

## اندازه‌گیری معادل دز دست و چشم تکنسین مرکز پزشکی هسته‌ای حین آماده‌سازی رادیوداروی حاوی $^{99m}\text{Tc}$

هانیه شعبانپور<sup>۱</sup>، پیمان رضاییان<sup>۲\*</sup>، آیتا عالیپور<sup>۲</sup> و امیرعباس صبوری‌دودران<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشگاه پیام‌نور مرکز کرج، کرج، ایران.

<sup>۲</sup>پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

\*تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، کدپستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶

پست الکترونیکی: prezaeian@aeoi.org.ir

### چکیده

به علت تابش گاما ناشی از رادیویازوپ های مورد استفاده برای اهداف تشخیصی و درمانی مانند  $^{99m}\text{Tc}$ ، کارکنان پزشکی هسته‌ای دز دریافت می‌کنند. مقدار معادل دز دریافتی کارکنان، با استفاده از دزیمترهای فردی تعیین می‌شود. با توجه به این که مراحل دوشیدن، آماده‌سازی و تزریق رادیودارو توسط تکنسین انجام می‌شود، دست‌ها و سایر اعضاء تکنسین در معرض تابش قرار خواهد گرفت. در این مقاله میزان معادل دز انگشتان و چشم تکنسین شاغل در یک مرکز پزشکی هسته‌ای حین آماده‌سازی رادیوداروی حاوی رادیویازوتوپ  $^{99m}\text{Tc}$  با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس GR-200 اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری نشان می‌دهد که بیشینه معادل دز جذبی در انگشتان یک دست و چشم به ترتیب حدود ۱۶ و ۳ میکروسیورت است. با در نظر گرفتن ساعت کاری در طول یک سال معادل دز چشم و دست برای این مورد بررسی شده کمتر از مقدارحد مجاز سالانه برای این دو عضو است.

**کلیدواژگان:** معادل دز، پزشکی هسته‌ای، فرآیند تشخیصی، دزیمتر ترمولومینسانس، حد دز.

### ۱. مقدمه

بیمار می‌باشد. از رادیویازوتوپ‌های مورد استفاده در کارهای تشخیصی می‌توان به  $^{99m}\text{Tc}$  اشاره کرد. این رادیویازوتوپ با گذار ایزومریک با گسیل دو پرتوی گاما با انرژی‌های ۱۴۲/۶ (۱/۴٪) و ۱۴۰/۵ (۹۸/۶٪) کیلوالکترون‌ولت به حالت پایدار می‌رسد، که در این میان فوتون گاما با انرژی ۱۴۰/۵ کیلوالکترون‌ولت غالب می‌باشد.

پرتوهای یون‌ساز در زمینه‌های مختلف پزشکی، صنعتی و کشاورزی کاربرد دارند. در پزشکی این پرتوها برای کارهای تشخیصی و درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از روش‌های استفاده از پرتوهای یون‌ساز در زمینه تشخیص پزشکی، استفاده از رادیوداروهاست [۱، ۲]. یک رادیو دارو متشکل از یک رادیویازوتوپ و یک حامل است. نقش رادیو دارو انتقال رادیو ایزوتوپ به بافت یا عضو مورد نظر در بدن

به منظور استفاده از این رادیوایزوتوپ پیش از تزریق به بیمار باید با یک حامل ترکیب شود. با توجه به پرتوزا بودن رادیوایزوتوپ‌ها در مراحل دوشیدن، آماده‌سازی و تزریق رادیودارو، تکنسین مربوطه پیوسته در معرض پرتوهای یون‌ساز قرار می‌گیرد. قسمت‌های مختلف بدن تکنسین با توجه به موقعیت مکانی نسبت به رادیودارو ممکن است مقادیر مختلف دز را دریافت کند. در میان اعضاء مختلف، دست‌ها بیشتر در معرض تابش قرار دارند، بنابراین تعیین معادل دز جذبی انگشتان و دست‌ها حائز اهمیت است. محققین مختلف تلاش کرده‌اند تا در مراکز مختلف با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس معادل دز جذبی انگشتان و عوامل مؤثر بر آن را تعیین کنند.

