

بررسی اثرات فاصله چشمه و محیط پراکندگی بر قدرت تفکیک مکانی و کنتراست تصاویر گاماکامرا

*دکتر سعید سرکار (PhD)، **اکرم آبهشت (MSC)، ***دکتر سید حسن فیروزآبادی (MD)

*دانشگاه علوم پزشکی تهران (مرکز تحقیقات علوم و تکنولوژی در پزشکی)

**دانشگاه آزاد اسلامی (واحد علوم و تحقیقات)

***دانشگاه علوم پزشکی ایران (بیمارستان قلب شهید رجایی)

چکیده

با مشخص نمودن اثر پارامترهایی مانند: فاصله، تضعیف پرتوها و پراکندگی بر تابع خط گستر (LFS) میتوان اثرات مخرب کمی و کیفی این پارامترها را با روش دکانولوشن جبران نمود.

این مطالعه با استفاده از یک منبع خطی ^{99m}Tc و سیستم SPECT ساخت کارخانه ADAC که در حالت پلنار عمل می‌کرد، انجام شد. تغییرات FWHM و FWTM توابع خط گستر بصورت تابعی از فاصله منبع از سطح کالیماتور، عمق منبع در محیط پراکندگی (آب) و ترکیبی از اثرات فاصله و عمق منبع در محیط پراکندگی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. معادلات قدرت تفکیک مکانی (FWHM) در شرایط مذکور بترتیب بصورت $R_1 = 0.0748l + 41.0862 \text{ mm}$ برای $l \geq 100 \text{ mm}$ و $R_d = 0.10102d \pm 1.0962$ برای $d \geq 0 \text{ mm}$ و $R_h = 0.2512h - 14.609 \text{ mm}$ برای $h \geq 100 \text{ mm}$ بدست آمد. در این معادلات R_1, R_d, R_h قدرت تفکیک مکانی (FWHM) هستند. l و h بترتیب فاصله چشمه خطی در هوا و محیط پراکندگی (آب) از سطح کولیماتور دوربین می‌باشند. d نیز فاصله چشمه خطی در محیط پراکندگی (آب) از سطح کولیماتور با حذف اثر فاصله بر FWHM می‌باشد. چنانچه ملاحظه می‌شود تغییرات FWHM بر حسب تغییرات فاصله و عمق خطی است لکن با شیب‌های متفاوت.

نتایج حاصل در این مقاله نشان می‌دهد که با افزایش فاصله چشمه از سر دوربین در هوا قدرت تفکیک مکانی R بصورت قابل توجهی بدتر میشود بطوری که با افزایش 10 cm فاصله سر گاماکامرا از چشمه رادیواکتیو، قدرت تفکیک مکانی 54٪ خراب تر می‌شود و چون تغییرات FWTM تقریباً مشابه با تغییرات FWHM می‌باشد محوشدگی مرز منطقه مورد نظر از زمینه محسوس نیست. لکن با افزایش عمق چشمه به تنهایی در محیط پراکندگی و با حذف اثر فاصله در قدرت تفکیک مکانی تغییر قابل توجهی صورت نمی‌پذیرد اما بدلیل افزایش تجمع پرتوهای پراکنده در دو شانه تابع خط گستر افزایش در FWTM بسیار شدیدتر از FWHM بوده و این باعث محوشدگی در لبه‌های منطقه ضایعه از بقیه مناطق شده و این کاهش کنتراست سبب ایجاد خطا در تعیین اندازه ضایعه و یا منطقه مورد نظر (ROI) می‌گردد.

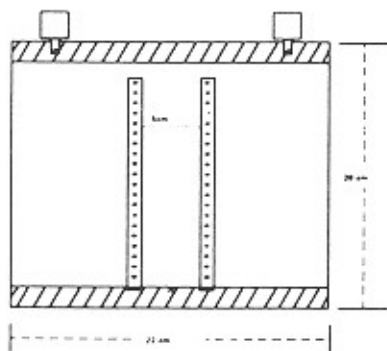
کلمات کلیدی: گاماکامرا، SPECT، پراکندگی پرتوها، قدرت تفکیک مکانی، کنتراست.

