

Title	肝Radioisotopes摂取率測定法の研究（臨床的研究）
Author(s)	徳山, 輝男
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 23(11), p. 1383-1392
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18009
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

肝 Radioisotopes 摂取率測定法の研究 (基礎的研究)

千葉大学医学部放射線医学教室 (主任 寛弘毅教授)

徳 山 輝 男

(昭和38年12月16日受付)

Studies on the Liver Uptake Measurements of Radioisotopes Part I fundamental study

By

Teruo Tokuyama (M.D.)

Department of Radiology, School of Medicine, Chiba University, Chiba, Japan

(Director: Prof. Hirotake Kakehi)

Much profits will be expected in the study of nuclear medicine or radiation hazards, if the accumulated dose of radioisotopes in any organ is correctly measured from the outside of the body. However, it has never been established how to measure the dose of RI correctly in any organ from the outside except the thyroid gland.

The fundamental experiments concerning the liver uptake measurements were presented in this report.

1. Methods of the experiment

At first, liver uptake measurement of radioisotopes was attempted after that of I-131 thyroid uptake. Liver uptake, however, requires several devices with regards to methodological factors because of the following difficulties. The size of liver and its depth in the body, and the body thickness at the liver region varie from person to person. The exact topological finding of liver is not clear from outside of the body. Liver always suffers respiratory movement. Moreover, some RI is taken up in the neighbouring organs and these backgrounds are to be excluded. Analysis of these influencing factors by means of ready made phantom shall pave the way to the establishment of correct uptake measurement.

Equipement :

The RI measurements were performed by using 1''×1' and 2''×2'' sized NaI crystals, flat field collimators and a medical spectrometer, manufactured by Toshiba Electric Co. Ltd. in Japan.

The differential counting method was better to eliminate the scattered radiations. The B-Filters made of a lead plate to cover the liver region was employed to detect the body background.

Phantoms :

Various sizes of liver phantoms from 560 to 3000cc containing the equal dose of Mock Iodine or ^{198}Au solution were used. These liver phantoms were embedded in body phantoms 2 to 6 cm deep from the body surface. The body phantoms were human trunk sized ranging 16 to 24 cm thick and filled with rice. As a matter of course, the phantom used in the experiment should be placed under the analogous conditions as the human liver. This was confirmed by the correspondence of both spectra obtained from human liver and from liver phantom.

Experimental conditions :

Some expected conditions needed for the measurement of liver RI uptake were established as a model using the above-mentioned phantom. Varieties of measurement were performed in order to find out which way is the best for correct measurement of liver RI uptake.

2. The results of experiments

The effect of size and depth of the liver on counting Rate and opposite two directions measurement :

According to sizes and depths of the liver and body thickness the counting rates showed much difference, even though measured from the same distance. However, mean values calculated from the opposing two directions, front and back, showed little difference according to sizes and depths of the liver.

The effects of body thickness and correcting factors :

The counting rate of liver phantom is considerably influenced by the body thickness. In other words, the relation between these two indicates a negative correlativity. Hence, correcting factors were introduced from the experiment to exclude the influence of body thickness.

The position of liver and collimation :

The position of liver is not apparent from outside and the effect of respiratory movement is to be considered. Therefore, the counting rate depends on where to place collimation center. The shorter is the distance for measurement, the greater are the effects, especially by means of collimator with narrow field of vision. This problem is almost solved by longer distance of measurement (60 cm) and wider field of vision.

Standard source :

To find the correct standard source, spectra of various sources were compared with that of human liver containing the same nucleid of radioisotope, and from the point of correspondence, the correct standard source was obtained. The following ones are recommended.

(1) The size of the source is to correspond to that of liver, for example cuboid shaped one ($5 \times 5 \times 10$) cm^3 and liver phantom.

(2) The source is embeded in the body phantom made of the material equivalent to human tissue.

(3) The phantom is desirable to correspond, in size, to the body thickness of the patients. But standard one will do with the help of correcting factors.

(4) The influence of the depth of source in the phantom matters little, but it is conveniently placed in the center. These conditions were confirmed too by the data figured out of the counting rate by means of "Body-Liver Phantoms".

Erasing of body background :

Exclusion of body back ground effect was achieved by the use of B-filter contrived in form.

3. Conclusion :

The above-mentioned fundamental experiment leads to the conclusion of the correct measurement of liver RI uptake. The measurement is to be performed at pretty long distance with differential counting and with collimator of wide field of vision. Mean values are to be calculated from the opposite directions, front and back. Correcting factors are employed, corresponding to the body thickness of the patient. B-filters of various size and form are used for the erasing of back ground.

Standard source, corresponding to the size of liver, is placed in the center of standard body phantom.

By using all these Parameters, a Liver uptake of Radioisotope in any Patient can be taken easily from outside of the body.

目 次

第1章 緒 言

第2章 肝R1摂取率測定上の問題点と測定法の諸因子

- 第1節 測定上の問題点
- 第2節 体外測定法の因子

第3章 研究方法

- 第1節 測定装置, 測定条件, 及びファントーム
- 第2節 ファントーム実験の基礎
 - 第1項 目的
 - 第2項 方法及び結果

第4章 肝の大きさ, 深さの肝計数率に及ぼす影響と前後二方向測定法について.

(患者側の条件の変化の①)

- 第1節 一方向よりの測定
 - 第1項 実験目的
 - 第2項 実験方法及び結果
- 第2節 前後二方向測定法
 - 第1項 実験目的
 - 第2項 実験方法及び結果
- 第3節 小括

第5章 体躯の大きさと体厚補正係数

(患者側の条件の変化の②)

- 第1節 実験目的
- 第2節 実験方法及び結果

第6章 照準の問題

(患者側の条件の変化の③)

- 第1節 実験目的
- 第2節 実験方法及び結果
- 第7章 適正標準線源の検討
 - 第1節 標準線源の条件
 - 第2節 γ 線スペクトルからの検討
 - 第1項 実験目的
 - 第2項 実験方法及び結果
 - 第3節 計数率からの検討
 - 第1項 実験目的
 - 第2項 実験方法及び結果
 - 第4節 小括

第8章 肝R1摂取率標準測定法について

- 第1節 研究目的
- 第2節 研究方法及び結果
- 第3節 小括

第9章 総括及び考按

第10章 結語

文献

第1章 緒 言

所謂核医学は原子科学の進歩に伴つて, 急速の進歩をとげつつあり, RIの臨床医学への応用は益々拡大しつつある。

R I 診断及び臨床検査法に於ける最も代表的で重要な測定方法は所謂体外計測法であるが、この方法の特徴は簡単で再現性があり、患者に負担を与えない事である。これら体外測定法の中でも、定量的体外計測即ち人体内臓器R I量を体外から計測する方法が最も重要なものの一つであり、甲状腺¹³¹I 摂取率測定法として最も多く用いられている。

人体内の諸臓器に含まれるR I量或は臓器のR I 摂取率を体外から正確に測定出来ると、体内各臓器のR I 分布状態或はその変動を動的に正確に知る事が可能となり、R Iの臨床応用に新しい道が拓かれるものと思われる。しかし正確にこれを測定するには幾多の困難な問題点があり、甲状腺以外の臓器内R I量を体外より正確に測定する事は困難とされている現状である。

R Iによる診断件数を臓器別に分けると肝に於けるR Iの応用は甲状腺に次いで多いとされている¹⁾。¹³¹I-Rose-bengal 肝摂取、排泄曲線^{2)~9)} ¹⁹⁸AU-Colloid肝摂取曲線等による、肝機能、肝流血量の測定等^{10)~20)}の機能検査の他に、肝面スキヤニングによる肝形態描写等の方法がある。^{10)~16)} 又使用されるR Iも上記の他に臨床検査方法の進歩に従って⁶⁰Co,⁵⁹Fe,⁵¹Crと種類を増し、尙増加の傾向を示している。

これらのR Iによる肝臨床検査方法の中、肝に沈着したR Iを体外より計測する方法即ち体外計測法が主に臨床に用いられ、重要な役割を果たしているが、いづれも肝R I量を正確に量的に測定していない憾みがある。従つて肝R I量を体外より正確に測定出来れば、R Iによる肝疾患の診断に、非常に寄与するものと考えられる。この論文の目的は、肝に沈着したR I量を体外から正確に、定量的に測定するために最も正しい方法を見つける事であり、この為に種々の基礎的研究を行った。

第2章 肝R I 摂取率測定上の諸問題と測定法の諸因子

第1節 測定上の問題点

肝に沈着したR I量を体外より計測する方法について検討する場合には、甲状腺¹³¹I 摂取率測定

方法を^{21)~26)} 参照する事が便利であるが、肝は甲状腺と違い次の様に多くの測定上問題となる因子を含んでいる。

1) 臓器の特質：

① 肝に集まるR Iは甲状腺と異り、¹⁹⁸AU-Colloid, ¹³¹I-Rose bengal, ¹³¹I-Triolein, ¹³¹I-H.S.A, ⁵⁹Fe, ⁵¹Cr, ⁶⁰Co. 等種々である。

② 肝は甲状腺と比べて、遙かに大きな臓器である。又肝の大きさの個体差が特に病的状態に於ては著しい。

③ 肝の体内での深さには個体差及び疾患による差が可成りあり、この点甲状腺の場合より著しい。

④ 肝の隣接臓器は、甲状腺よりずっと多く且その位置及び大きさ等空間的關係が複雑である。

⑤ 肝を包む人体躯幹の大きさ或は厚さには個体差がかなり見られる。

⑥ 肝の位置及び大きさは外から判りにくく且呼吸性移動がある。

この様な点が甲状腺と異つた肝の解剖学的特質である。

2) 肝のR I 摂取率測定上の問題点

以上の肝の解剖学的特徴から、肝のR I量を測定する上に次の事が問題となる。

① 肝の大きさ及び深さが個体によつて異なる場合には、肝のγ線の自己吸収及び散乱、躯幹による吸収、散乱の状態が夫々異つて来る。即ち同一のR I量が沈着していても、臓器の大きさや深さ等に個体差のある場合には、測定に際して計数率に夫々差異の生ずる事が考えられる。これに伴つて肝からのγ線スペクトルにも差異を生ずるものと考えられる。

② 肝を包む躯幹の大きさの異なる場合、それに応じて肝からの吸収散乱が夫々異なる為、同一量のR Iを含む肝を測定する場合にも計数率は躯幹の大きさの差により夫々異り、又そのスペクトルにも差が生ずるものと考えられる。

③ 肝の位置、拡り及び大きさ等には個体差があり、これを体外から正確に知る事は困難である。又肝の呼吸性移動もあり、Collimaterで肝を照準する場合には一定の規準を置く事が困難であ

る。この点甲状腺と比べると、照準がむずかしいと言ひ得る。

④ 肝の隣接臓器には、心、肺、胃、腸、脾、腎、脾等があり、いずれにもRIが沈着する事があり、時には高濃度にRIが摂取される場合がある。従つて隣接臓器のRIの一部が肝RIとして測定される恐れがある。これ等肝以外の臓器よりの計数率はBody-Back groundであり、肝RIと区別しなければならぬ。以上の中、②は外部から容易に知る事が出来、従つて何等かの方法によつて補正が可能と考えられる。①については体外より知る事が出来ず補正は不可能であり、③及び④についても困難である。従つて①、③、④等の因子についてそれらにより測定値が余り影響されない様な測定法を考える必要があり、又②については補正方法について検討する必要がある。

第2節 肝RI摂取率体外測定上の因子

肝RI量を体外より測定する場合、測定方法に関する諸因子は次の通りであり、甲状腺¹³¹I摂取率測定法を参照とした^{28) 30) 32) 33) 36)}。

① 検出器 (Detector)

NaI Crystal (シンチレーション結晶) NaI 結晶周辺の鉛遮蔽 (Shield)

② 結晶皮膚間距離 (Crystal-Skin Distance) 及び測定方向 (Direction)

③ フィルター (Filter), A Filter及びB Filter.