بر این اساس در سال ۲۰۰۲ معادل دز انگشتان وسط ۶۰ نفر از کارکنان ۵ مرکز هسته‌ای که از رادیوایزوتوپ‌های تکنسیوم و ید استفاده می‌کردند، با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس لیتیوم فلوراید اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان معادل دز جذبی انگشت وسط دست کمتر از مقدار مجاز سالانه است [۳]. در سال ۲۰۰۳ میزان معادل دز جذبی انگشتان مختلف دست تخمین و با یکدیگر مقایسه شد و مشاهده شد که میزان معادل دز جذبی انگشتان مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشد، همچنین در این کار با استفاده از یک فانتوم معادل انگشت و مچ دست اندازه‌گیری‌هایی نیز انجام شد [۴].

وریزنس<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۸ به بررسی تفاوت‌ها در میزان معادل دز جذبی انگشتان دو دست پرداختند و نشان دادند که تفاوت در دز معادل جذبی میان دست‌های چپ و راست و انگشتان بستگی به روش‌های مورد استفاده تکنسین دارد. با این وجود مقادیر گزارش شده در این مقاله نشان می‌دهد معادل دز جذبی در انگشتان اشاره بیش از سایر

انگشتان است [۵]. در سال ۲۰۱۱ پیشنهاداتی برای کاهش معادل دز جذبی انگشتان دست‌های کارکنان مراکز درمانی ارائه شد که از آن جمله می‌توان به پایش دائمی معادل دز جذبی انگشتان، استفاده از سرنگ‌ها و ویال حفاظدار و استفاده از تکنیک‌هایی برای افزایش فاصله میان شخص و رادیودارو اشاره کرد [۶]. در سال ۲۰۱۱ بکر و بلانک با استفاده از شبیه‌سازی میدان پرتویی، معادل دز جذبی در انگشتان به تفکیک بند انگشتان را محاسبه کردند و نشان دادند که میزان دز جذبی در انگشت شست بیش از سایر انگشتان می‌باشد [۷].

بررسی مقالات موجود نشان می‌دهد که میزان معادل دز در انگشتان مختلف می‌تواند متفاوت باشد و این تفاوت نیاز به پایش دائمی معادل دز انگشتان را مشخص می‌کند. این پایش در شش کشوری اروپایی (فرانسه، اسپانیا، بلژیک، ایتالیا، اسلواکی و سوئیس) تحت پروژه ی اورامد<sup>۲</sup> [۸، ۹] در حال انجام می‌باشد. اما تاکنون در منابع جستجو شده گزارشی در خصوص انجام این نوع اندازه‌گیری‌ها در کشور مشاهده نشده است.

بر این اساس در این پژوهش با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس (GR-200) میزان معادل دز جذبی دست کارکنان شاغل در یک مرکز پزشکی هسته‌ای به تفکیک انگشتان دست اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان معادل دز جذبی در یک روز کاری، با اکتیویته رادیوایزوتوپ‌در حدود ۸۰۰ میلی‌کوری، از حدود ۰/۲۳ تا ۱۶/۳۳ میکروسیورت متفاوت است. همچنین بیشینه دز جذبی برای چشم ۳/۰۹ میکروسیورت است. مقادیر به دست آمده نشان می‌دهد که علیرغم تفاوت در میزان معادل دز جذبی، با در نظر گرفتن ساعات کار روزانه و اکتیویته مورد استفاده در هر روز میزان دز جذبی دست‌ها کمتر از حد مجاز ۵۰۰ میلی‌سیورت و چشم‌ها نیز کمتر از ۱۵۰ میلی‌سیورت در سال است.

