

綜 説：アイソトープの臨床医学への応用

金沢大学医学部放射線医学教室(主任 平松博教授)

久 田 欣 一

(昭和34年1月16日受付)

Review : Clinical Use of Radioisotopes

KIN-ICHI HISADA

目 次

- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| I. まえおき | VII. 標識化合物 |
| II. アイソトープ医学に必要な基礎的事項 | VIII. 臨床医学に用いられる主なるアイソトープの種類と応用領域 |
| III. 放射性ヨード | IX. むすび |
| IV. 放射性燐 | 参考書籍及び参考文献 |
| V. 放射性コバルト | |
| VI. 放射性ストロンチウム | |

I. ま え お き

1950年4月我が国に初めてアイソトープが輸入されてから、年々その利用は急速な伸展を見せているが、特に医学領域への応用は目覚ましく輸入量の70%が使用されている現状である。

これはアイソトープのトレーサー(追跡子)としての利用が、顕微鏡、X線の発見以来の大発見ともいうべく、基礎的研究や臨床診断の有力な手段となつていくばかりでなく、一方放射線源利用として従来のラジウムやX線ではなし得なかつた治療を可能にし、又価格や取扱操作等の面でも幾多の利点を有するからに他ならない。

とかくアイソトープといえは臨床家は難解な原子物

理学を想像し、何んとなき縁遠い取付き難いもの、危険なものとして敬遠され勝ちであるが、一度アイソトープを使つてみた人ならば誰でも、それがただ便利で正確を期せるばかりでなく、他の方法で行い得なかつたことを簡単に処理することができて、その妙味は忘れ難い。

私がこの方面に興味を抱いてからもう足かけ6年、その間医学領域におけるアイソトープ応用研究は著しく進歩した。ここでは臨床家の立場から日常私達が外来、病棟で行つている事項を中心に述べ、併せて斯学最近の発展について紹介することにしたい。

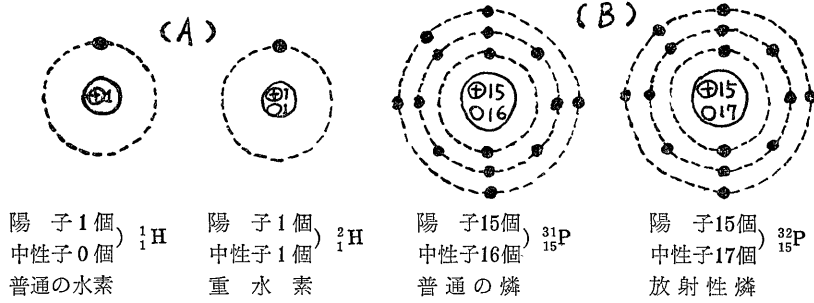
II. アイソトープ医学に必要な基礎的事項

アイソトープを論ずる場合当然原子核物理に触れざるを得ないが、高遠な理論を述べることは本文の目的でもなく、又私の能力外でもあるので、簡単に以後の綜説を進める上に必要な事項のみに止めておきたい。

1) **アイソトープ** : 同じ原子番号即ち元素週期律表で**同じ (Iso) 位置 (Tope)** を占める元素同志のこと

を**同位元素 (Isotope)** と呼ぶ。勿論質量数は異つている。例えば重水素は化学的には水素と同じ性質を呈するが目方のみが異つている。第1図(A)に示すように重水素は中性子1個分だけ普通の水素原子より重い。同様に普通の安定な燐 ($^{31}_{15}\text{P}$) と放射性燐 ($^{32}_{15}\text{P}$) とは中性子1個分だけ目方は違ふが、やはり化学的性

第 1 図



質は全く同じ。アイソトープの中で放射性アイソトープ（以下簡単にアイソトープと略称する）と呼ばれるものは放射線（ α 線、 β 線、 γ 線）を出しながらこわれて行く点だけが特異的であるが、化学的性質は普通の元素と全く同様で、生体内では同様に代謝されて行くので、この放射線を目印として代謝の研究、疾病の診断に広く利用されるわけである（トレーサーの原理）。

2) アイソトープから出る放射線の種類

(1) α 線： α 粒子はヘリウムの原子核そのもので、陽子2個と中性子2個から成り、光速の $\frac{1}{10}$ 位の速度で空中を 3~8cm 飛ぶエネルギーを持っている。従つて水中や生体内では 0.06~0.16mm 位しか到達し得ない。紙一枚で遮蔽できる。生体内では極めて危険で、普通 α 線を出すアイソトープは医療に用いられない。

(2) β 線：陰又は陽の電子線で空中飛程数m以内、アルミニウム数 mm で遮蔽される。

(3) γ 線：X線より更に波長が短い電磁波と考えてよい。

3) 半減期：アイソトープはそれ自身放つておいても自然にこわれて減つて行く性質がある。初めにあつたアイソトープの量が半分になるまでの時間を半減期といい、種類により極めて長いものから著しく短いものまで様々である。例、 ${}^{235}\text{U}$ 約7億年

${}^{14}\text{C}$ 約4700年

${}^{131}\text{I}$ 8 日

${}^{32}\text{P}$ 1 億分の26秒

半減期の短いアイソトープは飲んだり、注射しても危険は少ない。

4) キュリー Curie：アイソトープの原子核が毎秒 3.7×10^{10} 個ずつ崩壊する時、その物質の量を1キ

ュリーとする。

$$1 \text{ ミリキュリー } mc = \frac{1}{1000} \text{ C}$$

1 マイロキュリー

$$\mu\text{c} = \frac{1}{1000} mc = \frac{1}{1000000} \text{ C}$$

5) ミリオン・エレクトロン・ボルト MeV：1 ボルトの電圧によつて加速された電子の運動エネルギーを eV といい、普通 KeV (= 10^3eV)、MeV (= 10^6eV) が使用される。

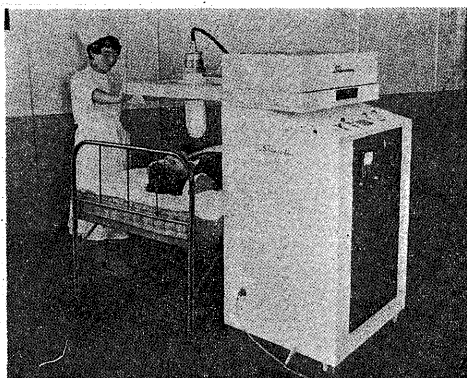
6) レントゲン r：X線又は γ 線の照射によつて空気 0.001293gr につき放出された微粒子により1 静電単位の正負の電気量を持つイオンを空气中に生ずるようなX線又は γ 線の量。

$$1 \text{ ミリレントゲン } mr = \frac{1}{1000} r$$

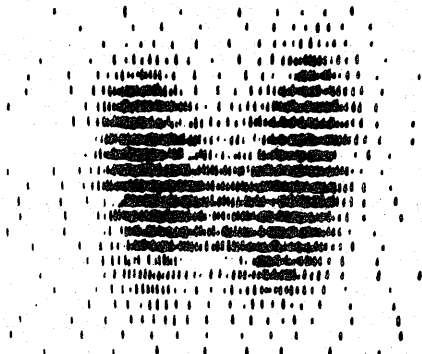
7) その他の単位としてレップ (rep)、ラド (rad)、レム (rem)、生物学的効果比率 (RBE)、ラーム (rhm) 等多数あるけれども割愛する。

8) 放射能測定器：最近の進歩によつて各様のものが作られているが、 β 粒子を1個宛数えることのできるガイガー計数装置、 γ 線を電気回路のパルスに換えて測るシンチレーションカウンターが代表的なもので、所謂カウント数として放射能強度を捉え得る。このものにレートメーター及び電流記録計を附属せしめると自動的に時間的記録ができ、各種疾患の機能診断に便利である。又更にシンチレーションカウンターの検出部を自動的に身体表面を走査せしめ、各種アイソトープの体内分布状態を描画せしめるシンチスキャナーを使用すると応用範囲は飛躍的に拡大するので本学でも速かな購入が望ましい。最近では普通のシンチレーションカウンターより一段と効率の良いウエル型シンチレーションカウンターが製作されるようになって来ている。

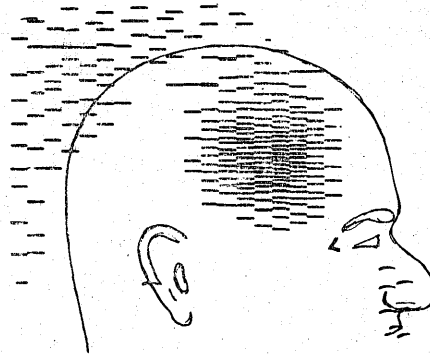
第2図 国産シンチスキャナー



第3図 甲状腺シンチグラム
シンチスキャナーにより ^{131}I の
甲状腺内分布が判る



第4図 脳シンチグラム ^{74}As は脳腫瘍に集まる

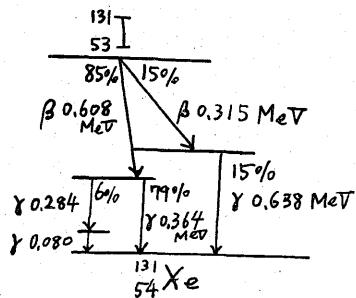


Ⅲ. 放射性ヨード ^{131}I

放射性ヨードの種類は極めて多く、 ^{121}I , ^{122}I ^{138}I , ^{130}I までであるが、製法及び以下の物理的性質の特長の故に最近では専ら ^{131}I が使われている。

^{131}I は半減期 8.06 日で第5図に示されるようにエ

第5図 ^{131}I 崩壊形式



ネルギーの異つた種々の β 線, γ 線を放出するが、主なものは 0.608 MeV の β 線 (最大飛程空气中 16cm, 水中 2.2mm) と 0.364 MeV の γ 線であり、結局 ^{131}I は生体に全く無害な安定元素 ^{131}Xe となる。甲状腺に特別親和力強く、最近10年間の甲状腺に関する知見の著しい発展も、その殆んどが放射性ヨード (^{130}I , ^{131}I) に負うているといつて過言ではない。

A. ^{131}I による甲状腺機能検査

^{131}I を用いた甲状腺機能検査に関しては実に枚挙にいとまない程の報告があり、報告者により多少の見解の相違があり、その方法術式も各様のものが考案されているけれども、大別して第1表の如く分類される。詳細は他書、他論文に譲るが、この中で私達が外来検査として充分使い得ると考え、実際に行っている方法につき二、三説明してみよう。

第1表 ^{131}I による甲状腺機能検査の種類

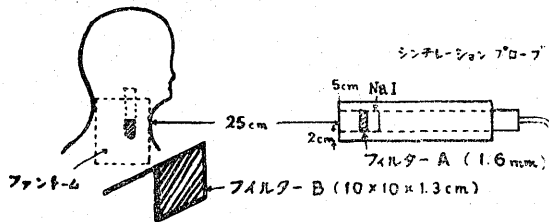
1. 甲状腺 ^{131}I 摂取率
 - 蓄積率 Accumulation rate
 - 蓄積勾配 Accumulation gradient
2. 甲状腺クリアランス
 - 大腿・頸部クリアランス
3. 尿中 ^{131}I 排泄率
4. PB^{131}I 交換率
5. 唾液内 ^{131}I 排泄率
6. Thiouracil derivate test
 - Thyroid hormone test
 - TSH test
7. シンチグラフィ

1) 甲状腺 ^{131}I 摂取率

^{131}I 30~50 μc (GM 管の場合は 100 μc) を経口投与し、一定時間後シンチレーションカウンター (又は GM 管) で甲状腺に何%が摂取されたかを測定すると甲状腺機能が判定できる。

