

厚生科学研究費補助金

高度先端医療研究事業

半導体型ガンマカメラの医学的意義の研究

平成13年度 総括研究報告書

主任研究者 久保 敦司

平成14（2002）年 3月

目次

1. 総括研究報告	
半導体型ガンマカメラの医学的意義の研究	1
久保 敦司	
藤井 博史	
尾川 浩一	
森 一生	
2. 研究成果の刊行に関する一覧表	29
3. 研究成果の刊行物・別冊	31

厚生科学研究費補助金(高度先端医療研究事業)
総括研究報告書

半導体ガンマカメラの医学的意義の研究

主任研究者 久保 敦司 (慶應義塾大学医学部放射線科学教室教授)

研究要旨

現在、汎用されているシンチレーションカメラより、感度、分解能に優れ、装置の小型軽量化が図れる半導体型ガンマカメラの臨床応用を可能とすべく、検討を進めた。

平成13年度は、現在、使用可能な半導体素子を掲載したガンマカメラを用いて、従来型のガンマカメラと比較しながら、その物理学的特性を評価した。半導体素子を使用したガンマカメラとして、Digirad 2020^{tc} ImagerTM (Digirad, San Diego)と eZ scope (安西メディカル、東京)を用い、センチネルリンパ節の画像化を中心に検討を進めた。

Digirad 2020^{tc} ImagerTMは、5分間の撮像でほぼ良好なセンチネルリンパ節の描出が認められた。検出器の小型化により、撮像方向の自由度が高まったこと、検出器を体表に近接できるようになったことから、従来型のガンマカメラをしのぐセンチネルリンパ節の描出能が期待できる結果となった。

eZ scopeは、携帯型であり、10秒程度の撮像でセンチネルリンパ節の画像化が可能であった。しかし、深部のセンチネルリンパ節の描出を模した線源を水中に沈めての撮像では、センチネルリンパ節の描出は必ずしも良好ではなかった。

これらの検討結果から、現状で利用可能である半導体素子を使用したガンマカメラは、改善すべき問題点が残されているものの、一般的な撮像条件においては、従来型のシンチレータ、光電子増倍管を使用したガンマカメラと同等あるいはそれ以上のガンマ線検出感度、分解能を有することが確認できた。さらに、これら装置の重量は、従来型ガンマカメラより、はるかに軽量であり、搬送可能である。このため、現在、シンチレータを利用しているガンマ線の検出部分を含めた検出器全体を半導体素子に置換し、撮像範囲が実用上十分に広いガンマカメラを作成することの有用性は高いと考えられた。

分担研究者

藤井 博史 (慶應義塾大学医学部放射線科学教室専任講師)
シンチグラムの画質評価と診断能の評価を担当

尾川 浩一 (法政大学工学部電子情報学科教授)
半導体カメラの画像化技術の開発を担当

森 一生 (東芝医用システム社主幹)
半導体カメラの開発を担当
(産業技術実用化開発費助成金による研究と連携)

A. 研究目的

核医学検査は、通常、核医学検査室に設置固定された大型のガンマカメラを用いて実施されている。シンチレータと光電子増倍管を組み合わせ、体内に分布した放射性医薬品からのガンマ線を検出し、その分布を画像化しているが、これらを、半導体素子に置換することにより、検出器の検出感度、分解能の改善および装置の軽量化ができる（これにより、装置の可搬化が期待できる）可能性がある。このため、半導体型ガンマカメラの開発が臨床医学の分野で期待されている。さらに、得られる画質の向上は、検査費用の低減、検査効率の改善につながる。また、装置の可搬化は、重症患者、救急患者を検査室に移動させることなく検査を実施できるようになる可能性がある。さらに、術中の画像化は、病巣の確認など、治療手技の確実性を改善させながら、低侵襲化をはかることができるなど、医療の質的改善につながる。

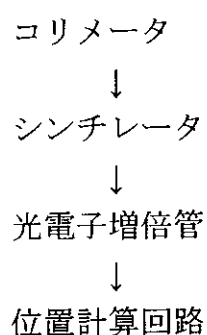
今年度は、東芝医用システム社が、開発中の半導体素子 CdTe を用いたガンマカメラの臨床医学領域での応用の可能性を、現在、利用が可能な半導体素子を使用したガンマカメラを用いて調査することを目的とした。特に、可搬型半導体検出器の導入が期待されているセンチネルリンパ節（SLN）検索を中心に検討を進めた。

B. 研究方法

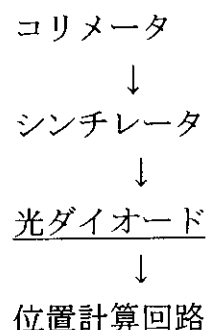
(検討対象) 半導体素子を使用したガンマカメラとして、Digirad 2020^{tc} ImagerTM (Digirad, San Diego)と eZ scope (安西メディカル、東京) を用いた。

Digirad 2020^{tc} ImagerTMは、従来型のアンガー型ガンマカメラの光電子増倍管以後を半導体素子に置き換えたポータブルタイプのガンマカメラである (検出器 17kg、本体 160kg)。シンチレータとして CsI(Tl)を、半導体素子として 3mm 角シリコン光ダイオードを使用している。この素子を 64 個×64 個に配置した検出器 (Useful field of view (UFOV) 20.8cm×20.8cm) が搭載されている。(比較的広い範囲の撮像が可能であるが、ガンマ線の 1 次検出にシンチレータが使用されているため、分解能などの物理学的特性は、従来型の装置を超えることは難しいと予想される。)