<sup>2</sup> ORAMED

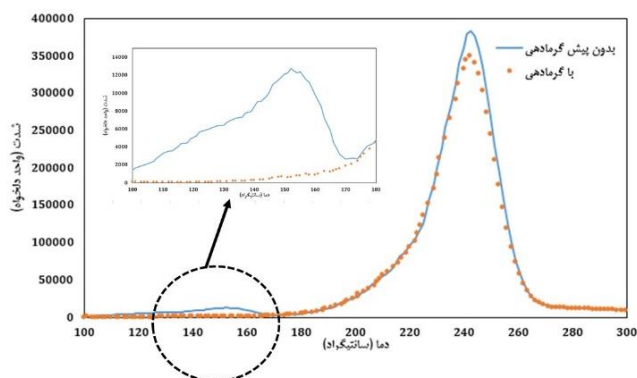
<sup>1</sup> Wrzesien

## ۲. مواد و روش‌ها

دزیمترها در نور محیط تأثیری بر پاسخ آن‌ها ندارد. همچنین برای تخمین دز جذبی چشم، دزیمترهایی بر روی عینک تکنسین قرار داده شد. به این ترتیب در حین دوشیدن و آماده‌سازی رادیوداروها با استفاده از دزیمترهای قرار داده شده، میزان معادل دز جذبی انگشتان و چشم اندازه‌گیری شد. شکل ۲ مرحله‌ی دوشیدن را نشان می‌دهد. پس از انجام اندازه‌گیری‌ها، به منظور حذف قله‌های ناشی از ترازهای سطحی، ابتدا دزیمترها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار گرفتند. در شکل ۳، تأثیر این گرمادهی نشان داده شده است.



شکل (۲): تکنسین در حال دوشیدن و آماده‌سازی رادیودارو.

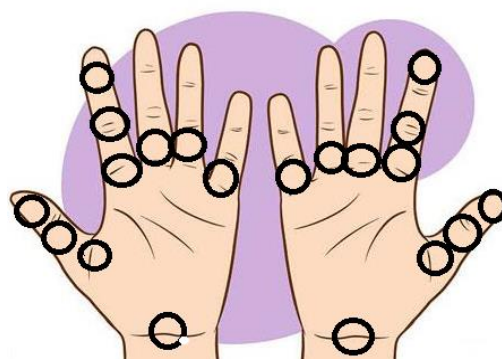


شکل (۳): تأثیر پیش گرمادهی بر قله‌های سطحی GR-200.

همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود پیش گرمادهی سبب حذف قله‌های سطحی و بطور کلی بخش کم دمای منحنی تابش می‌شود. برای خوانش دزیمترها از دستگاه قرائت‌گر مدل Harshaw-4500 استفاده شد. دزیمترها با آهنگ خطی ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه از دمای محیط تا ۲۴۰ درجه

برای تعیین مقدار دز جذبی، از آشکارسازهای ترمولومینسانس (GR-200) استفاده می‌شود. از ویژگی‌های این دزیمتر می‌توان به حساسیت بالا، پاسخ انرژی فوتون مستقیم، حدود محوشدگی کم و پاسخ خطی دز اشاره کرد. این دزیمتر در مقایسه با سایر دزیمترهای ترمولومینسانس حساسیت بیشتری دارد و برای اندازه‌گیری دز بافت مناسب است. همچنین عدد اتمی مؤثر این دزیمتر در حدود ۸/۲ می‌باشد که نزدیک به عدد اتمی بافت (۷/۴) می‌باشد. بنابراین این دزیمتر ابزاری مناسب برای دزیمتری فردی است.

به منظور انجام اندازه‌گیری، ابتدا دزیمترها به منظور خالی شدن کلیه ترازهای گیرانداز به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. دزیمترها را در ۲۲ مکان در دستان چپ و راست دو تکنسین، از جمله انگشتان دست و میچ دست قرار گرفتند. نحوه‌ی قرارگیری دزیمترها در شکل ۱ نشان داده شده است.

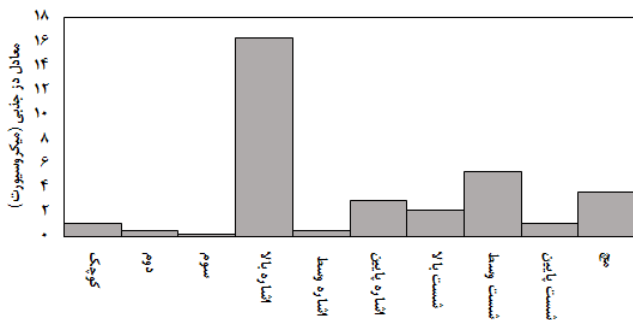


شکل (۱): نحوه‌ی قرار گرفتن دزیمترها روی دست‌های تکنسین.

