

مقایسه آزمونهای پذیرش در چهار نوع دستگاه SPECT نصب شده در تهران

احمد بیطرفان رجبی^۱، دکتر حسین رجبی^۲، دکتر سید حسن فیروزآبادی^۳، دکتر ناهید یعقوبی^۳،
دکتر فریدون راستگو^۳، دکتر مهستی عمویی^۴، دکتر قاسم رضیعی^۵

دانشجوی دکترای فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، دکترای فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، متخصص پزشکی هسته ای، مرکز آموزشی تحقیقاتی درمانی قلب و عروق شهید رجایی، متخصص پزشکی هسته ای، بیمارستان شهدای تجریش، متخصص پزشکی هسته ای، بیمارستان فوق تخصصی میلاد، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۸۳/۱۲/۲، تاریخ اصلاح: ۸۴/۴/۲۰، تاریخ پذیرش: ۸۴/۵/۱۰)

چکیده

مقدمه: انجام آزمون پذیرش پس از نصب دستگاه‌ها توسط افراد متخصص و بیطرف، مسئله‌ای ضروری است. هدف از این آزمون مستند ساختن وضعیت حاضر دستگاه جهت مقایسه با مشخصات ادعایی سازنده و ایجاد مبنای مقایسه برای آزمونهای بعدی است. عدم انجام درست این آزمون سبب بوجود آمدن مشکلاتی شده است که قضاوت‌های متضادی را در پی داشته است. در این تحقیق وضعیت دستگاه‌های جدید نصب شده در تهران (به عنوان نمونه در کشور) مورد بررسی قرار گرفته اند. هدف از انجام این تحقیق یافتن برآوردی از وضعیت کنونی به عنوان راهگشایی برای تحقیقات وسیعتر در سطح کشور است.

روش بررسی: چهار دستگاه نصب شده در تهران در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند. کلیه آزمونهای کنترل کیفی با استفاده از دستورالعمل‌های توصیه شده توسط IAEA و NEMA و توسط یک گروه ثابت انجام شد. آزمونها شامل محاسبه قدرت تفکیک فضایی ذاتی، قدرت تفکیک انرژی ذاتی، و غیر ذاتی آشکار ساز، حساسیت، قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده (با و بدون پرتوهای پراکنده) و مرکز دوران بوده است.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که سه دستگاه مورد بررسی، حداقل شرایط را جهت پذیرش دارا هستند، اما دستگاه چهارم از نظر قدرت تفکیک انرژی و قدرت تفکیک مکانی واجد شرایط لازم تشخیص داده نشد. پیگیری شش ماهه پس از نصب نشان داد که دستگاه اخیر مکرراً دچار اشکال شد و برای مدت قابل توجهی خارج از سرویس بود. این در حالی است که سه دستگاه دیگر عملاً دچار مشکل قابل توجهی نشدند.

نتیجه‌گیری: چنانچه در انجام آزمون پذیرش، یک دستگاه دچار عیوب اولیه نباشد تا مدت قابل توجهی پس از نصب برای کاربر مشکل ساز نخواهد بود. بسیاری از مشکلات یک دستگاه در مرحله آزمون پذیرش قابل کشف است. باید به نتایج آزمون پذیرش توجه کافی مبذول شود.

واژه‌های کلیدی: آزمونهای پذیرش، کنترل کیفی، SPECT

مقدمه

مشخصی را تداعی نمی نمایند و کمتر مورد توجه قرار می گیرند. برای مثال غیر یکنواختی ۴٪ برای یک دستگاه می تواند مطلوب و برای دستگاه دیگر نشان از استحاله تدریجی باشد (۷). بدون داشتن مقادیر مرجع نمی توان در مورد یک آزمون نتیجه گیری قطعی نمود. مقادیر مرجع باید در مرحله انجام آزمون پذیرش بدست آیند.