従来型ガンマカメラ

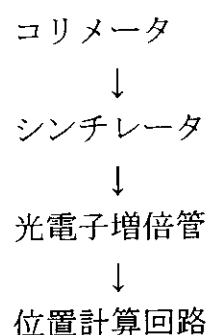


Digirad 2020^{tc} ImagerTM

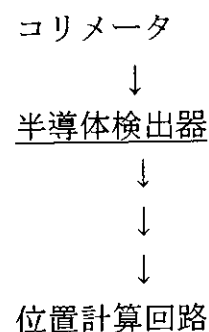


eZ scope は、半導体素子として 2mm 角の CdZnTe を 16 個×16 個に配置した検出器(UFOV 3.2cm×3.2cm)を有した超小型のガンマカメラである (重量 800g)。(撮像範囲が極めて狭いものの、検出器全体が半導体素子で構成されていることが特徴である。)

従来型ガンマカメラ



eZ scope



(検討方法)

それぞれの検出器を用いて、模擬線源の撮像を行った。

模擬線源としては、センチネルリンパ節検索をシミュレーションして、R I の投与部位近傍の activity を模した主線源と、そこからセンチネルリンパ節に移行した activity を模したSLN線源 (activity は、主線源の1%と0.1%に調整) を作成した。

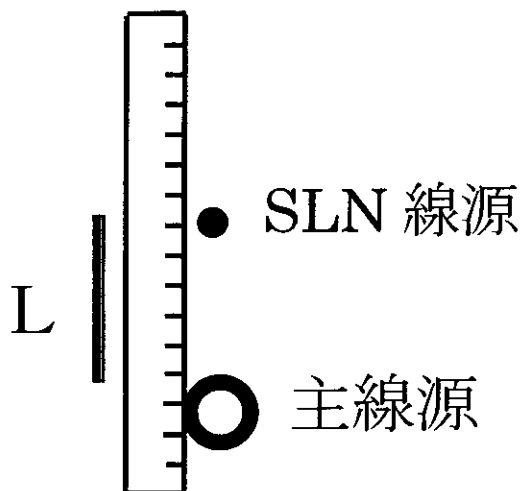
腫瘍周囲に投与したR I を模した線源(主線源)は、5cc の注射筒に1cc の ^{99m}Tc 溶液を封入したものをを用いた。Radioactivity は、74MBq (2mCi) のものと7.4MBq (0.2mCi) のものを作成した。

センチネルリンパ節に集積したRI を模した線源 (SLN 線源) は、1cc の注射筒に0.1cc の ^{99m}Tc 溶液を封入したものをを用いた。Radioactivity は、主線源の1%と0.1%になるように、740kBq (0.02mCi)、74kBq (0.002mCi)、7.4kBq (0.0002mCi) のものを撮像した。

両線源間の距離を0から5cm まで、1cm 間隔で移動させて撮像を繰り返し、SLN 線源の描出の可否を判断した。

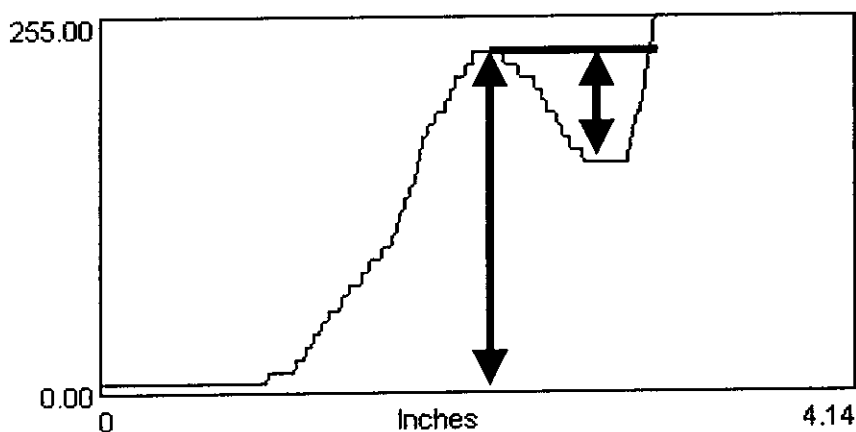
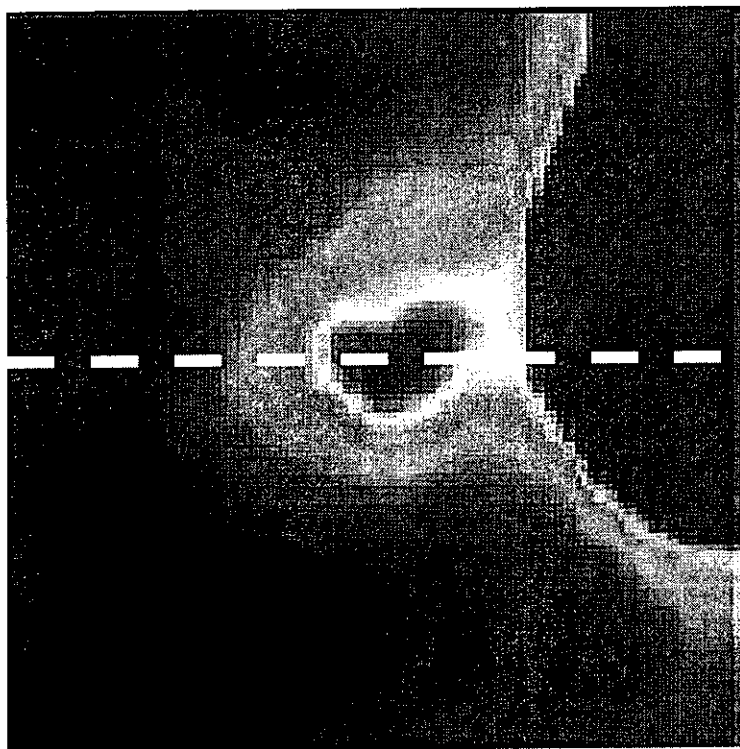
撮像は、Digirad 2020^{tc} ImagerTM は、線源をおいた平面からの距離を2cm として、5分間で撮像した。

