

EQUIPMENT AND TECHNIQUES IN
MEDICAL X-RAY DOSIMETRY STUDIES AT ABCC

ABCCにおける医療用
放射線量測定用の設備と方法

HARUMA YOSHINAGA, Ph.D. 吉永春馬

YU IHNO, M.D. 飯野 祐

WALTER J. RUSSELL, M.D.

SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D. 安徳重敏

MASAYOSHI MIZUNO 水野正義



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。

EQUIPMENT AND TECHNIQUES IN MEDICAL X-RAY DOSIMETRY STUDIES AT ABCC

ABCCにおける医療用 放射線量測定用の設備と方法

HARUMA YOSHINAGA, Ph.D.* 吉永春馬
YU IHNO, M.D.** 飯野 祐
WALTER J. RUSSELL, M.D.
SHIGETOSHI ANTOKU, Ph.D.† 安徳重敏
MASAYOSHI MIZUNO 水野正義

Department of Radiology
放射線部

Approved 承認 15 December 1966



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

* Faculty of Medicine Kyushu University; Senior Consultant to ABCC
九州大学医学部; ABCC 顧問

** Faculty of Medicine, University of Tokyo; Visiting Research Associate, ABCC
東京大学医学部; ABCC 客員研究員

† Research Institute of Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University; Visiting Research Associate, ABCC
広島大学原爆放射能医学研究所; ABCC 客員研究員

EQUIPMENT AND TECHNIQUES IN
MEDICAL X-RAY DOSIMETRY STUDIES AT ABCC
ABCCにおける放射線
測定装置の設備と技術

HARUMA YOSHIZAKI, Ph.D., Director
TOYAMA M.D., Chief
YAMAZAKI KOSUJI, M.D.
MORIMOTO YASUO, Ph.D., Chief
MITSUHASHI YOSHIO, Chief

ACKNOWLEDGMENT

感謝のことは

The Mix-D phantom resembling a human was constructed under the direction of Dr. Paul M. St. Aubin with special efforts exerted by Dr. Kimiaki Takeuchi and other members of the technical staff of the ABCC Department of Radiology. The authors are also indebted to Mr. Shigeru Taniguchi for his valuable assistance in construction and maintenance of certain apparatus and equipment.

人体を模した Mix - D ファントムは、Dr. Paul M. St. Aubin の指導のもとに、ABCC 放射線部の武内公明医師および技術員諸氏の努力によって作製されたものである。著者らはまた、特殊の装置や機器の作製および維持に尽力された谷口 茂氏に謝意を表したい。

CONTENTS 目次

Background	背景	1
Equipment	設備	
Human Phantom	人体ファントム	1
Skeleton Phantom	骨格ファントム	2
Plain Phantom Materials	無骨ファントム材	2
Ionization Chambers	電離箱	4
Summary	要約	4
References	参考文献	15

FIGURES 図

1. Removal of Mix-D material and portion of bone	Mix-D材および骨の一部の除去作業	5
2. Impression of aperture in phantom	ファントムに設けた空洞	5
3. Filling mold with Mix-D material	Mix-D材を型に流し込む作業	5
4. Mix-D drawer	Mix-D材の引き出し	6
5. Thorax of phantom	ファントムの胸部	6
6. Abdomen and pelvis of phantom	ファントムの腹部と骨盤部	6
7. Skull of phantom	ファントムの頭蓋骨部	7
8. Skull base and upper portion of cervical spine	頭蓋骨基底部, 頸椎の上部	7
9. Pelvis and hip of phantom	ファントムの骨盤と腰部	7
10. Pelvis and hip of phantom with ionization chamber removed	電離箱を取り出したファントムの骨盤と腰部	8
11. Entire Mix-D phantom	Mix-Dファントムの全体	8
12. Skull, thorax, and abdomen of phantom	ファントムの頭蓋, 胸部, 腹部	8

13. Roentgenogram, abdomen of phantom ファントムの腹部のX線写真	9
14. Lattice system to describe active bone marrow distribution 赤色髄の分布を示す格子方式	9
15. Plain Mix-D material 無骨 Mix - D板	10
16. Plain Mix-D material showing position of Memorial chambers Memorial 電離箱の位置を示す無骨 Mix - D板	10
17. Plain Mix-D material accommodating EIL chamber at surface 表面にEIL電離箱を入れた無骨 Mix - D板	10
18. Plain Mix-D material accommodating EIL chamber at 5 cm depth 深さ5 cmのところにEIL電離箱を入れた無骨 Mix - D板	11
19. Wooden box containing remotely controlled disk of varying thickness of aluminum for assessment of output and quality of radiation 放射線の出力と線質を調べるため、遠隔操作によって使用する各厚みのアルミ板を納める木箱	11
20. Plain Mix-D phantom with inscriptions on superior surface of varying field size 表面に照射野を描いた無骨 Mix - Dファントム	11
21. Mix-D phantom and Mix-D receptacles for Memorial ionization chambers Mix - Dファントムと Memorial 電離箱を入れる Mix - D棒	12
22. Mix-D phantom and bone equivalent receptacles for Memorial chamber Mix - Dファントムと Memorial 電離箱を入れる骨等価壁	12
23. Receptacles inserted into Mix-D phantom Mix - D棒をファントムに差し込んだところ	12
24. Memorial ionization chamber Memorial 電離箱	13
25. Baldwin-Farmer electrometer Baldwin-Farmer 電流計	13
26. Ionization chamber response as a function of HVL HVLの関数としての電離箱の感度	14
27. Directional response of the miniature cylindrical ionization chamber 小型円筒状電離箱の方向依存性	14
28. EIL electrometer with 35 cc chamber connected EIL電位計および35cc電離箱と接続コード	15

EQUIPMENT AND TECHNIQUES IN MEDICAL X-RAY DOSIMETRY STUDIES AT ABCC

ABCCにおける医療用放射線量測定用の設備と方法

BACKGROUND

In the medical X-ray dosimetry program at ABCC, a number of studies have been performed¹⁻³ since 1959 using a variety of dosimetry equipment and phantom material. Descriptions of the materials and apparatus used are too detailed for inclusion in the pertinent reports but are useful as a separate document for reference.

EQUIPMENT

Human Phantom For the preliminary studies, a phantom simulating an average size adult Japanese (162 cm in height) was constructed in the Department of Radiology. This phantom consists of Mix-D material⁴ for soft tissue as follows: paraffin 60.8%, beeswax 30.4%, magnesium oxide 6.4%, titanium oxide 2.4%, and a trace of pine resin.

A complete skeleton is contained within this phantom with beeswax-impregnated cellulose to represent lung tissue. The densities of all components closely approximate that of a human, and this is readily verified on radiography.

Reconstruction of parts of this phantom was necessary for portability and because of a later decision to insert small ionization chambers within the phantom according to the method of Laughlin et al.⁵

These ionization chambers were especially constructed by the Division of Biophysics, Sloan-Kettering Institute,⁶ and are described later. Bone and Mix-D material were removed to permit insertion of the ionization chambers at 13 positions in the region of the bone marrow and at 3 positions for the gonads. The margins of the defects were smoothed, and the aperture sizes and configurations were reproduced with dental impression material which was then placed into forms made from orthopedic cast material. When the forms hardened, the impressions were removed, and Mix-D material was then poured into the molds. The central or marrow portion of bone was bored to accommodate the ionization chamber, and the bone was replaced in Mix-D material. When this hardened, the cast material was chipped away, leaving a Mix-D block, containing bone (Figures 1-6).