1- deconvolution

مقدمه :

شکل با سطح مقطع دایره ای به قطر ۲۲ cm و ارتفاع ۲۶ cm می باشد.

این استوانه شامل دو میله قابل نصب به کف فانتوم به ارتفاع ۲۴ cm است که به فاصله ۵ cm از یکدیگر در کف استوانه پیچ می شوند ، می باشند. میله ها شامل سوراخهایی به فاصله ۱ cm از یکدیگر می باشند که برای قرار دادن چشمه های نقطه ای و خطی تعبیه شده اند شکل (۱) .



شکل ۱ - سطح مقطع طولی فانتوم پراکندگی

برای بررسی توابع خط گستر در شرایط گوناگون از یک لوله مومین بطول ۵ سانتیمتر و قطر حدوداً ۱/۶ میلیمتر استفاده شد. در این تحقیق رادیوداروی مورد استفاده ^{99m}Tc که رایج ترین رادیوداروی مورد استفاده در پزشکی هسته ای می باشد ، مورد استفاده قرار گرفته است.

روشها و نتایج حاصله :

برای مشاهده کیفی و اندازه گیری کمی پرتوهای پراکنده و یافتن رابطه بین میزان افزایش پرتوهای پراکنده با عمق چشمه رادیودارو در محیط پراکندگی، چشمه خطی به قطر ۱/۶ میلیمتر و به طول ۵ cm از ^{99m}Tc با اکتیویته حدوداً ۱ mci تهیه شد. با استفاده از کولیماتور LEGP و پنجره انرژی ۲۰٪ در ماتریس تصویربرداری ۱۲۸×۱۲۸ در فواصل ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۲۰ سانتیمتری از دوربین در هوا تصاویری با ۴۰۰Kct بصورت استاتیک گرفته شد که در شکل ۲ نمایش داده شده است. برای هر یک از تصاویر نمودار تغییرات شمارش به ازای موقعیت هر پیکسل در جهت عمود بر تصویر حاصله از منبع خطی رادیو اکتیو رسم گردید (شکل ۳) .

در تصویربرداری به کمک رادیوایزوتوپها ، بدلیل وجود تعداد زیادی از پرتوهای پراکنده چه در تصاویر سطحی (پلنار) و چه در تصاویر برش نگاری (توموگرافی) [۱] خطای ناشی از فوتوهای پراکنده شده (فوتوهای پدیده کامپتون) نه تنها باعث کاهش کنتراست و قدرت تفکیک مکانی می شود بلکه یکی از منابع اصلی ایجاد خطا در کمی سازی اکتیویته می باشند [۲ و ۳] .

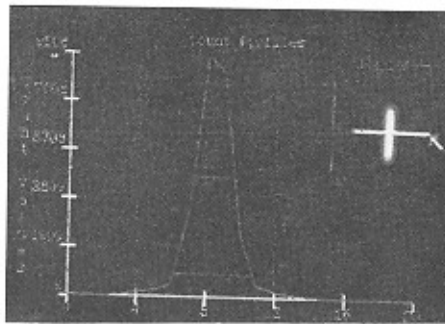
برای شناخت و سپس تصحیح خطای پراکندگی ، باید نقش پرتوهای پراکنده را در تصاویر و توابع خط گستر (LSF) را چه از نظر کمی و چه از نظر کیفی بدست آورد سپس درصد کسر پراکندگی را که نسبت تعداد فوتوهای پراکنده شده به تعداد کل فوتوهای ثبت شده است، محاسبه نمود و سپس تصحیحات لازمه را اعمال کرد [۴]. دشواری این روند در شناخت پرتوهای پراکنده و بدست آوردن درصد دقیق فوتوهای پراکنده شده این است که این اندازه گیری هیچگاه دقیق نیست چرا که بجز اختلاف انرژی اساساً تفاوتی بین ماهیت یک فوتون پراکنده شده و یک فوتون پراکنده نشده وجود ندارد .