eZ scope は、SLN 線源の直上2cm のところに置いて、10秒間で撮像した。10秒間でSLN 線源の描出が困難な場合は、撮像時間を15秒、30秒に延長して追加撮像した。



線源の描出の可否については、両線源の中心部を通過する線上のカウント値をプロフィール曲線の形で示し、それを評価することで行った。

両線源の間に、SLN 線源のカウント値の 20%以上のカウントの低下があった場合に、SLN 線源が認識できたと判断した。



(倫理面への配慮)

今年度は、模擬線源を用いての検討を中心に行ったため、考慮すべき問題は生じなかった。今後、半導体検出器を臨床応用していくには、研究過程で収集したデータを解析する過程で、患者のプライバシーに関わる情報の漏洩を防止する方策が必要であると考えている。

C. 研究結果

1) Digirad 2020^{tc} ImagerTM を用いた検討の結果

SLNを模した線源は、単独で撮像した場合、いずれの線源も5分間の撮像で、十分に画像化できることが確認できた。

主線源を2mCi、SLN線源をその1%とした場合、これは、SLNへのRIの移行が良好な症例での、投与当日の撮像を行う場合に近い条件である。

高分解能コリメータを用いて、遮蔽なしと遮蔽ありで撮像を行った。

遮蔽を行った場合は、1cmから、線源の同定が可能であった。遮蔽がない場合は別個の結節として認識できるのは2cmからであった。

主線源を2mCi、SLN線源をその0.1%とした場合、これは、SLNへのRIの移行が中等度の症例での、投与当日の撮像を行う場合に近い条件である。

高分解能コリメータを用いて、遮蔽なしと遮蔽ありで撮像を行った。

遮蔽を行わなかった場合には、1cmから、遮蔽を行った場合は、3cmから別個の線源として同定することが可能であった。

主線源を0.2mCi、SLN線源をその1%とした場合、これは、SLNへのRIの移行が良好な症例で、投与翌日、手術当日に撮像を行う場合に近い条件である。

遮蔽の有無にかかわらず、1cmから、線源の同定が可能であった。コントラストは、遮蔽を行った場合の方が、良好であった。

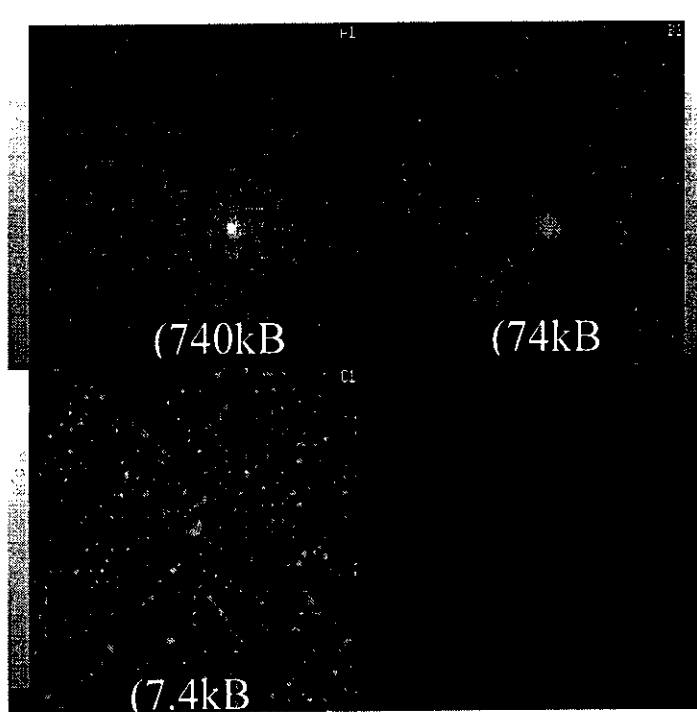
主線源を0.2mCi、SLN線源をその0.1%とした場合、これは、SLNへのRIの移行が中等度の症例で、投与翌日、手術当日に撮像を行う場合に近い条件である。