背景

1959年以来、ABCCでの医療用X線線量測定調査には種々の線量測定器やファントムを使用していくつかの調査が行なわれてきた。¹⁻³ 使用した材料や器具についての説明はあまりにも詳細にわたるので関係報告書には含まれていないが、別個の報告書として参考資料に供することは有用である。

設備

人体ファントム(人体模型) 予備調査のために日本人成人の平均的体格(身長162 cm)に似せたファントムが当放射線部で作られた。このファントムの軟組織は次のような Mix-D材⁴ で構成されている。パラフィン60.8%、密蝋30.4%、酸化マグネシウム6.4%、酸化チタン2.4%、松脂微量。

このファントムには完全な骨格が含まれ、肺組織に該当する部分は密蝋滲透セルローズで作られている。すべての主要部分の密度は人体のそれに近似しており、X線撮影によって容易に確認できる。

このファントムは、携帯を容易にするためと、Laughlinらの方法⁵に従ってファントム内に数個の小さい電離箱を挿入することができるようにするために、1部改造を行なう必要が生じた。

これらの電離箱は Sloan-Kettering 研究所生物物理部によって特別に作製されたもので、⁶これについてはあとで述べる。骨髄部に13か所と生殖腺部に3か所電離箱を挿入できるように骨および Mix-D材を除去した。除去したあとの空洞の周囲をなめらかにし、歯科印象剤によって空洞と同じ大きさの型を作り、整形外科用石膏でその鋳型を作った。石膏が固まったあとで印象剤で作った型を除去し、Mix-D材をこの鋳型の中に流し込んだ。電離箱を入れるために骨の中央すなわち骨髄部に空洞を作り、その骨を Mix-D材の中に入れた。これが固まったのち、骨のはいった Mix-Dブロックのみを残して、鋳型を削り取った(図1-6)。

The blocks thus formed drawers which fit exactly into their receptacles in the phantom, allowing easy removal and replacement of ionization chambers before and after dose measurements (Figures 7-10). These provisions were made at the following locations: Skull vertex; C-4, T-6, T-12, L-5 vertebrae; body of sternum; lateral portions of both 6th ribs; both iliac crests; trochanter regions of both femurs; symphysis pubis; and in the regions of the male and female gonads.

The phantom was sectioned for easier handling and portability into head and neck; chest and upper abdomen; lower abdomen, pelvis, and proximal portions of lower extremities; distal portions of lower extremities; and the upper extremities. This facilitated its use not only at ABCC, but also in community hospitals and clinics in Hiroshima and Nagasaki. Figure 11 shows the entire phantom.

This phantom was further altered for a study of bone marrow and gonadal dose by fluoroscopy. The lower portion of the thorax and the upper portion of the abdomen and pelvis sections were removed to accommodate another Mix-D block containing a simulated stomach and duodenum created from a mixture of dental impression material and barium following density tests of various materials. After hardening, it was embedded in liquid Mix-D in a block form. The thoracic and abdominal sections were also reconstructed in a similar manner so that they would exactly accommodate this block containing the stomach and duodenum. This reconstructed phantom was used to evaluate basic procedures for assessment of bone marrow and gonadal dose, and also allowed appraisal of techniques of radiologists, using their own equipment.³ The phantom and radiographs with and without the stomach and duodenum are shown in Figures 12 and 13.

Skeleton Phantom To facilitate dose calculations, a skeleton was described by a lattice system to show distribution of active bone marrow by three dimensions in the manner of other investigators (Figure 14).^{7,8}

By methodology described elsewhere,⁹ marrow quantities for individual bones¹⁰ were applied to specific locations in this lattice system. This facilitated determination of dose to active bone marrow according to the body site examined and in conformity with the size of the X-ray beam used in each examination.^{1,3,13}

Plain Phantom Materials To evaluate response of the ionization chambers, Mix-D phantom plates were made with excavations for the Memorial ionization chambers between them. Four excavations, one at each level,

このようにして作られたブロックは、ファントム内にぴったり合う引き出しとなり、線量測定の前後に電離箱の出し入れが容易にできる(図7-10)。この工作を施したのは次の箇所である。頭頂、脊椎のC-4、T-6、T-12、L-5、胸骨体部、左右第6肋骨の側部、左右腸骨稜、左右大腿骨転子部、恥骨結合、男女生殖腺部。

ファントムは、取り扱いや携帯を容易にする目的で、頭部と頸部、胸部と上腹部、下腹部・骨盤・下肢の上部、下肢の下部および上肢の各部分に分割できるようにした。これによって、ABCCばかりでなく広島と長崎の地元病医院での使用が容易になった。図11はファントム全体を示す。

透視検査による骨髄および生殖腺の線量測定を行なうために、さらにファントムに変更を加えた。種々の物質の密度を検討したのち、歯科用印像剤とバリウムとを混合して作った模造の胃および十二指腸を含む Mix-D ブロックを入れるために、下胸部、上腹部および骨盤部を取り除いた。胃ファントムが固まったあと、ブロック型にはいった液状 Mix-D 材の中に埋め込んだ。またこの胃や十二指腸を含むブロックが確実にハマるように、前記と同様の方法で胸部や腹部に変更を加えた。この改造ファントムは骨髄および生殖腺の線量測定に関する基礎的研究方法の検討に使用されたが、同時に放射線科医の透視方法の比較に用いた。³ ファントムならびに胃・十二指腸を入れた状態と出した状態の X 線写真を図12および13に示す。

骨格ファントム 線量計算を容易にするために、他の研究者らの用いた立体的方法によって格子方式で骨格を表現して赤色髄の分布を示した(図14)。^{7,8}

他の報告書で述べられている方法によって、⁹ 個々の骨の骨髄量をこの格子方式における特定の場所に位置づけた。¹⁰ これは、検査した体の部位により、また各検査で用いた X 線束の大きさに応じて、赤色髄が受ける線量の決定を容易にした。^{1,3,13}

無骨ファントム材 電離箱の感度を測定するために、Memorial 電離箱を入れるための空洞を設けた Mix-D 板を作った。4つの板には、それぞれ1つずつ空洞があり、

were arranged at 90° to one another by each depth, between the sections (Figures 15, 16).

A second set of Mix-D phantom sections accommodated the Electronic Instruments Limited (EIL) 35cc Model A37A chamber. These sections were 2, 5, and 10 cm in thickness with excavations to accommodate the 35 cc chambers at 0, 5, 7, 10, and 12 cm below the surface (Figures 17, 18). With these phantom materials, initial estimates of radiation quality and output of apparatus in community hospitals and clinics and ABCC² were determined, but data so obtained were not considered sufficiently reliable.

For better accuracy in assessing radiation output and quality,² an enclosure was constructed to accommodate 35 cc ionization chambers, and remotely controlled revolving disks of aluminum sheet of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0 and 5.0 mm varying thicknesses. This portable unit could be set up easily and rapidly in hospitals and clinics, to provide uniform exposure situations (Figure 19). Output was readily determined with the EIL 35 cc ionization chamber in this enclosure. Half-value layer approximation and radiation quality were assessed by readings using different filter thicknesses. Its primary advantage was its rapid provision of uniform exposure situations for estimating quality of radiation^{2,14} in the many institutions surveyed.

To obtain depth-dose measurements, and measurements of scattered radiation near the margin of the direct beam of X-ray, a two-section, large Mix-D block phantom was constructed. At three depths, 5, 10, and 15 cm from the superior surface, Memorial ionization chambers were housed in receptacles of Mix-D material. These lathe-turned receptacles exactly fit 2.8 cm diameter holes drilled in the sides of the large block phantoms at these depths.

To determine attenuation of dose to bone marrow at varying depths, the opposite ends of each of these Mix-D receptacles were fitted with additional receptacles constructed of material approximating bone density as follows: paraffin 54%, calcium phosphate 38%, and carbon 8%. This material was also lathe-turned to fit exactly into the holes drilled in the phantom blocks. These bone equivalent receptacles, 2, 4, and 7 mm in thickness represented varying thicknesses of bone cortex.

