

医用 ^{131}I 計測装置

Instrumentation for ^{131}I Use in Medical Studies^{*1}

Benedict Cassen^{*2}, *Lawrence Curtis*^{*2}, *Clifton Reed*^{*3}, *Raymond Libby*^{*4}. *Nucleonics* 9:46-50, 1951

1. 局在検出カウンタ

我々が開発した、生物系における放射性ヨウ素の局在決定用シンチレーションカウンタについては既に報告した^{*5}。さらに試験したところ、このカウンタの実際の内部感度は、報告したよりも大きいことが判明した。

特にタングステン酸カルシウム結晶と光電管の筐体の接着により良い接着剤 (Hyrax) を使用するなど、幾つかの改良を加えた。このカウンタは空間分解能 1/4 インチを有し、 1cm^2 当り放射性ヨウ素をわずか $0.2\mu\text{Ci}$ しか含まない領域の境界域でも容易に検出可能である。

$150\mu\text{Ci}$ を投与した患者の甲状腺を、かなりの精度で描出することができた^{*6} (この種のカウンタを使えば、リンパ節内の転移性甲状腺組織を、直ちに、正確に検出することが可能である)。この甲状腺描出法は煩雑であるが、光電管をラックにとりつけて直交する 2 方向に自由に動かせるようにすることで、大きく改善された。これは、鉛製ネジを小さな手動ハンドルで回転することにより移動させるものである。

この装置で得られた輪郭を、手術や剖検で得られた甲状腺の形状と比較したところ、驚異的に正確であった。この結果から、自動スキャナ・レコーダの開発が必要と考え、これを実際に作成して本稿の最後の部分に記載した。

2. ハンドヘルド局在検出カウンタ

甲状腺その他の組織の境界を迅速に決定し、患者の頸部に皮膚鉛筆でマーキングするための、ハンドヘルドカウンタを開発した。これは各ポイントを個別に計測するスキャン法ほど正確ではないが、ずっと簡便で臨

床の場で機能異常、転移などを迅速に同定、鑑別することができる。

図 1 にこのカウンタを示す。RCA7151 光電子増倍管を使用し、シンチレータは透明なタングステン酸カルシウムのロッドである。シンチレーションは、光電管の表面に Hyrax で接着した円錐状の Lucite 製導光管で受光面に誘導される。

局在検出効果を鮮鋭化するために、タングステン酸カルシウム結晶のロッドを充分な厚さ、深さの鉛環で囲い、外部から小さな角度で進入する放射線の大部分が結晶に入射しないように防護する必要がある。また光電管をミューメタル [訳注: μ -metal. ニッケルと鉄の合金] で囲い、地磁気や迷入磁気のカウントへの影響を遮蔽する必要がある。

この装置は、局在検出カウンタとしては従来のタイプより遥かに高感度である。光が空気や真空境界面に反射されることなく受光面に到達するので、全体として光学的効率が高い。さらにタングステン酸カルシウムのロッドと放射性物質の距離が接近している。しかしガンマ線のコリメーションは良好とはいえず、このため空間分解能はやや劣る。バイアス、振幅を調整してバックグラウンドを 4cps 程度に設定すると、この開口径 1/4 インチの装置は、同径の従来装置に比べて 3~4 倍の感度を発揮する。

以前には、このタイプの検出器には、もっと大きな 5819 光電子増倍管ともっと長い導光管が使われていた。Long Beach Veterans Hospital の Weinberg 博士による肺の根治切除に際して、縦隔リンパ節に注射するポンタミン・スカイブルー色素の放射化が提案された。通常、色素はリンパ節に拡散してその周囲を可視化し、肺癌の手術に際して切除範囲を知ることができる。この青い色素に放射性ジヨードフルオレセインを混合し、深在する切除リンパ節をガンマ線検出器で同定する方法である。ウサギによる予備実験では、ジヨードフルオレセインの放射能は、目視上の色素の分布に一致することが示された。