なお測定に際しては、第6図に示すように測定誤差の原因となり易い γ 線の波長の長い部分を鉛フィルター-Aでカットし、又フィルター-Bで患者の甲状腺部を

第6図 甲状腺 ^{131}I 摂取率測定法



甲状腺 ^{131}I 摂取率 =

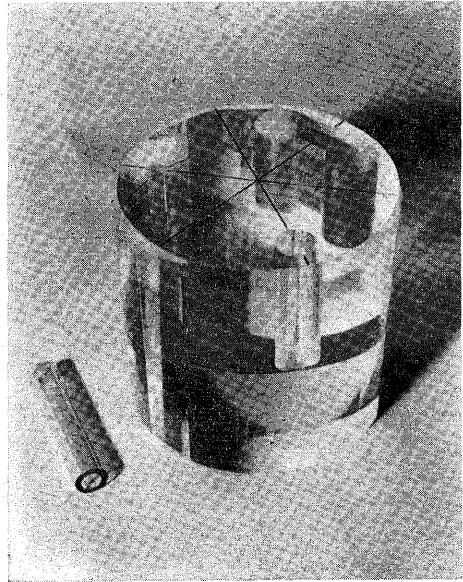
$$\frac{\text{患者 (A) c. p. m.} - \text{患者 (AB) c. p. m.}}{\text{ファントム (A) c. p. m.} - \text{ファントム (AB) c. p. m.}}$$

遮蔽して他の身体バックグラウンドを測定、更に適當の頸部ファントム (第7図参照) に投与量と同値の ^{131}I を入れて同様の測定を行い、第6図の如く甲状腺 ^{131}I 摂取率を算出する。以上は米国オークリッジ原子力研究所の Brucer 氏等の方法であるが、 $\pm 5\%$ 以内の正確な測定値が得られるという²⁾ので、私も本法を標準測定法として採用している。

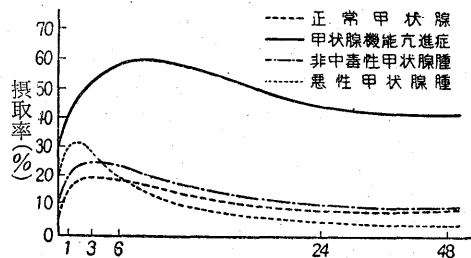
測定は第8, 9, 10図の如く、1, 2, 3, 6, 24, 48時間と逐次的に行うのが最も望ましいが、実際日常検査として施行するには余りに煩瑣であるので、普通一般には24時間値が測定される³⁾。

私達の最近のデータをあげると第2表の如くである⁴⁾。

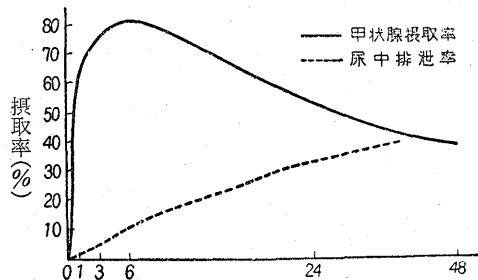
第7図 甲状腺 ^{131}I 摂取率測定用頸部ファントム



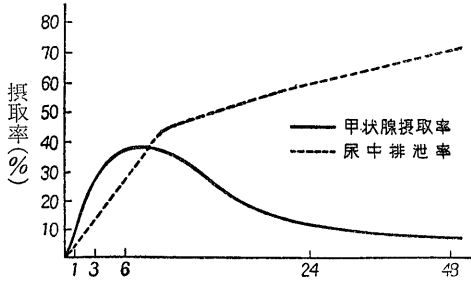
第8図 甲状腺 ^{131}I 摂取率曲線 (久田他³⁾)



第9図 甲状腺 ^{131}I 摂取率と尿中 ^{131}I 排泄率 (甲状腺機能亢進症) (久田他³⁾)



第10図 甲状腺 ¹³¹I 摂取率と尿中 ¹³¹I 排泄率 (非中毒性甲状腺腫) (久田他³⁾)



第2表 甲状腺 ¹³¹I 摂取率 (24時間値)

	動揺値	平均値
甲状腺機能亢進	37.3~78.5%	(59.0%)
〃 正常	7.5~36.1%	(17.5%)
〃 低下	0.9~5.3%	(3.8%)

2) 血漿蛋白結合沃度交換率 (PB¹³¹I 交換率)

PB¹³¹I 交換率は甲状腺ホルモン分泌能を示し, Chaikoff et al⁵⁾ により始められた。私達は最近感度の高いウエルタイプ・シンチレーション・カウンターを使用すると、遙かに ¹³¹I 投与量少なくて簡便正確に測定することができるので次の如く変法した。

即ち私達の方法⁴⁾は ¹³¹I 30~50 μ c 投与し、24時間後甲状腺 ¹³¹I 摂取率測定と同時に肘静脈より約 4cc 採血し、二重醋酸加試験管に入れ混和後血漿を遠心分離す。この血漿 1cc を肉厚試験管 (遠心できるような) に取り、ウエルタイプシンチレーションカウンターで測定する。これに10%三塩化醋酸約 5cc を加えると蛋白は沈澱するから、遠心し上清を捨てる。更に10%三塩化醋酸を加え硝子棒にて攪拌遠沈、2度洗滌し上清を捨てる。そのまま再び放射能を測定する。

$$\text{交換率} = \frac{\text{蛋白結合 } ^{131}\text{I c. p. m.}}{\text{全血漿 } ^{131}\text{I c. p. m.}} \times 100\%$$

私達の最近のデータ⁴⁾は第3表の通り。

第3表 PB¹³¹I 交換率

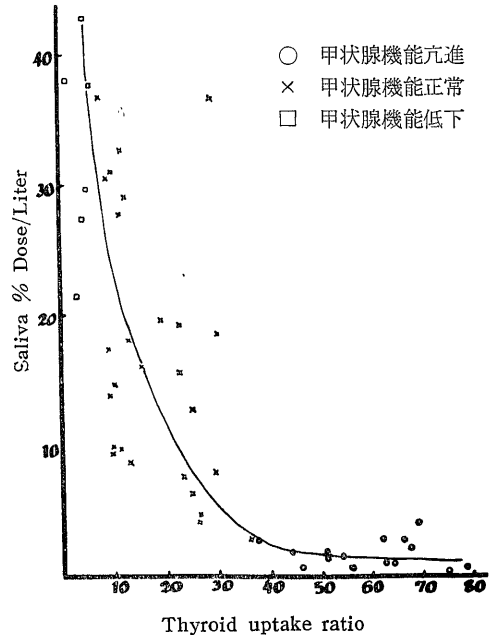
	動揺値	平均値
甲状腺機能亢進	52.4~97.3%	(88.4%)
〃 正常	7.7~56.8%	(38.2%)
〃 低下	4.0~19.3%	(10.8%)

3) 唾液内 ¹³¹I 排泄率

ごく最近になり注目され始めた方法⁷⁾で私達は本法を最も簡便で優れた甲状腺機能測定法として取り上げている⁴⁾。甲状腺 ¹³¹I 摂取率と唾液内 ¹³¹I 排泄

率とは第11図に示すように全く逆相関関係にある。以下私達の術式を記すと、¹³¹I 30~50 μ c 経口投与し、

第11図 唾液内 ¹³¹I 排泄率と甲状腺 ¹³¹I 摂取率との関係 (久田他⁴⁾)



第4表 唾液内 ¹³¹I 排泄率

	動揺値	平均値
甲状腺機能亢進	0.13~3.75%/l	(1.51%/l)
〃 正常	2.76~36.5%/l	(16.4%/l)
〃 低下	21.4~43.0%/l	(32.9%/l)

24時間後甲状腺 ¹³¹I 摂取率、PB¹³¹I 交換率測定と同時に酒石酸紙を使用し唾液を採取する (採取前15分前に水道水で充分含嗽させておく)。メスピペットで正確に 1cc 唾液を中試験管に取り、ウエルタイプシンチレーションカウンターで測定。別に予め用意してある投与 ¹³¹I 量の 1/1000 量の標準試料も同様に測定。

$$\text{唾液内 } ^{131}\text{I 排泄率} = \frac{\text{唾液 } 1\text{cc c. p. m.}}{\text{標準試料 c. p. m.}} \times 100\%$$

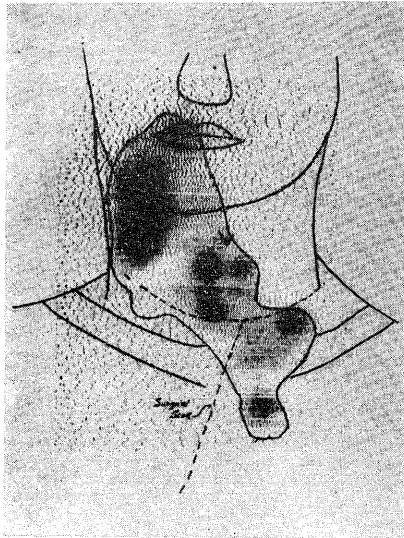
(唾液 1 μ につき投与した ¹³¹I の何%が検出されるかを示す値)

以上のほか、尿中 ¹³¹I 排泄率、大腿頸部クリアランス等も良法とされているが割愛することにして、最後に、甲状腺シンチグラフィはちよつと前述検査法とは趣を異にし、放射能測定器の項で述べたシンチスキャナーを用いて、結節性甲状腺腫内の ¹³¹I 分布状態、甲状腺の位置異常更に進んで甲状腺癌の転移巣の追究

等に用いられる方法である (第12図参照).

¹³¹I を用いた甲状腺機能検査は従来の基礎代謝率測定の如く嚴重な術前の安静を必要としなしいし、又神経質な患者でも精神不安による誤つた測定結果を招来せず、客觀的に甲状腺機能を把握できることは大きな利点であるが、以下の注意を守ることが肝要である.

第12図 甲状腺癌患者に ¹³¹I 投与
24時間後のシンチグラム⁸⁾



¹³¹I 投与前の注意 : 正常人の1日のヨード必要量は僅か 10 γ で、ヨードを多量に含む食物 (例えば海藻類)、無機ヨード含有薬品 (甲状腺剤、ルゴール、ヨードチンキ、ヨード含有X線造影剤) 等は甲状腺 ¹³¹I 摂取率を低下せしめ、又抗甲状腺剤投与も甲状腺機能検査誤診の原因となるので避けねばならない.

B. ¹³¹I による甲状腺機能亢進症の治療

¹³¹I による治療は結局煎じつめるところ放射線療法の一つであるが、¹³¹I により選択的に甲状腺を照射できる点が特長である. この際甲状腺の受ける放射線の90%は β 線に基くもので γ 線によるものは10%乃至それ以下に過ぎない. β 線の平均エネルギーは 0.21 MeV と考えられ、その組織内最大飛程は 2.2mm で被膜を通しての外部への影響は少なく、X線深部治療と異り、皮膚、気管、食道粘膜の反応が殆んどなく、優に 10,000 rads 程度の照射ができる.