Easy insertion and removal of ionization chambers, with a minimum of space between the chambers and bone equivalent material was thus provided. The Mix-D block phantoms, receptacles for soft tissue and bone

その空洞はそれぞれの深さごとに互いに90°の角度で設けられている(図15, 16)。

もう1組の Mix-D板の中には, Eelectronic Instruments Limited (EIL) 製35cc Model A37A 電離箱を入れた。これらの板はそれぞれ2, 5, 10cmの厚さがあり, 35cc型の電離箱を表面からそれぞれ0, 5, 7, 10, 12cmのところに入れられるように空洞が作られている(図17, 18)。これらのファントム材を使って, 地元の病医院, およびABCCでの放射線の線質と装置の出力を測定²したが, 得られた結果は十分信頼できるものではなかった。

放射線の出力と線質をより正確に測定するために,² 35cc電離箱と, 遠隔操作で回転する厚さそれぞれ0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 mmのアルミニウム製円盤とを入れる箱を作った。この携帯用器具は病医院で容易かつ迅速に組み立てられ, 常に一定した条件のもとに測定することが可能となった(図19)。この箱内にEIL 35cc電離箱を入れることによって出力を容易に測定することができた。半価層近似値と線質は, 厚さの異なるフィルターを使って得られた値から決定した。この装置のおもな利点は, 調査を行なった多くの施設で, 放射線の線質を測定するに必要な一定の条件が迅速に作られたことにある。^{2,14}

深部線量測定およびX線錐の辺縁付近の散乱線の測定値を得るために, 2つの部分から成る大きい Mix-Dブロック・ファントムを作った。ファントムの表面から5, 10, 15cmの3つの深さの所に Memorial 電離箱を入れるための棒状容器を作製した。旋盤で仕上げたこれらの容器は, 大きいブロック・ファントム側面の上記の深さのところにあけた直径2.8 cmの空洞に正確にはまる。

いろいろな深さで骨髄線量の減弱を測定するために, これらの各 Mix-D容器の反対の端を, 次のような骨密度に近い物質すなわち, パラフィン54%, 燐酸カルシウム38%, 炭素8%で作った別の容器をつめた。この材料も, ファントム・ブロックに作られた空洞に正確にはまるように旋盤仕上げを行なった。これら, 厚さ2, 4, 7 mmの骨等価物質の容器は, いろいろな厚さの骨皮質を代表するものである。

このようにして, 電離箱の出し入れが容易であり, しかも骨等価物質材料との間にほとんど隙間のないものができた。Mix-Dブロック・ファントム, 軟組織および

equivalent material, and the ionization chambers are shown in Figures 20-23.

Three field sizes; 10×10, 20×20, and 30×30 cm were inscribed on the top surface of the large block phantom with distances from each field margin indicated by 2 cm increments (Figure 20). Dose measurements were made at three depths inside the direct beam of X-ray, and outside the direct beam of X-ray at specified distances from the field margin.¹

Ionization Chambers The small Memorial ionization chambers used (Figure 24) have been described previously.⁶ Their relatively small size permits insertion into marrow cavities or approximate region thereof. These are constructed of conducting polystyrene and are for use with the Baldwin-Farmer electrometer (Figure 25).

The measurable dose range of this equipment is from 30 to 500 milliroentgens with a sensitivity of approximately 0.3 volts per mR. In the diagnostic energy range, these chambers are relatively free of energy dependence. Figure 26 compares the response of this chamber with others in the diagnostic energy range. The chambers are also relatively free of directional dependence, and this is illustrated in Figure 27.

Also used in these studies was an EIL Model 37A electrometer, and EIL ionization chambers of 35 cc capacity.^{11,12} Their measuring range is 0.1 to 1.5×10^5 mR (Figure 28). They were used to estimate radiation quality, and were found to be superior to the Memorial chambers and Baldwin-Farmer electrometer under conditions of relatively high humidity.¹ This pertained mainly in the community hospitals and clinics where humidity could not be controlled, as opposed to conditions at ABCC. They were also used to determine surface or skin dose with the phantom. They are capable of registering dose rate and accumulated dose and are therefore very useful in dosimetry of fluoroscopy as well as radiography.

SUMMARY

In medical X-ray dosimetry studies various equipment has been used, descriptions of which are too detailed for inclusion in reports of the studies themselves. The equipment is described here for reference purposes.

び骨等価物質材を入れる容器および電離箱は図20-23に示す。

大きいブロック・ファントムの上面には10×10, 20×20, 30×30 cmの3つの大きさの照射野が描いてあり、図20のように各照射野辺縁から2 cm間隔で線が引いてある。線量測定は、線錐内では3つの深さで、また線錐外では照射野の辺縁から特定の距離で行なった。¹

電離箱 使用した Memorial 電離箱 (図24) については以前に報告されている。⁶ これらは比較的小さいので骨髄腔またはその付近に挿入することができる。これらは導電性のあるポリスチレンから作られており、Baldwin-Farmer 電流計と一緒に使用するものである。電流計は図25に示す。

この測定器の線量測定範囲は30-500 mRで、感度は1 mR 当たり約0.3 Vである。診断用エネルギー範囲内において、これらの電離箱はエネルギー依存性が比較的少ない。図26は、この電離箱と他の種のものについて診断用エネルギー範囲においてその感度変化を比較した結果を示す。図27に示すとおり、この電離箱はまた方向依存性も比較的小さい。

線量測定の研究には、EIL Model 37A 電位計や容積35 cc のEIL電離箱も使用された。^{11,12} その測定範囲は0.1 - 1.5×10^5 mRである (図28)。これらは放射線の線質の測定に使用され、比較的高い湿度のもとでは Memorial 電離箱や Baldwin-Farmer 電流計よりも優秀であることが認められた。¹ ABCCでの条件と異なり、これは主として、湿度の調整ができなかった地元の病院には適していた。これらはまた、ファントムで表面や皮膚の線量測定にも使用された。またこれを使用すれば線量率や累積線量の記録もでき、したがってX線撮影ばかりでなく透視検査における線量測定にも非常に役立つ。

要 約

医療用X線の線量調査では種々の機械器具が使用されてきたが、その説明は詳細にすぎてそれぞれの研究報告書に含めることができない。したがって参考に掲げる目的でこの報告書でこれらの機械器具について説明した。

Figure 1 Removal of Mix-D material and portion of bone.

図1 Mix-D材および骨の一部の除去作業。

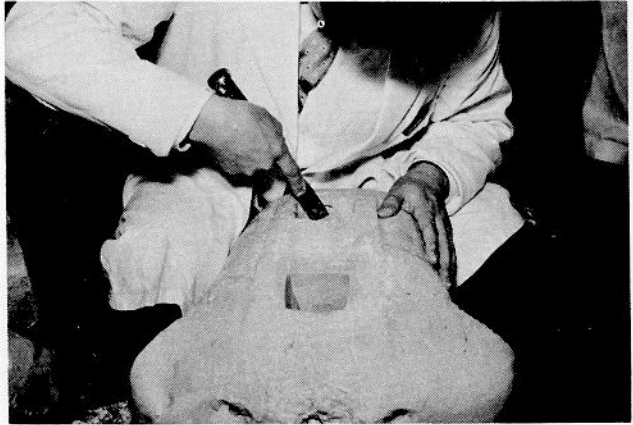


Figure 2 Impression of aperture in phantom.