میزان پرتوهای پراکنده وابسته به تعداد زیادی از پارامترها از جمله انرژی پرتو گاما ، چشمه حجمی ، کولیماتور ، ضخامت کریستال ، پهنای پنجره انرژی ، قدرت تفکیک انرژی سیستم تصویربرداری ، عمق چشمه رادیو اکتیو در محیط پراکندگی و وجود و نوع محیط پراکندگی و ... می باشد [۵-۸]

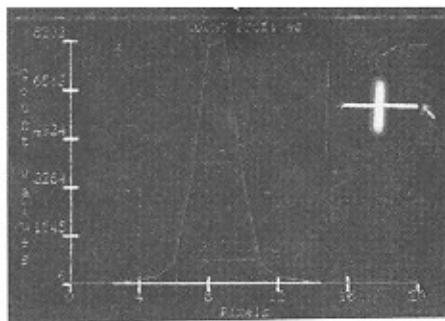
تجهیزات و وسایل مورد نیاز :

این تحقیق توسط یکی از سیستمهای SPECT موجود در بیمارستان شهید رجایی تهران صورت گرفته است. این دستگاه ساخت کارخانه ADAC آمریکا می باشد که دارای یک سر برای جمع آوری داده ها و تصویربرداری می باشند. دو کامپیوتر PC وظیفه ورود اطلاعات مربوط به شی و شمارش و جمع آوری داده ها را دارند و عمل پردازش اطلاعات بعهده سیستم کامپیوتری Sun می باشد. قدرت تفکیک انرژی این سیستم در حدود ۱۰/۸٪ می باشد.

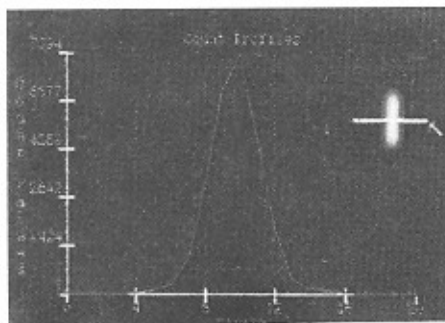
تمام مطالعات و بررسی ها با استفاده از یک فانتوم پراکندگی انجام پذیرفت. این فانتوم از جنس پرس پکس (Perspex) بوده و دارای بدنه استوانه ای



(a)



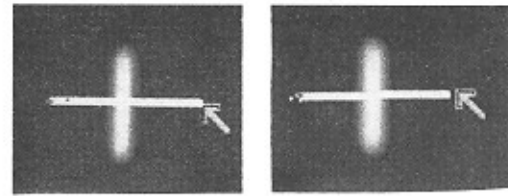
(b)



(c)

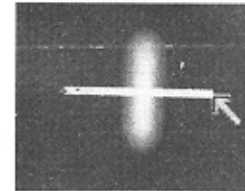
شکل ۳- توابع خط گستر در هوا در فواصل ۱۴، ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر از سر دوربین (بترتیب a, b, c)

بچشمه خطی را در فانتوم محتوی آب قرار دادیم. در شرایطی که فاصله سطح آب از کولیماتور دوربین ۱۰ cm بود چشمه خطی را در عمق های ۲ سانتیمتر تا ۱۰ سانتیمتر در پله هائی ۲ سانتیمتری در آب فرو بردیم در این شرایط فاصله چشمه از کولیماتور دوربین از ۱۲ تا ۲۰ سانتیمتر افزایش یافت. تصاویر حاصله در شکل (۵) نمایش داده شده است.



(a)

(b)



(c)

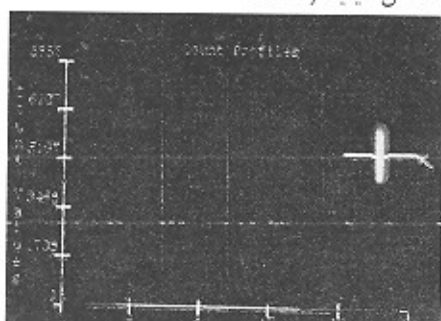
شکل ۲- تصاویر چشمه خطی در هوا در فواصل ۲۰، ۱۴، ۱۰ سانتیمتری (به ترتیب a, b, c)

نمودار حاصله را که پهن شدگی تصویر منبع خطی را نمایش می دهد تابع خط گستر (LSF) گویند که پهنای آن در یک دوم ارتفاع بیشینه (FWHM) را قدرت تفکیک فضایی سیستم گویند.