انجام آزمون پذیرش در مورد دستگاه های بازسازی شده از اهمیت صد چندان برخوردار است. این دستگاه ها عملاً بصورت وضعیت موجود فروخته می شوند و مشخصات اولیه که توسط سازنده اصلی عنوان شده به هیچ وجه نمی تواند مورد استناد قرار گیرد. تنها با انجام آزمون پذیرش است که خریدار از مشخصات واقعی دستگاه اطلاع می یابد. باید به این نکته بسیار مهم توجه داشت که پنهان کردن برخی عیوب دستگاه از کاربر کار چندان مشکلی نیست (۸).

هدف از انجام این تحقیق مقایسه بین آزمونهای پذیرش در چهار دستگاه تصویر برداری مختلف بوده است که اخیراً در تهران نصب شده اند. در این مقایسه تفاوت بین مشخصات اندازه گیری شده و مشخصات ادعایی سازنده مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در مقام مقایسه بهترین دستگاه از میان این دستگاهها تعیین شده است.

روش بررسی

در این تحقیق چهار دستگاه SPECT که اخیراً در تهران نصب شده مورد بررسی قرار گرفتند. این دستگاه ها عبارتند از:

دستگاه تک سر genesis (ADAC)

دستگاه تک سر (Siemens Ecam)

دستگاه دو سر (GE) sophia

دستگاه دو سر (Mediso)

کلیه آزمونهای کنترل کیفی با استفاده از دستورالعمل های توصیه شده توسط NEMA و IAEA (۲ و ۳) و توسط یک گروه ثابت انجام پذیرفت. از میان آزمونهای انجام گرفته قدرت تفکیک فضایی ذاتی، قدرت تفکیک انرژی ذاتی، قدرت تفکیک زمانی، خطی بودن ذاتی، بیشترین میزان شمارش، اندازه پیکسلها، یکنواختی ذاتی، حساسیت، قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده (با و بدون پرتوهای پراکنده) و مرکز دوران برای بررسی در این تحقیق در نظر گرفته

بطور کلی آزمونهای کنترل کیفی در پزشکی هسته ای را می توان به دو دسته تقسیم کرد، آزمونهای دوره ای و آزمون پذیرش (۱). در موارد خاص نیز برخی از آزمونها بطور موردی انجام می شوند. هدف از انجام آزمونهای دوره ای پی بردن به تغییرات عملکرد دستگاه نسبت به مقادیر مرجع است. مقادیر مرجع عموماً بر پایه اندازه گیری جامع و کامل مشخصات دستگاه بلافاصله پس از نصب و در مرحله انجام آزمونهای پذیرش بدست می آید (۲). انجام آزمون پذیرش از دو نظر حائز اهمیت است.

الف: بررسی مشخصات دستگاه و مقایسه با

مقادیر ادعا شده توسط سازنده

بسیاری از مقادیری که به عنوان مشخصات دستگاه توسط سازنده ادعا می شود عملاً قابل حصول نیستند و نمی توانند به عنوان مرجع در آزمونهای بعدی بکار گرفته شوند. زیرا این مقادیر در شرایط استاندارد کارخانه بدست می آیند که با شرایط یک بخش پزشکی هسته لزوماً یکسان نیست (۳). بعلاوه پس از انجام آزمون اولیه توسط سازنده در محل تولید، قطعات دستگاه برای بسته بندی مجزا شده و پس از انتقال به مکان مورد نظر مجدداً به یکدیگر اتصال می یابند (۴). طی دوره انتقال و در اثر عوامل مختلف ممکن است دستگاه دچار آسیب های کوچک و بزرگ گردد. شرایط محل نصب، زاویه آن نسبت به میدان مغناطیسی زمین و مهارت نصب کننده می توانند به طور محسوس در کارایی دستگاه تاثیر داشته باشند. از این نظر آزمون پذیرش بررسی و اندازه گیری مشخصات عملی دستگاه با مشخصات ادعایی سازنده است (۵). مشاهده هر نوع انحراف از این مقادیر مرجع در آزمونهای بعدی نشانگر مشکلی است که باید به آن رسیدگی شود. معمولاً انحراف ناگهانی از مقادیر مرجع اگر ناشی از اشتباه در محاسبات نباشد، نشانگر مشکل های کوچک اما با اهمیت هستند که توسط فیزیکدان بخش قابل رفع است. در حالیکه انحرافات تدریجی عموماً بیانگر مشکلات بزرگ در آینده است که نیاز به اقدامات پیشگیری کننده را گوشزد می کند (۶).