図2 ファントムに設けた空洞。

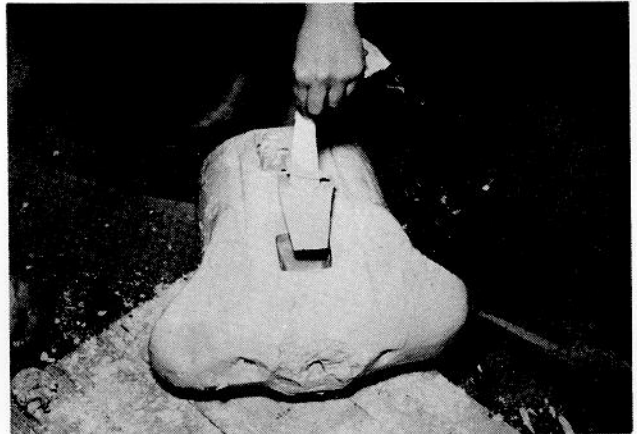


Figure 3 Filling mold with Mix-D material, reserving a place for ionization chamber in the bone.

図3 骨の中に電離箱を納める場所を残して Mix-D材を型に流し込む作業。



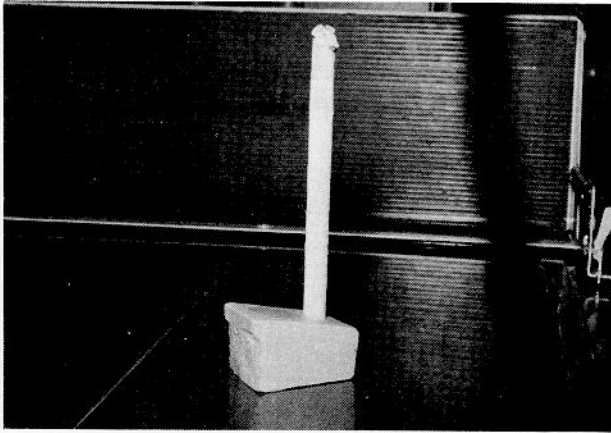


Figure 4 Mix-D drawer containing bone and a place for ionization chamber.

図4 銙型を除去したあとの Mix-D材の引き出し。この中に骨が含まれており；また電離箱を納める場所もある。

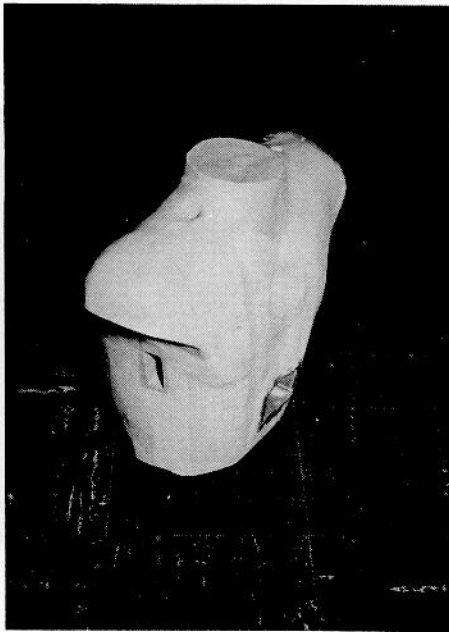


Figure 5 Thorax of phantom with receptacles for drawers accommodating ionization chambers.

図5 ファントムの胸部および電離箱を入れる引き出し受け。



Figure 6 Abdomen and pelvis section of phantom with receptacles for drawers accommodating ionization chambers.

図6 ファントムの腹部と骨盤部および電離箱を入れる引き出し受け。

Figure 7 Skull of phantom with receptacle and insert accommodating ionization chamber.

図7 フォントムの頭蓋骨部および電離箱を入れる引き出しとその受け。

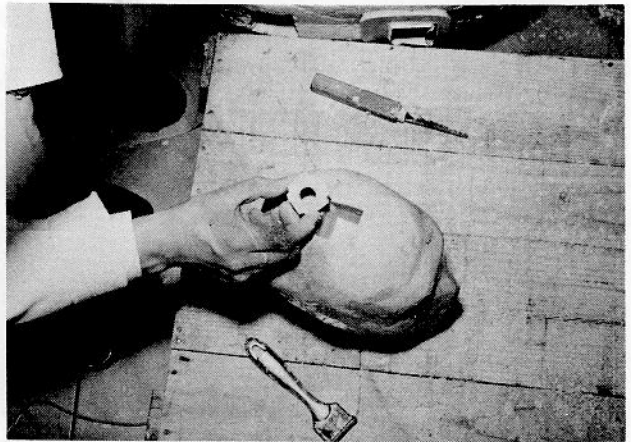


Figure 8 Skull base and upper portion of cervical spine with receptacle for insert accommodating ionization chamber.

図8 頭蓋骨基底部、頸椎の上部、および電離箱を入れる引き出し受け。

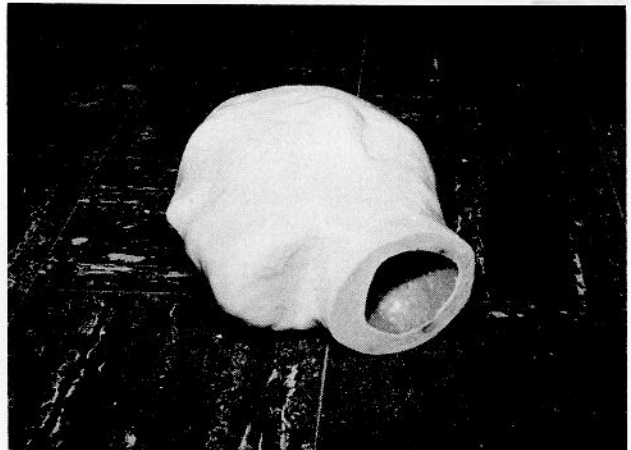
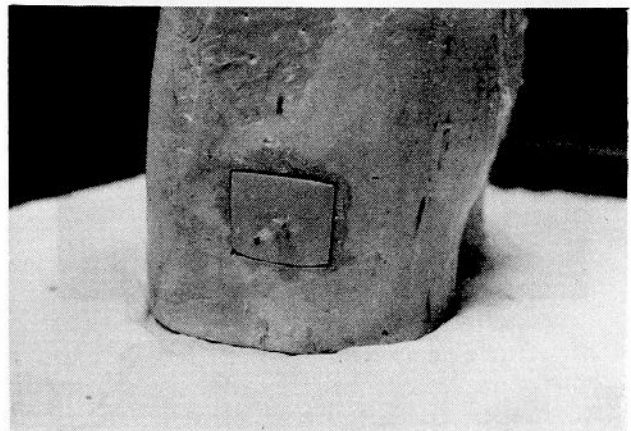


Figure 9 Pelvis and hip of phantom with insert accommodating ionization chamber.

図9 フォントムの骨盤と腰部および電離箱を入れる引き出し。



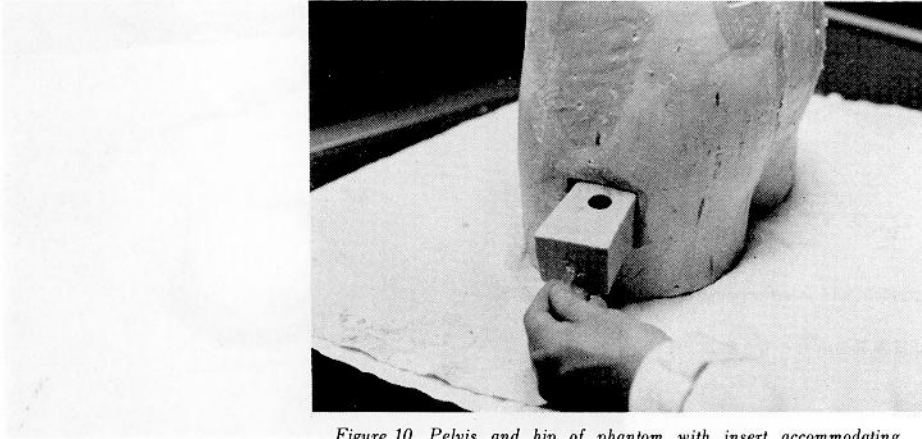


Figure 10 Pelvis and hip of phantom with insert accommodating ionization chamber removed.

