بررسی کیفیت کار برش‌نگار رایانه‌ای گسیل تک‌فوتونی (SPECT) موجود در مؤسسه پزشکی هسته‌ای بیمارستان دکتر علی شریعتی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران

دکتر عباس تکاور

دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران

چکیده

در پزشکی هسته‌ای، دو گونه نگاره‌برداری سطحی (Planar) و برش‌نگاری (tomography) انجام می‌شود. برش‌نگاری (SPECT) ویژگی‌های ظریف یک نگاره را بهتر نمایش می‌دهد، بنابراین بیشتر هم زیر تأثیر پارامترهای مؤثر در نگاره مانند توانایی جداسازی فضای (Spatial resolution)، حساسیت (sensitivity) و ... قرار می‌گیرد. کارخانه‌های سازنده دستگاه‌ها، داده‌هایی را درباره دستگاه در اختیار خریدار قرار می‌دهند که با روش‌های علمی پیچیده وگاهی مخفی به دست آمده‌اند. شرکت‌های بازاریاب، خود این داده‌ها را آزمایش و تأیید می‌کنند و خریدار در هنگام نصب، آزمایش پذیرش (acceptance testing) را برای دستگاه به عمل می‌آورد. از آنجا که در کشور ما آزمایش پذیرش انجام نمی‌گیرد، چگونگی پی‌گیری کار دستگاه‌های بسیار گران‌قیمت و همچنین ایجاد یک برنامه کنترل کیفی با مشکل مواجه است.

در این بررسی که پس از نصب دستگاه انجام گرفته است، بررسی داده‌های موجود در کاتالوگ دستگاه برای تأیید صحت آنها انجام گرفته و مشخص شده که اعداد در بیشتر موارد با آنچه که در کاتالوگ آورده شده است، منطبق نمی‌باشد. از این رو آزمایش دقیق پذیرش پیش از نصب با استفاده از دستگاه‌ها و آزمایش‌های استاندارد دقیق و توسط پرسنل متخصص توصیه شده است.

گل‌واژه‌ها: *جداسازی فضایی، میدان دید مفید (UFOV)، میدان دید مرکزی (CFOV)، یکنواختی انتگرال، یکنواختی دیفرانسیل*

مقدمه

دوربین‌های سنتی‌گرافی معمولی چگونگی پخش مواد رادیواکتیو موجود در یک عضو یا همه بدن را به صورت نگاره سطحی (Planar) و یا حجمی بر روی سطح به دست می‌دهند. در چنین نگاره‌ای بعد سوم از میان می‌رود[1] و در این کار کنتراست (contrast) نگاره به علت تصویرشدن نقطه‌های بالایی و پایینی کانون مورد نظر کاهش می‌یابد. این کاستی، با گرفتن نماهای (Projection) گوناگون در

فاصله‌های یکنواخت و در اطراف محور طولی بدن به خوبی از میان می‌رود، زیرا این نماها پس از ترکیب ریاضی می‌توانند نگاره برش‌نگاری (tomography) را که نشان‌دهندهٔ چگونگی پخش سه‌بعدی مواد رادیواکتیو است، به وجود آورند. این همان اسپکت (SPECT) است. اسپکت در حقیقت برش‌نگاری عمود بر محور (transaxial tomography) توسط یک یا چند آشکارساز سینتیلاسیون است. (SPECT)، توان نمایش ریزه‌کاری‌های نگار ایزوتوپی خوبی دارد بنابراین بیشتر هم تحت تأثیر تغییرات پارامترهای فیزیکی مؤثر روی نگاره قرار می‌گیرد. این پارامترها بسیارند. مهم‌ترین آنها یکنواختی uniformity و جداسازی Resolution می‌باشد[۱و۲]. کارخانه‌های سازنده، توانایی دستگاه برای این پارامترها را در کاتالوگ ارائه می‌دهند. شرکت‌های بازاریاب و پخش، این داده‌ها را بررسی و تأیید می‌کنند. در هنگام نصب، توسط خریدار آزمایش پذیرش انجام می‌شود. در کشور ما آزمایش پذیرش انجام نمی‌شود، بنابراین پیگیری چگونگی کار دستگاه و ایجاد یک سیستم کنترل کیفی و یا تضمین کیفی دچار اشکال می‌شود[۲]. شمار آزمون‌هایی که برای تأیید داده‌های کارخانه سازنده انجام می‌شود، بسیارند و روش‌های متفاوتی برای کنترل کیفی توسط پژوهشگران و سازندگان دستگاه‌ها اجرا می‌شود. گاهی درباره یک پارامتر خاص دستگاه چندین روش آزمایش به کار گرفته می‌شود. به هر حال، اتفاق نظر کلی درباره این بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌ها وجود ندارد[۲و۴]. روش‌های بررسی یا کمّی و یا کیفی هستند. در این بررسی، آزمایش و اندازه‌گیری بر روی چند پارامتر مهم فیزیکی مانند یکنواختی، توان جداسازی فضایی و هماهنگی دوربین‌ها که بیشترین کاربرد را در پژوهش‌های کنترل کیفی دوربین‌های سنتی‌گرافی به ویژه در بررسی سیستم‌های SPECT دارند، انجام شد.