ب: ثبت مقادیر مرجع برای آزمونهای دوره ای

شاخص های یک دستگاه بصورت مطلق معنی

در حدود مقادیر مورد انتظار و مقادیر توصیه شده بودند و از این نظر قابل قبول بودند. ولی دستگاه‌های ب و ج به ترتیب دارای قدرت تفکیک انرژی ۱۰٪ و ۱۵٪ بیشتر از مقادیر توصیه شده و ۱۶٪ و ۱۹٪ بیشتر از مقادیر مورد انتظار بودند. در مجموع از نظر قدرت تفکیک انرژی دستگاه‌های الف و د قابل قبول و دستگاه‌های ب و ج نامناسب تشخیص داده شدند. برآزش خطی بین مقادیر قدرت تفکیک فضایی و قدرت تفکیک انرژی در چهار دستگاه فوق ضریب همبستگی حدود ۹۸٪ را نشان می‌دهد. چنانکه ذکر شد این موضوع تأیید می‌کند که مشکل دستگاه همان است که در بخش قبلی به آن اشاره شد.

قدرت تفکیک زمانی

محاسبه زمان مرده دستگاه با استفاده از روش مشتق و با استفاده از آهنگ شمارش بیشینه در ردیف سوم جدول ۲ ذکر شده اند. در هر چهار دستگاه مقادیر محاسبه شده در محدوده قابل قبول قرار دارد. اما تفاوت آنها با مقادیر مورد انتظار زیاد است. در عمل محاسبه دقیق زمان مرده بسیار دشوار است و روش مشتق تنها مقدار تقریبی زمان مرده را به دست می‌دهد. با توجه به آنکه معمولاً آهنگ شمارش بیشینه کمتر از مقدار واقعی بدست می‌آید، در نتیجه زمان مرده بیش از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. به هر صورت با توجه به مجموع شرایط این شاخص در هر چهار دستگاه قابل قبول است.

آهنگ شمارش بیشینه

آهنگ شمارش بیشینه در چهار دستگاه فوق در دو حالت پنجره انرژی باز و پنجره ۲۰٪ در ردیف‌های چهارم و پنجم جدول ۱ ذکر شده اند. با توجه به مقادیر توصیه شده، هر چهار دستگاه قابل پذیرش هستند، هر چند آهنگ شمارش دستگاه‌های الف و د بطور محسوس از دو دستگاه و همچنین مقادیر مورد انتظار کمتر است.

در مورد عدم هماهنگی بین آهنگ شمارش در پنجره باز و پنجره ۲۰٪ در هر یک از این دستگاه‌ها باید به این نکته توجه داشت که میزان باز شدن پنجره‌ها در همه دستگاه‌ها یکسان نیست و در هر چهار دستگاه مقدار نسبی پراکندگی یکسان نبوده است.

شدند. کلیه آزمون‌های ذاتی بدون کلیماتور و آزمون‌های غیر ذاتی با کلیماتور سوراخ موازی چند منظوره با قدرت تفکیک بالا انجام شدند.

لوازم مورد استفاده جهت انجام آزمون‌های فوق عبارت از فانتوم‌های تخت، خطی، خط گستر و جیساک بودند. همچنین از لوله‌های موئینه ۱۰ و ۱۵ سانتیمتری و چشمه‌های کوچک (نقطه‌ای) استفاده شد. کلیه آزمون‌ها بوسیله چشمه رادیو اکتیو ^{99m}Tc انجام گرفتند.

یافته‌ها و بحث

نتایج آزمون‌های پذیرش در هر چهار دستگاه (که در این مقاله الف، ب، ج و د نامگذاری شده اند) به شرح زیر می‌باشند (جدول‌های ۱ و ۲).