¹³¹I 治療の優秀性は諸家の報告の示す如く (第5表参照) 今更多言を要しないところであろうが、私達が昭和29年11月より昭和33年10月までに取扱つた甲状腺腫患者総数は 294 名、その中 ¹³¹I 治療を行つた患者は 105 名で、6 カ月以上充分経過を観察し得たもの71名で、この中には諸種治療法で効果のなかつたものが 34名含まれている. 治療成績⁹⁾は第6表第13図に示す通りで、¹³¹I 投与後 2 週間で症状の改善を認め、2 ~

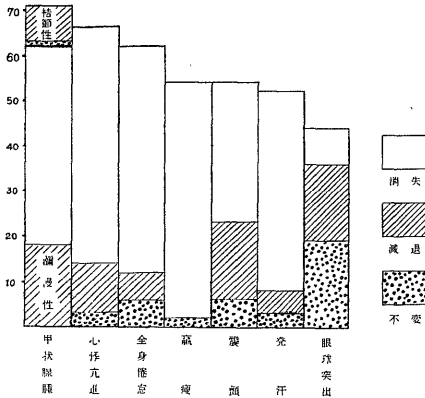
第5表 過去の主な ¹³¹I 治療成績

報告者	発年 表次	症例数	治療量	治療率	低下 症例
Moe et. al.	1950	100	1) 1.1~17.8mc 100 μ c/g 2) 2.2~43.8mc 100 μ c/g	85% 94	10 2
Shiple et. al.	1950	47	74~275 μ c/g	83	—
Feitelberg et. al.	1950	184	1.2~7.4mc 80 μ c/g 10000r/eq	91	7
McCullagh et. al.	1951	281	1) 4~41mc 2) 7~90mc	85 77	10 —
Clark et. al.	1951	100	5.6mc 100 μ c/g	88	12
Blomfield et. al.	1951	20	4~20mc 8000~100000r/eq	90	10
Williams et. al.	1948	111	2~36mc 200~250 μ c/g	83	2.6%
Werner et. al.	1949	103	3~6.5mc 100~200 μ c/g	82.5	3.8%
Miller et. al.	1948	63	瀰漫性 77.7 μ c/g 結節性 95.2 μ c/g	81	4%
山下・等	1957	450	100~120 μ c/g	86	12
Ball et. al.	1955	180	10000 rad	79	33
Chapman et. al.	1954	400	160 μ c/g	89	34
Tubiana et. al.	1953	115	10,000 rep	55	5%

第6表 ¹³¹I 治療成績 (久田他)

著効	44例	62.0%
(中 2例 機能低下)		2.8%
有効	26例	36.6%
無効	1例	1.4%
計	71例	100.0%

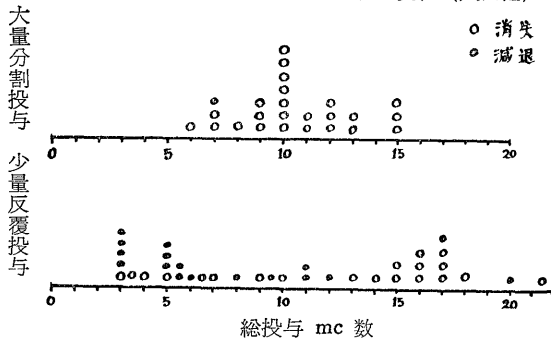
第13図 症状の頻度と ¹³¹I による治療成績 (久田他)



3カ月乃至数カ月で治癒するが、メチオジール、メルカゾール等と異り甲状腺腫が消失乃至著明な減少を見る点が大なる特長である。しかし眼球突出のみは比較的治癒し難く、一部には却つて悪化するものすらあるけれども、メチオジール等抗甲状腺剤乃至手術の眼球突出に対する効果は殆んどなく不変乃至悪化する¹⁰⁾といわれているが、私達の成績では半数以上に好転を認め、悪化したものは3例に過ぎないので眼球突出に対しても他療法より優つているといえよう。

投与量：治療効果の優れていることは明白であるけれども、ここで問題となるのは ¹³¹I 投与の仕方である。大別して少量反覆投与方式と大量一時投与方式とがあるが、外国の大勢は大量一時投与方式に傾いており、私達の成績⁹⁾でも(第14図、第15図参照)大量を短期間に与えた方が結果が勝つており、且つ時間的、経済的にも得策である。大量一時投与方式では適正治療量の予測が患者個人々々について正確になされねばならない。甲状腺の大きさ、¹³¹I 摂取率、生物学的半減期等から算出する方法も多数発表されていて、詳細は省略するが、私達が種々追試検討した結果、諸種の理由から結局第7表で示すように大体2回 ¹³¹I を

第14図 中毒性瀰漫性甲状腺腫の変化 (久田他)

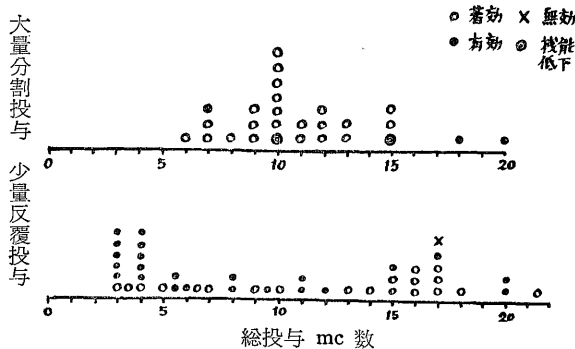


第7表 我々の治療方針

1. 中等大の甲状腺腫：5~7mc 1回投与
2カ月後経過を見て必要なら2~5mc 投与
2. 小さな甲状腺腫でも症状強き時は
5~7mc 反覆投与してよい
3. 巨大甲状腺腫：10mc 宛2カ月毎反覆投与
4. 結節性甲状腺腫：7~10mc 反覆投与

投与して治癒せしめる方針を取るに至っている⁹⁾表の中3, 4は余り良い適応症ではないが、患者の強い要望があれば治療することにしてはいる。

第15図 ¹³¹I 投与方式と治療効果 (久田他)



禁忌：胎児の甲状腺は4カ月頃からヨード集積能力を生ずる(Chapmann¹¹⁾, Hodges¹²⁾)ので、発育障害を来す恐れが多く絶対に治療量を妊婦に投与すべきではない。又授乳中の婦人の乳汁中にはかなりのヨードが分泌される点から(Nurnberger¹³⁾)、診断量の場合でも投与後数日間授乳を中止すべきである。

副作用：ごく稀に radiation thyroiditis による甲状腺部の疼痛、放射線過敏症症状、機能亢進症状の増悪等が見られることがあるが、何れも軽度で一過性であつて殆んど意とするに足らない。過

量に ^{131}I を投与すると甲状腺機能低下症が発生するが、私達の投与方式では外国文献に見られる程高率(10%前後)には機能低下は起つていないし(2.8%), 又起つても多くは一過性のものでサイロキシン等投与しておけば回復可能のものである。最後に発癌性の問題であるが、 ^{131}I による治療も既に10余年を経過し、多数の症例が治療されているが、未だ ^{131}I による発癌の報告は今日まで一例もない。しかし白鼠に治療の10倍量を投与し1.5~2.0年後に甲状腺癌を認めた Goldberg¹⁴⁾ の実験、脳下垂体腫瘍の発生 (Gorbman¹⁵⁾)には充分留意すべきものがある。更に最近 Bloom

¹⁶⁾, Pochin¹⁷⁾, Abbott¹⁸⁾, Werner¹⁹⁾ は甲状腺機能亢進者に ^{131}I 治療して1~2年後に白血病が発生した症例を報告しているが、米国原子力委員会²⁰⁾ による ^{131}I 療法後1~10年にわたり追求された患者13,000例(即ち65,000例年)の病歴調査の結果は、現在のところ一般住民中での急性白血病の自然発生率(1年間で20,000人につき約1人)と ^{131}I 治療患者の白血病発現頻度の間には有意の差は認められなかつた。

C. ^{131}I による甲状腺癌の治療

甲状腺癌はその組織像によつてヨード摂取性が非常に異り、第8表に示す如く、濾胞性、嚢腫性のは

第8表 甲状腺癌組織像と ^{131}I 摂取関係 (Fitzgerald)²¹⁾

Type	Number of case	^{131}I Uptake	No ^{131}I uptake	Percent with uptake
Papillary Ca.	29	8	21	28
Alveolar and follicular Ca.	39	29	10	74
Solid Ca.	12	5	7	42
Hürthle-cell Ca.	9	3	6	34
Giant and spindle cell Ca.	6	0	6	0
Anaplastic Ca.	3	0	3	0
Unclassified Ca.	2	1	1	—
Total	10	46	54	46

一部良摂取性であるが、一般には正常よりも低く Wollman²²⁾ は正常組織の $\frac{1}{4}$ の摂取能しかないと報告している。従つて甲状腺癌は現在のところでは未だ外科的疾患であるが、転移巣形成し手術不能の例に対して ^{131}I を試み、好結果を得た報告も最近目につくようになって来た。Clarke²³⁾ は45例の ^{131}I 治療経験を有し、濾胞性のは全例好結果を収めているが未分化型のは全く無効であり、Pochin²⁴⁾ も濾胞性のが適応であり、甲状腺組織1g当り0.2%以上 ^{131}I を摂取するなら治療を試みてよいとしている。

勿論この場合癌組織の ^{131}I 摂取能を高めることができれば治療効果は一段と向上するに違いないが、摂取能を高めるには原理的に、(a) 手術による正常甲状腺除去又はX線照射乃至抗甲状腺剤により正常甲状腺機能を抑制して、癌病巣のヨード摂取能を高める方

法、(b) T. S. H. により癌病巣の機能を刺戟する方法とがあり、Sturgeon等²⁵⁾ は両者を併用し予め甲状腺正常組織を大量 ^{131}I で障害或いは外科的に切除した後 TSH を投与し、転移巣の ^{131}I 摂取能を賦活して大量 ^{131}I 治療を行つているが、 ^{131}I による甲状腺癌の治療は今後の研究に大きな余地が残されている。

D. その他の ^{131}I 療法

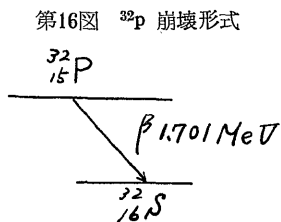
^{131}I 療法は甲状腺機能亢進症、甲状腺癌の他、狭心症、鬱血性心不全、肺不全、パーキンソンニズム、間歇性跛行等の治療にも利用されている。何れの場合もその作用機序は同一で ^{131}I -Thyroidectomy で基礎代謝を低下させることにより心、肺、脳、脚の酸素消費を低下させその症状の軽快を計るものである。紙面の都合上省略するが、詳細は Beierwaltes et al.²⁶⁾ の著書を参照されたい。

IV. 放射線燐 ^{32}P

天然の安定な燐は ^{31}P のみで、放射性同位元素とし

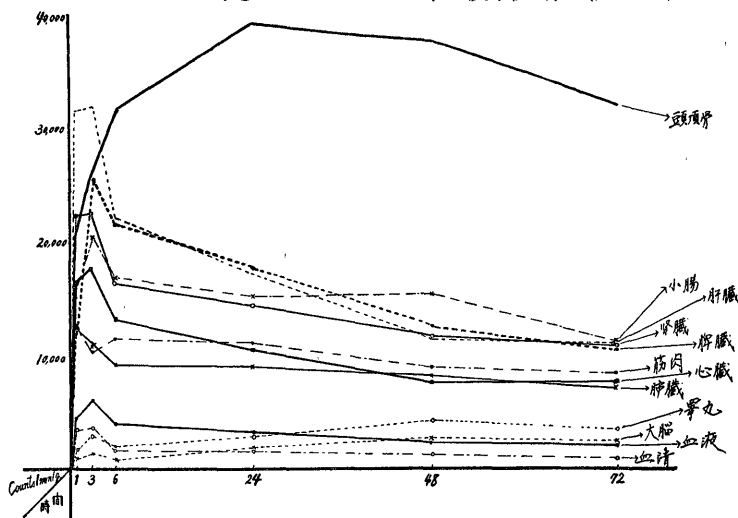
て ^{28}P , ^{29}P , ^{30}P , ^{32}P , ^{33}P , ^{34}P の6種がある。その半減

期はそれぞれ 0.28 秒, 2.55 分, 14.3 日, 25.4 日, 12.4 秒で, ^{32}P , ^{33}P の他は余りにも寿命が短く, 又 ^{33}P はそれから出る β 線が余りに弱く (0.27 MeV) 生物学上の応用に不向であるので, 専ら ^{32}P が使用されている. ^{32}P は半減期 14.3 日, β 線のみを放出し, その最大エネルギーは 1.7 MeV で, 最大飛程空气中 62cm, 水中, 組織中 8mm で, 第16図の如く崩壊し安



定な硫黄となる. ^{32}P は体内に入ると (第17図参照), 磷酸代謝の旺盛な肝臓, 脾臓, 骨髄並びに骨に多量に摂取される. 特に24時間以

第17図 皮下注射による二十日鼠臓器, 組織への ^{32}P 分布 (Counts/min/g) (二十日鼠体重毎 g に $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 0.1\mu\text{c}$ 皮下注射) (久田 27)



後は骨に沈着せるものが大半を占めるようになる. 又磷酸代謝の盛んな腫瘍組織にも ^{32}P が集中する傾向がある. 以上の性質を 諸種疾患の 診断, 治療に 利用する.