④ スペクトロメーター (Medical Spectrometer) 及び Differential 計測法

⑤ 計数器 Scaler

⑥ 標準線源 (Standard Source): 線源 (Source) 及び標準線源用ファントーム

⑦ 計算式 (Formula)

肝RI量測定上の問題点を解決して实际的で適確な測定法を作る為に、これらの因子を一つ一つ検討する必要がある。

第3章 研究方法

肝のRI量を体外から測定する場合に起る種々の問題点について、その影響を検討し、それらを解決して正しい肝RI摂取率測定法を生み出す目的のために、著者は、ファントームを作製し

た。これを使用して人体に代るものとして模型的に問題条件を作り、測定法を色々かえて、測定を行つて、最も良く問題を解決する方法、即ち正しく肝RI量を測定出来る方法を研究した。

第1節 測定装置、測定条件、及びPhantom

(1) 測定装置: Medical Spectrometer (東芝製 UCH-23103型) Scaler は (同社製 UDS-24302型) 検出器は (DDS-14302型) であり NaI Crystal は (2"×2") を又、肝用に設計した広角の Flat-field 型 Collimator を使用した。肝用 Collimator の完全視野は40cmの距離で直径40cmの円であり臓器全体を十分に見ることが出来る。

Back ground の消去には厚さ 1.8cm の鉛製 B フィルターを使用した。又散乱線除去には Differential 計測法を行い、Phantom 及び人体肝からのγ線スペクトルの分析には東芝製 Level-Scanning Recorder を用いた。

(2) ファントーム: 実験に使用した肝及び身体 phantom の外枠はアクリル製で内容として米を充填した。身体ファントームの外形は楕円筒で大きさの異つた3種類即ち (B-L)・大型体厚24cm, (B-M)・中型体厚20cm, (B-S)・小型体厚16cmである。又肝ファントームは、人体肝に似せて作製し^{37) 40)} その大きさは 560cc~3000ccに及ぶもの4種類、(L-L) 大型3000cc, (L-M) 中型 (a) 1400cc, (L-M') 中型 (b) 1000cc, (L-S) 小型 560ccであり、内容として¹⁹⁸AU-Colloidの溶液 (50μc), 及び Mock Iodine (50μc) を夫々充填した。又標準線源用ファントームとしては既述の肝ファントームの他に、外枠アクリル製の直方体 (5×5×5) cm³, (5×5×10) cm³ の2種のファントームを作製した。これら大きさの異つた肝ファントームを種々の深さに置いて、多種の肝-身体ファントームを作製した。

第2節 ファントーム実験の基礎

第一項 実験目的

肝-身体ファントームを用いて実験を行う場合使用したファントームのγ線の吸収、散乱の状態が人体肝とほぼ同じ事が必要である。若し異つていとこれを人体に代る模型実験として用いる事が出来ない。人体肝とファントームからのγ線ス

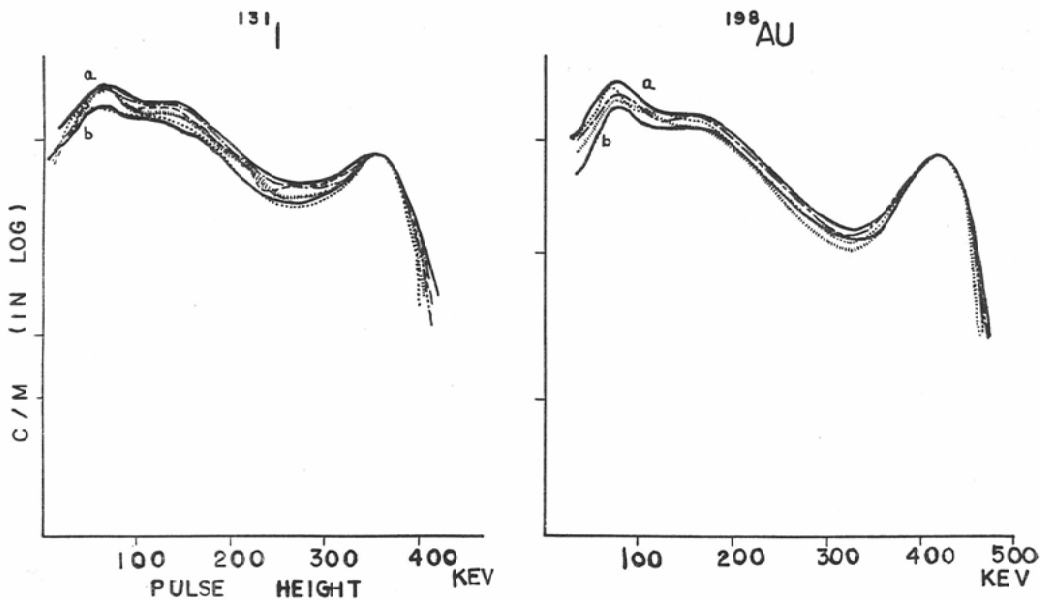


Fig. 1. ^{131}I and ^{198}Au γ -ray spectra of the liver of patients with almost equal body thickness compared with that of liver in the body phantom with the same body thickness as the patients.

...,|||,---,--- ^{131}I and ^{198}Au γ -ray spectra of the liver of patients with almost equal body thickness (19.0—205.5) cm

a ^{131}I and ^{198}Au γ -ray spectra of larger liver (L-L) in body phantom of medium size (B-M).

b ^{131}I and ^{198}Au γ -ray spectra of smaller liver (L-S) in body phantom of medium size (B-M).

ベクトルとがほぼ一致する場合には、このファントームは人体等価ファントームと見做し得ると考えられる。

この実験の目的は、肝—身体ファントームと人体肝との γ 線スペクトルとを比較し、肝—身体ファントームが人体等価ファントームとして使用し得るか否かを判定する事である。

第2項 実験方法及び結果

実験方法：

肝疾患を有しない即ち肝正常者と考えられ、且夫々体格の異なる症例3例（E体厚20cm, F体厚19.5cm, G体厚19.0cm,）に ^{198}AU -Colloid 100 μC を静注し、2時間後に夫々の肝 γ 線スペクトルを描記した。

測定には、肝用 Collimator (肝RI-Uptake 実験で使用のものと同じ) 及び NaI 結晶を使用

し、線源皮膚間距離、60cmとし、東芝製—Level-Scanning Recorder により γ 線スペクトルを描記した（その際の Time Constant は 10Sec, Recorder Speed は 50Kev/min) 又隣接臓器及び身体 Back ground からの γ 線スペクトルを消去するために、Bフィルターを使用した。

これら症例とほぼ体厚の等しい肝—身体ファントーム（体厚20cm, 肝の大きさ L-S-560cc) について、 ^{198}AU -Colloid からの γ 線スペクトルを、臨床例と同一の測定条件の下に描き両者を比較検討した。

又上記と同様に、体厚のほぼ等しく肝疾患を有しない症例4例、(A体厚 19.5cm, B体厚20cm, C体厚19.0cm, D体厚20.5cm) について、夫々 ^{131}I -HSA 200 μC を静注後 linea Scanner (リニヤスキャナー) により短時間内に肝のRI量の

変動の少ない事をたしかめた後に、例えば6時間後、 ^{198}Au と同様の方法によりそのスペクトルを描記した。次にこれら症例とほぼ体厚のひとしい身体-肝ファントームに ^{131}I 溶液 $50\mu\text{c}$ を充填し同様に γ 線スペクトルを描記し、症例のスペクトルと比較した。

実験結果：

人体では体厚が増すに従って、 ^{198}Au , ^{131}I の肝 γ 線スペクトルは、散乱部分（コンプトンピーク以下）がピーク部に比べて増す傾向がある。

体厚のほぼ等しい人体について ^{198}Au の肝 γ 線スペクトルをとると、何れも殆ど良く一致する。 ^{131}I 肝 γ 線スペクトルについても同様である。（Fig. 1）

又人体と肝ファントームの γ 線スペクトルとを比較すると、人体の躯幹の体厚とほぼ等しい体厚の身体ファントームの肝スペクトルと人体肝スペクトルとは、 ^{198}Au , ^{131}I 何れに於ても良く一致した（Fig. 1）

小 括：

以上の様に人体肝と肝ファントームについて γ 線スペクトルの上から検討した結果、 ^{131}I , ^{198}Au 何れについても、人体肝からの γ 線スペクトルとファントームスペクトルとは良く一致し、従って実験に使用したファントームは、人体に代わるものとしてファントーム実験に適切であると考えられた。

第4章 肝の大きさ、深さの肝計数率に及ぼす影響と前後二方向測定法について

（患者測の条件の変化①）

第1節 一方向よりの測定

第1項 実験目的

既に述べたように人体では肝の大きさや、深さが、個体によつて各々異り一定していない。特に病的状態ではかなりの差が見られる。このために同一量のRIが肝に沈着していても体外よりこれを計測すると症例によりその計数率値は変動し、従つて肝RI摂取率測定値はかなり変化すると考えられる。この場合肝の大きさ深さが異ると、体外よりの測定値がどのように変化するかを調べるのが、この実験の目的である。

第2項 方法及び結果

測定方法及び実験条件：

既述の方法により Medical Spectro meter を使用して Differential 計測法（ ^{198}Au では $412 \pm 40\text{Kev}$, ^{131}I では $364 \pm 40\text{Kev}$ ）を用い、Colli-

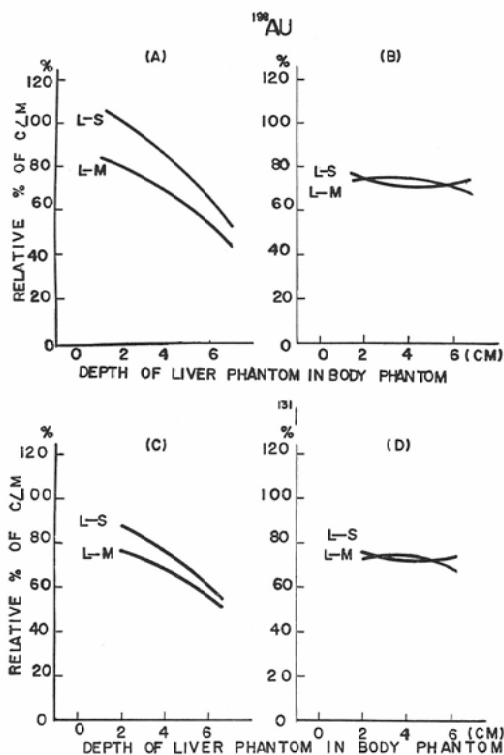


Fig. 2. The influence of the size and depth of liver phantom upon counting rate measured from one (A and C) and opposite directions (B and D).

In case of the measurement from opposite directions, liver counting rate marks almost constant irrespective of the size and depth of liver.

L-S, indicate counting rate of smaller liver phantom (560cc)

L-M, indicate counting rate of larger liver phantom (1400cc)

Each liver phantom contains the same dose of ^{198}Au and ^{131}I solution and embedded in the medium sized body phantom. Counting rates were measured by, crystal-skin distance 60 cm, differential counting and with B-filter.

