

《ノート》

新しい小型放射線検出器 (CsI) について

—エネルギー分解能と臨床経験—

A New Miniature CsI Detector
—Energy Resolution and a Clinical Trial—牧野 元治* 川上 憲司* 森 豊* Tapani LAHTINEN*
森 国城**Motoji MAKINO*, Kenji KAWAKAMI*, Yutaka MORI*,
Tapani LAHTINEN* and Kunishiro MORI**

*Department of Radiology, Jikei University School of Medicine

**Clear Pulse

I. はじめに

CdTe は小型放射線検出器として、本邦でも臨床応用の可能性が示されて以来¹⁾、心機能特に、心駆出率の無拘束モニタリングの方法として利用されている^{2~4)}。また最近さらに軽量の CsI を用いた検出器の臨床応用も試みられている⁵⁾。

今回、われわれも CsI (TI) と半導体ダイオードとの組み合わせによって、小型高感度のガンマ線検出器を開発したので、基礎的検討を行い臨床応用の可能性について報告する。

II. 方 法

今回試作した CsI クリスタルの大きさは、14 mm×14 mm×10 mm (CsI-A) と、14 mm×14 mm×2 mm (CsI-B) の二つである。各クリスタルの表

面に 10 mm×10 mm のフォトダイオード (外形 14 mm×14 mm) をアクリル系のエポキシで、はりつけた。おのおののクリスタルは、3 mm 厚の鉛板で遮蔽した。

CsI シンチレータからの発光周波数は赤色領域の 540 nm 付近であるが、フォト・ダイオードのピーク感度 (720 nm) とは少しずれているため、ダイオードによって得られる電子-正孔対は低効率となる (約 1/3)。そのため、電荷を増幅するための低雑音電荷有感前置増幅器と主増幅器を新しく設計し、製作した。

臨床使用にあたっては被験者 (正常ボランティア) を座位とし、NaI 検出器 (5 インチ φ) を左前胸壁に、CsI 検出器を右前胸壁上に装着し、370 MBq (10 mCi) の ^{81m}Kr ガスを持続吸入させながら、呼吸パターンを安静呼吸から深呼吸まで変化した場合の波形を記録した。

¹³³Xe 検査は、370 MBq (10 mCi) の ¹³³Xe を 3 分間反復吸入後、洗い出し過程を右中肺野において CsI 検出器で測定した。

* 東京慈恵会医科大学放射線医学教室

** クリアパルス

受付: 3 年 8 月 21 日

最終稿受付: 3 年 12 月 11 日

別刷請求先: 東京都港区西新橋 3-25-8 (☎ 105)

東京慈恵会医科大学放射線医学教室

牧 野 元 治

Key words: CsI, Miniatured gamma detector, Energy resolution, Ventilation study.

III. 結 果

1. 各種エネルギー線源によるスペクトル

Figure 1 に CsI-A による ^{137}Cs からの 662 keV ガンマ線のスペクトルを示す。横軸にエネルギー (チャンネル) を示す。FWHM は 9% で光電ピークとコンプトンエッジが完全に分離されている。

Figure 2 および Fig. 3 は, CsI-B による $^{99\text{m}}\text{Tc}$ からのガンマ線 140 keV と ^{133}Xe からの 81 keV のスペクトルをそれぞれ示す。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ では光電ピークは広がりをみるが, コンプトン散乱から分離されている。FWHM は 25% であった。 ^{133}Xe ではエネルギーが低く, FWHM は 55% であった。

2. 臨床使用

Figure 4 は, 健康男子 (48 歳) における $^{81\text{m}}\text{Kr}$

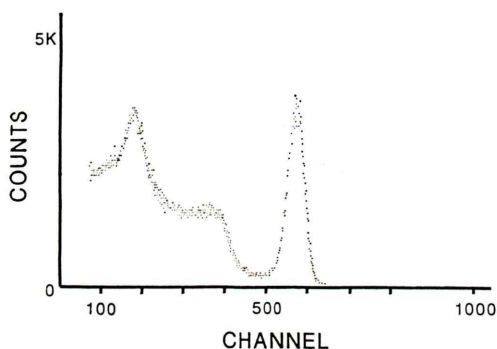


Fig. 1 Energy spectrum of ^{137}Cs (662 keV) obtained by CsI crystal (14 mm × 14 mm × 10 mm). FWHM of photopeak was 9%. Ordinate: Counts, Abscissa: Energy (channel)