A. 診断への応用

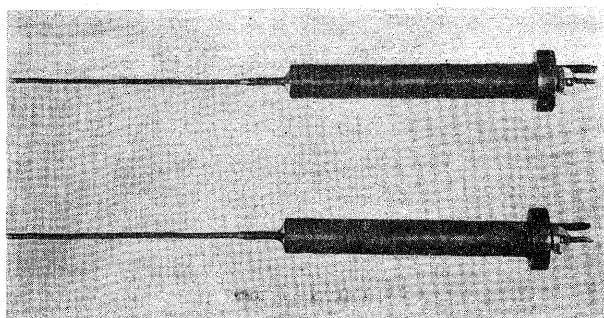
1) 腫瘍の診断 : Low-Beer 28) は ^{32}P を使用し皮膚癌, ホジキン氏病, 乳癌等の診断を行った. 乳腺腫瘍の手術に際して 300~500 μc 静注し, 2, 4, 6, 24, 48時間後に皮膚面から GM 計数管を用いて計測し, 健康部より 25% 以上増量すれば診断的価値がある. 但し炎症性疾患があれば増量するから注意を要する. 睾丸腫瘍でも同様の試みが行われているが, 前にも述べたように ^{32}P β 線の軟部組織中最大飛程は 8mm であるから, 外部測定では皮膚, 皮下脂肪層に吸収されるため, 臨床的に明らかに ^{32}P の分布状態の差 (周囲と 25% 以上) を発見するためにはせいぜい 3~4mm までの深さにある腫瘍に適用されるに過ぎず, 実際追試してみると仲々むつかしいものである. しかし ^{32}P は

γ 線を出さないが, β 線が物質に吸収されると X 線を発生することを私達 29) は知つたので, 超高度のシンチレーションカウンターが出現すれば診断精度が遙かに高められるに違いないと考えている. 最近 Mehl 30) は ^{32}P で治療中の真正赤血球増多症患者について ^{32}P 体内分布の外部測定を試みたが, 測定器の進歩に期待がかけられる.

又脳腫瘍の患者では手術時に第18図のような細長い針状 GM 管で脳実質を穿刺して腫瘍の位置や拡がり を決定する. 胃癌などの手術時にも同様にして切除範囲を定めることができる. 又子宮癌の疑いのある患者に ^{32}P を投与して同様に針状 GM 管で測定し, 更に疑わしい組織の Radioautograph を作つて診断し, 又淋巴腺転移の診断にも応用できる. 口腔から食道癌の診断も行われるようになって来ている. 更に特殊の GM 管により 眼窩内腫瘍の診断 31) 32) も行われている.

腫瘍の診断には ^{32}P よりも $^{131}\text{I-DIF}$, $^{131}\text{I-HSA}$,

第18図 針状 GM 管 (Beierwaltes et al. 29))



^{74}As , ^{42}K その他のアイソトープの方が便利の時もある。

2) 循環血液量及び循環時間の測定

^{32}P 標識赤血球の既知量を静注し稀釈法の原理で全血液量が計算できる。同時にヘマトクリット値を測定すれば循環赤血球量, 血漿量も計算できる。同様目的で赤血球を標識するのに ^{32}P の他, ^{55}Fe , ^{59}Fe 等も用いられたが, 最近では ^{51}Cr , ^{131}I HSA (^{131}I 標識人血清アルブミン) が使用されている。

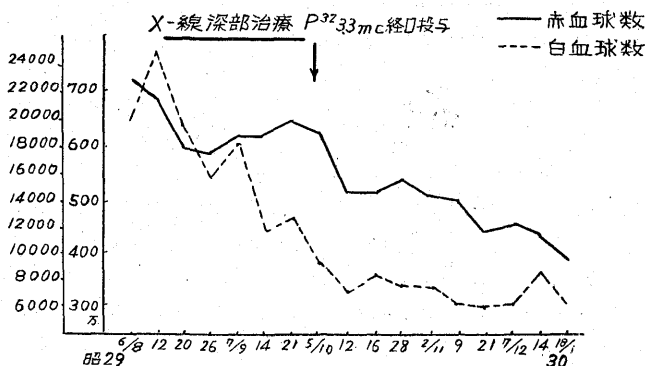
血液循環時間の測定にも ^{32}P が使用され得るが, この目的のためには体外から測定可能な γ 線放出体 (^{24}Na , ^{131}I , ^{131}I HSA 等) の方が便利である。

B. 治療への応用

1) 真性赤血球增多症

本疾患に対して ^{32}P は瀉血, X線療法, フェニールヒドラチン, ナイトロミン等より遙かに優つている。現在のところ内用されるアイソトープの中, 劇的に卓効を奏するのは本症に対する ^{32}P と, 甲状腺機能亢進症に対する ^{131}I の二つのみであるといつても過言ではない。

^{32}P は前述の如く核酸代謝の盛んな組織即ち細胞分裂の著しい臓器ほどよく集まる。又骨には特別親和力があり磷酸カルシウムとして沈着し比較的長く留まる傾向があるので本疾患の如き造血臓器の病的異常増殖に対しては全くよい適応となり, 脾臓, 骨髄を緩漫に継続的に照射することになる。私達³³⁾は先に本邦最初の治療例を報告したが(19, 20図参照) X線で余り効果の得られなかつたものに試み著効を得ることがで

第19図 ^{32}P 治療による真性赤血球增多症患者の血球推移

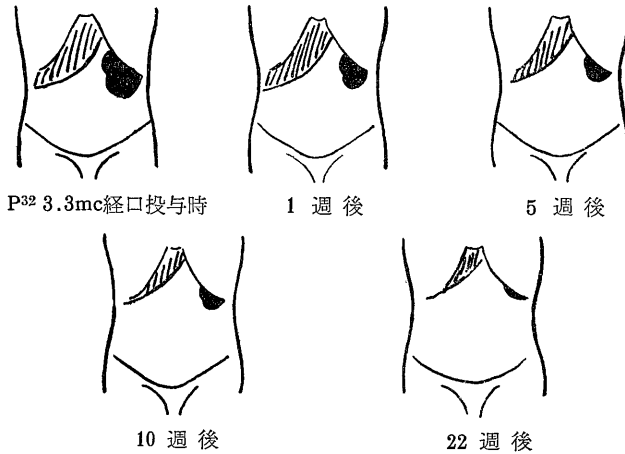
きた。

詳細は論文を参照されたいが, 大体1回3~6mc程度を静注又は経口投与すると, 1~3ヵ月後極めて良好な結果を得ることができる。

2) 白血病

真性赤血球增多症と同じく ^{32}P は慢性白血病にも使用される。投与量, 投与方式は学者により各様であるが, Lawrence³⁴⁾によると1回1~2mcを1週1~2回の割で投与すると4~8週間で寛解が得られるという。一般に淋巴性よりも骨髄性のものに対し成績が良

第20図 ^{32}P 治療による真性赤血球增多症
患者の肝, 脾の変化



いようである。私達³⁵⁾も慢性骨髓性白血病2例, 慢性淋巴性白血病1例の治療寛解剤を有しているが, 1例亜急性骨髓性白血病に ^{32}P を試用したが無効であった。やはり亜急性, 急性のものにはX線同様無効であると考えるのが妥当であろう。その他, 多発性骨髄腫, 淋巴肉芽腫症にも有効な場合があるが省略する。

3) ラジオコロイド療法

Jones et al.³⁶⁾が始めた方法でコロイド状磷酸クローム $\text{Cr } ^{32}\text{PO}_4$ の形で癌性肋膜炎, 腹膜炎の際, 肋膜腔, 腹腔内に 5~20mc 程度を注入する。この場合化学的性質よりむしろ粒子として注入箇所に限局性に長く留まることを期待するので, コロイド粒子の化学的, 物理的安定性, 粒子の大きさ及び均一性, β 線, γ 線のエネルギー, 物理的半減期等が問題となり, $\text{Cr}^{32}\text{PO}_4$ の他, ^{198}Au , ^{90}Y との利害得失が種々論議さ

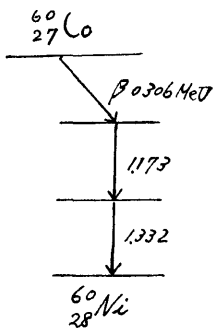
れるが, 今後は ^{177}Lu colloid の方が使いよく普及するかも知れない。

4) β 線による外面照射療法

表在性の皮膚疾患, 例えば血管腫 (単純性血管腫, 余り厚くない海綿状血管腫) 色素性母斑, 薄層の皮膚癌等に有効である。本法を初めて行つたのは Low-Beer³⁷⁾ で, ^{32}P 溶液の適量を濾紙に浸ませ乾燥させたものを患部の形に切つて貼布する。10~20 $\mu\text{c}/\text{cm}^2$ 位のものが使用しやすい。従来のラジウム療法, X線療法と異り, 発育期の幼児に行つても, 後に骨の発育障害等を残さない点が特長である (^{32}P β 線は皮下数 mm しか作用しないため)。私達もかつて本法を行つていたが実施上の便宜のため最近では専ら ^{90}Sr β 線治療器を使用している (後述)。

V. 放射性コバルト ^{60}Co

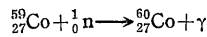
第21図 ^{60}Co の崩壊形式



人工的に作られる放射性コバルトは全部で10種ある。 ^{54}Co , ^{55}Co , ^{56}Co , ^{57}Co , 2種の ^{58}Co , 2種の ^{60}Co , ^{61}Co 及び ^{62}Co で2種の ^{60}Co は核異性体となつており, それぞれ半減期 10.5 分及び5.2 年である。

このうち臨床医学に多量に使われている ^{60}Co

は原子炉中で ^{59}Co に中性子が捕獲されて生ずる。



ごく一小部分が半減期 10.5 分の異性体となるが, 大部分は半減期 5.2 年で最大エネルギー 0.306 MeV の β 線と 1.173 及び 1.332 MeV の二つの γ 線を放出して ^{60}Ni となる。

A. コバルト60小量線源 Small source

従来のラジウムセル又は針の代用として体腔, 皮膚, 腫瘍内照射などに使用する。元來代用品というものは本物を凌ぐものはないのが普通であるが, ^{60}Co の場合は半減期が短いということを除けば, ラジウムよ

りむしろ凡ゆる点で遙かに優れている。

^{60}Co の特長 (ラジウムとの比較)

1) γ 線のエネルギーがラジウムでは 0.2~2.2 MeV の混合波長で主なものは 0.6 MeV であるのに、 ^{60}Co では 1.173 及び 1.332 MeV の 2 種のみで、実用的には平均 1.2 MeV の単色波長の γ 線よりなるものと見てよく、所謂均等照射が行い得て、治療効果があり、副作用も少ない。しかも ^{60}Co から同じ mc 数のラジウムより 1.6 倍の γ 線量が放射される。

2) ^{60}Co の β 線は弱いのでラジウムの如く白金容器を必要とせず、不酸化鉄などの安価な軽い容器でよい。

3) 任意の形と強さのものを作ることができるので使用範囲が極めて広い。例えば天然の ^{60}Co で Tube, Needle, 平板, 円板, ビーズ, 小球等を作り、原子炉に入れると任意の強さの ^{60}Co を作ることができる。