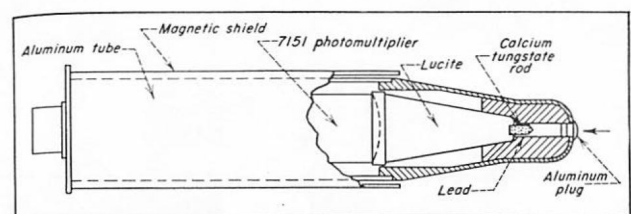


図 1. 臓器輪郭検出用ハンドヘルドカウンタ

1. 本稿の内容は原子力エネルギー委員会 (Atomic Energy Commission) と California 大学 Los Angeles 校間の契約 AT-04-1-GEN-12 に基づき行なわれた研究によるものである。第 5 項の内容は Veterans Administration が監査し、Chief Medical Director の認可のより発表された。著者らの記述、結論は、その独自の研究の結果で必ずしも Veterans Administration の見解、方針を反映するものではない。Mr. Reed は第 1 ~ 4 項の共著者、Dr. Libby は第 5 項の共著者である。

2. California 大学 Los Angeles 校、医学部

3. 前 California 大学 Los Angeles 校、医学部。現 R. C. Scientific Instrument 社、Playa del Rey, California

4. Wadsworth General Hospital, Vetrans Administration Center, Los Angeles 核医学検査室

5. B. Cassen, L. Curtis, C. Reed, *Nucleonics* 6(2):78(1950); UCLA-49(1949)

6. H. Allen, Jr, R. Libby, B. Cassen. *J Clin Endocrinol* 11:492(1950)

この応用のために、深い術野に結晶と開口部を挿入できるような長い導光管を作成した。

3. 広域用カウンタ

体積が比較的小さいタンゲステン酸カルシウムは、放射性ヨウ素が放出する 0.37MeV 入射ガンマ線を高率に捕捉するので、通常の G-M 管に比べて 30～100 倍の感度を持つシンチレーションカウンタを作ることができる。特殊な G-M 管は通常のものより高感度であるが、甲状腺検査や放射性ヨウ素の生物学的半減期計測を目的とするさらに新しいシンチレーションカウンタの研究は、意義のあることと考えられる。

本稿第 1 項で述べた鉛遮蔽を取り外すことで、わずか 1～5 μ Ci の放射性ヨウ素の投与で甲状腺摂取率の検査が可能であることが分った。1P21 光電管の表面に接着したタンゲステン酸カルシウム結晶を患者の甲状腺に近接させ、一連の検査を行なった。

その後、タンゲステン酸カルシウム結晶は 5819 光電管に接着させた。図 2 にこの構造を示す。実験では、結晶面から 1 インチの位置に置いた 0.002 μ Ci の放射性ヨウ素を、バックグラウンド 4cps の約 2 倍のカウンタで容易に検出できた。甲状腺摂取率、生物学的半減期の検査は、投与量 1 μ Ci 以下で施行できる。

この装置は、体表にかざすことにより組織内の放射性ヨウ素を直接測定できるだけの感度がある。このような使用法では、特に結晶を甲状腺から充分遮蔽する必要がある。このような方向で、現在測定を進めている。

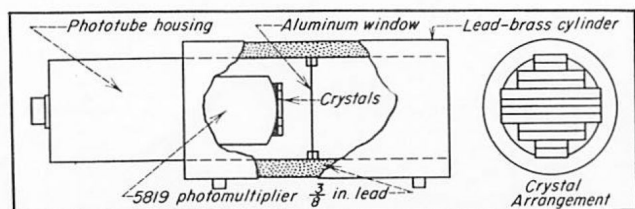


図 2. 高感度広域用シンチレーションカウンタ。タンゲステンカルシウム結晶は、光電子増倍管の表面に接着されている。

4. カウンタの特性

第 3 項で述べた広域用カウンタの特性を図 3 に示す。0.62 μ Ci の ^{131}I 線源を、結晶の表面から 40.5cm の位置に置いた場合のデータである。

光電子増倍管プレート電圧の限られた範囲にあっては、固定距離におけるサンプルのネットカウントは、バックグラウンドカウントとほぼ同じであった。プレート電圧を高くして同じバックグラウンドカウントを得るには、バイアス電圧も高くする必要がある。プレート電圧を高くし過ぎると、バックグラウンドが変わらないようにバイアスを調整しても感度はやや低下する。

図 3 の 3 種類のデータは、それぞれ異なる一定のバ

イアス電圧によるもので、プレート電圧を変えてバックグラウンドレベルを変化させている。バックグラウンドが同一である限りカウントは物理的条件に比較的依存しないので、バックグラウンドカウントを横軸としている。