با توجه به اهمیت انگشتان اشاره و شست، دزیمترها در ۳ قسمت از این دو انگشت قرار داده شدند. برای محافظت در برابر آلودگی‌های خارجی دزیمترها را در یک فویل شفاف قرار گرفتند و با استفاده از چسب روی دستکش تکنسین‌ها ثابت شدند. لازم به ذکر است که محوشدگی نوری دزیمترهای GR-200 بسیار کم می‌باشد، از این رو قرارگیری این

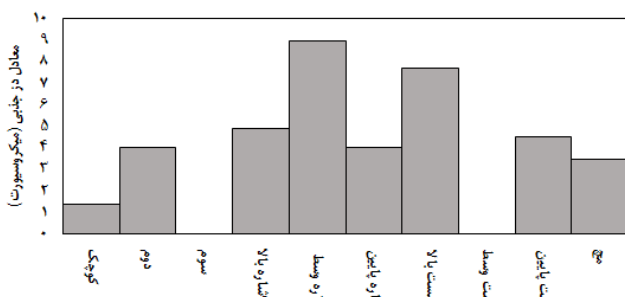
### ۳. نتایج

اندازه‌گیری دز معادل دست در بخش پزشکی هسته‌ای یکی از بیمارستان‌های استان البرز انجام شد. به طور کلی در مدت زمان اندازه‌گیری ۸ ساعت تکنسین با اکتیویته‌ای حدود ۷۹۰ میلی‌کوری کار کرد و جمعا ۳ بار راکتور دوشیده شده است. در این مدت زمان اسکن برای ۳۰ بیمار انجام شده است. در شکل ۵ نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی انگشتان دست راست نشان داده شده است.



شکل (۵): اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی انگشتان دست راست، مقادیر دز جذبی با عدم قطعیت ۶٪ محاسبه شده‌اند.

همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود بیشترین میزان معادل دز جذبی مربوط به بند بالایی انگشت اشاره می‌باشد. که با توجه به موقعیت این انگشت در مراحل دوشیدن و آماده‌سازی رادیو دارو قابل توجیه است. در شکل ۶، نتایج اندازه‌گیری‌ها بر روی انگشتان دست چپ نشان داده شده است.

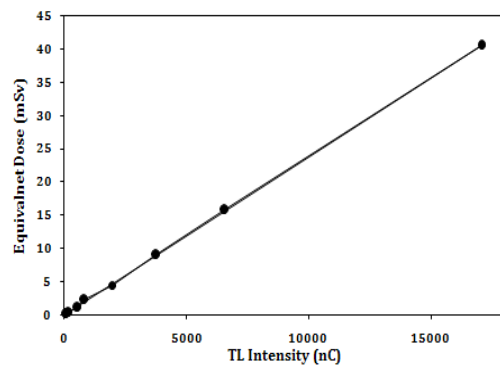


شکل (۶): اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی انگشتان دست چپ، مقادیر دز جذبی با عدم قطعیت ۶٪ محاسبه شده‌اند.

ساتی‌گراد گرم و منحنی تابش ترمولومینسانس آن‌ها ثبت و مقدار بار جمع شده تعیین شد. مقدار قرائت شده بار ( $Q_{TL}$ ) با استفاده از رابطه زیر به دز جذبی تبدیل شد.