4) ラジウムにおけるラドンの如く、放射性ガスが出たり、洩れたりする心配がない。又一般に水に溶けることもないから体内沈着の危険性もない。塩化コバルトの如く可溶性の場合、誤って体内に入取れられても速かに排泄されるから殆んど心配ない。

5) ラジウムに比し遙かに大量に生産され、安価である。ラジウム 1mg 8000 円に対し、 ^{60}Co 1mc Tube 2500 円, 10mc Tube 8000 円, 20mc 10,000 円, 大きな線源 multicurie Source になると 1Curie につき 3000~4000 円 (これに相当するラジウム 1.6gr だと実に 1280 万円となる計算) という安価であるため、一般に広く普及しつつある。

6) ただしかし ^{60}Co の半減期は 5.2 年 (ラジウムは 1580 年で殆んど不変) であるので、崩壊による減衰を考慮しながら使用せねばならぬ。大体 1 月 1% と考えればよい。適当な時期に新しいものと交換するか、或いは補えばよい。

a. 管と針 Tebus and needles

^{60}Co 管は 10~20mc (有効放射能長さ 1.5~2cm) のものが手頃で、組織内照射用の ^{60}Co 針としては過去の治療経験上優れている 1mg のラジウム標準針 low intensity needles に相当する放射線強度を持つように 0.7~1mc (長さ 1.5cm) のものが愛用されている。使用法は従来のラジウム管、針と全く同様であるが、前述の如く ^{60}Co の方がラジウムより 1.6 倍 γ 線量が強いので ^{60}Co 1mch = Ra1.6mgh として治療量を出すか、或いは r 単位で線量を計算する必要がある。

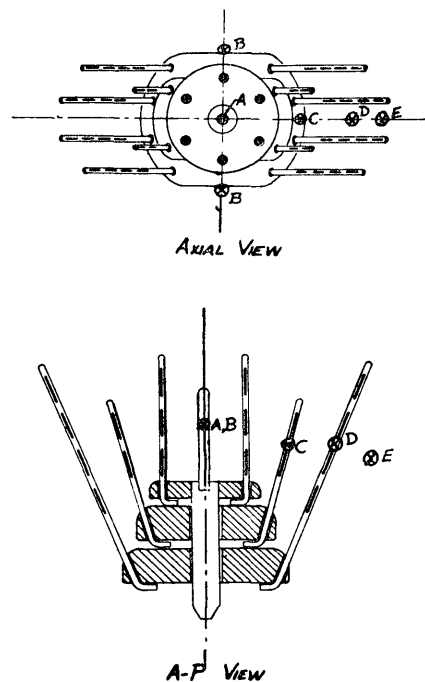
宮川³⁸⁾等は ^{60}Co より半減期の長い (37年) ^{137}Cs

を用いラジウム 1mg 針に相当する 2mc ^{137}Cs 針を試作し使用しているがこの目的には ^{60}Co より ^{137}Cs の方が使い良いであろう。最近山下等を中心とし日本放射線同位元素協会では ^{137}Cs 針を大規模に製作する動きがあるので今後の進展に期待したい。

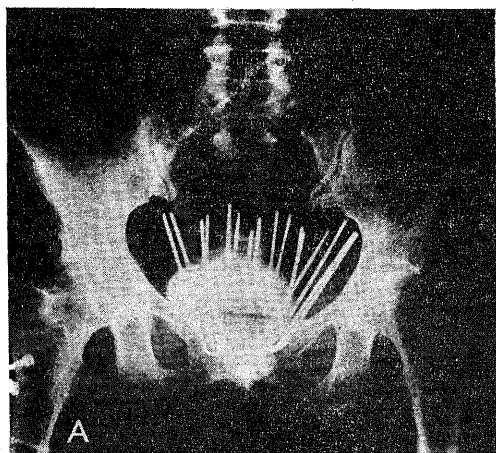
b. ワイヤとセル Wire and cell

Morton 等^{39) 40)} はコバニック (Cobanic, コバルト 45% とニッケル 55% の合金) を直径 0.5mm の線とし、Pile 中で 1mc/cm 程度に放射化し、それを長さ 1cm (wire) 又は 3mm (cell) 位に切断し、24ゲージのアルミ線の然るべき長さのものと交互に並べナイロン管やアルミニウム管に封入して、腫瘍内、組織内に刺入したり、縫い込んだりしている (第22, 23, 24図参照)。これらの管の内径は 0.76mm, 外径 1.27mm 程度のものである。アルミ管の場合は、使用後 5% NaOH 液に浸すと、アルミは溶解してしまうが、 ^{60}Co は少しも浸されず回収できる。又ナイロン管は透明なので使用後取り出すことは簡単であるという。この方法は非常に進歩的ではあるが、使用の都度ワイヤー、セルの詰め換えをせねばならず、特殊の操作台と技術者を必要とするため、一般に普及し難い。

第22図 ^{60}Co 等を封入せるアルミニウム管を固定するプラスチック台³⁹⁾

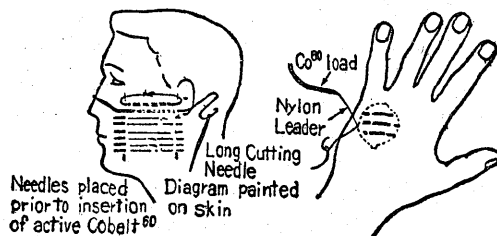


第23図 子宮癌に応用³⁹⁾



Becker 等⁴¹⁾は膠様物質からなる中空糸に半減期の短い $Fe^{32}PO_4$ の粉末結晶を詰め込み、組織に縫い込んでいるが、 ^{32}P が減衰した頃に糸自体も体内で吸収されてしまうので治療後取り去る手数が省け大変気の効いた方法であり、製品として発売されるようになれ

第24図 ナイロン管に封入せる Co^{60} を組織内に挿入する。外科用の曲針又は直針を用う。(Morton 等による⁴⁰⁾)
Cobalt carried in thinn nylon tubing

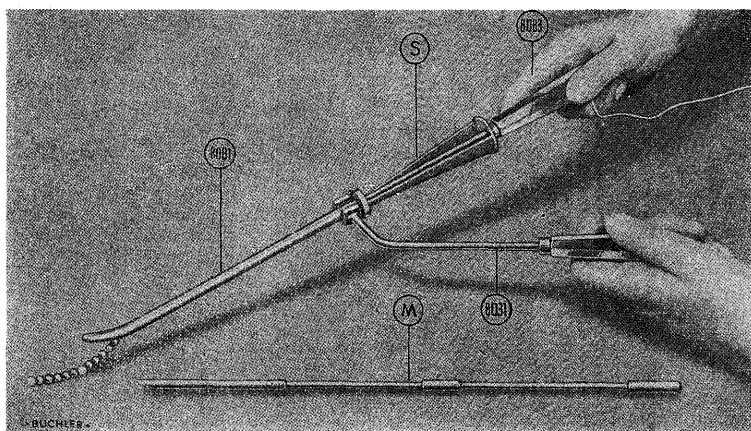


ば広く普及するであろう。

c. ビーズと小球 Bebas and pellets

コバルトは又珠数玉 (Beads) 状に作ることができる。特殊の取扱用具を使用し (第 25 図参照), ビーズを連珠状に連ねて, 食道癌, 胃噴門部癌, 気管支癌等の患者の患部に挿入することができる (第26, 27図参照). 私達の教室でも最近 1 個 5mc のビーズ 5 個を入手し, 適応症患者の紹介を待っている。

第25図 Introducer for the urinary bladder : introduction tube 8081, scoop S, ram 8083 and holder 8031. The bead chain has just been expelled by the ram 8083. Below : mandrel M.



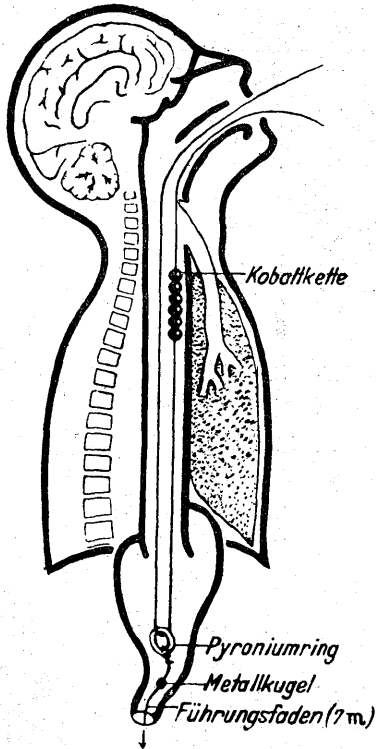
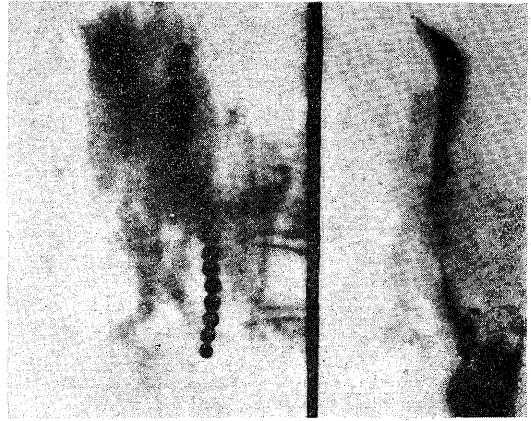
更に Becker 等⁴³⁾はコバルトの粉末をプラスチックで固めて直径 2mm の小球とし, Plastobalt と呼んでいる (第28図). 水と比重を等しくなるように作り, 均等な浮游液として, 膀胱や胃, 直腸の中などに予め入れた Rubber Balloon (胃の場合は腹壁に瘻孔を作り Balloon を入れる) の中へ注入する (第29図). なお患者の外部から強力な磁力を作用せしめて, ^{60}Co

を目的部位に集めて治療効果を挙げる方法も行われている。

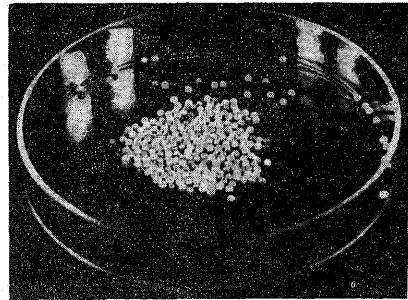
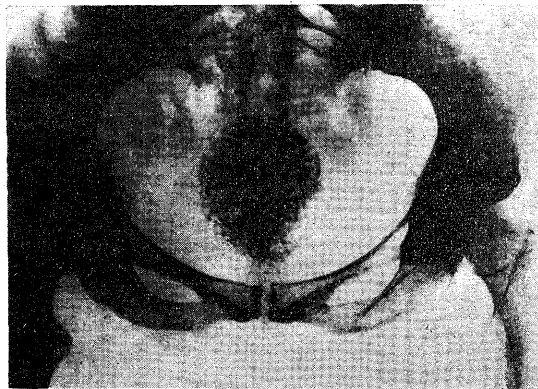
又粘土等でねつて軟膏状にしたものは上顎などの腔内に充填したり, 皮膚癌などの表面に均等に盛つたりすることもできる (第30, 31図).