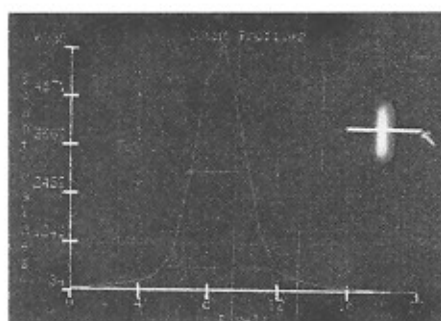
پهنای تابع خط گستر (LSF) را در یک دوم ارتفاع بیشینه (FWHM) و یک دهم ارتفاع بیشینه (FWTM) محاسبه و تغییرات آنها نسبت به افزایش فاصله منبع خطی از دوربین در شکل ۳ ارائه می گردد. چنانچه ملاحظه می شود FWHM و FWTM توابع خط گستر به ازای افزایش فاصله منبع خط گستر از دوربین بصورت خطی افزایش می یابد و این افزایش به ازای از زیاد هر دو سانتیمتر فاصله چشمه خطی تا کالیماتور در هوا به ترتیب به طور متوسط ۱۰/۴۰ و ۱۰/۴۵ می باشد. با توجه به نمودارهای حاصله مشخص می شود که تغییرات قدرت تفکیک فضایی FWHM و FWTM سیستم برای منبع خطی در هوا از معادلات $T_1 = 0.015631 - 6(1771)R_1 = 0.07481 + 4(0.862$ $(1 \geq 10cm)$ پیروی می کند. که در این روابط l فاصله چشمه خطی در هوا از سطح کالیماتور دوربین است و واحد آن میلیمتر می باشد.

برای بررسی تغییرات FWHM و FWTM تابع خط گستر در شرایطی که ترکیبی از اثرات فاصله چشمه از کولیماتور و عمق چشمه در محیط پراکندگی وجود دارد،

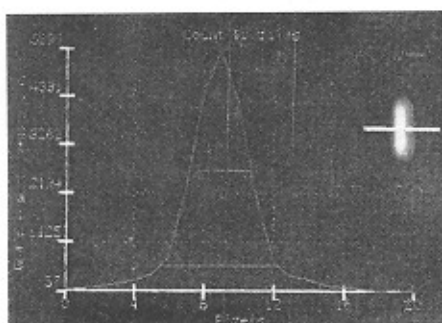
FWHM بترتیب از $(15/6 \pm 0/4)$ mm تا $(37/3 \pm 0/4)$ mm و از $(30/5 \pm 0/8)$ mm تا $(72/6 \pm 0/8)$ mm افزایش می یابند. این پارامترها به ازای هر ۲ سانتیمتر افزایش عمق و فاصله معادل $19/93\%$ و $22/34\%$ افزایش می یابند و چنانچه در شکل (۷) مشاهده میشود این تغییرات بصورت خطی می باشد که از معادلات $R_H = 0/2512 h - 14/609$ و $T_H = 0/4769 h - 25/299$ که T_H ، $(h \geq 10\text{cm})$ پیروی می کنند، که h فاصله چشمه خطی از سطح کولیماتور دوربین می باشد و واحد آن میلیمتر است.



(a)

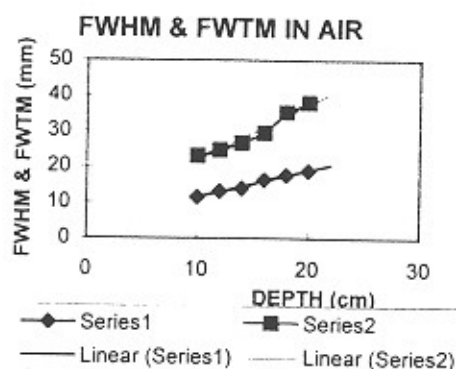


(b)



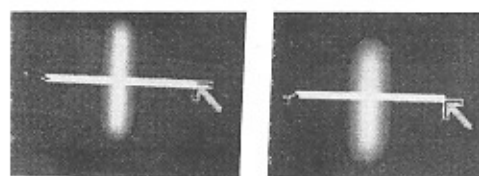
(c)

شکل ۴ - توابع خط گستر در آب در عمقهای ۴، ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری (بترتیب a، b و c). فاصله فانونم تا سر دوربین بطور ثابت ۱۰ سانتیمتر می باشد.