図10 ファントムの骨盤と腰部および電離箱を入れる引き出しを取り出したところ。

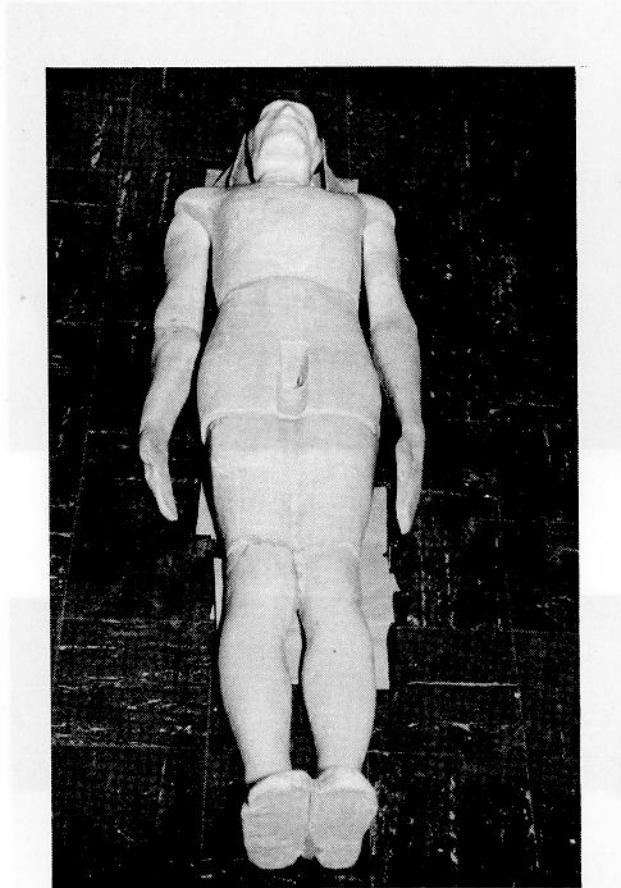


Figure 11 Entire Mix-D phantom containing skeleton.

図11 骨格を有する Mix - D ファントムの全体。

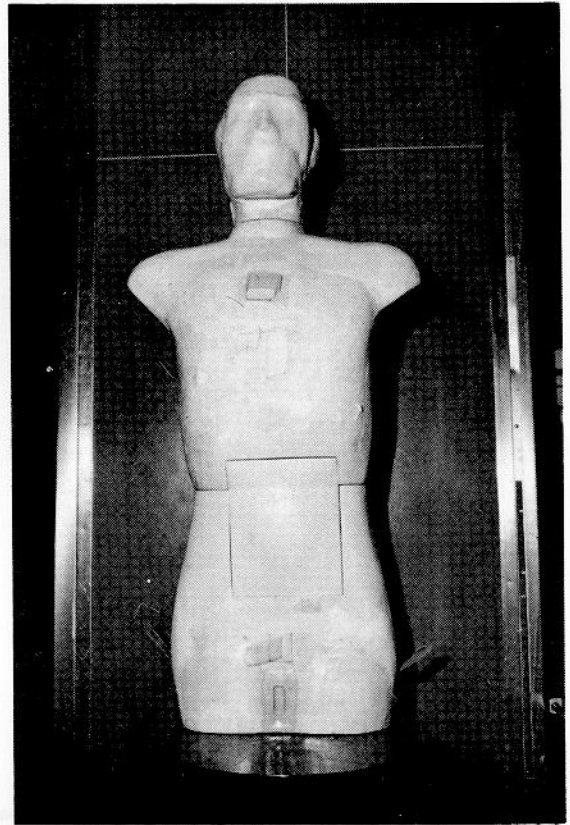


Figure 12 Skull, thorax, and abdomen of phantom with insert containing simulated stomach and duodenum.

図12 ファントムの頭蓋、胸部、腹部、ならびに模造の胃および十二指腸を入れたはめ込み部。

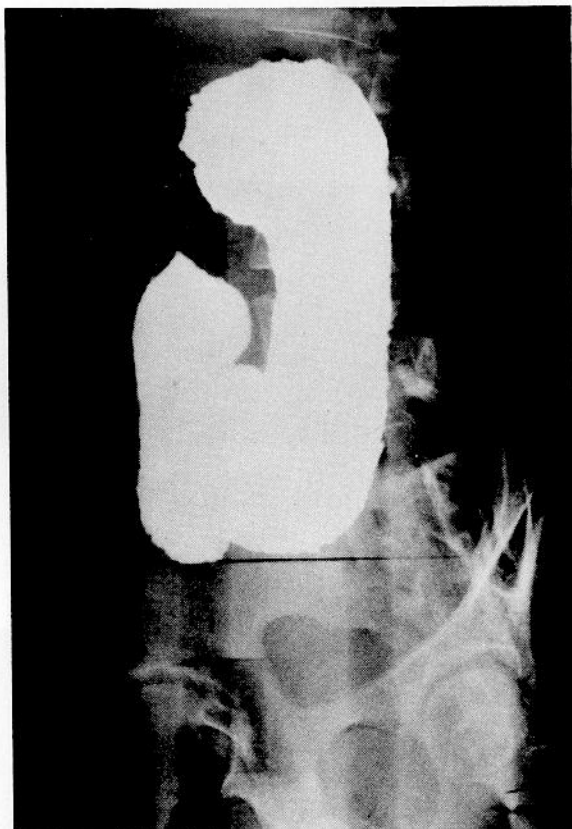
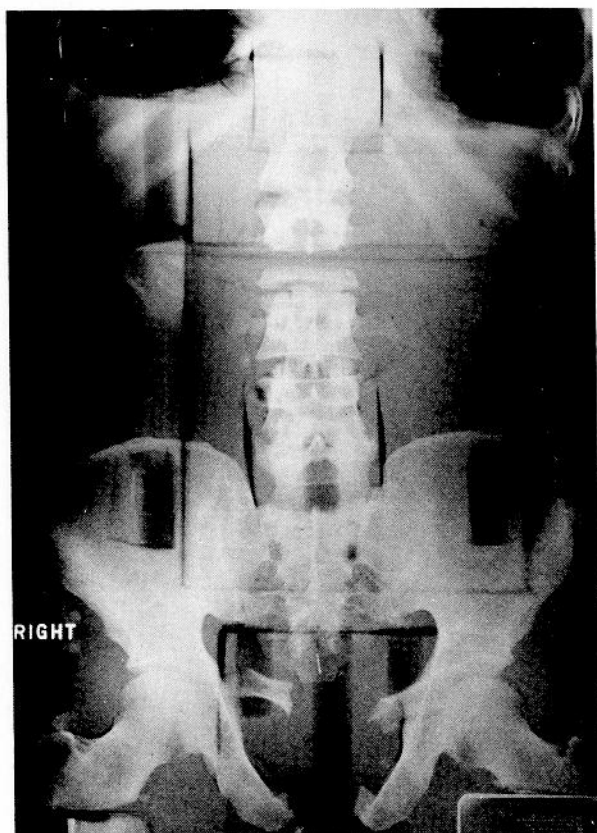
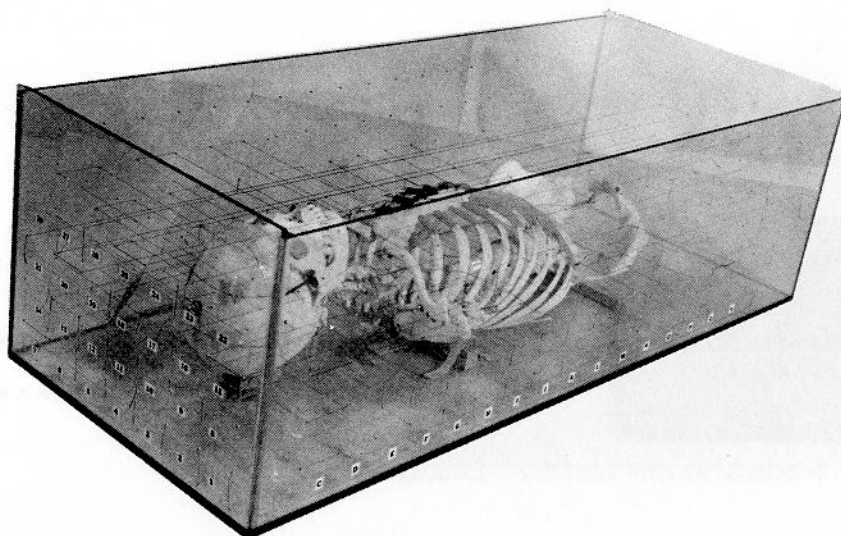