d. 塩化コバルト溶液

膀胱癌等の場合 Plastobalt 浮游液と同様にして使

第26図 ^{60}Co ビーズ挿入状況⁴²⁾第27図 食道癌患者に ^{60}Co ビーズ挿入⁴²⁾

第28図 プラストバルト

第29図 プラストバルトによる膀胱癌の治療⁴³⁾

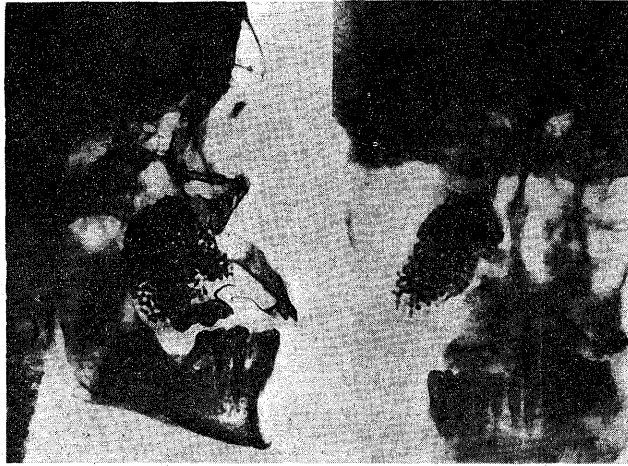
用される (第32図)⁴⁵⁾

以上でコバルト60小量線源の説明を終るが、塩化コバルト溶液は勿論のこと、ビーズや小球ワイヤー等固形のものといえども放射能汚染に充分注意して使用する必要がある。

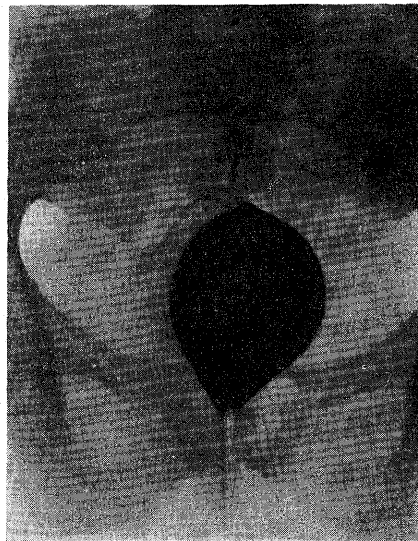
B. コバルト60大量線源 Multicurie Source

原子炉によつて大量の ^{60}Co が生産されるようになって、コバルト60による大量遠隔照射療法 Cabalt 60 Multicurie Teletherapy が著しい勢いで普及しつつあり、ここ数年の間に大学病院は勿論のこと、個人経営の病院に至るまで広く備え付けられるに至つたことはまさに驚くべきことである。

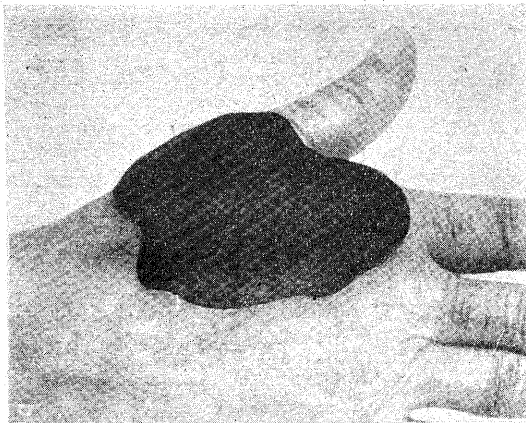
第30図 プラストバルトによる上顎癌の治療⁴⁴⁾



第32図 塩化コバルト60溶液
の膀胱内注入⁴⁵⁾



第31図 プラストバルトによる
皮膚癌の治療⁴⁴⁾



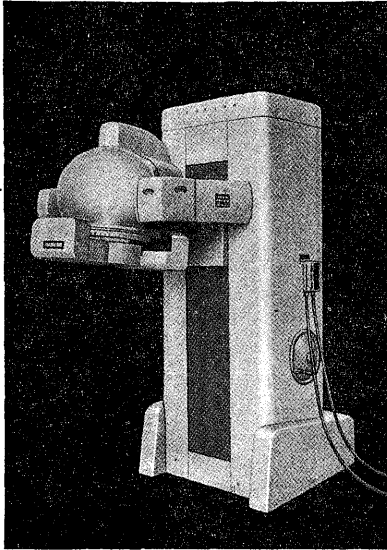
治療装置のうち ^{60}Co 線源を収容する容器としては要するに治療時間中即ち“on”の場合のみ定められた照射野に照射が行われ“off”の位置では完全に遮蔽されて γ 線漏洩の全くないものが理想である。しかし γ 線を容器で完全に遮蔽することは不可能で、新しく改正された医療施行規則に定められた規格以上の鉛当量を有する容器であれば使用して差し支えない。“off”の状態で線源から1mの距離で12.5mr/h(1週間24時間被曝を許される線量)以下の線量率となるように

決められているが、できればもつと安全にすることが望ましい。

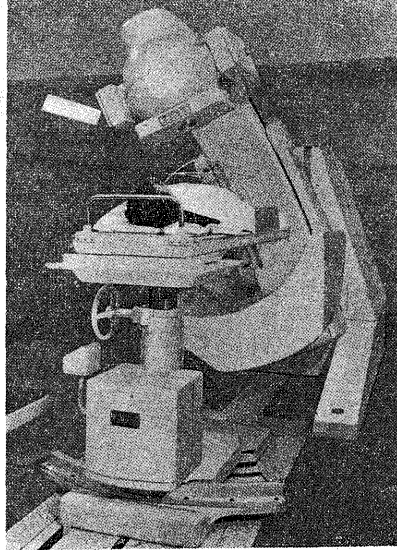
容器の多くは鉛が使用されているが、体積と重量を少なくするために、タングステンやウラニウムも使用される。タングステン90%、銅及びニッケルが各々5%に混じた合金を **Heavy Metal** と呼び、これを用いれば非常に小じんまりとした装置にすることができる⁴⁶⁾。我が国でも最近住友電工でヘビイメタルを製造し始めたが、鉛より約1.4倍の γ 線遮蔽効果があり

第33図 コバルト60治療装置

固定照射型 (東芝 RI-103C 型)



回転照射型 (東芝 RI107 型)



容器重量を 1/3 に減らすことができるといわれる。又シカゴのアルゴンヌ癌研究所などではウラニウム製の Kilocurie 装置で軽量化して廻転照射が行えるようになったものがある。

現在医療用として輸入されている ^{60}Co 線源の形状には Cointype (10mmφ×2mm) と Wafertype (20mmφ×1mm) の2種があるが、最近では線源の自己吸収等の問題で次第に Wafertype のものを使用する

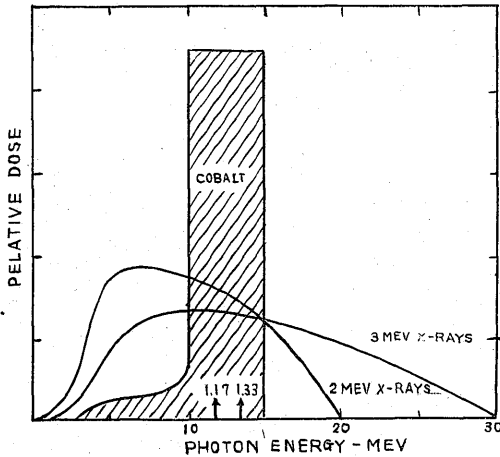
傾向にある。1枚 100C 程度のものを数枚重ねて所定のカプセル内に入れ ^{60}Co 治療容器に格納して使用する。

^{60}Co 大量遠隔照射が X 線深部治療より優れる点

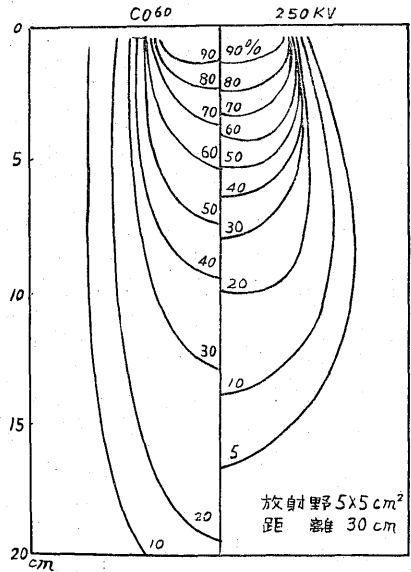
1) 深部病巣に到達する線量が多い。

^{60}Co γ線エネルギーは 1.178 及び 1.132 MeV で、第34図から判るように凡そ 200 乃至 300 万ボルト X 線

第34図 ^{60}Co γ線及び200万, 300万ボルト X 線のエネルギー分布 (Burkell et al 47)



第35図 深部等線量曲線 (入江等 48)



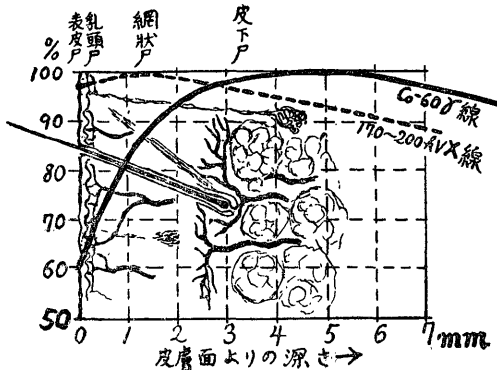
の有効波長に相当する。

従つて現在一般に普及している20~25万ボルト程度のX線深部治療と比較すると遙かに深部百分率が大きく、病巣に多量の放射線が到達する。

2) 皮膚の障害が少ない

皮膚の中で放射線感受性の最も大きいものは表皮の胚腫層であるが、第36図に示す如く⁶⁰Co γ線のよう比較的的光量子エネルギーの大なるものでは線量の最

第36図 皮膚一皮下組織における線量分布 (宮川他⁴⁹⁾)



Co 60 γ線の場合、皮膚面における線量 (電離~吸収エネルギー)の割合は実際はこの曲線の示す値(約62%)より遙かに少ない。

高部が皮下数 mm のところで、表皮の線量は比較的少ない。それで皮膚障害は非常に軽減されるわけである。又例えば皮膚に同一線量が吸収されたとしても反応が弱いと考えられる (R. B. E. が小さい) 理由もある。例えば Threshold Erythema Dose は吸収線量で表わしても 1MeVX線は 200KVX線の1.5倍位である⁵⁰。

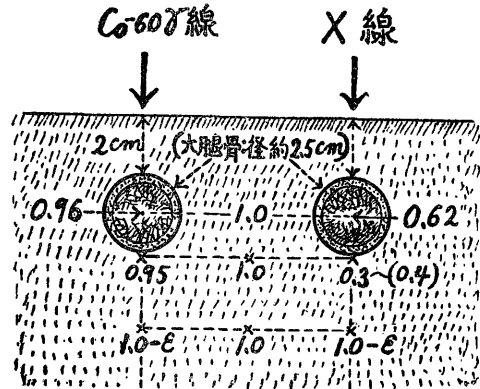
以上のような理由で従来のX線深部治療 (200KV)の場合単純分割照射を行い (1回量 150~200r 毎日) 総入射線量 3000~3500r 位になると皮膚糜爛の傾向が生じてくるが⁶⁰Co γ線の場合総入射線量 7000~10000r 位まで楽に照射できる。

3) 骨の陰になる部分も均等に照射できる

⁶⁰Co γ線では単位質量当りの吸収は骨も筋肉も差が

殆んどない。従つて骨を透して照射しなければならぬ臓器の腫瘍を照射する場合、X線深部治療よりも著しく有利である。(上顎癌、肺臓癌等)。

第37図 骨組織による影響 (宮川他⁴⁹⁾)



数値は骨のない部位の同じ深さの線量を 1.0 としたときの線量比である骨中央の値はフィルム黒化法による、他は電離槽

以上の諸点より病巣部に大線量を照射できるので、治療成績の向上を見ているが、更に

4) 装置が安定している。

深部X線発生装置における如き故障の心配が少ない。又X線の場合には管電圧と管電流の変動によつて線量に5%から15%の誤差を生ずる⁵¹。

一方欠点として治療容器からの漏洩線、治療室の壁厚、⁶⁰Coの半減期の問題、更に最近では⁶⁰Co線源の大きさに基く半影の問題が論ぜられて来てはいるが、何れも末梢的な論議で技術的に今後充分解決可能の事柄であるので、深入りしないでおう。