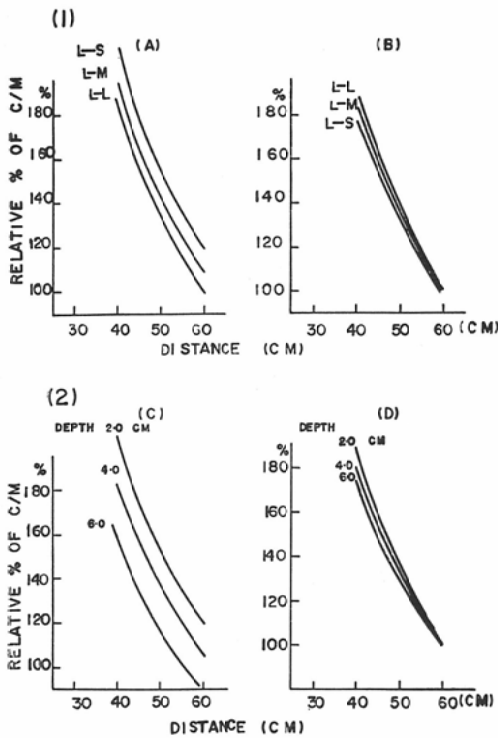


Fig. 3. (1) The effect of crystal-skin distance on the counting rate of the liver of different size was measured by one direction method (A) and opposite two directions measurement (B).

L-S, L-M and L-L indicate counting rates of liver phantoms of different size, smaller liver, medium liver, and larger liver. Each of them was placed 2.0 cm deep in the medium sized body phantom.

(2) The effect of crystal-skin distance on the counting rate of the liver of different depth was measured by one direction method (C) and opposite two directions measurement (D).

Depth 2,4,6 cm indicate counting rate of medium liver phantom (1400 cc) placed 2,4,6 cm deep in the medium sized bodyphantom. Differential counting and B-filter were also employed.

mator には既述の肝用 Flat-Field 型を使用し、Body Back ground はBフィルターを用いて消去した。

大きさの異つた3つのアクリル製肝ファントム (Volume, 560cc, 1400cc, 3000cc) 内に

夫々等量 (50 μ c) の Mock-Iodine 及び ^{198}Au -Colloid 溶液を入れこれを既述の身体Phantom中の種々の深さ (Depth 2~6 cm) に置いて、結晶皮膚間距離を種々に変えて (40~60cm) 測定を行った。

実験結果:

肝ファントムには夫々同一量の RI が含まれているがその計数率値は Fig.2— (A) (C) の様に肝の大きさ及び深さによつて、かなり異つている。即ち、肝の深さが変わると、Distance 60cm 測定で Depth 2.0cm L-S 560ccの計数率を 100% とすると肝中型 (L-M, 1400cc), ファントムで、深さ 2 cm, 4 cm, 6 cm, で、夫々80%, 70%, 52%と変化する。肝小Phantom についても同様の傾向を示し、深さによる影響はかなり大きい。

又肝の大きさによる計数率値の差異は、同一の深さで、例えば、肝中ファントムと小ファントムでは、Depth 2.0cmで、同様に 100%, 80%と違いを示す。この違いは、深さが増すにつれて幾分縮少する傾向がある。又、測定距離を変えてみると、Fig. 3の (C) の様に、深さによる計数率の差は Depth, 2~6 cm, で Distance 40, 50, 60cmでは、L-M, Depth, 2.0cm前後二方向よりの Distance 60cmの測定値を 100%とすると 50%, 40%, 35%といずれの測定距離でも40%前後の差異を示す。

肝の大きさによる差異は、肝大型(L-L 3000cc) 肝小型 (L-S 560cc) で Distance 40, 50, 60cmの測定距離で、同様に Distance 60cmでの二方向 L-S の測定値を 100%とすると夫々30%, 20%, となり、いずれの測定距離でもかなりの差異を示している。(Fig. 3 (A))

この場合肝の大きさや深さを、簡単正確に、体外から計ることは容易ではない。従つて、肝の容積及び深度等の値によつて、肝計数率値に補正を加える事は困難である。

この様に一方向からの測定だけでは、肝の様な臓器の大きさや深さに個体差の見られる深部臓器に含まれる RI 量を体外より正確に測定する事は不可能と考えられる。

この原因は一方から測定すると、肝の深さや、大きさの差異により、①身体による吸収層の厚みに差が生じて来る。②肝の自己吸収の程度が異つて来る。③線源と NaI 結晶との距離が異つて来る、等のためと考えられる。

第2節 前後二方向測定法

第1項 実験目的

前節に於て述べた様に、一方からの測定では、肝の様な臓器の RI 量を体外から正確に測定する事は不可能である。

これを正確に測定するためには、臓器の深さ及び大きさ等に影響されない計測法が必要であり、この目的のために、著者は、前後二方向より測定する、前後二方向測定法を考案した。これについて基礎実験を行うのが本実験の目的である。

前後二方向測定法とは、殆ど全く同一の性質を有する二本の検出器を、夫々一直線上に一定の距離を置いて互に向い合わせて置きその中央部に人体或はファントームを置いて同一線源からの γ 線計数率を相対した二本の検出器で同時に計測して、それ等の計数率を相加平均する方法である。

この方法によると、身体吸収層の厚さの影響、及び肝の自己吸収の影響は二方向からの測定により相殺され、肝計数率は、肝の大きさや深さに影響される事が少くなり肝 RI 量は正しく測定出来るものと考えられる。

第2項 実験方法及び結果

実験方法：

測定条件、実験条件、装置及びファントーム等すべて第一節一方向測定法と同一実験方法の下に上述の前後二方向測定法を行った。

実験結果：

① 肝の深さの計数率に及ぼす影響。

肝ファントームの身体ファントーム中での深さが深くなるにつれて、既述の如く一方向測定法での計数率は著しく減少するが (Fig. 2 (A), (C)) これを前後二方向から測定すると、その差異は殆ど消失し、計数率は深さに関係なく殆ど一定となる。(Fig. 2 - (B), (D))

(Relative%, Range 70%~76%) (Depth 2.0, L-S, の計数率を 100%とする)

この傾向は結晶皮膚間距離、40cmでは Depth 2~6 cmの差に対して計数率は一方向測定法では50%の差、二方向測定法では10%の差、50cmでは一方向40%の差、二方向5%の差、60cmで一方向で35%の差、二方向で3%の差となり、測定距離の大きい程、二方向測定による肝の深さの影響は減少する。(Fig. 3 - (D)) この事は肝ファントームの大きさ、測定距離の如何に拘らず同様である。(Fig. 3 (B), (D))

② 肝の大きさの計数率に及ぼす影響。

肝の大きさの計数率に及ぼす影響について、測定距離及び深さを変えて測定した結果、a) 既述の如く一方向測定法では肝の大きさによる計数率値の変化は肝の位置が浅い程大きく、深くなるにつれて、小さくなる傾向があるが、[Fig. 2 (A), (C)] 前後二方向測定法では、肝の大きさによる影響は極めて少く、どの深さについても殆ど同様で一定である。(Fig. 2 - (B), (D)) 又測定距離(結晶皮膚間距離)を変えても Distance 40~60cm、前後二方向測定では、いずれも肝の大きさによる差は極めて小さく特に測定距離の大きい程その差は小さくなり結晶皮膚間距離60cmでは肝の大きさによる計数率の差は殆どなくなり無視しうる程度である (Fig. 3の (B))

以上の事は $^{198}\text{AU-Colloid}$ についても又 Mock-Iodine についてと全く同様である。

第3節 小 括

以上の実験結果から、肝の大きさの計数率に及ぼす影響、従つて肝 RI 摂取率に及ぼす影響は、一方向測定法ではかなり大きい、前後二方向測定法を用いると、小さくなり、結晶皮膚間距離を大きくする程、益々減少する。

又個体による肝の深さの差が肝計数率、従つて肝 RI 摂取率に及ぼす影響は、一方向測定法に於てはかなり大きい、前後二方向測定法を用いると極めて小さくなり、結晶皮膚間距離の大きい程、小さく結晶皮膚間距離60cmでは肝の深さによる計数率値の差は、4%程度となる。(Fig. 2 - (B), (D))

従つて、結晶皮膚間距離60cm、前後二方向より測定して計数率の平均値をとれば、肝の大きさ

や、深さの個体差による肝R Iの計数率に及ぼす影響、即ち肝R I摂取率値に及ぼす影響は殆ど無視出来る様になる。

従つて、肝の大きさや、深さの個体差に考慮することなく、肝R I量を体外から正しく測定することが可能となる。

第5章 体軀の大きさと体厚補正係数
(患者側の条件の変化 ②)

第1節 実験目的

肝の大きさ、位置等の肝計数率に及ぼす影響については第4章に於て検討を行つたが、これは人体軀幹の大きさ、体厚が一定の場合についてでつて、実際の症例では軀幹の大きさにかなりの個体差が見られる。

この事は、肝R Iからのγ線の吸収散乱の状態に可成りの影響を与えるものと思われる。

従つて、軀幹の大きさが肝R I計数率にどの程度の影響を与えるかを知り、又如何にしてその影響を除くかを目的として、実験を行つた。又体厚により肝R I計数率の変化を補正する方法の可能性について実験を試みた。

第2節 実験方法及び結果

実験方法：

第四章と同様な Mock-I, ¹⁹⁸AU-Colloid を封入した肝ファントーム (L-S 560cc) を使用してこれを大きさの異つた身体ファントーム (体厚16cm~24cm) の中の種々の深さに置いて、これを、前後二方向より、結晶皮膚間距離60cmに於て測定し、身体ファントームの体厚の差異による肝計数率の変化を見た。

測定は、Differential 計測法 (¹⁹⁸AU・412±40Kev, ¹³¹I・364±40Kev) により散乱線を除去し B-Filter を用いて Body back ground を除去した。

測定装置はすべて既述の実験と同一の装置であつた。

実験結果：

(Fig. 4) の様に身体ファントームの大きさを変えて、肝ファントームの計数率を測定した。同一身体ファントームでは肝ファントームの深さに関係なく、ほぼ一定値をとるが、身体ファント

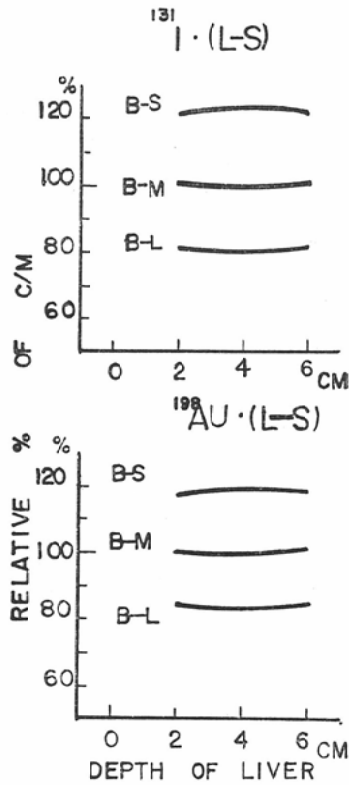


Fig. 4. The effect of body thickness and depth of liver on the counting rate.

B-S, B-M and B-L show relative counting rates of liver phantoms containing ¹⁹⁸Au. colloid and ¹³¹I solution, the same doses as standard sources, placed as deep as 2-6 cm in body phantom of three different thickness (16, 20, 24 cm)

Remarkable effects were observed of the body thickness on the counting rate.

These were measured by opposite two directions measurement, cuboid (5×5×10) cm³ source in the standard phantom.

ームの大きさが異ると、著しく肝摂取率が異つて来る。即ち B-M 型身体ファントームの中央に標準線源、直方体 (5×5×10) cm³ の大きさを置いた場合の計数率を 100% とすると、Mock Iodine では、B-M (102~99%), B-S (121~124%), B-L (81~79%) となる。又 ¹⁹⁸AU に於ても、ほぼ同様に B-M (101~99%), B-S (116~119%), B-L (84~83%) となり、Mock-Iodine と比べると、同一軀幹差に対する計数率の差が

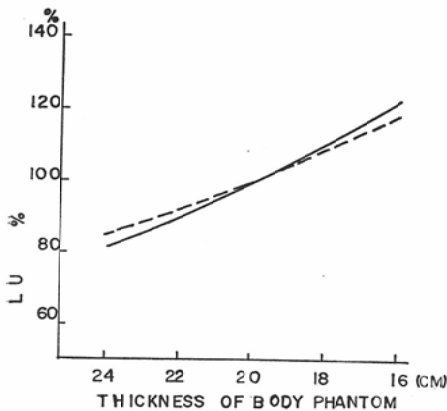


Fig. 5. The effect of body thickness on liver uptake.