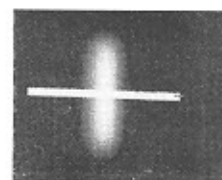
شکل ۴ - نمودار تغییرات FWHM و FWTM در هوا (سری ۱ و ۲)

پهنای تابع خط گستر (LSF) را در FWHM و FWTM محاسبه و تغییرات آنها را نسبت به افزایش فاصله منبع خطی در محیط پراکندگی از دوربین در شکل (۶) ارائه می گردد.



(a)

(b)

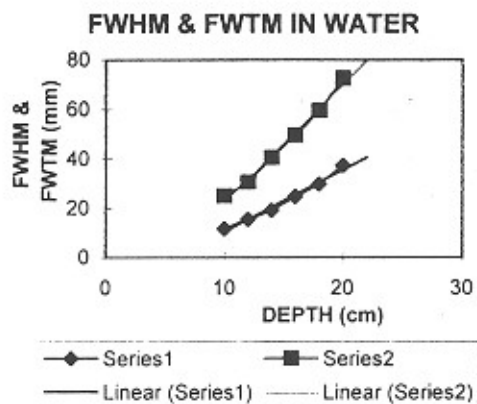


(c)

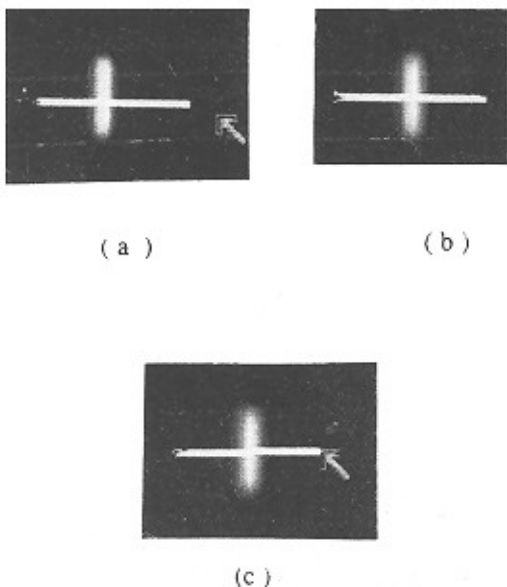
شکل ۵ - تصاویر چشمه خطی در هوا در فاصله ۱۰ سانتیمتر تا کولیماتور (a)، و در محیط پراکندگی آب در عمقهای ۴ و ۱۰ سانتیمتری بطوری که فاصله چشمه تا دوربین ۱۴ و ۲۰ سانتیمتر می باشد

در این حالت نیز با ازدیاد عمق در آب و فاصله چشمه از دوربین بمیزان ۸ سانتیمتر مقادیر FWHM و

$R_d = -0.102 d \pm 1.0962$ و $T_d = 0.142 d + 23.423$ ($d \geq 0 \text{ cm}$) پیروی می کند. T_d و R_d بزرگترین شاخص FWHM و FWTM نواح خط گستر می باشند که به ازای ازدیاد هر ۲ cm عمق چشمه در محیط پراکندگی با حذف اثر فاصله بترتیب معادل ۷/۷۰۷٪ و ۹/۱۱۲٪ افزایش می یابند. d عمق چشمه در محیط پراکندگی و واحدهای پارامترهای T_d ، R_d و d میلیمتر است.



شکل ۷ - نمودار تغییرات FWTM و FWHM در محیط پراکندگی آب.