قدرت تفکیک فضایی

بهترین قدرت تفکیک فضایی ذاتی در دستگاه الف دیده شد (۳/۳۰ mm)، و دستگاه ج دارای کمترین قدرت تفکیک فضایی ذاتی (۵/۱۷ mm) بود. دستگاه‌های الف و د دارای قدرت تفکیک فضایی ذاتی قابل قبولی براساس توصیه‌های IAEA و NEMA و تقریباً معادل با مقادیر ادعا شده توسط سازنده گان (مقادیر مورد انتظار) بودند. در دستگاه ب قدرت تفکیک مشاهده شده ۱۵٪ و در دستگاه ج ۶۰٪ بیشتر از مقادیر ادعا شده توسط سازنده بود. دستگاه ج از نظر قدرت تفکیک فضایی غیر قابل قبول تشخیص داده شد. اختلاف فاحش بین مقدار مورد انتظار و مقدار محاسبه شده در دستگاه ج را می‌توان به عوامل متعددی نسبت داد. با توجه به اشکالی که در قدرت تفکیک انرژی این دستگاه نیز مشاهده شد به احتمال زیاد این عیب ناشی از عملکرد نامناسب فوتومولتی پلایر هاست. با توجه به اینکه دستگاه پس از کوک کردن (Tuning) فزون سازی‌های نوری (Photomultiplier) تفاوت قابل توجهی را در بهره آنها نشان نمی‌دهد. این مشکل می‌تواند ناشی از آسیب دستگاه‌های الکترونیکی باشد. این دستگاه در چند ماه اول کار چند بار دچار مشکلات کوچک و بزرگ (عمدتاً الکترونیکی شده است).

قدرت تفکیک انرژی

در دستگاه‌های الف و د قدرت تفکیک انرژی ذاتی

جدول ۱ - نتایج آزمونهای پذیرش در ۴ نوع دستگاه SPECT

الف	ب	ج	د	نوع آزمون
۳/۳	۴/۵	۵/۱۷	۳/۷	قدرت تفکیک فضایی ذاتی (mm * FWHM برحسب mm)
۱۰	۱۱	۱۱/۵	۱۰	قدرت تفکیک انرژی ذاتی (%FWHM)
۲/۲ <	۲/۸ <	۲/۸ <	۳/۲ <	قدرت تفکیک زمانی (زمان مرده) (μsec)
۱۹۴	۲۷۰	۲۱۴	۱۸۷	آهنگ شمارش (keV)
۴۴۴	۳۵۳	۳۴۷	۳۱۱	
۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۲۲	تغییرات در خطی بودن ذاتی (mm)
%۲	%۲	%۲	%۵	غیریکنواختی آشکار ساز (%)
۲۰۸	۲۱۷	۲۵۷	-	حساسیت (kcount/ Ci μ)
۰/۳۰	-	-	۰/۱۴	خارج بودن از مرکز دوران (mm)
۷/۹۷	۱۱/۷۰	۱۳/۵۴	۱۱/۷۴	قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده بدون پرتوهای پراکنده (mm برحسب FWHM)
۷/۹۰	۱۲/۵۰	۱۶/۲۵	۱۲/۱۴	
۱۰/۲۷	-	۱۲/۴۶	۱۳/۵۰	قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده با پرتوهای پراکنده (mm برحسب FWHM)
۹/۴۰	-	۱۷/۳۳	۱۸/۴۰	
-	۰/۱۵	۰/۱۱	-	میانگین تغییرات در اندازه پیکسلها (mm)
۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	نفوذ از حفاظ با کسر پرتوهای زمینه (%)

* Full Wight at half maximum

غیر خطی بودن ذاتی

مقادیر اندازه گیری شده در دستگاههای الف و ج اندکی بالاتر از مقادیر توصیه شده و مقادیر مورد انتظار بودند. با توجه به اینکه به علت در دسترس نبودن فانتوم مربوطه اندازه گیری و محاسبه بصورت دستی انجام شده این اختلاف می تواند ناشی از خطای اندازه گیری باشد.

یکنواختی آشکار ساز

از نظر یکنواختی آشکار ساز ، دستگاههای الف و ب و ج تقریباً در یک سطح و در محدوده قابل قبول و مقادیر مورد انتظار قرار داشتند. علت بالا بودن غیر یکنواختی در دستگاه (د) به احتمال بسیار زیاد ناشی

از ماتریس مرجع برای محاسبه است. بنابر این هر چهار دستگاه از این نظر قابل قبول تشخیص داده شدند.