遮蔽の有無にかかわらず、5cmから、淡いSLN線源の描出が認められるが、別個の線源として確認できるのは、7.5cmだけであった。

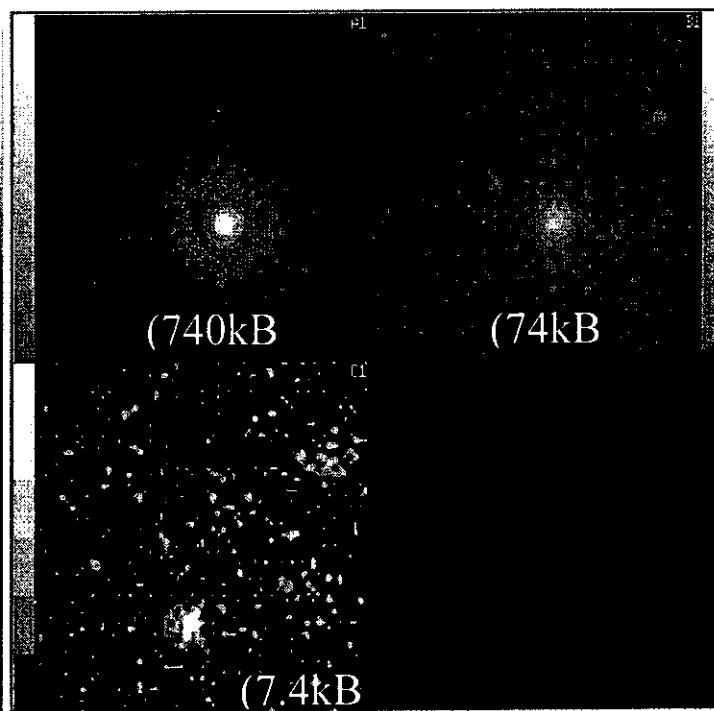
半導体ガンマカメラ Digirad2020^{tc} ImagerTMにより、SLNに集積する程度のactivityのRIを画像化することができた。

主線源をSLN線源の近い距離において撮像した場合でも、SLNのactivityが主線源の1%の場合には、診療で使用しているradioactivityで、SLNの描出が十分に可能と考えられる結果が得られた。

S L N線源の描出



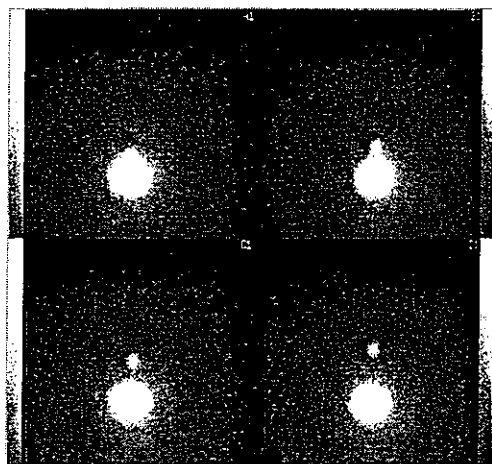
(LEHR)



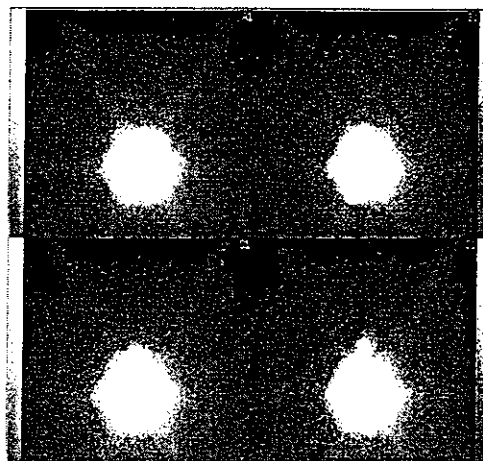
(LEHS)

主線源74MBq, SLN線源740kBq (1%)
(移行良好症例の投与当日)