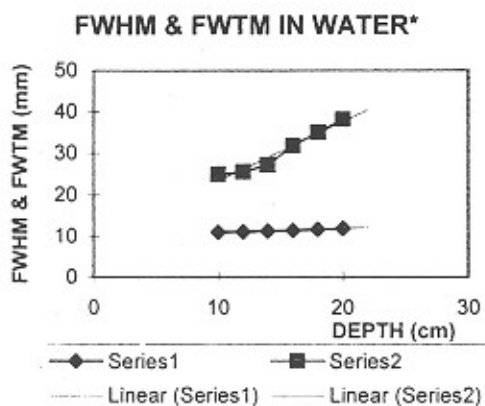


شکل ۸ - تصاویر چشمه خطی در هوا در فاصله ۱۰ cm تا کولیماتور و در محیط پراکندگی آب در عمق های ۴ و ۱۰ سانتیمتر (ترتیب a، b و c). بطوری که فاصله چشمه تا دوربین همواره ۱۰ سانتیمتر می باشد در این حالت FWHM و FWTM نواح خط گستر چشمه خطی در عمق ۱۰ سانتیمتری آب نسبت به حالتی که چشمه در هوا قرار دارد بترتیب حدود ۹٪ و ۵۳٪ افزایش نشان می دهد.

نتایج حاصله نشان می دهد که به نسبت فزونی تفکیک مکانی تصاویر حاصله با افزایش فاصله چشمه در هوا از سر دوربین بطور قابل توجهی بدتر می شود نکته آن شاهد افزایش FWTM نیز هستیم لکن چون این دو پارامتر با هم افزایش می یابند نواح خط گستر شکل گوسی خود را حفظ کرده و باعث می شود که محور شدن فضای

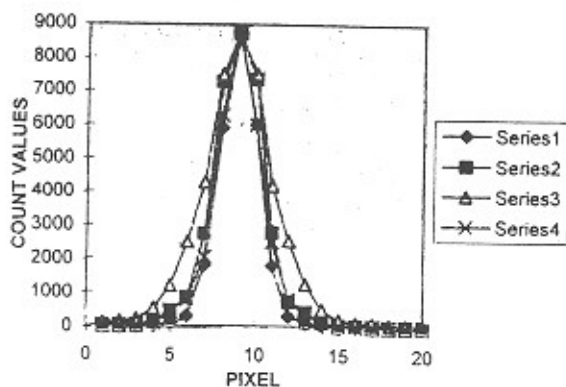
چنانچه ملاحظه میشود میزان افزایش مقادیر FWHM و FWTM در شرایطی که چشمه خطی در منبع پراکندگی از سطح کولیماتور دوربین دور میشود تقریباً دو برابر شرایطی است که همان چشمه در هوا از سطح کالیماتور دوربین فاصله می گیرد. این تفاوت بدلیل افزایش اضافه شدن نقش پرتوهای پراکنده به اثرات فاصله و در نتیجه تشدید پهن شدگی تابع خط گستر می باشد. برای نمایش اثر محرب محیط پراکندگی و یا بعبارت دیگر نقش محرب پرتوهای پراکنده از اثرات نامطلوب ازدیاد فاصله چشمه بر تابع خط گستر بر آن شدیم تا با حذف اثر فاصله، فقط به بررسی چگونگی تاثیر پرتوهای پراکنده بر تابع خط گستر بپردازیم. شرایط آزمون مانند حالت قبل تنظیم گردید، با این تفاوت که به ازای هر ۲ سانتیمتر افزایش عمق چشمه خطی در محیط پراکندگی، ۲۰ سانتیمتر سر دوربین را به فانتوم پراکندگی نزدیک کردیم بطوریکه فاصله کولیماتور دوربین تا چشمه خطی همواره ثابت و در فاصله ۱۰ سانتیمتر باقی بماند. تصاویر بدست آمده در شکل (۸) نمایش داده شده است.

در این شرایط نیز می توان فهمید که به ازای افزایش عمق چشمه در محیط پراکندگی از ۲ cm به ۱۰ cm مقادیر FWHM و FWTM بترتیب $(0.4 \pm 11/1)$ میلیمتر تا $(0.5 \pm 12/0)$ میلیمتر و از $(0.8 \pm 25/6)$ میلیمتر تا $(0.8 \pm 28/2)$ میلیمتر افزایش می یابد. شکل (۹) نواح خط گستر را در این شرایط نشان می دهد. از شکل (۱۰) که تغییرات مقادیر FWHM و FWTM را نسبت به افزایش عمق نشان میدهد میتوان دریافت که این تغییرات خطی و از معادلات



شکل ۱۰- نمودار تغییرات FWTM و FWHM در محیط پراکندگی آب با حذف اثر فاصله.