Figure 13 Roentgenograms, abdomen of phantom. Antero-posterior without simulated stomach (left) and left anterior oblique with simulated stomach and duodenum (right).

図13 ファントム腹部のX線写真。胃を入れない腹部の背腹方向(左)および胃十二指腸を入れた腹部の左前斜方向(右)

Figure 14 Lattice system to describe active bone marrow distribution.

図14 赤色髄の分布を示す格子方式。



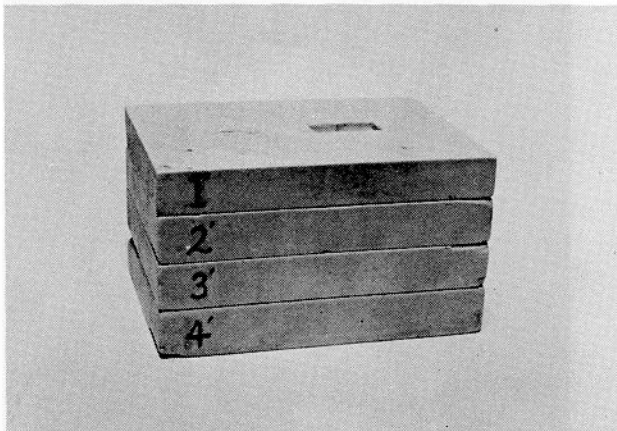


Figure 15 Plain Mix-D material to accommodate Memorial ionization chambers.

図15 Memorial 電離箱を入れるための無骨 Mix - D板.

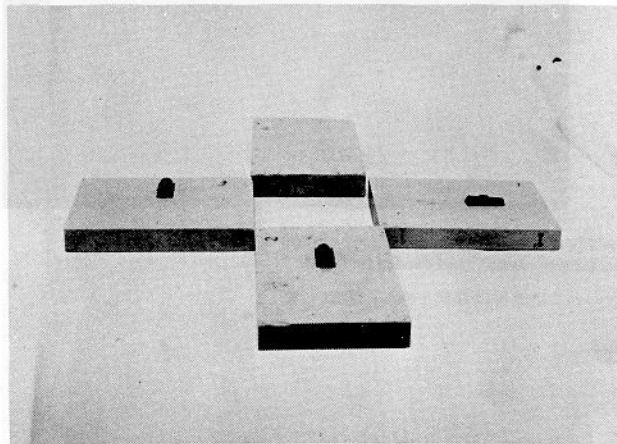


Figure 16 Plain Mix-D material showing position of Memorial chambers.

図16 Memorial 電離箱の位置を示す無骨 Mix - D板.

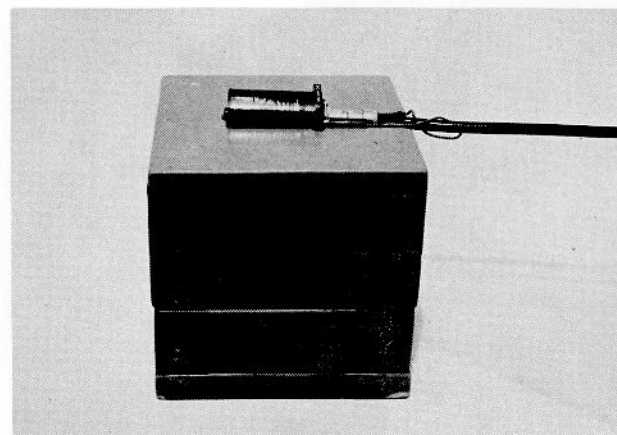


Figure 17 Plain Mix-D material accommodating EIL chamber at surface.

図17 表面にEIL 電離箱を入れた無骨 Mix - D板.

Figure 18 Plain Mix-D material accommodating EIL chamber at 5 cm depth.

図18 深さ5 cmのところにEIL電離箱を入れた無骨 Mix-D板.

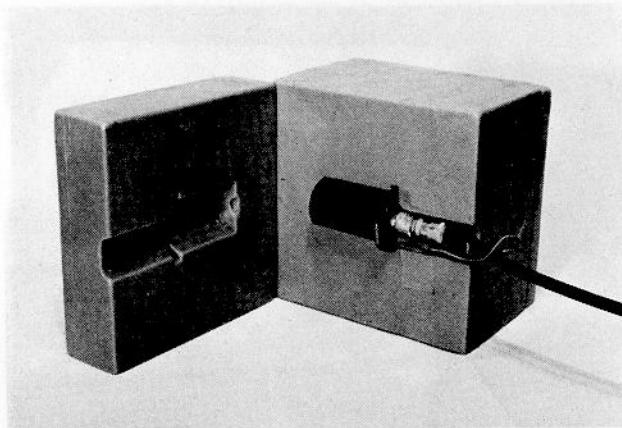


Figure 19 Wooden box containing remotely controlled disk of varying thickness of aluminum for assessment of output and quality of radiation.

図19 放射線の出力と線質を調べるため、遠隔操作によって使用する各厚みのアルミ板を納める木箱.

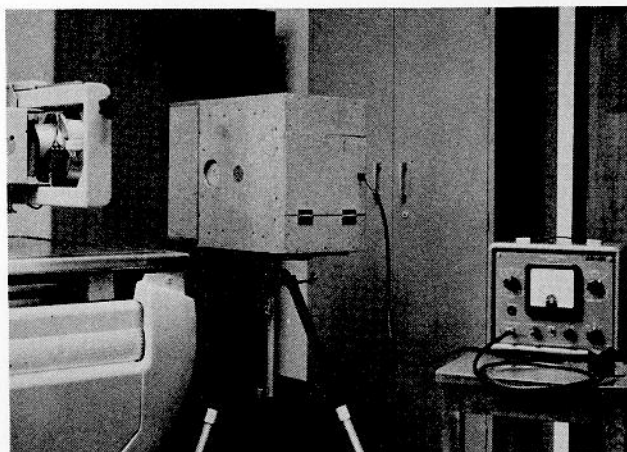
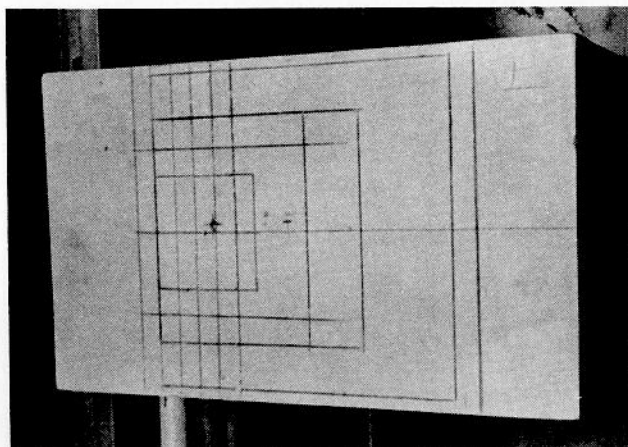


Figure 20 Plain Mix-D phantom with inscriptions on superior surface of varying field sizes.