—¹³¹I-L-S and ---¹⁹⁸Au L-S, indicate liver uptake of "Liver-Body Phantom" measured in the same way as Fig 4
"Liver-Body Phantoms" mean small liver phantom placed in body phantoms of thickness 16-24 cm.

Liver counting rate reveals exponential distribution in accordance with the variation of body thickness.

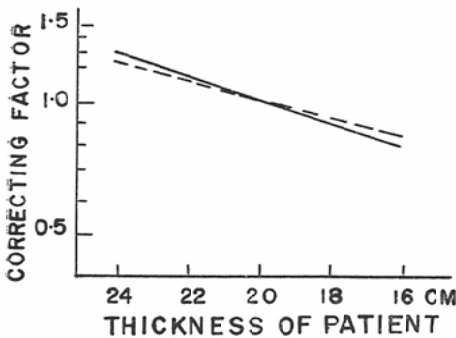


Fig. 6. Correcting factors of liver uptake for variation of body thickness.

Correcting factor of Nucleid —¹³¹I and ---¹⁹⁸Au.

When these are used, the only one standard source can serve for liver uptake measurement as good one to any patient of different body thickness.

少々少い。(Fig. 4) 躯幹の大きさが変化するときの肝計数率或は摂取率値の変化はどの様であるか、(Fig. 5) は16cm~24cmに至る種々の大きさの身体ファントームの中心に、¹⁹⁸AU-Colloid又は

Mock-Iodin を封入した肝小ファントーム (L-S-560cc) を入れて、その計数率を測定距離60cm, Bフィルターを用いて測定した結果である。直方(5×5×10) cm³ を20cm厚さの身体ファントーム中央に置いて、これを標準とし、100とすると、計数率は、身体ファントームの厚さと負の相関に近い指数分布となつた。その曲線は、¹⁹⁸AUとMock-Iodine について、殆ど類似しているが、¹⁹⁸AUの方がMock-Iodineよりも少々勾配が小さい (Fig. 5)。

これを、Semilog にプロットすると躯幹ファントームの厚みと負の相関を示す直線となるがこの事から、この逆数を求めると、体厚補正係数 (Fig. 6) が得られる。従つて、この実験結果から (Fig. 6) を用いて、夫々の体厚に相応した体厚補正係数を容易に求める事が出来ると考えられる。

小括:

以上の実験結果から、肝のRI量を体外から計測する場合、その躯幹の大きさが異ると、計数率は大きな影響を受け、その計数率の変化は体厚と相関した指数分布を示す。従つて、逆に体厚による肝計数率の変化を補正するためには、実験的に求められたこの指数曲線から、補正係数を求めて、これに基づいて体厚補正することが出来るわけである。又その勾配は、主として体厚によるγ線の吸収によると考えられる。γ線の組織による減弱率はγ線のエネルギーに依存し、計算によつて求めた減弱率と補正係数との勾配とは凡そ一致する。従つて、核種のγ線波高値が、¹³¹I, ¹⁹⁸AUの主ピーク近辺にあればその核種の体厚補正係数を計算によつて求める事も可能と思われる。

体厚補正係数は以上の様に実験的に容易に得る事が出来、それを使用する事により、人体肝のRI量を躯幹の大きさに関係なく、正確に測定する事が可能と考えられる。

第6章 照準の問題、コリメーター及び測定距離 (患者側の条件の変化 ③)

第1節 実験目的

肝のRI量を体外から測定する場合、照準中心をどの部位に置くかの問題は、甲状腺の場合と比

べて困難である。

体外よりは、肝の大きさ及び形を明らかに知る事は出来ない。又その位置、例えば体表の一点、剣状突起等に対する位置関係も明らかでない、従つて検出器で照準する場合、検出器に対する肝の上下左右の位置関係を一定に定める事は困難である。又肝は呼吸性移動があるので、⁴¹⁾⁴⁵⁾⁴⁷⁾当然肝に対して常に一定位置関係にある照準中心点を体表に定める事は極めて困難であり、屢々照準の差違による計数率の誤差を生ずる。従つて、例えば照準点が肝の中央より移動するにつれて、肝RIの計数率がどの程度の影響をうけるか、又その影響を最も少なくする方法について検討する必要がある、この事を目的として実験を行った。

第2節 実験方法及び結果

実験方法： 人体等価の躯幹ファントーム内の一定の深さに Mock-Iodine を封入した肝ファントームを置き、身体ファントームの中心に照準点を合せて計数率を測定し、次いでコリメーターの照準点をこの位置から上下、左右に動かし、照準中心点移動による計数率値の変化を見た。この際のコリメーターには狭い視野のコリメーター(N)と広い視野をもつコリメーター(W)を使用した。コリメーター(N)の完全視野は、結晶表面からの距離40cmで直径24cmであり、又コリメーター(W)は距離40cmで直径40cmであり肝ファントームの水平方向の最大径は、小ファントームで19cm、中ファントームで22cmである。

結晶皮膚間距離を60cm、及び20cmとして、夫々照準中心点移動に伴う計数率の変化が距離及びコリメーターの種類でどの様に影響されるかを見た。

実験結果：

(1) コリメーターの影響

Fig. 7-(1) はコリメーターの影響をみるために、コリメーターN及びコリメーターWの2種について測定結果を比較したものである。

距離20cmでこの2種のコリメーターの影響を比較すると [Fig. 7-(B)]コリメーターNでは照準中心移動に伴う肝計数率の変化は、上下、左右、夫々5cmの移動に対して13%、コリメーターWでは5%程度でコリメーターNの方が大きく変化し、又距離60cmでは (Fig. 7-(A)) 双方とも

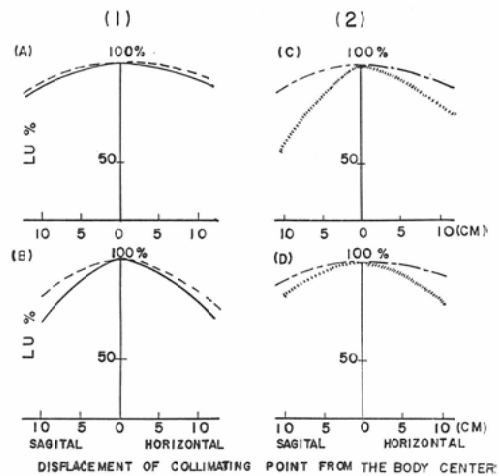


Fig. 7. (1) The variation of liver uptake with the movement of collimating center was measured by means of two collimators with different field of vision.

(A), Crystal-skin distance 60 cm

(B), Crystal-skin distance 20 cm,

---Collimator W, —Collimator N

(2) The variation of liver uptake with the movement of collimating center was measured under two crystal-skin distances, 20cm and 60 cm.

(C), Collimator N, (D), Collimator W,

---Distance 60 cm |||Distance 20 cm

に肝計数率の変化は少く2~5%程度となるが、コリメーターWの方が稍々大きい値を示す。即ちコリメーターは距離が大きくても小さくても、視野の広いものが良く、又距離の小さい程計数率の変化は大きい。次に距離の影響をみると、既に上述の様に距離の大きい程有利と考えられるが、[Fig. 7-(C)]の様に、コリメーターNについてみると照準中心5cmの移動に対する計数率の変化は、距離60cmで2~3%、20cmで8~18%であり、明らかに60cmの方が有利である。又コリメーターWでも同様であるが、[Fig. 7-(D)]距離60cmで(2~3%)、20cmで7~8%とその差は小さい、即ちコリメーターN、Wについて何れも距離の大きい程照準中心移動に伴う計数率の変化は小さく、視野の狭い Collimator 程この差は大きい。

小括

以上の実験から Collimator は視野の広い方が良く、又測定距離は大きい方が良い。

著者の使用した肝用コリメーターでは距離60cmでの照準中心移動に伴う肝計数率の変化は、左右5cmで、2~1%、上下5cmで2%程度であり、肝RI量測定に適していると考えられる。測定距離(Crystal-Skin Distance)は実用上距離60cmで充分であると考えられる。

第7章 適正標準線源の検討

第1節 標準線源の条件

¹³¹I 甲状腺摂取率の測定と同様に、肝RI量を測定する為に最も重要な parameter の一つは標準線源である。従つて正しく、簡単で実際的な標準線源を決める必要がある。

1) 人体肝と計数率の一致^{35) 27~34)}

標準線源は、肝に集つているRI量と等量のRI量を封入した場合、人体肝と同一の計数率を示さなければならないのは当然である。而して乍ら、予め人体肝のRI量を体外から正しく測定する事は不可能であるから、肝と同量のRIを含んだ標準線源を用いる事は出来ず、まして人体肝と計数率の点で一致した標準線源を実験的に選ぶ事は出来ない。

著者は人体肝の代りに既に作製実験した肝フアントームを使用して、これと試作した種々の形の標準線源との計数率の一致について、比較検討を加え、どの様な標準線源が最も適当であるかを見出す為の実験を行なつた。

2) γ 線スペクトルの一致

計数率の一致は勿論であるが、一般に標準線源からの γ 線スペクトルと人体臓器RIからの γ 線スペクトルとは一致する事が必要である^{34) 35)}。

人体肝 γ 線スペクトルについてはメディカルスペクトロメーターを用い、体外から容易にこれを測定描記する事が可能であり、従つて人体肝 γ 線スペクトルを求めて、スペクトルの上からそれと一致する標準線源を求める事により、適正標準線源を選び出す事が出来る。又実用的な標準線源としてはスペクトル及び計数率の点で人体肝と一致し、しかも実際の臨床にルーチンとして使用出来る簡単な形の実用的なものでなくてはならない。

この為に以上の条件を基礎として標準線源の簡易化についても研究を行つた。

第2節 γ 線スペクトルからの検討

第1項 実験目的

γ 線スペクトルの上から人体肝に相応する種々の標準線源を求めて、この中から臨床に用いる為に簡易実用化された標準線源を選び出す事が実験の目的である。

第2項 実験方法及結果

¹³¹I-Rosebengal, ¹³¹I.H.S.A.及び¹⁹⁸AU-Colloid等を臨床例に静注して、肝に集つたこれらRIの γ 線スペクトルをMedical Spectrometer及びLevel Scanning Recorder(既述)によつて描記した。検出器には計数率測定と同様の肝用コリメーターを使用した。測定距離は60cmとした。又人体肝 γ 線スペクトルと一致する標準線源を求めて種々の標準線源を作製し、1) 線源の大きさ(10cc試験管, 50ccビーカー, 直方体(5×5×10)cm³, 肝フアントーム(L-M, L-S, L-L) 2) 線源を入れる標準線源用フアントームの大きさ(B-L, 24cm厚; B-M, 20cm厚; B-S, 16cm厚;) 3) フアントーム内線源の深さ(表面から2, 4, 6cm)等を変えて種々の標準線源を作製し、これについてスペクトルの変化を測定した。更にこれと人体肝スペクトルとを比較し、これら実験から標準線源に必要な条件、人体スペクトルと一致する標準線源を求めた。

結果:

1) 人体肝スペクトル

¹⁹⁸AU, 及び¹³¹Iについて、人体肝スペクトルを描記すると、(Fig. 1)の様に肝臓部の躯幹の体厚がほぼ等しい人では、肝 γ 線スペクトルは互に良く一致する、従つて肝臓部の体厚のほぼ等しい人体肝の測定には、相応したスペクトルを有する一ケの標準線源を決定する事が出来る。又肝臓部の体厚の異つた人体肝スペクトルを描記すると〔Fig. 8-(3)〕の様にそのスペクトルは互に異つて居り、従つて体厚の異つた人体肝に対しては標準線源を一ケだけに決める事は不可能で、夫々の躯幹の体厚に相応した標準線源を選ばねばな