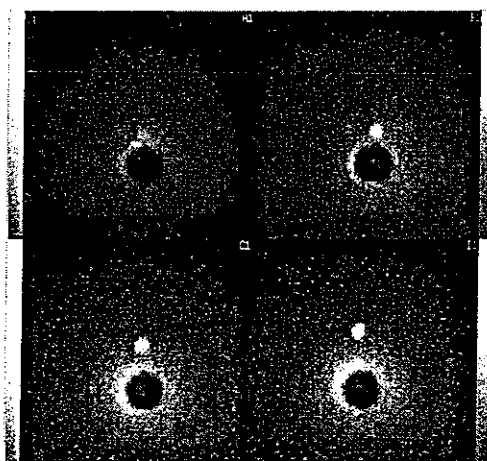
HR
遮蔽なし
1-4 cm



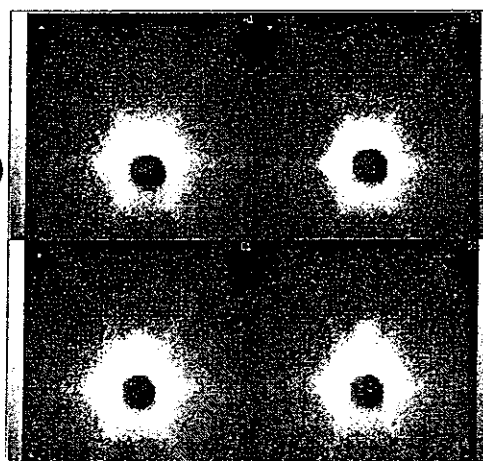
HS
遮蔽なし
1-4 cm



HR
遮蔽あり
1-4 cm

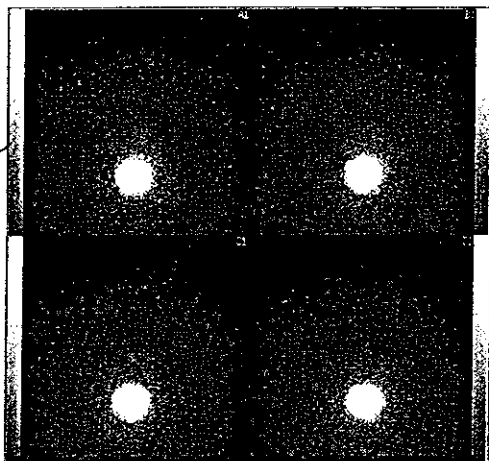


HS
遮蔽あり
1-4 cm

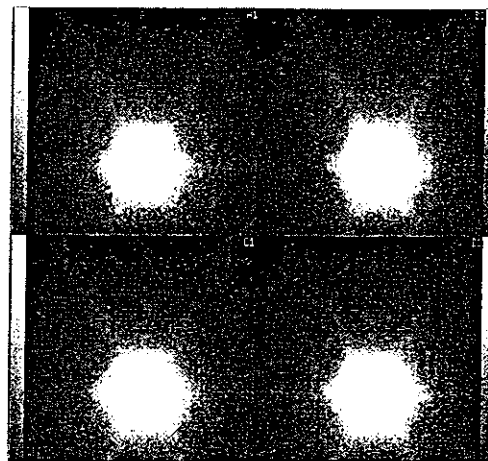


主線源74MBq, SLN線源74kBq (0.1%)
(移行中等度症例の投与当日)

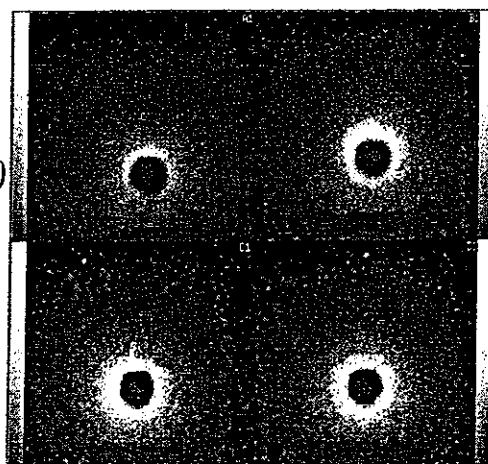
HR
遮蔽なし
1-4 cm



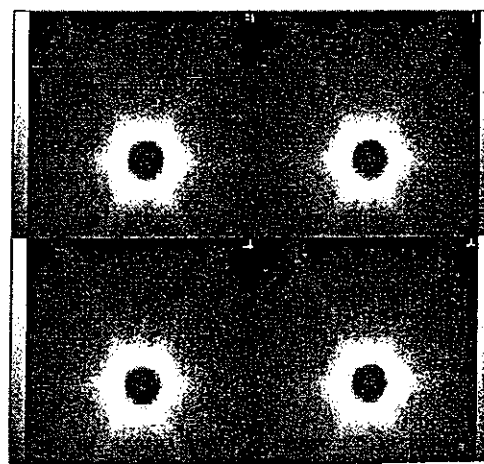
HS
遮蔽なし
2-5 cm



HR
遮蔽あり
1-4 cm



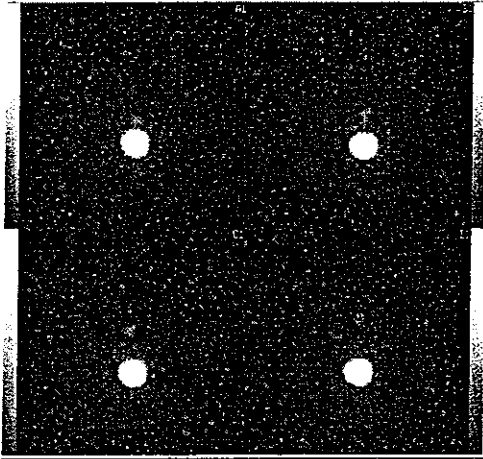
HS
遮蔽あり
2-5 cm



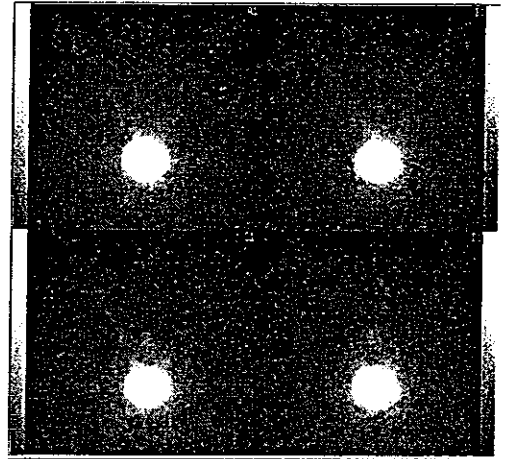
主線源7.4MBq, SLN線源74kBq (1%)

(移行良好症例の投与翌日)