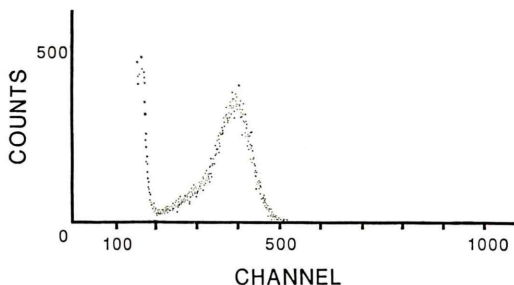


Fig. 2 Energy spectrum of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (140 keV) obtained by CsI crystal (14 mm × 14 mm × 2 mm). FWHM of photopeak was 25%. Ordinate: Counts, Abscissa: Energy (channel)

持続吸入時の呼吸波を示す。波形は両検出器において同様のパターンを示している。

Figure 5 は同一被験者における ^{133}Xe ガス吸入検査の結果を示す。 ^{133}Xe 3 分間反復吸入後室内空気で洗い出した。洗い出し半減時間 ($T_{1/2}$) は

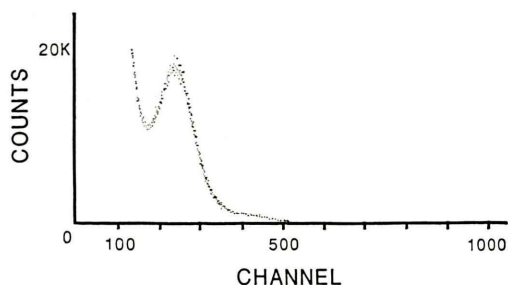


Fig. 3 Energy spectrum of ^{133}Xe (81 keV) obtained by CsI crystal (14 mm × 14 mm × 2 mm). FWHM of photopeak was 55%. Ordinate: Counts, Abscissa: Energy (channel)

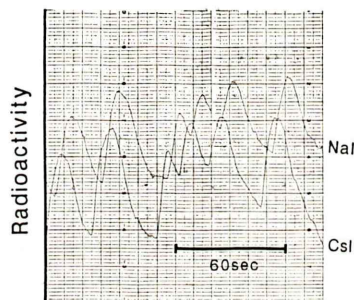


Fig. 4 Simultaneous record of respiratory changes of $^{81\text{m}}\text{Kr}$ gas by CsI and NaI system.

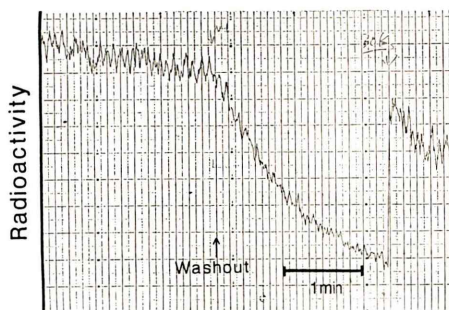


Fig. 5 Washout curve of ^{133}Xe gas measured by CsI system.

40 秒で、同時に測定したシンチカメラによる $T_{1/2}$ (38 秒) と同等であった。平衡時の基線の低下は、ボラス吸入後の肺内放射能が、リザーバ内の air と平衡に達する過程で次第に減少していることを示す。

IV. 考 察

ガンマ線の測定検出器としては、NaI (Tl) クリスタルと光電子増倍管 (PM 管) との組み合わせによる検出器が広く使用され、現在では標準化されている。心機能モニターとして開発された VEST^{6,7)} は、3 kg と小型化されているが、PM 管およびその格納装置は、形状的に大きく、また高電圧を必要とする。

そこで開発されたのが半導体検出器 CdTe で、原子番号がシリコン ($Z=14$) より大きく (Cd ; $Z=48$, Te ; $Z=52$)、バンド・ギャップも 1.47 eV でシリコン (1.12 eV) よりも大きいため、常温で使用が可能であること、小型であるが、密度が大きく (6.06 g/cm^3) ガンマ線に対する効率が大きいので小型軽量の検出器としては理想的と言える。

一方、CsI の密度は 4.51 g/cm^3 、実効原子番号は 54 であるが、全減弱係数値に関するデータは記録がないため、既知の NaI のデータから推測した。つまり光電効果による吸収係数は、原子番号の 4~5 乗に比例するので実効原子番号 50 の NaI の全質量減弱係数が 150 keV に対して $0.51 \text{ (cm}^2/\text{g)}$ 、200 keV に対して $0.30 \text{ (cm}^2/\text{g)}$ であるから、密度との比から全減弱係数は 150 keV において $0.75 \text{ (cm}^2/\text{g)}$ 、200 keV においては $0.44 \text{ (cm}^2/\text{g)}$ と推測される。また NaI の密度 $3.67 \text{ (g/cm}^3)$ と CsI の密度 $4.51 \text{ (g/cm}^3)$ とから計算した計数効率率は、2 mm 厚の CsI (B) では 150 keV に対して 50% と 200 keV に対して 30% となる。