らないと考えられる。

2) 人体肝に相応する標準線源

肝R I測定の場合の標準線源は、甲状腺の場合と同様に、線源及び標準線源用ファントームの2つの部分で構成し得るかどうか、又その際のファントームの大きさ、線源の大きさ、及びファントームの中での深さが問題である。

(1) 空中線源とファントーム内線源について：

空中線源で可能であるかどうか検討する為に、¹⁹⁸Au, ¹³¹I 肝ファントームを空中及び標準型(体厚20cm)身体ファントーム(B-M型)内に置いて、夫々のスペクトルをとり、肝臓部の体厚のほぼ等しい患者肝スペクトルと比較した。〔Fig. 8-1〕の様身体ファントーム内の肝ファントームのスペクトルは患者肝スペクトルと類似するが、空中に置いた肝ファントームのスペクトルは全く人体肝スペクトルとは異つて居り、従つてス

ペクトルの上から考えても空中標準線源は不適當であると云える。

(2) 線源の大きさ及び標準線源用ファントーム内の深さについて：

線源の大きさ形の簡易化及び phantom 中の深さについての条件を知るために、10cc試験管、50ccビーカー及び(5×5×10)cm³肝小ファントーム(L-S)・560cc等の中に夫々¹⁹⁸Au 及び¹³¹I 溶液を入れて、大きさの異つた線源を作り、之を20cm厚さの標準型人体等価身体ファントーム(既述B-M型)中の種々の深さに置いて、それからのγ線スペクトルを測定し、これと体厚をほぼ等しくする症例の肝γ線スペクトルとを比較した。

a) 線源の大きさ：

点線源10cc試験管(φ約0.7cm), ビーカー50cc等を身体ファントームのどの深さに置いても、それらのスペクトルは人体肝スペクトルと一致しな

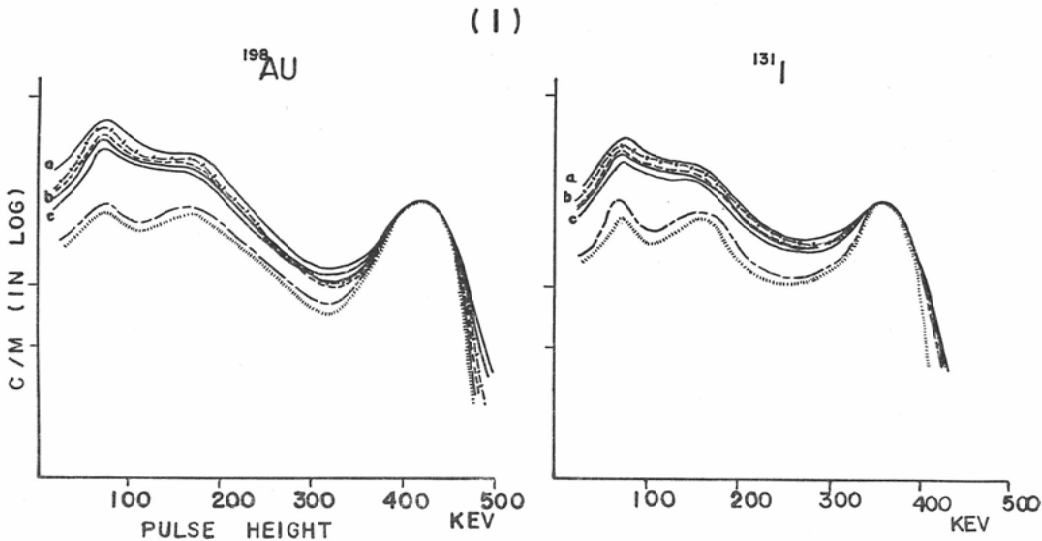


Fig. 8 (1) ¹³¹I and ¹⁹⁸Au liver γ-ray spectra of patients were compared with those of small liver phantoms and cuboid sources (5×5×10)cm³ embedded in various depth of body phantoms with the same thickness as patients.

γ-ray spectra of these sources placed in the body phantom coincide with spectra of the patient liver, irrespective of the depth in the body phantom.

— a,b,c, indicate ¹⁹⁸Au and ¹³¹I spectra of smaller livers embedded 2,4,6 cm deep in the medium body phantom.

- - - - ¹⁹⁸Au and ¹³¹I spectra of L-S in the air.

— — — — ¹⁹⁸Au and ¹³¹I spectra of patients, body thickness 20 cm.

-| -| -| -| ¹⁹⁸Au and ¹³¹I spectra of the cuboid (5×5×10)cm³ in the medium body phantom.

|||||||||||| ¹³¹I and ¹⁹⁸Au spectra of the cuboid source in the air.

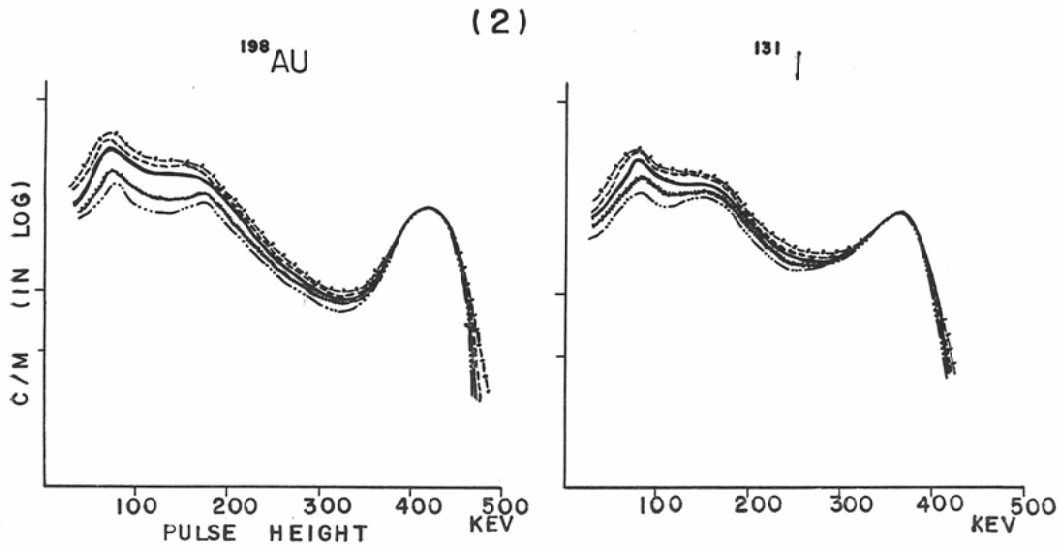


Fig. 8 (2) ^{198}Au and ^{131}I liver spectra of patients were compared with those of sources of various size placed in the body phantom of the same body thickness as patient.

The spectra of the source almost correspond in body thickness, to the patient, are well agree with that of patient.