なお同様目的に使用されるものに¹³⁷Csがある。¹³⁷Csは半減期長く(30年)、又γ線に対する防禦が比較的容易であるので注目の的となつてはいるが、線源の大きさのため数百キュリー以上の治療装置を考えると不利のようである。その他¹⁵²Eu、¹⁵⁴Eu、¹⁴⁴Ce、¹⁹²Irがあるが今後の研究を要する。

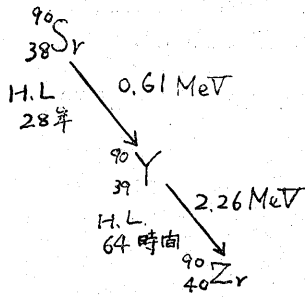
VI. 放射性ストロンチウム ⁹⁰Sr, ⁸⁹Sr

放射性ストロンチウムには⁸¹Srより⁹⁴Srまで12種あるが、その中実際に使用されているものは⁹⁰Sr及び⁸⁹Srだけである。⁸⁹Srは半減期 50.5日 で 1.463 MeV のβ線を出す。又SrはCaの同族元素であり

Caと類似の代謝を行い、osteoplasticな腫瘍によく集まるので、⁸⁹SrがEwing肉腫の診断と治療に試みられている⁵²が今後の研究に俟たねばならない。

一方⁹⁰Srは核分裂の際多量に生じ、¹³⁷Csと共に死

第38図 ^{90}Sr の崩壊形式



の灰の中最も怖るべきものとされ、到底内用して診断・治療面に利用することは不可能であるが、密閉容器に入れて使用するか、 ^{90}Y のみ分離して使うと ^{90}Sr の半減期が長いだけ、色々使い良い面が出て来る。

1) β 線外面照射療法

^{90}Sr は ^{32}P の項に述べたと同様の方法で濾紙に吸着させ皮膚に貼布することができるが、万一の汚染、体内摂取を考慮すると、やはりしつかりした密閉容器の形で使用するに越したことはない。私達が現在使用しているものは東芝製と、英国アマーシャム製で、主として血管腫に使用しているが、眼科方面にも適応症が多い（白内障を起す危険なく、放射線治療を行い得る点が特長）。眼科用として shell 状の第40図に示すようなものが製作され⁵³⁾、結膜内に入れて使用される。本学眼科教室にも1個が輸入されている。適応は手術後翼状贅片、角膜潰瘍 (Moore)、血管新生を伴う角膜疾患、悪性メラノーム等である。

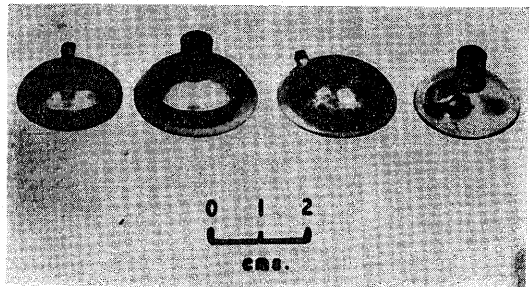
2) β 線励起 X 線によるラジオグラフィー

私達⁵⁴⁾ は ^{90}Sr β 線照射器から発生する X 線 (β 線

第39図 血管腫患者治療中の状況



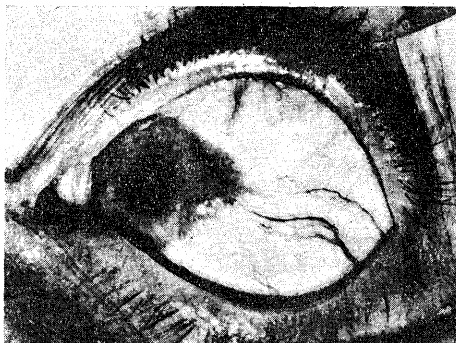
第40図 眼疾治療用 ^{90}Sr アプリケーター⁵³⁾



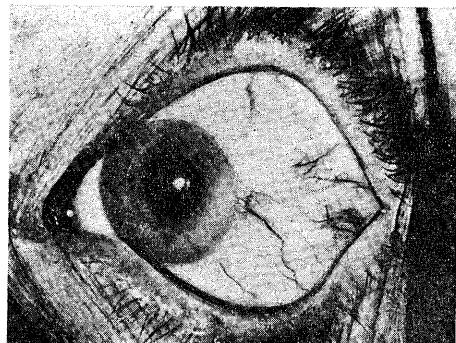
励起 X 線) を使用し標本人手骨、猿頭蓋骨の撮影に成功したが (第42, 43図参照)、なお更に β 線励起 X 線撮影装置の試作に着手せんとしている。本装置の利点

第 4 1 図

(A) 悪性メラノーム治療前



(B) 治療 3 年後



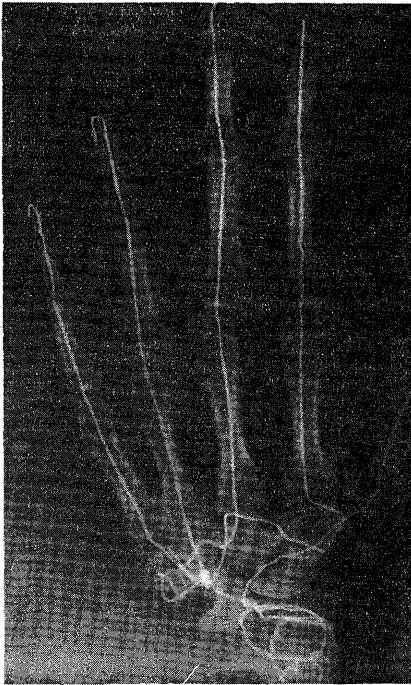
として高電圧発生装置を必要としないこと、従つてどんな所へも携帯可能であり、又従来の X 線装置では行い得なかつたような特殊撮影にも利用される可能性のあること、装置の寿命は殆んど半永久的である点等が

挙げられるが、今後開発されるべき分野であると信じている。

3) ^{90}Y の分離利用

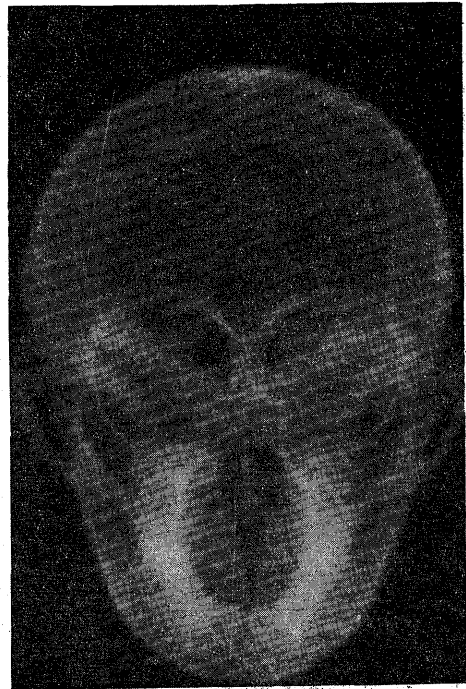
^{90}Sr をイオン交換樹脂層に吸着させておくと、pH

第42図 β線励起X線による
標本人手骨の撮影



3~3.5% クエン酸アンモニウム溶液で半永久的に⁹⁰Yが反覆採取できる。⁹⁰YClはコロイド状となるので、^{Cr³²Po₄}と同様に癌性肋、腹膜炎に注入したり、

第43図 β線励起X線による
標本台湾猿頭蓋骨の撮影

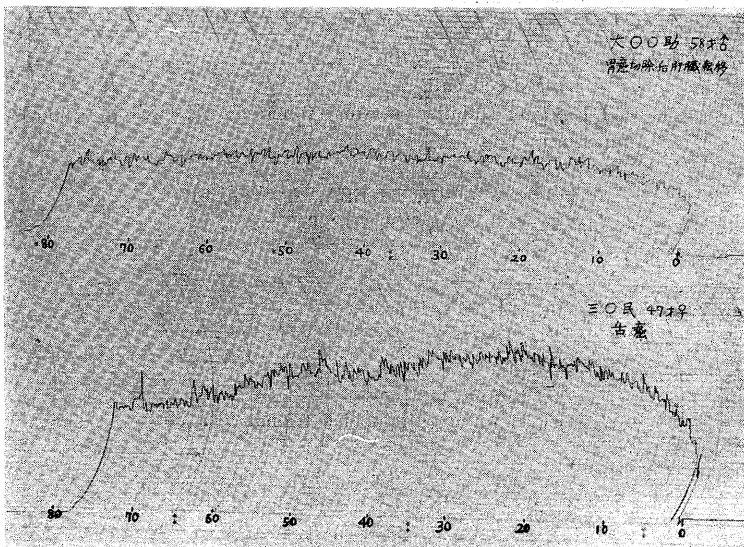


β線外面照射療法に使用することができる。我が国では宮川等⁵⁵⁾の研究がある。

VII. 標識化合物 Labeled compound

アイソトープで標識した化合物として診断上利用されるものは、適当なγ線を出し測定しやすいという

第44図 ¹³¹I-Rose-Bengal による肝機能検査 (久田他⁵³⁾)
上は肝機能障害 (胃癌切除後肝臓転移) 下は肝機能正常を示している。



点、及び合成しやすいという点、半減期 8 日で危険性少なく適当であるという諸点から ^{131}I 標識化合物が圧倒的に多い。紙面の都合上詳細は略すが、 ^{131}I -Diodrast は腎機能検査に、 ^{131}I -Dijodfluorescein は脳腫瘍の診断に、又既に私共が行っているものには、 ^{131}I -入血清アルブミンを用いた循環血液量、血液

循環時間の測定、Radiocardiography 等があり、更に最近私達は第一製薬に ^{131}I -Rose-Bengal を試作して貰って肝機能検査を行つた（第44図参照）が、将来 Scintiscanner が備え付けられれば一段と広範囲の診断分野が拓けてくることであろう。

Ⅷ. 臨床医学に用いられる主なるアイソトープの種類と応用領域

東海村の原子炉 JRR-1 で既に短寿命のアイソトープが作られ始め、明年国産第一号原子炉が稼動し本格的なアイソトープ生産が開始されると、現在半減期、費用等の点で悩んでいる様々のアイソトープも使用可能となる。更に製薬会社が標識化合物の製造研究に力を入れ出したことは誠に喜ばしいことで、放射能機器メーカーの熱心な製作意欲と相俟ち、新しい応用領

域が次々に開発されて行くに違いない。

現在既に臨床に使われるアイソトープの種類はかなり多く、将来の可能性まで入れると限られた紙面では一々述べることは到底望み得べくもない。ここに一括して第 9 表を掲げ、詳細は最後に記す単行書並びに文献を参照されたい。

第 9 表 臨床医学アイソトープの種類と応用領域

— 診 断 —	
A. 組織選択性を利用するもの	
1.	甲状腺疾患の診断—— ^{131}I , ^{130}I , ^{132}I
2.	腫瘍の診断
(i)	乳癌、胃癌、食道癌、子宮癌、睾丸腫瘍、眼窩内腫瘍等—— ^{32}P , ^{42}K , ^{86}Rb
(ii)	肝臓腫瘍—— ^{131}I -Rose-bengal, ^{131}I -Di-iodo-fluorescein (^{131}I -DIF) ^{131}I -Human Serum Albumin (^{131}I -HSA)
(iii)	脳腫瘍—— ^{131}I -DIF, ^{131}I -HSA, ^{74}As , ^{32}P , ^{42}K , ^{86}Rb , ^{206}Bi , ^{131}I -Tetra-iodofluorescein, ^{131}I -Di-aromo-fluorescein
(iv)	骨及び軟骨腫瘍—— ^{32}P , ^{72}Ga , ^{89}Sr
3.	血液疾患の診断
(i)	赤血球寿命の測定—— ^{51}Cr
(ii)	ヘモグロビン合成能の測定—— ^{59}Fe
(iii)	悪性貧血の診断—— ^{60}Co -VitaminB ₁₂
4.	肝臓機能検査—— ^{131}I -Rose-bengal, ^{131}I -DIF
5.	脾臓機能検査—— ^{51}Cr -labeled red cell
6.	腎臓機能検査—— ^{131}I -Diodrast (tubular secretory function) ^{131}I -Urokon (glomerular function) ^{203}Hg -水銀利尿剤
B. 稀釈法の原理によるもの	
1.	循環血液、血球、血漿量の測定—— ^{51}Cr , ^{131}I -HSA, ^{32}P , ^{59}Fe , ^{42}K
2.	体液量の測定—— ^{24}Na , ^{42}K , ^{86}Rb , ^{36}Cl , ^{38}Cl , ^2D , ^3T
3.	Radiocardiography—— ^{24}Na , ^{131}I -HSA, ^{131}I
4.	末梢循環の診断
(i)	flow-rate—— ^{24}Na , ^{32}P , ^{131}I -HSA, ^{131}I
(ii)	local clearance—— ^{24}Na , ^{131}I
5.	腹水量の測定—— ^{131}I -HSA
C. トレーサーとして	
1.	膵臓機能検査—— ^{131}I -labeled protein, ^{131}I -labeled triolein
2.	出血量の測定 胃腸管出血、月経血、手術出血—— ^{59}Fe , ^{51}Cr
3.	脳脊髄液——血液イオン透過性—— ^{24}Na