$$Dose\ Equiva\ln\ et = (Q_{TL} \times ECC) \times \alpha \times \frac{RI}{RI_0} \times Cf \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $ECC$  حساسیت دزیمترهای ترمولومینسانس،  $\alpha$  ضریب تصحیح انرژی،  $RI_0$  شدت نور مرجع در آغاز به کار دستگاه،  $RI$  شدت نور مرجع در هر ۱۰ قرائت و  $Cf$  ضریب کالیبراسیون دزیمترهای می‌باشد. مقدار حساسیت دزیمترها با پرتودهی آن‌ها در یک میدان پرتویی کالیبره  $^{137}Cs$  تعیین شد. مقدار حساسیت و کالیبراسیون دزیمترهای مورد استفاده در این تحقیق در میدان پرتویی  $^{137}Cs$  با انرژی ۶۶۲ کیلو الکترون ولت انجام شد، در حالی که از این دزیمترها برای تعیین معادل دز فوتون‌های  $^{99m}Tc$  استفاده شد. بر این اساس باید ضریب تصحیح انرژی تعیین و در محاسبات اعمال شود. ضریب تصحیح انرژی دزیمترهای GR-200 برای انرژی ۱۴۰/۵ کیلو الکترون ولت ۰/۸۶ محاسبه شد [۱۰]. همانگونه که پیش از این بیان گردید، کالیبراسیون دزیمترها در میدان پرتویی کالیبره  $^{137}Cs$  انجام شد. بدین منظور دزیمترها در ۸ دز مختلف پرتودهی و پاسخ آن‌ها ثبت شد. منحنی کالیبراسیون بدست آمده در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۴): منحنی کالیبراسیون آشکارسازهای ترمولومینسانس GR-200.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در یک مرکز پزشکی هسته‌ای، به دلیل استفاده از مواد رادیواکتیو در تشخیص و یا درمان، کارکنان درگیر همواره در معرض پرتو قرار دارند. از این جهت پایش پرتویی مستمر و دقیق این افراد ضروری است. در این مقاله با استفاده از دزیمترهای ترمولومینسانس، معادل دز جذبی انگشتان دست و چشم یک تکنسین شاغل در یک مرکز پزشکی هسته‌ای در استان البرز اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین دز جذبی در میان انگشتان، مربوط به بند بالای انگشت اشاره دست راست است (حدود ۱۶ میکروسیورت). اما با توجه به دخالت دست چپ، میزان بیشینه معادل دز جذبی انگشتان این دست نیز در حدود ۹ میکروسیورت است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌های در یک روز کاری کامل (حدود ۸ ساعت) انجام شده است، با در نظر گرفتن ۳ روزی کار در هفته برای هر تکنسین و ۴ هفته کاری در ماه، می‌توان نتیجه گرفت دستان راست و چپ این فرد در طول سال به ترتیب معادل دز جذبی حدود ۲/۳ و ۱/۲ میلی‌سیورت دریافت خواهد کرد که بسیار کمتر از حد مجاز ۵۰۰ میلی‌سیورت در سال است. حتی در یک تقریب بدبینانه اگر مجموع معادل دز جذبی انگشتان یک دست را به عنوان معیاری برای معادل دز جذبی دست در نظر گرفته شود، دز جذبی دست‌های راست و چپ به ترتیب ۵/۲ و ۶/۸ میلی‌سیورت خواهد بود. همچنین با انجام محاسبات مشابه ۰/۱۷ و ۰/۴۴ میلی‌سیورت می‌شود که از مقدار مجاز ۱۵۰ میلی‌سیورت در سال پایین‌تر است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن شرایط کاری تکنسین مورد مطالعه، مقدار معادل دز جذبی تکنسین در محدوده قابل قبول برای یک فرد پرتو کار قرار دارد. اما ذکر این نکته ضروری است که با توجه به روش‌های متفاوت تکنسین‌ها در استفاده از سرنگ، تفاوت ساعات کاری، تجربه، تبحر و اکتیویته مورد استفاده در مراکز مختلف، نتایج این

مشاهده می‌شود علی‌رغم اینکه تکنسین راست دست بوده است اما به دلیل درگیر شدن دست چپ در فرآیندهای دوشیدن و آماده‌سازی رادیو دارو، انگشتان این دست نیز در معرض پرتو قرار گرفته‌اند. علی‌رغم اینکه بیشینه معادل دز جذبی در دست چپ کمتر از دست راست است. اما معادل دز جذبی در دست چپ بیش از دست راست است. در شکل ۶ نتایج مربوط به بند میانی انگشت شست و انگشت سوم به دلیل آسیب دیدن دزیمترها گزارش نشده است.