- — — — ^{131}I and ^{198}Au spectra of patient's liver, body thickness 20 cm at liver region.
- |-|-|- ^{198}Au and ^{131}I spectra of cuboid ($5 \times 5 \times 10$) cm^3 at the center of the medium body phantom.
- ^{198}Au and ^{131}I spectra of smaller liver in the medium body phantom.
- ~~~~~ ^{198}Au and ^{131}I spectra of beaker, 50 cc, in the body phantom.
- ^{198}Au and ^{131}I spectra of Test Tube, 10cc in the body phantom.

い、即ちそれらの大きさの線源は人体肝標準線源として不適當である。〔Fig. 8—(2)〕肝小ファントーム(L-S)・560cc及び肝中ファントーム(L-M)1400cc及び直方体線源($5 \times 5 \times 10$) cm^3 等の線源を身体ファントーム中に入れた場合のスペクトルはそれらと体厚のほぼ等しい人体肝スペクトル群と良く一致している。

b) 線源の標準線源用ファントーム内の深さ：線源のファントーム内の深さの差によるスペクトル差異は肝に相応した容積をもつ線源を使用した場合では、それ程大きくはない。〔Fig. 8—(1)〕即ち深さとの関係は少い。従つて肝に相応した大きさの線源を標準線源用ファントームのほぼ中央に置けば、人体肝スペクトルと良く一致する。

従つて線源の大きさは或程度肝に近い容量と厚みをもつたものが必要である。又身体ファントーム中での線源の深さは任意で良く、深さによるス

ペクトルの影響は少い。即ち例えば標準線源用ファントームの中央に線源を置いてもよいわけである。

著者は簡易型線源として直方体線源($5 \times 5 \times 10$) cm^3 を用いたが、これを標準線源用ファントームに入れると、何れもスペクトル上標準線源として使用可能である。便宜上これらを標準線源用ファントームの中央に置いて使用した。〔Fig. 8の(1)及び(2)〕

(3) 標準線源用ファントームの大きさについて：

人体肝スペクトルは体厚が異ると、かなりの差を示す事は既に述べた。大きさの異つた三つの身体ファントーム(既述B-L, 24cm厚：B-M, 20cm厚：B-S, 16cm厚)に夫々肝ファントーム(L-S)及び直方体線源($5 \times 5 \times 10$) cm^3 を置き、そのスペクトルとこれ等三種の身体ファントームの大

(3)

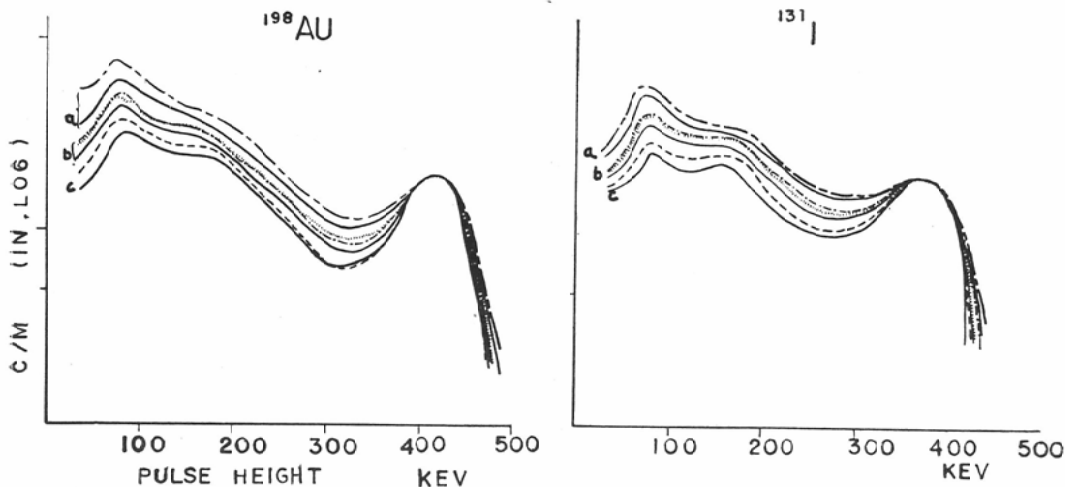


Fig. 8 (3) The comparison of ^{198}Au and ^{131}I liver spectra among patients and phantoms of considerable difference of body thickness. a, b and c show liver spectra of combination of patient and phantom with almost equal body thickness. They agree pretty well in each group, but different groups show divergent spectra according to the variation of the body thickness.

—(a, b, c) indicate ^{198}Au and ^{131}I spectra of "Liver-Body Phantoms" of three different body thickness, 16, 20, 24 cm.

(---) (C), (|||||) (B), and (---) (A) indicate ^{198}Au and ^{131}I spectra of patient's liver whose body thickness are 17.5 cm, 21.5 cm, and 25 cm.

きさに相応した躯幹の患者, (T・A)—25cm体厚—a, (T・U)~21.5cm体厚—b (Z・A)—17.5cm体厚—c, について夫々肝スペクトルを描記し, これらのスペクトルを比較した. [Fig. 8—(3)] ①は20cm体厚の人体肝スペクトル (Patient b) は, 20cm厚みの身体ファントーム中の肝ファントーム即ち身体肝ファントームのスペクトルと良く一致するが, Patient a—25cm体厚 Patient c 17.5cm体厚患者肝スペクトルは, 20cm厚みの身体肝スペクトルとは全く一致しない. ②又体厚 (16cm, 20cm, 24cm,) の身体肝ファントームスペクトルと夫々に相応した体厚の患者, (T・A) 25cm a (T・U, 21.5cm b, (Z・A) 17.5cm c) の肝スペクトルとは良く一致する. 従つて標準線源用ファントームの大きさは, ほゞ患者体厚に相応した大きさのものである事が必要である. [Fig. 8—(3)]

小括:

以上の結果から, 肝 R I 摂取率測定に当つての

標準線源は, 1)患者の体軀の大きさに相応した人体等価身体ファントーム (水又は, Rice-body phantom) を標準線源用ファントームとして使用すること, Ⅱ) 線源の大きさは肝の大きさに相応した容量と厚みのものが適当である. しかし著者は簡易な形態のものとして, 肝 phantom に相応した直方体, (5×5×10) cm³, を使用可能であることを既述した. Ⅲ) これら線源の標準線源ファントーム中での深さは, スペクトルには大きく影響せず, 著者は便宜上簡易型線源を標準線源用ファントームの中央に置いて使用した.

第3節 計数率からの検討

標準線源の肝 R I 摂取率に及ぼす影響

第1項 実験目的

前節に於てスペクトルの上からの適正標準線源の条件を求めたが, これらを実際に計数率の上から検討する事が必要であり, この為には身体肝ファントームを用いて実験を行い, 計数率の上からも先に求めた標準線源の条件を確認するのがこの実

験の目的である。

第2項 実験方法及び結果

実験方法：

先に述べた様に、実際の人体では肝に摂取されているRI量は既知でないから、これと等量のRIを含む標準線源を作り、比較検討する事は出来ない。従つて人体肝に代るものとして既に実験に使用した身体肝ファントームを使用した。この場合身体ファントームの大きさは三種で、(B-L, B-M, B-S.) それらの中の種々の深さに、三種の大きさの肝ファントームを置いて多数の身体肝ファントームを作り出した。肝ファントームはMock-Iodine 或は $^{198}\text{AU-Colloid}$ の等量 $-50\mu\text{c}$ を封入したものであり、これと同一量の Mock-Iodine 或は ^{131}I , ^{198}AU , Colloid を種々の型の線源の中に封入し、これを標準線源用ファントームに入れ、標準線源として用いた。正しい測定法では身体肝ファントームと標準線源との計数率値は等しく、従つて肝摂取率(L.U)は100%となるわけである。即ち、使用した標準線源は直方体ファントーム(5×5×10)cm³を線源とし、之を空中及び身体ファントーム内に置いたもの、肝小ファントーム線源(L-M 560cc)及び試験管線源を身体ファントーム中央に置いたものである。これらの計数率と上述の各種の身体ファントームとの計数率を比較し、肝摂取率を求めてどの標準線源が最も適当しているかを検討した。(Fig. 9)

実験結果：

既述の標準線源を用いて人体肝ファントームの肝RI量を計測した結果を(Fig. 9)に示す。肝ファントーム、直方体線源(5×5×10)cm³線源等を身体ファントームの中に入れたものを標準線源とすると、体厚が両者とも同一の場合にはLU値は100±2%となり、直方体線源を身体ファントームの中に入れたものは、標準線源として適当である事が判る。しかし体厚が異るとそれに応じてLU値は80±2%, 100±2%, 120±3%となり、即ち78%~123%程度の大きな差異を示す(Fig. 9)又20cm, 標準型身体ファントームに試験管線源を入れたものを同様に標準線源として使用すると、LU75±2%となり、これは標準線源として適当

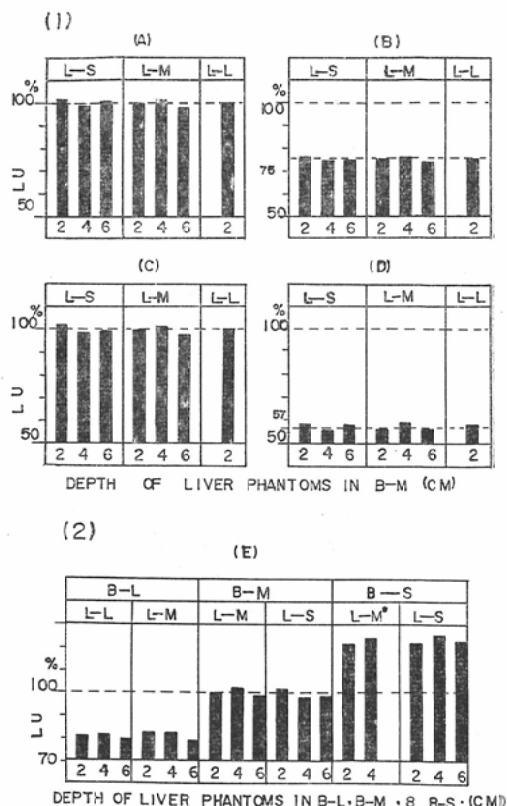


Fig. 9. The effect of the standard source on liver uptake.

(1) Shows the effect of the size of sources and the depth of sources in the phantom upon liver uptake.

(A), (B) and (C) represent liver uptakes of "Liver-Body Phantoms" measured by using following standard sources, such as L-S, Test-Tube, and cuboid (5×5×10)cm³ sources embedded in the center of standard phantoms, (D) shows those of cuboid (5×5×10)cm³ source placed in the air.

(2) indicates the effect of the thickness of standard phantom on liver uptake.

Figure shows liver uptakes of "Liver Body Phantoms" obtained by using the standard source cuboid (5×5×10)cm³ placed in the medium standard phantom (20 cm thick). "Body-Liver Phantoms" were prepared by embedding liver phantoms(L-L, L-M', L-M, L-S) containing the same dose of RI (Mock-Iodine), 2,4 and 6 cm deep in body phantoms, B-L, B-M, B-S.

でなく、又直方体ファントーム(5×5×10)cm³

線源を空中に置いて同様に標準線源として使用すると、 $LU 57 \pm 2\%$ と著しい誤差を示した。

(Fig. 9)

即ち、標準線源には肝ファントーム線源及び試作した直方体の様な適当な大きさ、形の線源を躯幹と同一体厚の人体等価身体ファントーム内に入れたものが適当であり、これを使用すれば正しく肝RI量を測定することが出来るわけである。

以上の様に計数率の実験からも、スペクトルによつて得た標準線源の条件は適当であると考えられた。

第4節 標準線源、小括

肝RI量を体外から測定する場合の標準線源について、スペクトル及び計数率の点から検討を加えた。

標準線源には人体肝に相応した大きさ、形の肝Phantom線源か、或は直方体(5×5×10)cm³の線源を用い、之を症例の体軀に相応した大きさの、即ち同一体厚の人体等価身体ファントーム内に入れて使用する必要がある。この様な標準線源を使用すると、肝RI量を正しく測定する事が可能である。実際にDifferential計測法では、第5章で明らかにした様に体厚の個人差による肝計数率の差は、適当な体厚補正係数を用いて補正する事が可能と考えられるので、標準線源用のファントームは、標準の大きさの躯幹ファントーム一種類を使用すればよいと考えられる。

第8章 肝RI摂取率標準測定法について

第1節 研究目的

肝RI量を体外より測定する場合の諸因子について基礎的実験を行つて来たが、これら実験結果を基礎として肝RI摂取率を正確に測定するには実際どの方法によれば、どの程度に正しく測定出来るかについて検討するのがこの実験の目的である。

第2節 研究方法及び結果

実験方法：

(1) Phantom, 肝 phantom, L-M (1400cc) L-S (560cc) に夫々¹⁹⁸AU-Colloid 溶液を夫々等量(50μc)封入し、これを大きさの異つた三つの躯幹Rice Body phantom, (B-L 24cm thick)

B-M 20cm thick), (B-S 16cm thick) の中の種々の深さに置き、いわゆる各種類の条件を有する肝身体ファントームを作製した。

又標準線源としてはこれらと等量の¹⁹⁸AU-Colloid, を夫々、直方体ファントーム(5×5×10)cm³に封入し、これを20cm体厚の人体等価Rice-body phantomの中央に置いて標準線源として使用した。

従つてこれらの摂取率がすべて100%となる測定法が最も正確な測定法となる。

(2) 測定方法：

上記のいわゆる肝一身体ファントームを人体の模型とし、これを上記標準線源を用い、Bフィルターを使用しDifferential計測法(412±40Kev)により測定した。

この際、従来の一方向測定法と、著者の前後二方向測定法を用いて比較し、又体厚補正係数を使用した群と非使用群とに分けて各々の摂取率を比較した。

この場合の摂取率計算式は

$$\textcircled{1} \quad \text{一方向} \quad LU_1 = \frac{(P_A - P_{AB})}{(S_A - S_{AB})}$$