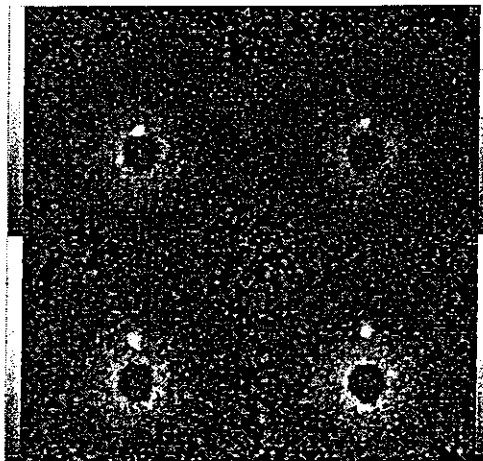
HR
遮蔽なし
1-4 cm



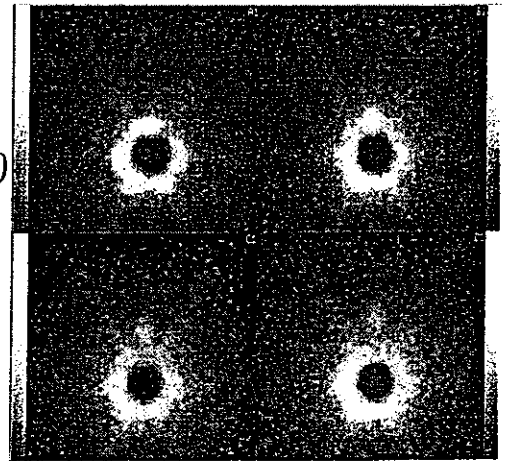
HS
遮蔽なし
1-4 cm



HR
遮蔽あり
1-4 cm



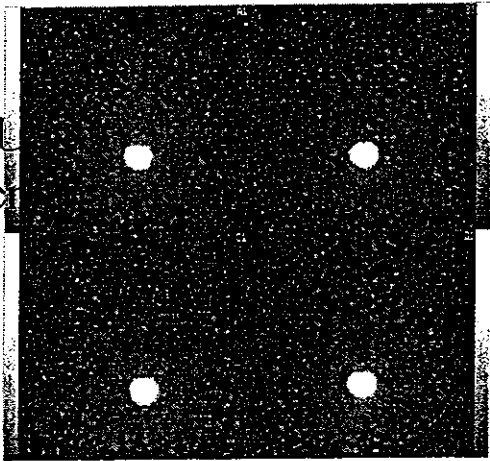
HS
遮蔽あり
1-4 cm



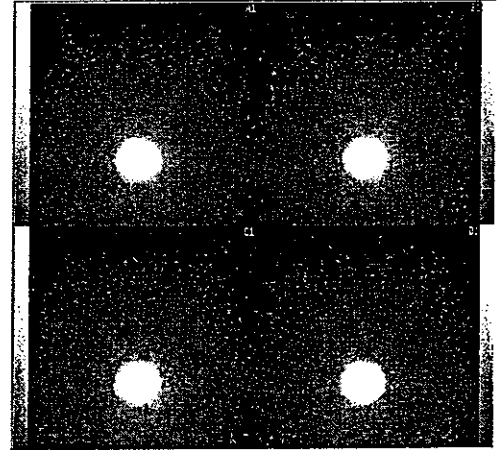
主線源 7.4MBq, SLN 線源 7.4kBq (0.1%)

(移行中等度症例の投与翌日)

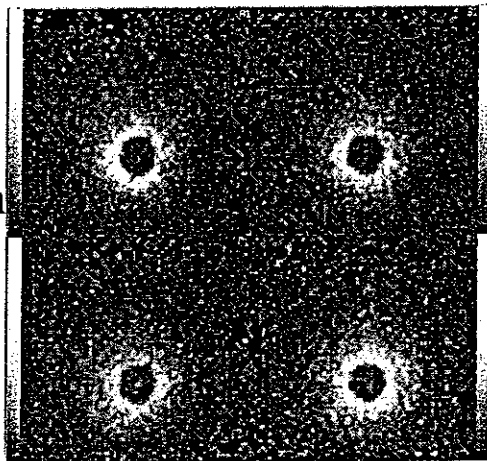
HR
遮蔽なし
3-7.5 cm



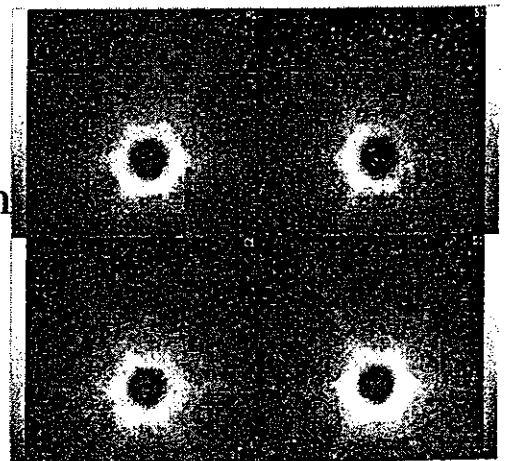
HS
遮蔽なし
3-7.5 cm



HR
遮蔽あり
3-7.5 cm



HS
遮蔽あり
3-7.5 cm



2) eZ scope を用いた検討の結果

SLN 線源を単独で eZ-SCOPE で撮像した場合、20 マイクロ Ci, 2 マイクロ Ci の線源は、10 秒の撮像で十分に認識可能であったが、0.2 マイクロ Ci の線源は、15 秒の撮像でかろうじて描出され、30 秒の撮像でやっと容易に認識できるようになった。

2mCi の主線源とその 1% の radioactivity を有した SLN 線源を撮像した場合、これは、RI を投与した当日で SLN への RI の移行が良好な症例に相当する条件になるが、10 秒間の撮像で、1cm の距離で SLN を分離して認識することが可能であった。

2mCi の主線源とその 0.1% の radioactivity を有した SLN 線源を撮像した場合、これは、RI を投与した当日で SLN への RI の移行が中等度の症例に相当する条件になるが、10 秒間の撮像で、2cm の距離で SLN を分離して認識することが可能であった。