پارامترهای کلیدی تأثیرگذار در کیفیت نگاره مانند یکنواختی، جداسازی و ... در دوربین گاما، در جمع درستی و یا وفاداری (fidelity) نگاره را مشخص می‌کنند[۳]. بررسی این پارامترها، چگونگی کار دستگاه نگاره‌برداری را با گذشت زمان مشخص می‌کند و مورد نظر ما در این بررسی است.

مواد و روش کار

بررسی‌های مقایسه‌ای دستگاه دوربین گاما با برقراری گروهی از استانداردها به وسیله NEMA آسان شده است[۱]. NEMA برای مقایسه بینابینی دوربین‌های گاما، دستورالعمل‌هایی مانند اندازه پیکسل، چگونگی اندازه‌گیری در میدان دید مفید (UFOV)، آهنگ شمارش را پیشنهاد می‌کند[۵]. در این بررسی از روش NEMA سود برده شده است.[۱۰]

مواد مورد نیاز و ابزار کار شامل بخش‌های زیر است:

۱ ـ چشمه نقطه‌ای به صورت ویال‌های کوچک یا سرنگ پلاستیکی و لوله‌های پلاستیکی با قطر درونی نزدیک به یک میلی‌متر و درازای ۱۰cm با اکتیویته از چند میلی‌کوری تا ۱۰ میلی‌کوری

۲ ـ رادیوایزوتوپ‌های Tc99m به صورت آبگون

۳ ـ دوربین گامای SPECT با توانایی بالای ساخت ADAC laboratories شماره سریال 2149-300A

۴ ـ فانتوم میله‌ای (bar phantom) ساخت (Biodex) Medical sys.tinc با سریال 243, 795 با پهنای میله‌های 2.14، 2.54، 3.18، 4.23 میلی‌متر

۵ ـ فانتوم Jaszacak با بخش‌های توپر و توخالی سرد و گرم ساخت شرکت wilmink هلند به شماره سریال 94100 31

۶ ـ چشمه گسترده ساخت Nuclear (Victoreen) associates به سریال R 283983 (دربرگیرنده ماده رادیواکتیو ...)

ماتریس‌های کاربردی در این بررسی، 64×64، 128×128، 256×256 بود. با قرارگرفتن چشمه نقطه‌ای رادیواکتیو روی خط شاقولی بر مرکز کریستال و بکارگیری پنجره انرژی ۲٪ تا ۲۰٪، شمارش حداقل ۴ ساعت پس از روشن‌شدن دستگاه و دتکتور برای تعادل الکترونی انجام گردید[۱ و ۵].

نرم‌افزار رایانه‌ای برای محاسبات مربوط به خود سیستم نگاره‌برداری ADAC است.

الف) آزمایش یکنواختی پاسخ دوربین‌ها (Uniformity)

به صورت تک‌آزمایش، بهترین برآورد از چگونگی کارایی سیستم نگاره‌برداری سینتیلاسیون (Scintillation)، به کمک آزمایش یکنواختی انجام می‌گیرد[۱ و ۴]. اگر شمار یا فلاکس فوتون‌های گاما (Photon flux) به گونه‌ای یکنواخت از چشمه رادیوایزوتوپ (یکنواخت در زمان و مکان) به سطح کریستال دوربین برخورد کند، نگاره این شمارش باید یکنواخت باشد. نبود پاسخ یکنواخت دوربین گاما و کاهش وفاداری، باعث تشخیص نادرست می‌شود زیرا نایکنواختی دوربین‌ها می‌تواند باعث اشتباه فاحش در بازسازی نگاره شود[۶]. این مسأله به ویژه در روش اسکن قلب با سیستم SPECT بسیار پراهمیت است و از این رو توصیه شده که این آزمایش روزانه انجام شود.

