn, New York, Josiah Macy, Jr., Foundation, 1952. Bond, V. P.
(全身照射による止血の欠陥)
Silverman MS, Cronkite EP: Pathogenesis and Pathology of Radiation Infection, Radiation Res 1: 389, 1954.
(放射線の影響の発病学および病理学)
Cronkite EP: Brecher G: The Protective Effect of Granulocytes in Radiation Injury, Ann New York Acad Sc 59: 815, 1955.
(放射線障害における顆粒球の保護的効果)
3. LeRoy GV: Hematology of Atomic Bomb Casualties, Arch Int Med 86: 691 (Nov.) 1950.
(原子爆弾の障害の血液学)
Oughterson AW and others: Medical Effects of the Atomic Bombs. report of the Joint Commission for Investigation of the Effects of the Atomic Bomb in Japan. vol 3. and 5, Office of Air Surgeons, Army Institute of Pathology, Atomic Energy Commission, 1951.
(原子爆弾の医学的影響)
4. Knowlton NP Jr. and others: Beta Ray Burns of Human skin. JAMA 141: 239 (Sept. 24) 1949.
(人間の皮膚におけるベータ線による火傷)
5. Robbins LL and others: Superficial "Burns" of the Skin and Eyes from Scattered Cathode Rays, Radiology 46: 1, 1946.
(分離陰極線による皮膚および眼の表在性火傷)
Low-Beer BVA: External Therapeutic Use of Radioactive Phosphorous: 1. Erythema studies, ibid 47: 213, 1946.
(放射性亜磷酸を用いた外部治療法)
Wirth JE, Raper JR: Chapter 12, in Biological Effects of External Beta Radiation, edited by RE Zirkle, ed. 1, New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1951.
(外部ベータ放射能の生物学的影響)
6. Sutton RL Jr.: Transverse Band Pigmentation of Fingernails After X-Ray Therapy, JAMA 150: 210 (Sept. 20) 1952.
(X線治療後の爪の横断帯色素沈着)