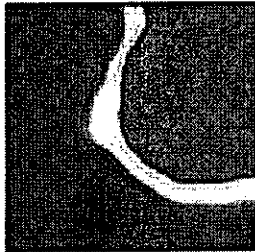
0.2mCi の主線源とその 1% の radioactivity を有した SLN 線源を撮像した場合、これは、RI を投与した翌日の術当日で SLN への RI の移行が良好な症例に相当する条件になるが、10 秒間の撮像で、1cm の距離で SLN を分離して認識することが可能であった。

0.2mCi の主線源とその 0.1% の radioactivity を有した SLN 線源を撮像した場合、これは、RI を投与した翌日の術当日で SLN への RI の移行が中等度の症例に相当する条件になるが、30 秒間の撮像で、2cm の距離で SLN を分離して認識することが可能であった。

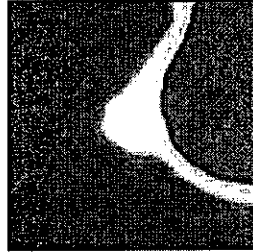
以上の結果をまとめると、SLN への RI の移行が良好と考えられる症例では、投与当日であろうが翌日の術中であろうが、1cm の距離があれば 10 秒の撮像で SLN の同定が可能であることが示された。

SLN への RI の移行が中等度の症例では、30 秒程度の時間をかければ、投与部位から 2cm 程度の位置にある SLN を描出することが可能と考えられた。

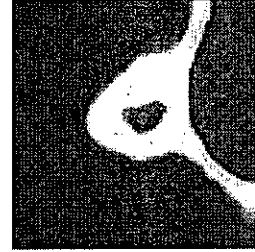
1. 高線量 (2mCi) 近傍にある 低線源 (0.02mCi) の測定結果



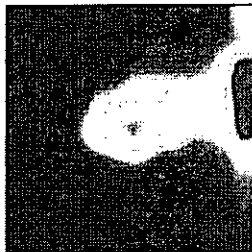
距離 0cm
測定時間 10 秒
総カウント 208,487



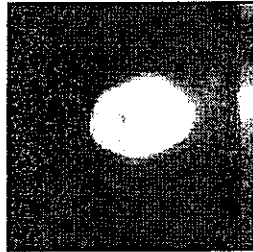
距離 0.5cm
測定時間 10 秒
総カウント 139,214



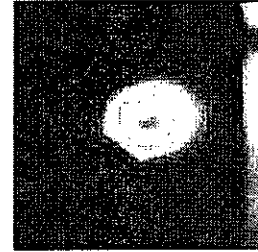
距離 1.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 56,234



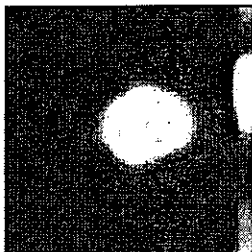
距離 1.5cm
測定時間 10 秒
総カウント 6,101



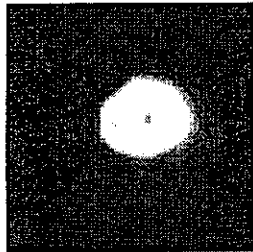
距離 2.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 3,705



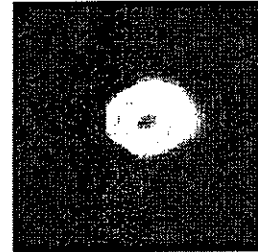
距離 3.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 3,458



距離 4.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 3,002



距離 5.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 2,340

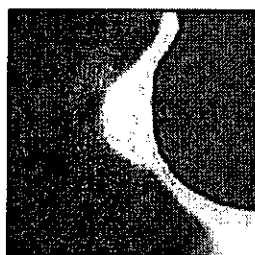


距離 7.5cm
測定時間 10 秒
総カウント 2,173

2. 高線量 (2mCi) 近傍における 低線量 (0.002mCi) の測定結果



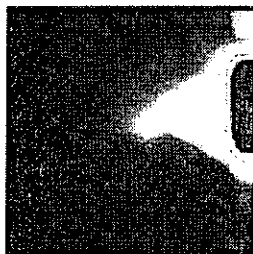
距離 0cm
測定時間 10 秒
総カウント 200,459



距離 0.5cm
測定時間 10 秒
総カウント 131,338



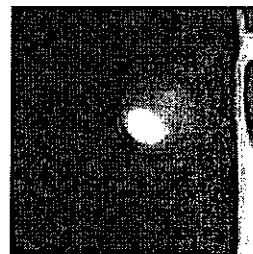
距離 1.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 42,083



距離 1.5cm
測定時間 10 秒
総カウント 6,101



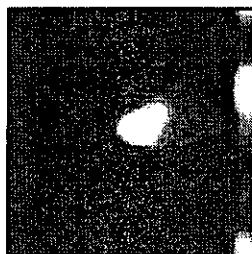
距離 2.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 1,867



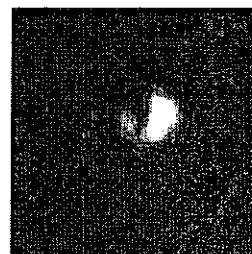
距離 3.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 1,735