مرکز دوران

در هر چهار دستگاه عدم مطابقت مرکز دوران فیزیکی و نرم افزاری ناچیز و در محدوده توصیه شده قرار داشت. در میان این چهار دستگاه عدم مطابقت در دستگاه الف اندکی بیش از سایر دستگاه ها بود که علت آن ساختمان گانتری است. گانتری هایی که از یک بازو تشکیل شده اند عموماً به اندازه گانتری هایی که از ریل های حلقوی تشکیل شده اند پایدار نیستند. به هر صورت از نظر این شاخص هر چهار دستگاه قابل قبول تشخیص داده شدند.

جدول ۲- مشخصات هر یک از ۴ نوع دستگاه SPECT

الف	ب	ج	د	نوع آزمون
3/5	3/9	< 3/5	3/7	قدرت تفکیک فضایی ذاتی (FWHM برحسب mm)
9/9	9/4	< 9/6	9/9	قدرت تفکیک انرژی ذاتی (%FWHM)
0/5	-	1/0	-	قدرت تفکیک زمانی (زمان مرده) (μsec)
۰/۱۵	۰/۲۰	< 0/2	0/2	تغییرات در خطی بودن ذاتی (mm)
< 2/0	< 2/5	< 2/0	< 2/4	غیریکنواختی آشکار ساز (%)
200	> 202	285	>151	حساسیت (count/ Ci min /μ)
-	-	-	pixel 0/2 64×64	خارج بودن از مرکز دوران (mm)
-	-	-	-	کناری
-	-	-	-	بدون پرتوهای پراکنده (FWHM برحسب mm)
-	<11/6	-	-	کناری
-	< 8/4	-	-	وسطی
> 220	> 220	-	> 222	پنجره 20%
-	> 240	> 250	-	پنجره باز (keV)
-	-	-	-	میانگین تغییرات در اندازه پیکسلها (mm)
-	-	-	-	نفوذ از حفاظ (%)

حساسیت

هر چهار دستگاه دارای حساسیتی تقریباً در محدوده مورد انتظار بودند، هرچند حساسیت در دستگاه ج بالاتر از دیگر دستگاهها اما اندکی کمتر از مقادیر ادعا شده بود. با توجه به آنکه حداقل ۵٪ خطا در اندازه گیری اکتیویته وجود دارد این شاخص در هر چهار دوربین قابل قبول تشخیص داده شد.

قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده

بهترین قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده با و بدون پرتوهای پراکنده در دستگاه الف مشاهده شد. در دستگاههای ب و د قدرت تفکیک فضایی بازسازی

شده بدون پرتوهای پراکنده و در دستگاه ج قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده با پرتوهای پراکنده تقریباً در حد مورد انتظار بودند. کلیه دستگاهها مقادیری دال بر قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده ارائه نمودند، فقط دستگاه ب مقادیری را جهت قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده بدون پرتوهای پراکنده ادعا نموده که با مقادیر بدست آمده مطابقت ندارند. روشهای بازسازی و فیلتراسیون تاثیر زیادی بر روی قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده می گذارند. علاوه بر این عواملی نظیر اندازه ماتریکس، فاصله آشکار ساز با فانتوم و هم راستا بودن فانتوم با محور طولی تخت تاثیر گذار میباشند (جدول ۱ و ۲ و ۳).

جدول ۳ - مقادیر قابل قبول از نظر NEMA و IAEA

NEMA & IAEA		نوع آزمون
3/5		قدرت تفکیک فضایی ذاتی (FWHM بر حسب mm)
< 9/7		قدرت تفکیک انرژی ذاتی (%FWHM)
1/5 - 3		قدرت تفکیک زمانی (زمان مرده) (μsec)
< 0/2		تغییرات در خطی بودن ذاتی (mm)
< 2		غیریکنواختی آشکار ساز (%)
10 % < سازنده		حساسیت (count/ Ci min / μ)
< 2		خارج بودن از مرکز دوران (mm)
-	کناری	قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده بدون پرتوهای پراکنده (FWHM بر حسب mm)
-	وسطی	
15 <	کناری	قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده با پرتوهای پراکنده (FWHM بر حسب mm)
< 16	وسطی	
> 200	پنجره 20%	آهنگ شمارش (keV)
> 250	پنجره باز	
< 5%		میانگین تغییرات در اندازه پیکسلها (mm)
بدون زمینه		نفوذ از حفاظ (%)