$$\textcircled{2} \quad \text{二方向} \quad LU_2 = \frac{(P'_A - P'_{AB}) + (P''_A - P''_{AB})}{(S'_A - S'_{AB}) + (S''_A - S''_{AB})}$$

③二方向+体厚補正

$$LU_3 = \frac{(P'_A - P'_{AB}) + (P''_A - P''_{AB})}{(S'_A - S'_{AB}) + (S''_A - S''_{AB})} \times f$$

となる。

研究結果：

(1) 前後二方向測定法による肝RI量測定値の改善。

人体代りとして、大きさの異つた3つの人体等価躯幹ファントーム内に置かれた上記肝ファントーム即ち肝身体ファントームのRI量を、直方体(5×5×10)cm³を線源としこれを標準躯幹ファントーム内に置いたものを標準線源として用いて一方向から測定すると、[Fig.10-(1)]の様に、肝のRI量は、肝の大きさ、深さ及び躯幹の大きさによつて様々であり、同一躯幹ファントーム内では例えばB-M内では93%~127%と34%の差を示し、これに躯幹の大きさによる差を入れると77%~155%と78%程のRI量測定値の大きな差を示す。従つて、一方向測定法では、肝RI量を

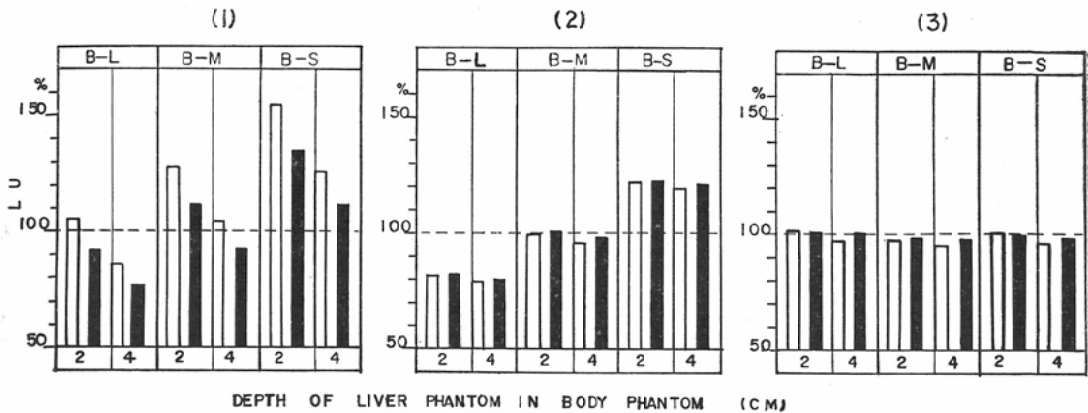


Fig. 10 Various "Liver-Body Phantoms" were constructed by embedding smaller liver (560 cc) □, and medium liver phantoms (1400 cc) ■ containing the same dose of RI (Mock-Iodine) 2 and 4 cm deep in body phantoms, B-L, B-M, B-S.

The figure indicate liver uptakes of "Liver-Body Phantoms" measured (1) from one direction, (2) from two opposite directions, (3) from two opposite directions with the correcting factor.

Liver uptakes marked (1) 77-155%, (2) 79-123% and (3) 96-101%. By (3) with good standard source, correct liver uptake can be obtained independently to the body-thickness, depth and size of liver.

正しく測定出来ず全く不適當であると云う事が出来る。

これを同一条件の下で前後二方向測定法で計測すると〔Fig.10-(2)〕に示す様に、同一の大きさの躯幹、例えば、B-MではLU値は100~96%と差は4%程度となり、RI量測定値は、ほぼ一定で正しい値に近づく。即ち同一躯幹ファントム内では肝の大きさや、深さの測定値に及ぼす影響は殆ど解消するが、躯幹の大きさによる影響はかなり大きいのこり、B-S, B-M, B-Lを通じてみると、RI量測定値(LU%)の分布は79~123%(差44%)である。

(2) 体厚補正係数による肝RI量測定値の改善
上記の結果を、体厚補正係数(第5章)によつて補正した結果〔Fig.10-(3)〕の様に同一躯幹のみでなく、すべての躯幹の大きさについて、その影響、及び肝の大きさや、深さによる影響も殆ど解消し、すべての測定値は、101~96%(差5%)程度となり、適確な測定値を示している。即ち適正標準線源〔(5×5×10)cm³直方体ファントムを標準大の躯幹ファントムに入れたもの〕を用い、前後二方向測定法により測定

し、更に体厚補正をすると、肝RI量測定値は、大きさや深さ、体厚による影響から解消され、その測定値の差異が、一方向、体厚補正をしない場合のRange 78%(LU77~155%)から、Range 5%(LU 101~96%)と、目ざましく改善される。

即ち、これらの方法によつて、肝RI量は、肝の大きさ、躯幹内での深さ、及び躯幹の大きさにより影響される事なく、殆ど一定値となり、極めて正確に測定される事になる。従つてこれらの測定法は肝RI摂取率測定の標準測定法とすることが出来る。

第3節 小括

以上の肝RI量の実測測定の総括的実験によつて、測定法の因子に関する実験結果に基く測定法、即ち適正標準線源、前後二方向測定法、体厚補正係数の使用、肝用の広視野Collimator、B-フィルター、Differential計測法等を使用し、Distance 60cmに於て測定すれば、正確な肝RI摂取率の測定が可能である。これらの方法は繁雑ではなく、簡単で実用的であり、従つて肝RI摂取率標準測定法となり得ると考えられる。

第9章 総括及び考按

核医学の中でR Iの体外計測の占める位置は大きい、中でも重要なものは臓器に含まれるR I量を体外から計測する臓器R I摂取率測定法である。

しかしながら、その測定にはかなり困難な点があり、従つて現在尙甲状腺¹³¹I摂取率の測定のみが行われているにすぎない。

著者は、これら臓器R I摂取率測定法の一つとして肝のR I量を体外から正しく測定する方法について研究を行った。

測定方法の研究に当つて、直接人体での研究は不可能に近いので、まづファントームを作製してそれらにより、基礎実験を行つて後にそれを臨床的に検討する事とした。

まづ、人体肝の条件とほぼ一致するファントームを作製し、これを用いて、人体肝R I摂取率測定上の問題を模型的に作製し、又これを、種々の測定方法で測定して測定因子の一つ一つを検討し、肝R I量を最も正しく測定出来る方法を研究した。

ファントーム：

ファントームは実験の基礎として最も重要である。使用したファントームは解剖学的に文献を基礎として作製したが³⁷⁻⁴⁰の人体肝とほぼ同一条件にあるかどうかについてはγ線スペクトルの上から検討を行った。

即ち、人体の肝γ線スペクトルと、身体肝ファントームからのγ線スペクトルとを、同一条件の下に描記し、比較検討を行つて、作製したファントーム（身体一肝ファントーム）は人体肝に代えるものとして、模型実験に適切である事を確認した。

肝R I摂取率測定上の問題点：

上記のファントームを用いて、予想される問題条件を模型的に備えたいくつかの身体一肝ファントームを作り出した。

問題点は患者側に属し、肝の解剖学的関係から予想された。主なるものは次の通りである。

(a) 肝の大きさ及び体内での深さの肝R I摂取率に及ぼす影響。

肝の大きさ、深さの個体差が屢々かなり著しい。

又大きさ深さを体外から簡単に知り得ないので補正の可能性が少い。

(b) 躯幹の大きさの影響：主として肝の部分の躯幹の厚みにも個体差が著しく、且肝R I摂取率に影響すると思われる。しかし、これは、体厚を外部で測れるので補正の可能性がある。

(c) 肝の上下、左右の位置関係が外から判りにくいので、検出器で、いつも同じ部位を照準する事は不可能である。従つて、照準の誤差が肝摂取率に及ぼす影響と、その解決方法を検討する必要がある。

(d) 肝の周辺に重要臓器が、複雑な位置関係で存在するので、これらにR Iが沈着すると複雑なBody-back groundとなり、この除去法が時に問題となる可能性がある。

以上の諸点は、すべての臓器のR I量測定の際に共通な問題であるが、特に肝の場合には、いずれも無視し得ない問題である。

以上の問題を解決するためにファントームを対象とした基礎実験を行つて解決方法についての研究を行った。

(1) 肝の大きさ及び深さの肝R I摂取率への影響とその解決方法、前後二方向測定法：

数種類の大きさの肝R Iファントームを、躯幹ファントーム内の種々の深さに置いて、Differential計測法により計数率を測定して、肝の大きさ及び深さの影響とその解決方法を検討した。

従来の甲状腺¹³¹I摂取率測定法に行われている様に、一方向から、Flat-Field型コリメーターを用いて、肝ファントームからのγ線を計測すると、計数率値は、肝の大きさや深さによつて、かなりの程度に変化した。

しかし同一性能の検出器を2本相対して、一直線上に並べ、人体肝ファントームの前後より、その計数率を同時に計測し相対平均値を求める方法、即ち、前後二方向測定法を行うと、ファントーム肝からの計数率値には、肝の大きさや、体内での深さによる差が殆ど消失した。即ち肝の大きさ3000cc～560cc、深さ2cm～6cmの範囲の変化

に対して、測定計数率の変動を、一方向測定の場合の48%に対し前後二方向では5%以内に減少させることが出来た。

この結果、体外からは補正不可能と思われた肝の大きさや、体内での深さの個体差の問題は前後二方向測定法によつて解決される事が判つた。

即ち、体躯の大きさの等しい患者群では、肝の大きさや体内での深さがかなり違っている症例でも、肝に同一量のRIを含んでいる時には、本法によつてその計数率、従つて肝RI摂取率値は互に等しくなり、肝の大きさ、深さの個体差に関係なく、肝RI摂取率を正しく測定する事が出来る事となつた。

躯幹の大きさの一定の場合に、肝の大きさや深さの異なるにも拘らず、前後二方向測定法によつて計数率がほぼ一定となるのは、第一には距離の逆二乗により、感度の低下が相殺される結果と考えられる。この事は前後二方向の Iso-response Curve⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾からも説明出来る。第二には臓器(線源)自体の自己吸収及び、躯幹の吸収及び散乱の平均化が行われる為と考えられる。

この様な平均化のためには、相加平均の他に二方向測定の場合の計数率値の相乗平均も良いと考えられる。

前後二方向測定法に於ては、結晶皮膚間距離は大きい方が良いが、距離が大きくなると感度が低下するので、結局、結晶の大きさ、感度とのかね合ひであり、(1"×1"~2"×2") NaI 結晶の検出器では、60cm前後が適当であると思われる。

(2) 体躯の大きさの影響とその解決方法について、体厚補正係数：

体躯の大きさの肝摂取率に及ぼす影響は、実際には、人体の体厚を外部計測出来るので体厚による摂取率値の補正が可能であり、このための体厚補正係数を求める必要がある。

肝を包む躯幹の大きさが変つて来ると、既述の前後二方向からの測定によつても、肝ファントームからの計数率値は、体厚と相関して指数函数的変化を示した。従つて、これらの実験から得られる体厚計数率比の逆数を体厚補正係数として使用する事により、体厚に関係なく正確に、肝RI

量、即ち肝摂取率値が得られる。

又体厚の異なる患者に対しては、補正係数及び Differential 計測法を用いれば、体厚に相応した標準線源を、その都度用いなくても、一種類の標準線源により正しい測定が可能である。この際身体-肝ファントームのγ線スペクトルは、体厚の異なる場合には、かなり著しいスペクトルの差を示す。Integral 計測法を用いるとすると標準線源用ファントームはその都度体厚に合わせる必要がある。従つて実際には Differential 計測法を用いるのが妥当である。体厚の差による計数率及びスペクトルの差は主として躯幹の大きさによるγ線の吸収及び散乱によるものと考えられる。

又 Differential 計測法での計数率の差異は、主に躯幹によるγ線の吸収によるものであり、そのために体厚と指数函数的相関を示すものと考えられる。

(3) 肝の位置と照準の問題、その解決法—コリメーター及び測定距離：

実際に肝のRIを測定する場合には、コリメーターによつて肝を照準する事が必要で、この為には、肝のコリメーターに対する垂直平面内の位置的關係(上下、左右)を明らかにする必要がある。しかし肝の場合、臓器の形、大きさばかりでなく、その上下、左右の位置関係には個体差がある上に、呼吸性移動もあり、照準中心を肝のどこに置くかは、症例によつてすべて異り均一とはならない。

即ち照準中心点の変化に伴う計数率の変化、従つて、肝RI量測定値の差異が生ずる恐れがある。この差異の大きさとその解決法について、ファントーム実験を行つた結果は、

(1) コリメーターは視野の広いものの方が良いこと、及び (2) 結晶皮膚間距離を大きくする方が良い事(距離60cm程度)が判つた。

この事は、一般にコリメーターの Isoresponse-Curve から考えられる事であるが、これは、測定距離の大きい程、Isoresponse Curve の等反応部分の中が逆二乗の法則によつて広くなり、又コリメーターの視野の広い程、検出器と垂直平面内の Isoresponse Curve の等反応部分の上下、

左右方向の中が広い、即ち中心軸からずれた場合の計数率低下の度合が少いためと考えられる^{52) 51)}。

実際には著者は肝用コリメーター（結晶平面からの距離40cmの完全視野 $\phi 40\text{cm}$ ）を使用したが無事に広い視野でも良いと考えられる。

又結晶皮膚間距離は大きい方が良いが、既述の様に感度を考えて距離60cmで計測を行った。測定位置に於て肝全体を直接見得る様な視野を持つコリメーターの必要なことは当然である。

(4) 複雑な Body-back ground 除去法について

—Bフィルター法：

肝の場合、他の臓器と比べて、その隣接臓器の位置的関係は複雑であり、使用するRI又は症例によつては、隣接臓器に摂取されるRIが直接計測に及ぼす影響を除去する事が屢々極めて困難である。

甲状腺¹³¹I摂取率測定法の場合には、コリメーターにより甲状腺のみを照準する方法と、甲状腺を鉛Bフィルターで蔽う方法とがある^{27) 28) ~ 34) 36)}。⁵³⁾肝RI摂取率測定に於ても、身体バックグラウンド特に隣接臓器のRIによる影響を除去する方法としてはコリメーターによる方法及びBフィルターによる方法の二つが考えられるが、実際の症例について隣接臓器に如何にRIが分布するかを面スキヤニングによつて調べると、RIにより又症例により非常に複雑な分布状態を示し、コリメーターのみによつては、肝に沈着したRIだけを計測する事は實際上甚だ困難である。