距離 4.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 1,265

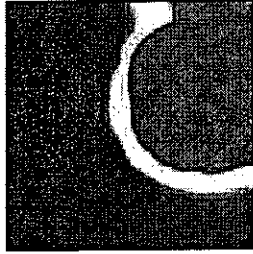


距離 5.0cm
測定時間 10 秒
総カウント 486

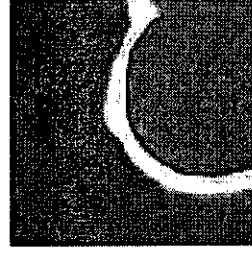


距離 7.5cm
測定時間 10 秒
総カウント 259

3. 高線量 (0.2mCi) 近傍における 低線量 (0.002mCi) の測定結果

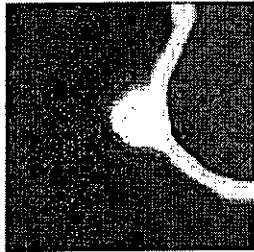


測定時間 15 秒
総カウント 30,612

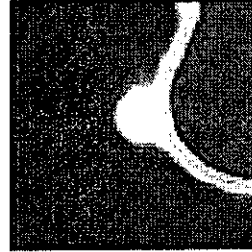


測定時間 30 秒
総カウント 60,637

距離 0cm

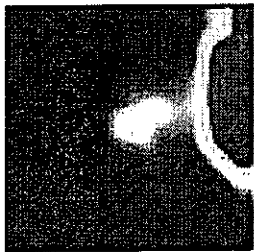


測定時間 15 秒
総カウント 18,989

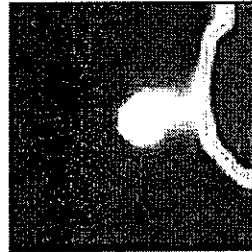


測定時間 30 秒
総カウント 37,490

距離 0.5cm

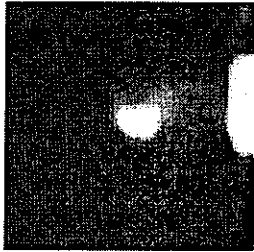


測定時間 15 秒
総カウント 1,929

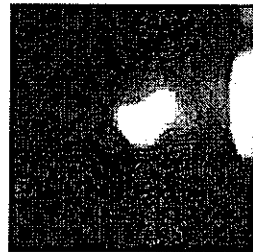


測定時間 30 秒
総カウント 9,593

距離 1.0cm

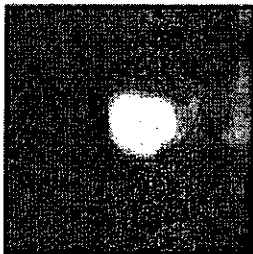


測定時間 15 秒
総カウント 828

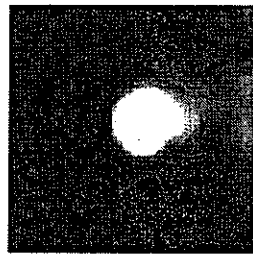


測定時間 30 秒
総カウント 1,676

距離 1.5cm

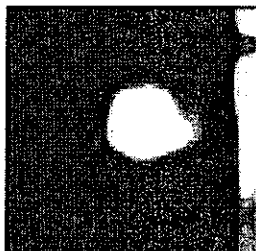


測定時間 15 秒
総カウント 553

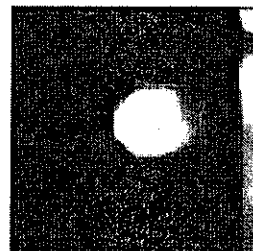


測定時間 30 秒
総カウント 1,113

距離 2.0cm

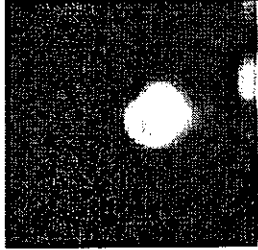


測定時間 15 秒
総カウント 521

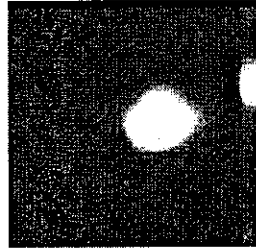


測定時間 30 秒
総カウント 1,016

距離 3.0cm

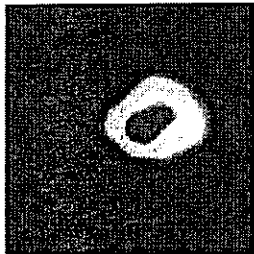


測定時間 15 秒
総カウント 458

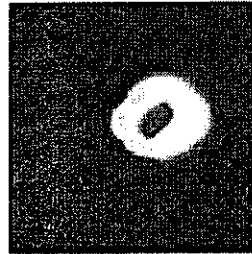


測定時間 30 秒
総カウント 896

距離 4.0cm

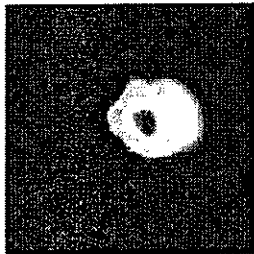


測定時間 15 秒
総カウント 301

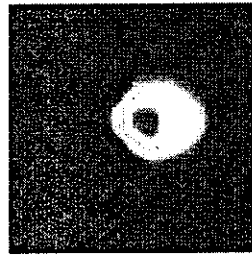


測定時間 30 秒
総カウント 580

距離 5.0cm



測定時間 15 秒
総カウント 304



測定時間 30 秒
総カウント 580

距離 7.5cm