図20 表面に照射野を描いた無骨 Mix-D フントム.



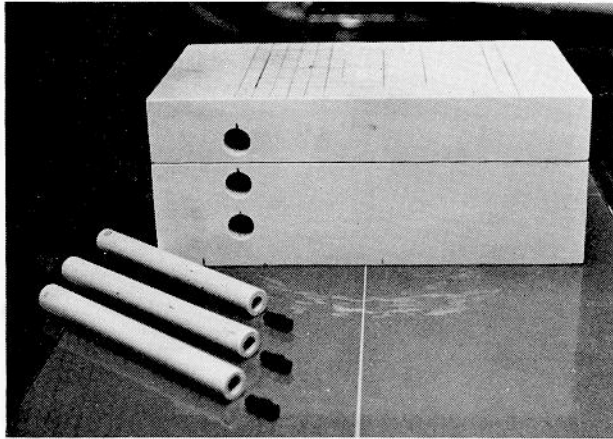


Figure 21 *Mix-D phantom and Mix-D receptacles for Memorial ionization chambers.*

図21 Mix-Dファントムと Memorial 電離箱を入れる Mix-D棒.

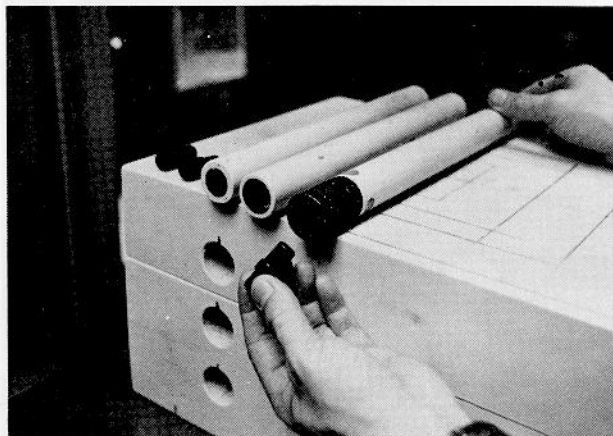


Figure 22 *Mix-D phantom and bone equivalent receptacles for Memorial chambers.*

図22 Mix-Dファントムと Memorial 電離箱を入れる骨等価壁.

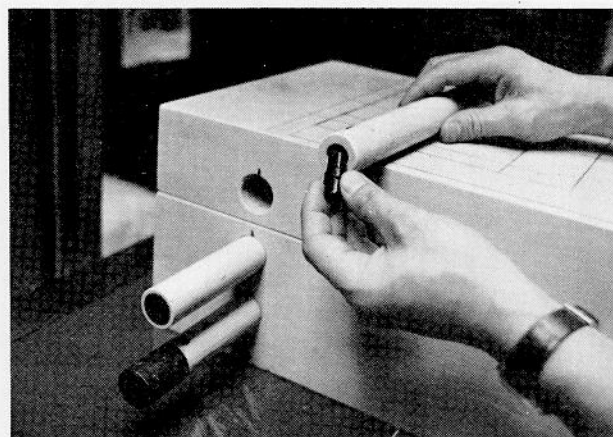


Figure 23 *Receptacles inserted into Mix-D phantom.*

図23 Mix-D棒をファントムに差し込んだところ.



Figure 24 Memorial ionization chamber.

図24 Memorial 電離箱.

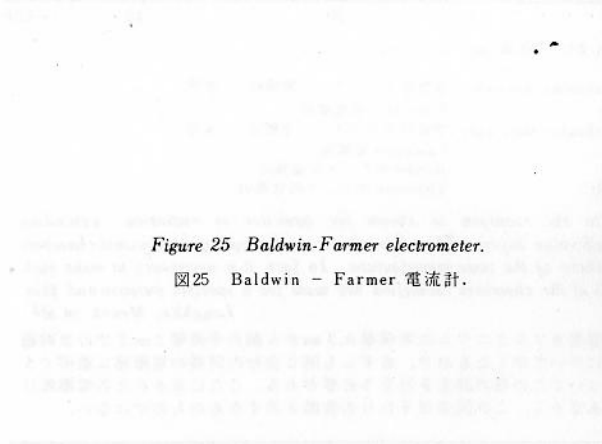
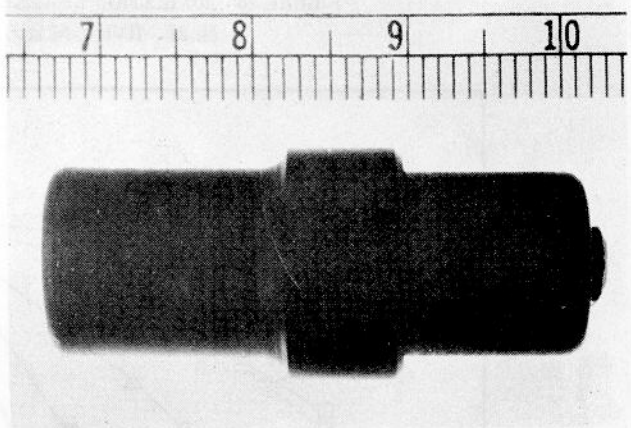


Figure 25 Baldwin-Farmer electrometer.

図25 Baldwin - Farmer 電流計.

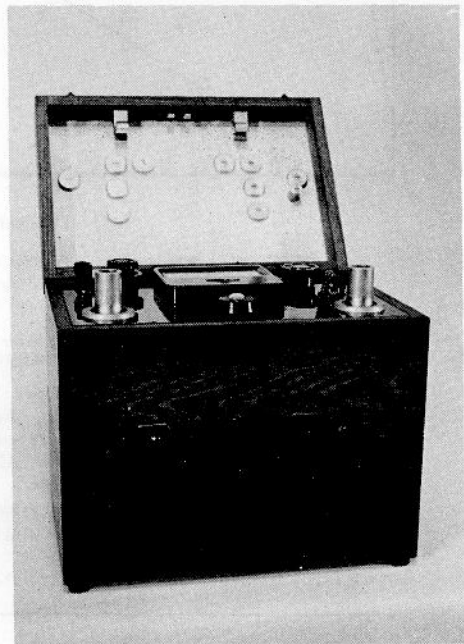


Figure 28 EIL electrometer with 35 cc chamber connected.

図28 EIL 電位計および35cc電離箱と接続コード.