即ち①肝の大きさに従つて視野の大きさの種々のものを用意せねばならない。

② 必然的に測定距離が小さくなるが、この結果照準の肝摂取率に及ぼす影響が増大する。

③ 複雑な隣接臓器のRIの除去のため複雑な形のコリメーターを作る事は不可能に近い。

Bフィルターの使用がBody Back groundの除去には簡単確実であり、且實際的である。この際Bフィルターの厚さは、核種によつて異なるが¹³¹I ($1\frac{1}{2}''$) 12.0~13.0mm, ¹⁹⁸AUで18.0~20.0mm程度で十分である。Bフィルターの形は、肝を必

要にして十分に覆うものが良く、種々の形、大きさのいくつかのBフィルターが必要であるが、これは数種類のBフィルターを組合せる事によつて、簡単に間に合わせる事が出来る。

(5) 適正標準線源について—線源、標準線源用ファントーム：

更にどの様な形の標準線源を使用するかは、甲状腺¹³¹I摂取率測定法の場合と同様に、肝RI摂取率の測定に於ても、最も重要な問題の一つである。

既に述べた様に、体厚の等しい患者群の肝RI量測定の場合の標準線源は一種類で良いが、この標準線源は、Differential計測法及び体厚補正係数を使用する事により、体厚の異なる症例の場合にも又適用出来る事は既に述べた通りである。

又実際の測定では、肝RI量測定をルーチンに正確に行うために、簡単で実用的な標準線源を作る必要があり、このための工夫を必要とした。即ち種々の形、大きさの標準線源と人体肝との γ 線スペクトルを比較し、又身体肝ファントームの計数率と標準線源の計数率値とをそれぞれ比較して、次の様な結論を得た。

① 線源の大きさは、肝の大きさ、厚みに相応したものであること、即ち著者は便宜上、560ccの肝ファントーム、及び直方体 ($5 \times 5 \times 10$) cm^3 ファントームを、いづれも標準線源として使用し得る事を確めた。

② 線源を空中に置くのは不適當で、標準線源用ファントーム (phantom) の中に置かねばならない。

③ 標準線源用 phantom の大きさは、患者の軀幹の大きさに相応したものである必要があるが、Differential計測法に於て、体厚補正係数を用いれば、標準の大きさのもの一種類で良い。

④ 線源のファントーム中での深さは、前後二方向測定法では重要な因子ではないが、Phantomの中央に置くと、前方、後方からの計数率が等しくなり、前後いずれかの一方方向の計測のみで充分となる利点がある。

実際の測定には、標準線源は一種類で、簡単な形が望ましいから、Differential計測法、及び体

厚補正係数を用い、標準線源用ファントームには標準大の人体等価身体ファントーム即ち、Rice body phantom 又は Water body phantom を使用し、又線源の形、大きさは適当なもの、例えば直方体又は立方体等と定めて、これを標準線源用ファントームの中心に置けば良いと考えられる。

(6) 計算式

計算式については、既に述べた実験から明らかなる様に、前後二方向からの計数率の相加平均に体厚補正係数を乗じた次の如きものとなる。

$$LU = \frac{(P'A+P''A) - (P'AB+P''AB)}{(S'A+S''A) - (S'AB+S''AB)} \times f$$

LU …肝 RI 摂取率 f …体厚補正係数
 $P'A, P''A, S'A, S''A$ は患者及標準線源について前及び後からの計数率を示す。
 $P'AB, P''AB, S'AB, S''AB$ は同様の条件で、患者及び標準線源にBフィルターをかけた時の前後からの計数率を示す。

以上正確で実用的な肝 RI 摂取率測定法についての検討を加えて来たが、これらの測定法によつて肝 RI 量がどの程度正確に測定されるかを予め RI 量の判つている、身体—肝ファントームを用いて検討した。この場合標準線源の RI 量は、肝 RI 量と等量であるから、摂取率は 100%と出るのが正しい測定法であつて、体厚24cm~16cmの身体ファントームについて容量1400cc, 560ccの肝ファントームを入れた身体—肝ファントームの肝 RI 量測定値は、一方向の場合77~155%と78%の差異を示すが、上記の測定法即ち前後二方向及体厚補正の使用によつて96~101%と差異5%となり、肝ファントームの RI 量は適確に測定され実際の測定に役立つ事が判つた。

前後二方向測定法、Differential 計測法及び、体厚補正係数の使用、肝用広視野のコリメーター、大きな結晶皮膚間距離(60cm前後)、肝用Bフィルター、更に適正標準線源及標準線源用ファントームの使用等は肝 RI 摂取率の標準測定法である。又肝 RI 量に限らず、他の総ての臓器 RI 量の体外からの計測法の基礎ともなり、特に臓器の大きさに個体差が大きく、又その体内の深さが定まらない臓器の(例えば脾の様な) RI 量体外計測にも役立つものと考えられる。

第10章 結 語

肝の RI 摂取率を体外から正しく測定するために、測定の場合の問題点、諸因子を先づ選び出し、各々についてファントームによる基礎実験を系統的に行つて、次の如き測定方法が肝 RI 量を体外から、正しく測定する方法であることを確認した。

1) 前後二方向から同時に肝 RI の計数率を測定して相加平均をとると肝の大きさや、深さの個体差に関係なく肝 RI 量を正しく測定する事が出来る。その際の結晶皮膚間距離は60cm程度が良い。

2) 患者の体厚を測定して、体厚補正係数を使用すると、患者躯幹の大きさに関係なく肝 RI 量を正しく測定する事が出来る。

3) 隣接臓器の RI 或は Body-Back ground を消去するためにBフィルターを使用する。

4) 標準線源には、肝の大きさに相当した大きさのもの、例えば、肝ファントーム 560cc, 直方体ファントーム (5×5×10) cm³等を線源として、これを人体躯幹に相当する人体等価身体ファントームの中央に置いて使用する。

5) コリメーターは、視野の広いものを使用し、又結晶皮膚間距離を60cm程度とすれば、標準による誤差の影響を少なくする事が出来る。

以上の測定は Differential 計測方式により、計算式は次のものを使用する。

$$LU = \frac{(P'A+P''A) - (P'AB+P''AB)}{(S'A+S''A) - (S'AB+S''AB)} \times f$$

(fは補正係数)

以上の方法を使用する事により、肝 RI 摂取率は体外から容易に正確に、測定する事が出来る。

本論文の要旨は、昭和37年4月、第21回日本医学放射線学会総会(名古屋)及び昭和37年11月、第2回日本核医学研究会(東京)に於て発表し、又その一部を(臨床的研究と共に)昭和38年4月、第22回日本医学放射線学会総会(大阪)に於て発表した。

稿を終えるにあたり、終始御懇篤なる御指導御校閲をいただきました恩師、寛弘毅教授、又研究の機会と御指導をいただきました第一外科綿貫教授に厚くお礼申し上げます。

又温い御援助を惜しまれなかつた、有水昇講師をはじめ、医局諸兄姉に深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 寛弘毅：診療，14：6,86, (1961). — 2) Taplin, G.V. Meredith. O.M. and Kade. H J. Lab & Clin. Med, 45：665~ (1955). — 3) C.H. Brown, et al.: J. Lab, Clin, Med 48：454 (1956). — 4) Loweustein, J.M.: Proc, Soc, exper, Biol, Med, 93：377~378 (Nov) 1956. — 5) Taplin, G.V. et al.: Ann, Newyork, Acad, Sc, 78:872(1959). — 6) Leern, C.S. et al.: Ann. Surg. 149：353, 1959. — 7) 三輪清三他：綜合医学8(5)：920 (1959). — 8) Mac. Intyre: Am. J. Roent. Rad & Nuclear Med 77：55 (1957). — 9) 三輪清三：最新医学, 15：16, (1960). — 10) 寛弘毅：内科, 10：4, — 11) Bender, M.A. and Blan. M.: INT. J. Appl. Rad. & Isotopes 4：154, (1959). — 12) 加嶋政昭, 土尾武彦：最新医, 14：7, 1916~26. (1959). — 13) “medical Radioisotope Scanning”, IAEA and WHO (1959). — 14) Stirrett et L.A and Yuhl, ET: Ann. Surg, 138：857, 1953. — 15) 寛弘毅, 日医放誌, 20:13, 2789 (1961). — 16) W.J. Macin Tyre, Amer, J. Roent, 77：3, (1957). — 17) Vetter, H. Falkner, R & Neumayr A.: J. clin. invest, 33：(1954). — 18) 若林修他：外科研究の進歩, 第9集. — 19) Neumayer, R. Falkner, H. Vetter: Strahlen Therapie, 33：230, (1955). — 20) Krook, H.: Acta, Med. Scandinavia Suppl, 318：(1955). — 21) Vetter et al.: J. clin. invest. 35：825 (1956). — 22) 永瀬敏行：千葉医学誌, 35：1888, (1960). — 23) 上田英雄：日本臨床, 19：1284 (1961). — 24) 三輪清三：綜合臨床. 8：919, (1959). — 25) 上田英雄：呼吸と循環. 11：7, 484(1963). — 26) 三宅史郎：呼吸と循環. 5：2, 93 (1957). — 27) Werner, A.S., Hamilton, H.B.: J. clin. Endocrinol. 10:1054, (1950). — 28) Marshall-Bruce, (寛, 永井沢) 甲状腺摂取率測定法. — 29) Fields, and Le. Roy. G.V Radiolog, 58：57~67 (1952). — 30) 寛弘毅：最新医学, 15：5, 1180 (1960). — 31) Hidalgo. J.U, Nandler. S.B, Bloch, J. and Nieset. R.T.: Proc. Soc, Exper. biol, & Med, 77：764~766 (1951). — 32) 寛弘毅：放射線医学最近の進歩. — 33) 寛弘毅：Radioisotope 7：1~10 (1958). — 34) Hine, G.J. et al.: Tracerlog No. 56, (1953). — 35) Marshall Bruce (寛, 永井沢) p. 141~181. — 36) I.A.E.A.: “Consultant meeting of on the Calibration and Standardisation of thyroid. radioiodine uptake measurement”, Nor 28~30. 1960. Brit, J, Radiol, Vol 35：411, 205~210 (1962). — 37) 鈴木：京都医学誌, 16:522, (1919). — 38) 長谷部：北越医学会誌, 29:47, (1914). — 39) 天野他：長崎医学誌, 16：2278, (1938). — 40) 青木他：長崎医学誌, 21：(1943). — 41) Morris “HumanAnatomy” 1953. — 42) 伯井：大阪医学誌, 41, (1942). — 43) 内田馨：日本病理学誌, 31 (1941). — 44) 内田馨：台湾医学誌, 42 (1943). — 45) Normal Radiographie Anatomy by IsodoreMenschau M.A.M.D (1959). — 46) 林香苗編：日本人並に日本産医学実験動物の解剖学及び生理学計数, (1956). — 47) “Surface and Radiological Anatomy” by W.J. Hamilton. (p. 199~203)— 48) “A linear scanner for human radioisotope researeh”, Oookridge institute of nucleor sudy (1960). — 49) B.D. Corbett, E.E. Pochin, R.M. Cunningham K.E. Halnan: Phys. S. in Med & Biol. 1：37, (1956). — 50) E.E. Pochin., (I.A.F.A and, W.H.O) Medical Radioisotope Scanning 1959. — 51) H. Kakehi: “Medical Radioisotope Scanning” IAEA and WHO p. 13~26 (1959). — 52) M. Bruce, M.D. (寛, 永井沢) 甲状腺摂取率測定法, 1179. — 53) M. Bruce. (寛, 永井沢) 甲状腺摂取率測定法. p. 67, 109,