با توجه به سایز دزیمترها و البته در نظر گرفتن شرایط کاری تکنسین‌ها، برای اینکه حین فرآیند دوشیدن، آماده‌سازی و تزریق مشکلی ایجاد نشود، در هر یک از نقاط نشان داده شده در شکل ۱، یک دزیمتر قرار داده شد. البته با توجه به اهمیت انگشتان شست و اشاره بر روی هر بند این انگشتان یک دزیمتر قرار گرفت. با توجه وجود یک دزیمتر در هر نقطه، امکان تعیین میزان انحراف استاندارد وجود ندارد بر این اساس عدم قطعیت پاسخ‌ها با توجه به دقت دزیمترهای GR-200 تعیین شد. با توجه به عدم قطعیت سیستماتیک ۶٪ دزیمترهای GR-200، میزان دز جذبی در هر نقطه با عدم قطعیت ۶٪ محاسبه شد. البته ذکر این نکته ضروری است که با تعیین انحراف معیار استاندارد در خصوص مقادیر تعیین شده بهتر می‌توان اظهار نظر کرد که بدین منظور باید چندین بار اندازه‌گیری‌ها برای یک تکنسین صورت گیرد یا جامعه آماری بیشتری برای اندازه‌گیری انتخاب شود که با توجه به محدودیت‌های مراکز درمانی در حال حاضر این شرایط فراهم نیست.

برای این تکنسین تلاش شد تا دز جذبی، چشم‌ها نیز تعیین شود. بدین منظور بر روی عینک تکنسین در نزدیک‌ترین فاصله به چشم تکنسین، دو دزیمتر ترمولومینسانس قرار داده شد. بر این اساس مقادیر معادل دز جذبی چشمان راست و چپ به ترتیب ۱/۱۹ و ۳/۰۹ میکروسیورت اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری و یا اندازه‌گیری‌های مشابه می‌توان به نتایج قابل  
تعمیمی دست یافت.

پژوهش قابل تعمیم به سایر تکنسین‌های شاغل در این مرکز و  
مراکز دیگر نیست. با افزایش جامعه آماری برای انجام این

## ۵. مراجع

- [1] M. Krupa, R. Nguyen, J. Revels, and L. S. Johnson. Technetium-99m pyrophosphate cardiac SPECT in endomyocardial biopsy negative cardiac amyloidosis, *Radiology Case Reports*, 13(5)(2018)925–928.
- [2] G. Cook, S. Houston, SF. Barrington and I. Fogelman. Technetium-99m-Labeled HL91 to Identify Tumor Hypoxia: Correlation with Fluorine-18-FDG, *The Journal of Nuclear Medicine*, 39(1) (1998) 99–103.
- [3] W. Chrusciewski, J. Olszewski, J. Jankowski and M. Cygan. Hand exposure in nuclear medicine worker, *Radiation Protection Dosimetry*, 101(1-4) (2002) 229–232.
- [4] J. Jankowski, J. Olszewski and K. Kluska. Distribution of equivalent doses to skin of the hands on nuclear medicine personnel, *Radiation Protection dosimetry*, 106(2) (2003) 177–180.
- [5] M. Wrzesien, J. Olszewski and J. Jankowski. Hand exposure to ionizing radiation of nuclear medicine workers, *Radiation Protection Dosimetry*, 130(3) (2008) 325–330.
- [6] M. Sans-Merce, N. Ruiz, I. Barth, A. Carnicer, L. Donadille, P. Ferrari, M. Fulop, M. Ginjaume, G. Gualdrini, S. Krim, F. Mariotti, X. Ortega, A. Rimpler, F. Vanhavere and S. Baechler. Recommendations to reduce hand exposure for standard nuclear medicine procedures, *Radiation Measurements*, 46(11) (2011) 1330–1333.
- [7] F. Becker, C. Blunck. Investigation of radiation exposure of medical staff: Measurements supported by simulations with an articulated hand phantom, *Radiation Measurements*, 46(11) (2011) 1299–1302.
- [8] <http://oramed-fp7.eu>
- [9] A. Carnicer, M. Sans-Merce, S. Baechler, I. Barth, L. Donadille, P. Ferrari, M. Fulop, M. Ginjaume, G. Gualdrini, S. Krim, M. Mariotti, X. Ortega, A. Rimpler, N. Ruiz and F. Vanhavere. Exposure in diagnostic nuclear medicine with 18F- and 99mTc-labelled radiopharmaceuticals - Results of the ORAMED project, *Radiation Measurements*, 46(11) (2011) 1277–1282.
- [10] L. Duggan, C. Hood, H. Warren-Forward, M. Haque and T. Kron. Variations in dose response with x-ray energy of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescence dosimeters: implications for clinical dosimetry, *Physics in Medicine and Biology* 49(17) (2004) 3831–3845.