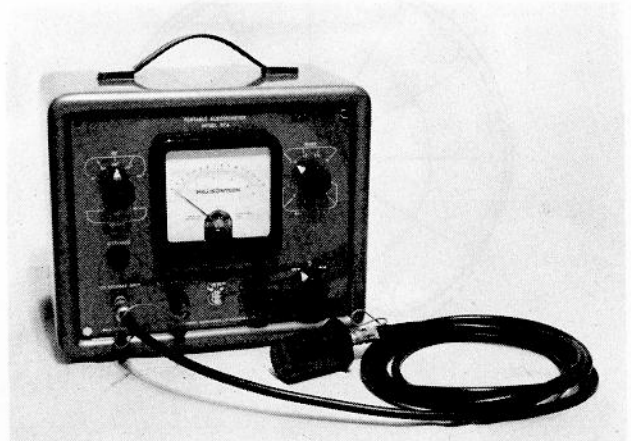
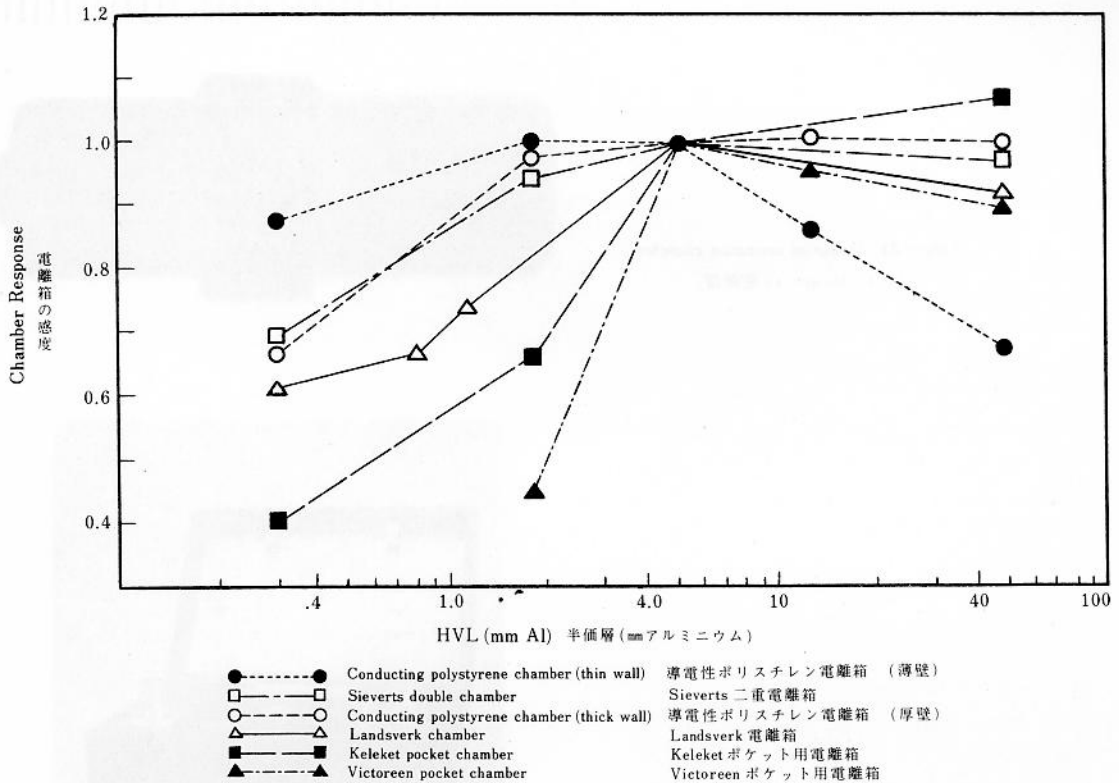


FIGURE 26 IONIZATION CHAMBER RESPONSE AS A FUNCTION OF HVL

図 26 HVL の関数としての電離箱の感度



The response of several chambers relative to the roentgen is shown for qualities of radiation extending from 0.3 mm Al half value layer to 2 mm Cu half value layer. The plots above are for specific individual chambers and are not necessarily applicable to other chambers of the same manufacture. In fact, it is necessary to make such determinations for every chamber employed. All of the chambers identified are made for a specific purpose and this plot is in no way a reflection on their merits.

Laughlin, Meurk, et al⁵

数種の電離箱のレントゲン単位における相対的感度をアルミニウムの半価層 0.3 mm から銅の半価層 2 mm までの放射線の線質について示した。上の図は特定の電離箱について示したもので、必ずしも同じ会社の同種の電離箱に適用できるとは限らない。実際には使用する各電離箱についてこの種の測定を行なう必要がある。ここに示された各電離箱はそれぞれ特別の目的のために作製されたものであるから、この図表はそれらの性能を示すためのものではない。

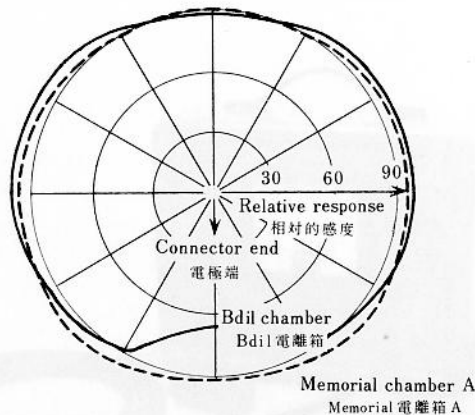


Figure 27 Directional response of the miniature cylindrical ionization chamber. The arrow indicates the direction of the long axis of the chamber. The relative response in a given direction is proportional to the radial distance of the curve from the center. Garrett, Laughlin⁶

図 27 小型円筒状電離箱の方向依存性。矢印は電離箱の長軸の方向を示す。特定の方向における相対的感度は、中心から半径曲線までの距離に比例する。

REFERENCES

参考文献

1. ANTOKU S, YOSHINAGA H, et al: Dosimetry, diagnostic medical X-ray; exposure of ABCC subjects in community hospitals and clinics. ABCC TR 6-65
(診断用医療用X線の線量測定. ABCC調査対象者が地元病医院で受ける線量)
2. ANTOKU S, SAWADA S, et al: Radiation output and quality of diagnostic X-ray apparatus in community. ABCC TR 23-67
(広島・長崎の地元病医院における診断用X線の放射線出力と線質)
3. YOSHINAGA H, TAKESHITA K, et al: Estimation of exposure pattern and bone marrow and gonadal doses during fluoroscopy. Brit J Radiol 40:344-9, 1967
(透視検査における照射分布ならびに骨髄および生殖腺線量の推定)
4. JONES DEA, RAINE HC: Correspondence to the editor. Brit J Radiol 22:549-50, 1949
(編集者への書信)
5. LAUGHLIN JS, MEURK ML, et al: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. Amer J Roentgen 78:961-82, 1957
(通常のX線診断で受ける骨, 皮膚, および生殖腺の線量)
6. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. Health Phys 2:189-94, 1959
(診断用X線の線量測定用電離箱)
7. BLATZ H, EPP ER: A photographic method of measuring fluoroscopic dose to the patient. Radiology 76:120-1, 1961
(透視検査で患者が受ける線量のフィルムによる測定法)
8. LIUZZI A, BLATZ H, EISENBUD M: A method for estimating the average bone marrow dose from some fluoroscopic examinations. Radiology 82:99-105, 1964
(透視検査で受ける骨髄平均線量の推定法)
9. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, et al: Active bone marrow distribution in the adult. Brit J Radiol 39:735-9, 1966
(成人における赤色髄分布)
10. ELLIS RE: The distribution of active bone marrow in the adult. Phys Med Biol 5:255-8, 1961
(成人における赤色髄分布)
11. STUART S, OSBORN SB: A wide range direct reading X-ray dosimeter. Phys Med Biol 3:255-63, 1959
(広範囲直読式X線線量測定器)
12. OSBORN SB, BURROWS RG: An ionization chamber for diagnostic X-radiation. Phys Med Biol 3:37-43, 1958
(診断用X線のための電離箱)
13. ANTOKU S, MILTON R: Calculation of bone marrow and gonadal dose from chest examinations, by electronic computer. ABCC TR 4-67
(電子計算機による胸部X線撮影の骨髄および生殖腺被曝線量の計算)
14. ANTOKU S, RUSSELL WJ, et al: Dosimetry, diagnostic medical X-ray; based on survey of ABCC subjects and survey of community hospitals and clinics. ABCC Research Protocol 3-66
(ABCC対象者についての調査および地元病医院における調査に基づいて行なった診断用X線の線量調査)