バックグラウンドが低い状態ではネットカウントは急速に上昇し、その後フラットになる。グロスカウント／バックグラウンド比は、ピークを作った後、緩やかに低下する。

良く知られているように、ネットカウントの標準偏差 σ_{g-b} 、ネットカウント $g-b$ の間には次の関係がある。

$$\frac{\sigma_{g-b}}{g-b} = \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\sqrt{r^2 + r}}{r-1}$$

ここで、 g はグロスカウント、 b はバックグラウンドカウント、 $r=g/b$ である。事前に決定した正確度 (fractional accuracy)

$$p = \sigma_{g-b}/(g-b)$$

を得るために必要なカウント数 C_p は、

$$C_p = \frac{1}{p^2} \frac{r^2 + r}{(r-1)^2}$$

この C_p を得るために必要な時間 t_p は、

$$t_p = \frac{C_p}{g} = \frac{1}{gp^2} \frac{r^2 + r}{(r-1)^2}$$

図 3 の 3 本目の曲線 $p^2 t_p$ はこの式を、実験値 g をもとにプロットしたものである。

このカウンタの場合、バックグラウンドが約 8cps の時、最も正確度が高いことがわかるが、正確度はかなり広い範囲のバックグラウンドについて大きな変動はない。目的によっては、最大正確度よりもグロスカウント／バックグラウンドカウント比の方が有用な場合もある。この装置のカウント比のピーク約 6 で、正確度のピークとほぼ一致している。カウント率のプレート電圧変動に対する安定性は、バックグラウンドカウントが高い状態、概ね 10cps 以上で最大となる。

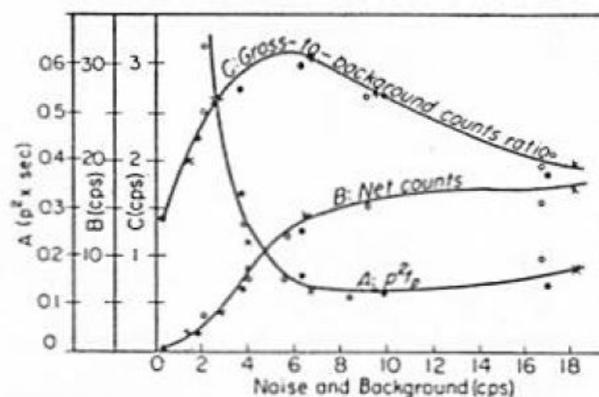


図 3. タンゲステンカルシウム結晶によるシンチレーションカウンタの特性 [訳注：見にくいですが、●、○、×の 3 種類のデータがプロットされている。本文参照]。

5. 自動スキャナ・レコーダ

第1項での述べたシンチレーションカウンタを、生体における甲状腺の描出に応用した。長方形マトリックス上の各位置でそれぞれ計測し、一定の計測値あるいはその範囲に従って線を引くことによって甲状腺の輪郭を推測する方法をとった。計測による輪郭と術後あるいは剖検による実際の輪郭を比較すると、多少の練習で非常に良い一致を得ることができた。しかしこの方法は煩雑で時間を要する。甲状腺の放射能分布の大まかな像を描く自動スキャナ・レコーダがあれば非常に便利である。

図4にこの自動スキャナ・レコーダを示す。局在検出カウンタを架台に載せ、架台は減速ギアを介して逆転直巻モーターによって往復移動する。位置可変のストッパーが架台に取付けたスイッチを押すことによって電氣的に逆転する。往復移動の範囲は、ストッパーの位置で調整できる。短い時間間隔において反転往復するが、この間隔はスキャナの位置が1/8インチずれるように設定する。

カウンタを載せた架台に小さな記録紙を固定し、この記録紙が枠に固定したインクペンの下を移動する。ペンは電磁石アームに固定されており、電磁石が短時間オンになるとペン先はテーブル移動方向と垂直方向に1/8インチのマークを描く。ペンとリレー装置一式は、



図4. 自動スキャナ・レコーダ

Esterline-Angus 社の時間プロット装置を用いた。

光電管からの増幅出力は、マルチバイブレーター整流器、計数機に供給される。計数機は、ペンに $2^n \sim 256$ 個のパルスを送ることができる。開口径 1/4 インチの検出器が被写体上を移動するので、描点の間隔は近接したものとなる。SN 比が高いほど、記録紙の目視上のコントラストは大きなものとなる。コントラストが充分であれば、甲状腺像を得ることができる。しかしコントラストが低い場合も、しばしば概形を知ることができる。