نتیجه گیری

ملزومات مورد نیاز برای انجام آزمونها در مورد یک دستگاه SPECT پیچیده تر از دوربین گامای پلانار است. محاسبات مورد نیاز نیز باید دقیقتر انجام گیرد. مقادیر قابل قبول نیز عموماً در دامنه محدودتری قرار دارند. اما بطور کلی باید در نظر داشت که برنامه کنترل کیفی در عین حال که بایستی حساسیت کافی برای کشف تغییرات زیان بار را در عمل داشته باشد، نباید آن قدر سخت گیرانه باشد که تغییرات بی اهمیت و کوچک را به گونه ای گمراه کننده مهم و بزرگ جلوه دهد.

از میان شاخصهای متفاوت کنترل کیفی، قدرت تفکیک فضایی و یکنواختی ذاتی از بیشترین اهمیت برخوردار هستند. شاخصهای دیگر مانند حساسیت، آهنگ شمارش بیشینه و مرکز چرخش... در انتخاب

اندازه پیکسل

دستگاههای الف و د کمترین تغییر را در اندازه پیکسلها نشان دادند، و تغییرات آنها در محدوده توصیه شده قرار داشت. دستگاه ب بیشترین تغییر را در اندازه پیکسل دارا بود و در هر دو دستگاه ب و ج تغییراتی بیشتر از محدوده توصیه شده بود. هیچیک از سازندگان مقادیر مورد انتظار را تعیین نکرده بودند.

نفوذ از حفاظ با کسر پرتوهای زمینه

دستگاه ب دارای کمترین قابلیت نفوذ پذیری پرتو از نواحی اطراف آشکارساز و دستگاه الف دارای بیشترین نفوذپذیری بود. در صورتی که نباید پرتوهای نفوذی از اطراف آشکارساز ثبت شوند. هیچ یک از دستگاهها مقادیری دال بر نفوذ پذیری پرتو از حفاظ اطراف آشکار ساز ارائه نمودند (جدول ۱ و ۲ و ۳).

دستگاه‌ها قابل اصلاح است. با در نظر گرفتن همه شرایط، اگر قصد انتخاب دستگاه برتر را از بین چهار دستگاه مورد بررسی داشته باشیم، دستگاه الف را می‌توان دستگاه برتر معرفی کرد، هرچند در انتخاب یک دوربین شرایط اقتصادی را باید در نظر گرفت.

یک دستگاه در الویت قرار نمی‌گیرند. زیرا حساسیت با افزایش مقدار اکتیویته تزریقی قابل جبران است. آهنگ شمارش بیشینه در شرایط خاص و زمانی که کمی سازی دقیق مورد نیاز است از اهمیت برخوردار می‌شود. مرکز دوران کمتر از یک پیکسل در همه

منابع

1. Eaton R. National Electrical Manufactures Association. 2001.
2. NEMA. Performance Measurements of Scintillation Cameras. National Electrical Manufacturers Association, 1994.
3. IAEA. Quality Control of Nuclear Medicine Instruments. Internal Atomic Energy Agency, 1991.
4. O'Connor MK, Rochester MC. Quality control of scintillation cameras(Planar and SPECT). 2002.
5. Rogers WL, Clinthorne NH, Harkness BA. Field flood requirements for emission computed tomography with an Anger camera. J Nucl Med 1982; 23:162-168.
6. Lancaster J. Practical gamma camera quality control with a four-point phantom. J Nucl Med 1985; 26:300-307.
7. Hasegawa B. Quality control of scintillation cameras using a minicomputer. J Nucl Med 1981; 22: 1075-1080.
8. Groch MW, Erwin WD. Single-photon emission computed tomography in the year 2001: Instrumentation and quality control. J Nucl Med Tech 2001; 29(1): 12-18.