یکنواختی به دو صورت بررسی شد: انتگرال (integral uniformity) و دیفرانسیل (differential uniformity). اندازه‌گیری یکنواختی در میدان دید مفید (useful field of view) و جایی که شمارش در واحد اندازه‌گیری ۹۵٪ بیشترین شمارش در میدان دید است و همچنین در میدان دید مرکزی (central field of view) یا CFOV که در درون UFOV قرار دارد و از دید گستردگی، ۷۵٪ اندازه UFOV می‌باشد، انجام شد. الگوریتم سیستم نگاره‌برداری، جایگاه پیکسل مرکزی را به طور اختیاری ۳۰ پیکسل از مرکز انتخاب می‌کند[۹] و چون انبوهش لبه (Edge packing) روی درصد یکنواختی اثر می‌گذارد، UFOV به گونه‌ای اندازه‌گیری شد که شامل انبوهش لبه نباشد.

یکنواختی انتگرال از روی پیکسل ماگزیمم و پیکسل مینیمم در میدان‌های دید UFOV و CFOV به صورت متوسط نسبی دانسیته شمارش بیان می‌شود[۱، ۲، ۴ و ۱۰].

$$\text{int. unif.} = \pm 100 \times \frac{\text{Max-Min}}{\text{Max+Min}}$$

یکنواختی دیفرانسیل را الگوریتم سیستم به صورت تفاوت در یک راستای مشخص ردیف (row) یا ستون (coiumm) به صورت تفاوت میان ماگزیمم و مینیمم شمارش در ۵ ردیف پیکسل پشت سرهم محاسبه می‌نماید.

$$\text{diff. unif.} = \pm 100 \times \frac{\text{high-low}}{\text{high+low}}$$

ردیف‌ها در UFOV تقریباً ۲×۶۰×۰/۹۵ و در CFOV تقریباً ۲×۶۰×۰/۷۵ است و برای محاسبه این پارامترها از الگوریتم موجود در نرم‌افزار خود سیستم ADAC استفاده شد. برای محاسبه یکنواختی و آنالیز داده‌ها از:

۱ ـ یک نگاره استاتیک از چشمه‌ای نقطه‌ای، (flood) و

۲ ـ یک ماتریس ۶۴×۶۴ در برنامه NEMA استفاده شد.

در این بررسی، تعیین یکنواختی پس از برداشتن کولیماتور به صورت درونی (Intrinsic) در میدان‌های دید CFOV و UFOV با استفاده از 18MBq تکنسیم به صورت چشمه نقطه‌ای و در ۲ متری روی خط عمود بر مرکز دوربین با پنجره ۲۰٪ و انطباق فتوپیک بر مرکز پنجره انجام گردید. در هر آزمایش 5×10^{6}< شمارش گردآوری شد. نتیجه آزمایش‌ها برای دوربین‌های ۱ و ۲ در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. یکنواختی‌های انتگرال و دیفرانسیل بدست‌آمده برای دوربین‌های ۱ و ۲ دستگاه ADAC در UFOV و CFOV.

ناحیه دید دوربین	یکنواختی دیفرانسیل		یکنواختی انتگرال	دوربین
	ردیف	ستون		
UFOV	٪۱/۴۹	٪۱/۵۳	٪۱/۷۱	۱
	٪۱/۴۵	٪۱/۴۷	٪۱/۷۷	۲
CFOV	٪۱/۴۷	٪۱/۵۰	٪۱/۷۰	۱
	٪۱/۵۰	٪۱/۵۲	٪۱/۷۱	۲

برای مقایسه نتایج، اندازه‌های یکنواختی انتگرال و دیفرانسیل برای حالت معمولی و بدترین حالت که در کاتالوگ کارخانه سازنده موجود است، در جدول شماره (۲) آورده شده است[۸ و ۹].

جدول ۲. اندازه‌های یکنواختی دیفرانسیل و انتگرال مربوط به کاتالوگ دستگاه ADAC در CFOV و UFOV.