まず放射性ヨウ素を含む溶液に含浸した濾紙でテストを行なった。図5には、 $200\mu\text{Ci}$ の ^{131}I に含浸した濾紙の輪郭の記録を示す。ここでは1つの描点が4カウントに相当する。

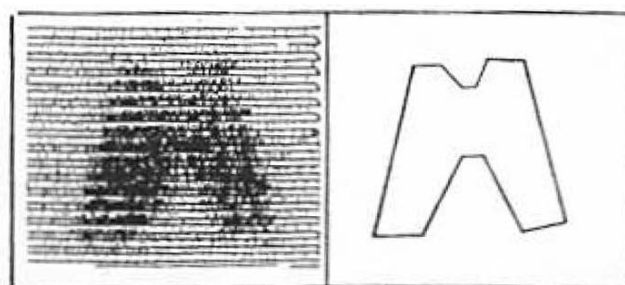


図5. $200\mu\text{Ci}$ の ^{131}I に含浸した濾紙の自動スキャン(左). 濾紙の形状(右).

次に、死亡の14時間前に ^{131}I を 3mCi 投与した患者から摘出した甲状腺を冷凍気管に付けた標本でテストを行なった。甲状腺のヨウ素摂取率は約15%であった。一連の計測を、死後11～29日に行なった。

これらのテストで比較的好成績を得て、実際の患者でのマッピングに進んだ。その結果を図6に示す。

本研究のうち、Sawtelle Hospital, Long Beach Veterans Hospitals の核医学部門における臨床試験については、原子力委員会 (Atomic Energy Commission) の医学生物学部門ならびに病院管理部門の承認を得ている。Sawtelle Hospital における臨床研究は、Dr. Herbert Allen, Jr, Dr. Raymond Libby が担当した。Long Beach Hospital では、Dr. M. Morton の指導の下、異なる種類の検査も行なわれた。多くの臨床知見が機器改良に反映されており、関係臨床医から重要な示唆を得た。

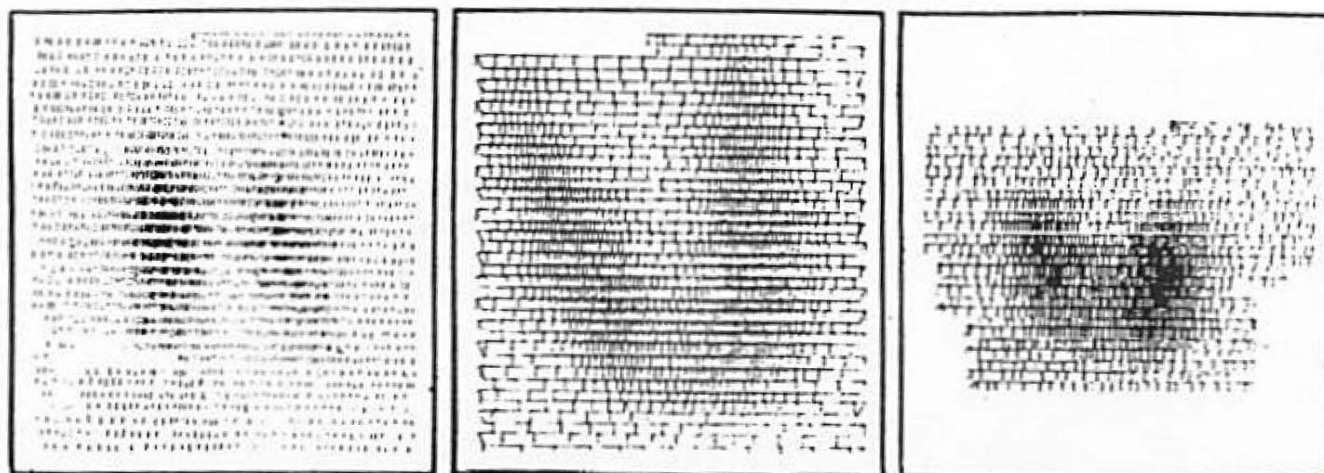


図6. ヒト臨床例における自動スキャンによる甲状腺の輪郭