発光減衰時間は、NaI で $0.23 \mu\text{sec}$ 、CsI では $1.0 \mu\text{sec}$ と NaI で短く、高計数率の測定には NaI に劣ると思われる。

CdTe は現在ではマルチ検出器として、数多くの検出素子を VEST に埋め込み心臓の駆出率をはじめ、種々の心機能を評価するのに使用されて

いる^{3,4)}。しかしながら CdTe は小型にして、効率のよい利点があるものの、厚さ 2 mm までが限度である。厚くすると電子-正孔対において正孔のコレクション時間が長くなり、光電ピークが長い尾を引くのでコンプトン散乱の影響を受ける。また、CsI に比較して値段が高価であること、劣化が早いなどの欠点がある。

10 mm 厚の CsI の計数効率は 140 keV と 200 keV のガンマ線に対して 90% と 80%、2 mm 厚の CsI では、それぞれ 50% と 27% である。一方、2 mm 厚の CdTe 検出器 (市販の中で最厚) の計数効率は、60% と 40% であり、同一厚の場合 CdTe が CsI に比して効率が高い⁸⁾。しかし、CsI は効率の高い、厚いクリスタルを容易に作成できる利点がある。

本装置による計数率特性は測定していないが、通常の増幅器を使用した場合 50 kcps までは数% 以内とすることが可能である。現在、最適コリメータを試作し、それを用いた場合の計数率特性について検討中である。

一方、CsI の光電ピークの拡がりは低エネルギーで大きくなるが、ウインドウを狭くすればバックグラウンド (コンプトン散乱も含む) と分離可能である。

CsI シンチレータは、NaI シンチレータに比べてガンマ線に対するエネルギー解像力は劣るので、低エネルギー領域のガンマ線に対する利用範囲は限られると思われる。しかしウインドウの設定により、50 keV あたりまでは、測定可能と思われる。

今回は臨床応用の可能性として、81 keV の ^{133}Xe と 190 keV の $^{81\text{m}}\text{Kr}$ による換気検査時データを示したが、NaI クリスタルによるデータと同一のカーブが得られた。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ を用いた心プールシンチグラフィにおける左心容量曲線の記録にも応用可能と考えられる。

V. おわりに

CsI と半導体ダイオードとの組み合わせによって、小型高感度のガンマ線検出器を開発し、ガン

マ線のエネルギースペクトルについて検討し、臨床応用の可能性について試みた。その結果、2 mm 厚の結晶で ^{99m}Tc に対する光電ピークの FWHM は 25% であったが、 ^{133}Xe では 55% と広がった。 ^{81m}Kr , ^{133}Xe による換気検査時の結果は、臨床的に使用可能であることを示した。本検出器はスペクトルの測定を目的にしない分野であれば十分に臨床使用が可能であり、核医学分野における動態機能の無拘束モニターへの応用は広まるものと思われる。

文 献

- 1) 勝山直文, 牧野元治, 川上憲司, 他: CdTe 検出器の基礎的検討. 核医学 19: 1281, 1982
- 2) 鈴木 豊: 半導体検出器を用いた RI による各種動態機能のモニタリングに関する研究. 昭和62年科学研究費補助金(一般研究 B) 研究成果報告書, 1988
- 3) 千葉 博, 西村恒彦, 林田孝平, 他: テルル化カドミウム検出器による携帯用心機能装置 (VEST) の臨床使用——運動負荷終了後の心機能評価——. 核医学 26: 1505-1514, 1989
- 4) 滝 淳一, 村守 朗, 中嶋憲一, 他: Cadmium Telluride 検出器を用いた携帯型持続心機能モニター (VEST) の基礎的検討. 核医学 28: 371-379, 1991
- 5) Broadhurst P, Cashman P, Crawley J, et al: Clinical validation of a miniature nuclear probe system for continuous on-line monitoring of cardiac function and ST-segment. J Nucl Med 32: 37-43, 1991
- 6) 玉木長良, Straus HW: 携帯用 RI 心機能モニター (VEST) による心機能評価. 核医学 24: 289-296, 1987
- 7) 大嶽 達, 渡辺俊明, 小坂 昇: 携帯用 RI 心機能モニター (VEST) の基礎的検討——バックグラウンドを中心に——. 核医学 25: 775-787, 1988
- 8) Knoll GF: Radiation detection and measurement. 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1989