	حالت معمولی		در بدترین حالت	
یکنواختی	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV
انتگرال	<٪۱/۴۰	<٪۱/۴۰	<٪۲/۵	<٪۲/۵
دیفرانسیل	<٪۱/۱۰	<٪۱/۱۰	<٪۱/۵۰	<٪۲/۰۰

ب) آزمایش توانایی جداسازی فضایی ذاتی (Intrinsic Spatial resolution) جداسازی، نمایشی از کارآیی سیستم نگاره‌برداری برای تولید یک نگاره (Sharp) می‌باشد. جداسازی SPECT توسط همه عوامل که نگاره مسطح (planar) در سیستم دوربین گامای معمولی را متأثر می‌کند، تحت تأثیر قرار می‌دهد. دستگاه‌های اسپکت معمولاً دارای توانایی جداسازی ۱۵-۱۰ میلی‌متر هستند[۱، ۳ و ۷] ولی با افزایش ضخامت برش، کمیّت جداسازی افزایش می‌یابد، یعنی از کیفیت نگاره کاسته می‌شود.

در بررسی این فاکتور به صورت کمّی و کیفی، از چشمه نقطه‌ای ^{99m}Tc با اکتیویته ۲۵۰ MBq در فاصله دو متری (۲ متری) روی خط شاقولی به صورت درونی (Intrinsic) و با قراردادن فانتوم میله‌ای روی کریستال دوربین (bar phantom) انجام گردید.

ماتریکس کاربردی، ۲۵۶×۲۵۶ با پنجره ۲۰٪ بر روی فوتوپیک صورت پذیرفت. شمارش کلی 5×10^4 برای تولید نگاره انجام شد. توانایی جداسازی هر یک از دو دوربین به صورت چشمی (کیفی) برای هر کدام از چهار بخش فانتوم اندازه‌گیری شد. پهنای میله‌ها در فانتوم یادشده برابر مشخصات فانتوم میله‌ای در کاتولوگ ۲/۱۴، ۲/۵۴، ۳/۱۸، ۴/۲۳ میلی‌متر می‌باشد. از چهار بخش فانتوم، دوربین برای سه بخش دارای توان جداکنندگی خوب است، ولی بخش با پهنای نوار ۲/۱۴ میلی‌متر به سختی جدا شده است. در صورتی که این بخش را تفکیک شده (Resolved) در نظر بگیریم، با محاسبه توان جداسازی برای دوربین‌ها مقدار ۳/۷۴۵ میلی‌متر به دست می‌آید. اندازه‌های توان جداسازی که

برای حالت معمولی و بدترین حالت در کاتولوگ وجود دارد، در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. توانایی جداسازی برای هر دو دوربین در حالت معمولی و بدترین حالت که در کاتولوگ کارخانه سازنده آورده شده است.

	حالت معمولی	بدترین حالت
توانایی جداسازی برای هر دو دوربین برحسب میلی‌متر	<۳/۲	<۳/۵

ج) آزمایش هماهنگی دوربین‌ها:

بیشتر دستگاه‌های اسپکت به علت دارابودن بیش از یک آشکارساز باید دارای توانایی انطباق شمار بسیار زیاد نگاره‌های بدست‌آمده از دوربین‌های سیستم در چرخش حداکثر ۳۶۰ درجه باشد[۹] یا به زبان دیگر این نگاره‌ها با هم همخوان باشند.

بنابراین، بررسی توان هماهنگ‌سازی توموگرافیکی در SPECT از ارزش زیادی برخوردار است، به ویژه اینکه حرکت‌های مکانیکی، لرزش، تعمیرات و ... روی این هماهنگی اثر می‌گذارد. از این رو، این بررسی باید بستگی به میزان کاربری دستگاه به صورت ماهیانه یا هفتگی صورت گیرد. در این بررسی، از فانتوم Jaszczak با بکارگیری ۲۵۰MBq از رادیوایزوتوپ ^{99m}Tc و قراردادن محور طولی فانتوم به موازات محور طولی بدن بیمار و موازی محور چرخش سیستم انجام شد. ماتریکس کاربردی ۶۴×۶۴ و پنجره انرژی ۱۰٪ انتخاب شده، ۶۴ نما در ۳۶۰ درجه نگاره‌برداری شد.

بررسی‌های کیفی نگاره‌های ترانسورسال و کرونال از چهار گوی با قطرهای ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ سانتی‌متر، نگاره تیزی در هیچ یک از حالات به دست نیامد. در نگاره‌های برشی به دست‌آمده از میله‌های فانتوم با قطرهای ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹، ۱، ۱/۲، و ۱/۵ سانتی‌متر، تنها میله‌های ۱/۵ سانتی‌متر با کیفیت قابل قبول و میله ۱/۲ سانتی‌متر به صورت نه چندان واضح دیده شدند.