4. 肺呼吸機能検査——放射性ガス (^{41}A , ^{79}Kr , ^{81}Kr , ^{127}Xe , ^{133}Xe , ^{13}N , ^{220}Rn , ^{222}Rn , etc)
- D. 撮影用線源として
1. γ 線による
 ^{170}Tm , ^{133}Xe , ^{241}Am , ^{243}Am , ^{242}Cm , ^{155}Eu , ^{134}Cs , ^{144}Ce
 2. β 線励起 X 線による
 ^{90}Sr — ^{90}Y
——治療——
- A. 組織選択性を利用するもの
1. 甲状腺疾患—— ^{131}I , ^{130}I , ^{211}At
(^{131}I は狭心症, 鬱血性心不全, 肺不全, パーキンソニズム, 間歇性跛行にも用いられる.)
 2. 造血臓器疾患—— ^{32}P , ^{24}Na , ^{74}As
 3. 骨形成腫瘍—— ^{89}Sr , ^{72}Ga
- B. 放射性コロイド療法
癌性肋膜炎, 限局性腫瘍, 造血臓器疾患——
—— ^{198}Au , $\text{Cr}^{32}\text{PO}_4$, ^{90}Y , ^{177}Lu , ^{206}Bi , ^{52}Mn , ^{111}Ag , ^{140}La , ^{163}Ho
- C. 組織内照射療法
Ra 針の代用として ^{60}Co , ^{182}Ta , ^{198}Au , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{90}Y , ^{32}P , ^{131}I
- D. 体腔内照射療法
膀胱, 食道, 胃, 子宮等の悪性腫瘍—— ^{60}Co , ^{24}Na , ^{82}Br
- E. 表在治療
 β 線による—— ^{90}Sr , ^{32}P , ^{90}Y , ^{89}Sr , ^{144}Ce
 γ 線による—— ^{60}Co , ^{182}Ta , ^{192}Ir
- F. 深部治療
 ^{60}Co , ^{187}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{192}Tr , ^{182}Ta , ^{144}Ce
- G. 中性子捕獲療法—— ^{10}B +医療用原子炉

IX. む す び

既に予定の紙面をかなり超過してしまつたが随分舌
足らずの説明が眼につく。詳細な事項は文献, 単行書
を参照して頂くより仕様が無いが, 何れもつと具体的
な広範囲の展望をする機会もあろうかと思う。

今世紀も後半に入り科学技術の進歩には驚嘆すべき
ものがあるが, アイソトープの医学的利用も着実に発
展の一途を辿ると信じてよい。

とはいえ明るい前途を手放して樂觀してもらえな
い。限られた紙面故敢えて触れることを差控えたが,

マイナス面としての放射線障害の可能性を常にはら
んでいるので, 当事者の慎重な取扱いは勿論のことでは
あるが, 設備, 施設の面で特別の考慮が払われなけれ
ばならない。この点当局の方々の深い御理解と暖かい
御援助をお願いし筆をおくことにしよう。

稿を終るに当たり, 恩師平松教授の御指導御鞭撻を感謝すると共
に, 浅学非才の私に発表の機会をお与え下さいました十全会雑誌
委員倉知, 石崎, 井上, 高瀬教授に深謝致します。

主な参考書籍

比較的新しい代表的なもののみをあげる。

1) **Beierwaltes, W. H., et al.** : Clinical Use of Radioisotopes (W. B. Saunders Co.) Philadelphia 1957.
2) **Hahn, P. H. ed.** : Therapeutic Use of Artificial Radioisotopes (John Wiley and Sons, Inc.) New York 1956.
3) **Fields, T. & Seed, L. ed.** : Clinical Use of Radioisotopes, A Manual of Technique (Year

Book Pub. Inc.) Chicago 1957. 4)
Hahn, P. H. ed. : A Manual of artificial Radioisotope Therapy (Academic Press Inc.) New York 1951.
5) **Andrews, G. A. et al. ed.** : Radioisotopes in Medicine U. S. AEC 1953.
6) **Schwiegk, R. H. ed.** : Künstliche Radioaktive Isotope in Physiologie Diagnostik und Therapie (Springer

Verlag) Berlin 1953. 7) **Fellinger, K. et al.** : Radioaktive Isotope in Klinik und Forschung (Urban & Schwarzenberg) Berlin 1955. 8) **Fellinger, K. et al.** : *ibid.* II. 1956. 9) **Hiller-Jakob** : Die Radioisotope (Urban & Schwarzenberg) Berlin 1952. 10) **山下久雄**編 : アイソトープの医学応用技術 (地人書館) 1956. 11) 医学シンポジウム

第12輯, 放射性アイソトープ (診断と治療社) 1956. 12) **アイソトープ実験技術**, 科学の領域, 増刊 (南江堂) 17号 1955, 24号 1956, 26号 1957. 13) **永井輝夫** : ラジオアイソトープと臨床 (医学書院) 1958. 14) **木村健二郎**編 : 放射線データブック (地人書館) 1958.

参 考 文 献

文献はなるべく必要最少限度に止めたので, 書籍及び以下の文献より更に拾って頂ければ幸いです.

- 1) **Sweet, W. H. et al.** : Radioisotopes in Medicine, Andrews, G. A., Brucer, M. & Anderson, E. B. ed., United States A. E. C. Chapter 15, p 211 (1953). 2) **算** : Radioisotopes 7 (1) : 1 (1958). 3) **久田他** : 金沢医理学叢書 44 : 153 (1956). 4) **久田他** : 臨床放射線に寄稿予定. 5) **Chaikoff, I. L. et al.** : Endocrinology 40 : 47 (1947). 6) **Jaimet, C. H. et al.** : Canad. Med. Assoc. J. 74 : 865 (1956). 7) **Stein, J. A. et al.** : J. Lab. & Clin. Med. 49 : 842 (1957). 8) **Allen, H. C.** : Radioisotopes in Medicine, Andrews, G. A. et al, ed., United States A. E. C. Chapter 19, p 249 (1953). 9) **久田他** : 金沢医理学叢書に寄稿予定. 10) **Dobyns, B. M.** : Surg., Gynec. & Obst., 80 : 526 (1945). 11) **Chapmann, E. M. et al.** : J. Clin. Endocrinol. 8 : 717 (1948). 12) **Hobges, R. E. et al.** : J. Clin. Endocrinol. & Meta. 15 : 661 (1955). 13) **Nurnberger, C. E. et al.** : J. A. M. A. 150 : 1398 (1952). 14) **Goldberg, R. C. et al.** : Arch. Path. 53 : 22 (1952). 15) **Gorbman, A.** : Proc. Soc. Expl. Biol. 71 : 237 (1947). 16) **Bloom, P. S. et al.** : Brit. J. Radiol. 28 : 165 (1955). 17) **Pochin, N. B. et al.** : Brit. J. Radiol. 29 : 31 (1956). 18) **Abbatt, J. D. et al.** : Lancet 1 : 782 (1956). 19) **Werner, S. C. et al.** : J. A. M. A. (日本版) 27 (5) : 372 (1958). 20) **A. E. C.** : Sponsored Conference on 10 years of ^{131}I Therapy, Argonne Hospital and University of Chicago, nov. 89, 1956. 21) **Fitzgerald, R. J. et al.** : J. Clin. Endocrinol. 9 : 1153 (1949). 22) **Wollman, S. H.** : J. Nat. Cancer. Inst. 13 : 815 (1953). 23) **Clarke, D. E.** : Radioisotopes in Medicine, Andrews, G. A., Brucer, M. & Anderson, E. B. ed., United States A. E. C. Chapter 25, p. 345 (1953). 24) **Pochin, E. E.** : Therapeutic Use of Artificial Radioisotopes, Hahn, P. F. ed., John Wiley & Sons, Inc., New York Chapter 10, p. 188 (1956). 25) **Sturgeon, C. T. et al.** : J. Clin. Endocrinol. 13 : 1391 (1953). 26) **Beierwaltes, W. H. et al.** : Clinical Use of Radioisotopes, W. B. Saunders Co., Philadelphia p 121, 242 (1957). 27) **久田** : 金沢医理学叢書 37 : 167 (1956). 28) **Low-Beer** : Radiol. 47 : 492 (1946), Science, 104 : 339 (1946). 29) **久田他** : Radioisotopes 6 (1) : 40 (1957). 30) **Mehl, H.-G.** : Isotopen 1 (1) : 54 (1956). 31) **Krohmer et al.** : Radiology, 61 : 916 (1953). 32) **Terner et al.** : A. M. A. Arch. Ophthalm., 55 : 52 (1956). 33) **新田・久田** : 金沢医理学叢書 33 : 183 (1956). 34) **Lawrence, J. H. et al.** : J. A. M. A. 136 : 672 (1948). 35) **久田他** : 金沢医理学叢書 46 : 194 (1958). 36) **Jones et al.** : Clin. Med. 23 : 783 (1944). 37) **Low-Beer et al.** : Radiology 39 : 573 (1942). 38) **宮川他** : 日医放

- 誌 15 : 690 (1955). 39) **Morton, J. L. et al.** : Am. J. Roentgenol. 65 (5) : 737 (1951). 40) **Morton, J. L. et al.** : Radiol. 56 : 553 (1951). 41) **Becker, J. et al.** : Strahlentherapie 101 (2) : 278 (1956). 42) **Becker, J. et al.** : Strahlentherapie 86 (4) : 540 (1952). 43) **Becker, J.** : Radioaktive Isotope in Klinik und Forschung, Fellingner, K & Vetter, H, ed., Urban & Schwarzenberg, München-Berlin p. 148 (1955). 44) **Becker, J.** : Strahlentherapie 85 (4) : 581 (1951). 45) **Bessler, W.** : Stralentherapie 91 (3) : 451 (1953). 46) **Grimmett et al.** : Radiol., 59 : 19 (1952). 47) **Burkell et al.** : Brit. J. Radiol., 27 : 171 (1954). 48) 入江他 : 最新医学 10 (10) : 2081 (1955). 49) 宮川他 : 日医放誌 14 (8) : 516 (1954). 50) **Focht, E. F.** : Radiology 63 : 637 (1954). 51) **Glasser, O., et al.** : Physical foundations of radiology p. 292 (1954). 52) **Pahaut, J. E., et al.** : Journal de Radiologie 37 (3-4) : 164 (1956). 53) **Lederman, M.** : Brit. J. Radiol. 29 (337) : 1 (1956). 54) 久田他 : Radioisotopes 7 (3) : 211 (1958). 55) 宮川他 : 日医放誌 15 : 1022 (1956). 56) 久田他 : 未発表.