با افزایش ماتریس از ۶۴ به ۱۲۸، بهبود در توان جداسازی گوی‌ها به وجود می‌آید و بجز کوچک‌ترین گوی با قطر ۱/۵ سانتی‌متر بقیه گوی‌ها یعنی گوی‌های ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ سانتی‌متر به ویژه در مقاطع ترانسورس به گونه چشمگیری واضح‌تر دیده می‌شوند که این خود مدیون افزایش شمارنماها و صرف وقت بیشتر جهت گردآوری اطلاعات است.

گفتگو و نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام‌گرفته در این پژوهش، بر روی دستگاه نگاره‌برداری SPECT ساخت کارخانه اداک ADAC، نشان‌دهنده ناهمخوانی در اکثر اندازه‌گیریهای این بررسی در مقایسه با مقادیر ثبت‌شده در کاتالوگ کارخانه سازنده است(۹ و ۸). باید یادآوری کرد که اندازه‌گیری‌ها نسبت به یک اندازه‌گیری قبلی که می‌بایست در هنگام تحویل دستگاه انجام می‌گرفت، انجام نشده است و علت آن هم نبود آزمایش پذیرش (Acceptance testing) در هنگام تحویل است. این مسأله که در برقراری سیستم‌های کنترل کیفی و تنظیم‌های بعدی نقش بزرگی دارد، در مورد بیشتر دستگاه‌های خریداری‌شده در کشور ماست. اندازه‌های بدست‌آمده برای یکنواختی‌های انتگرال و دیفرانسیل در بررسی‌های ما در مقایسه با اندازه‌های کاتالوگ نشان می‌دهد که یکنواختی انتگرال برای دوربین ۱ و دوربین ۲ هم در میدان UFOV و هم در CFOV بزرگ‌تر از مقادیر کاتولوگ است. این مقایسه برای یکنواختی انتگرال هم صدق می‌کند، ولی اندازه‌های بدست‌آمده از بدترین حالت قیدشده پذیرفتنی در کاتالوگ بهتر است و همچنین تفاوت عمده‌ای میان پاسخ دوربین ۱ و دوربین ۲ وجود ندارد.

در این بررسی، توان جداسازی فضایی ذاتی دوربین‌ها در نگاره‌های بدست‌آمده ۳/۹ میلی‌متر می‌باشد که با مقدار آن در کاتالوگ دستگاه یعنی ۳/۵ میلی‌متر نزدیک به ۰/۴ میلی‌متر اختلاف دارد.

بنابراین در اکثر موارد اندازه‌های یادشده در کاتالوگ کارخانه (io)، با اندازه‌های بدست‌آمده در این بررسی همخوانی ندارد و این امر نشان می‌دهد که انجام آزمایش‌های پذیرش پیش از تحویل قانونی این دستگاه‌ها باید اجباری شود و از سوی دیگر به علت پیچیدگی‌ها و حساسیت‌های مکانیکی و الکترونیکی این دستگاه‌های گران‌قیمت، متناسب با کار دستگاه و برای استفاده بهینه از آنها باید کنترل‌ها به صورت روزانه، هفتگی یا ماهانه انجام شود و این خود نیاز به استفاده از کاربران متخصص را الزامی می‌کند.

منابع

1. Saha, G.B. Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine, Springer-verlay N.Y, 1993, pp. 107, 112, 135
2. Harbert J.C., Eckleman W.C., Neumann R.D., Nuclear Medicin Diagnosis and Therapy, Thieme Medical publishers inc N.Y, 1996, pp. 87-121
3. Frederic F.H. et al., Sensitivity, Resolution and Image Quality with Multihead SPECT Cammera, J of Nucl Med, 1992, 23.
4. Keyes W.I., Perspective on Tomography, J of Nucl Med, 1982, 23
5. Geldenhuys E.M., Minnaar M.G., Lotler P.C., A New Approach to NEMA Scintilation Camera Contrate Curve Determination, Simmins G.H., The Scintillation Camera. The Society of Nuclear Medicine, 1988, p. 74
6. Fahey F.H., Harkness BA., Keyes WJ, Sensitivity, Resolution and Image Quality with Multihead SPECT, Camera, J. Nucl Med, 1992, 33
7. ADAC. Laboratoreas Dual Detector Genesys Acquisition Operators Manual, 1993, 201-0068 C
8. ADAC laboratorig detector Genesys acquisition reference mannual 1993
9. Performance Measurements of Scintillation Cameras, NEMA Standards Publical No. 19