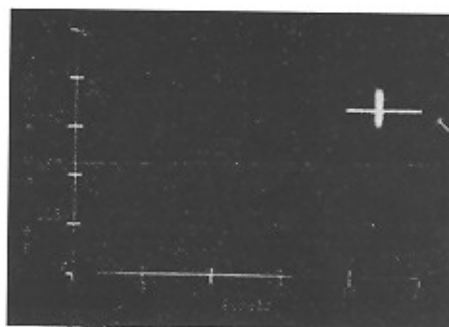
۱۰ سانتیمتر قدرت تفکیک مکانی سیستم فقط در حدود ۱ میلیمتر بدتر میشود و این در حالی است که مقدار FWTM بیش از ۱۲ میلیمتر افزایش می یابد.



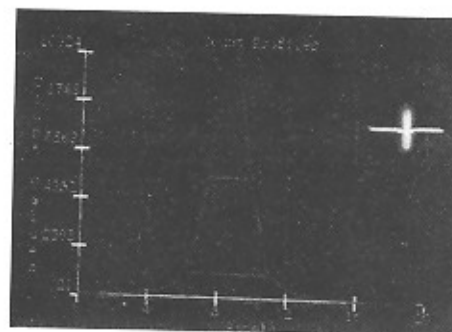
شکل ۱۱- توابع خط گستر در هوا در فواصل ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری (سری ۱ و ۲) و در محیط پراکندگی آب در عمق ۱۰ سانتیمتری درون آب بدون و با حذف اثر فاصله (سری ۳ و ۴).

بحث و نتیجه گیری :

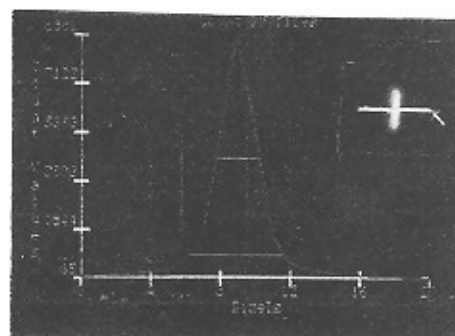
در این تحقیق نقش پرتوهای پراکنده و اثرات نامطلوب آنها بر تصاویر حاصله از نظر کمی و کیفی بررسی گردید. ابتدا اثر افزایش فاصله چشمه از ۱۰ سانتیمتر تا ۲۰ سانتیمتر از سر گاماکامرا در هوا بررسی و مشخص گردید که با افزایش این مقدار فاصله



(a)



(b)



(c)

شکل ۹- توابع خط گستر در عمقهای ۴۰، ۱۰ و ۱۰ سانتیمتری (بترتیب a, b, c) با حذف اثر فاصله

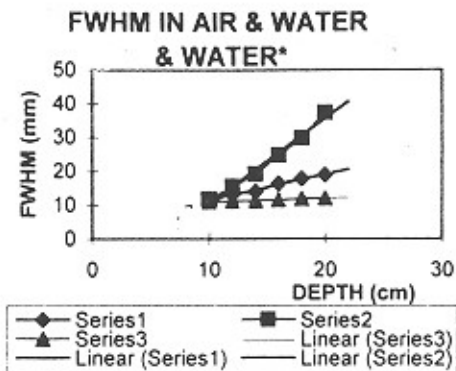
با مقایسه مقادیر فوق مشخص میشود که در این شرایط روند افزایش FWTM نسبت به FWHM تقریباً ۹ برابر است. یعنی پرتوهای پراکنده بیشتر باعث پهن شدن دو شانه تابع خط گستر میشوند و اثر چندانی بر FWHM تابع خط گستر و یا عبارت دیگر قدرت تفکیک مکانی سیستم نمی گذارند. و چنانچه آزمون فوق نیز نشان داد به ازای افزایش عمق چشمه در آب از ۲ سانتیمتر به

سوم با ثابت نگه داشتن فاصله چشمه از سر گاماگامرا عمق چشمه را در آب افزایش دادیم. در این حالت FWHM و FWTM تابع خط گستر چشمه خطی در عمق ۱۰ سانتیمتری آب نسبت به حالتی که چشمه در هوا قرار دارد به ترتیب حدود ۹٪ و ۵۳٪ افزایش نشان می‌دهد.

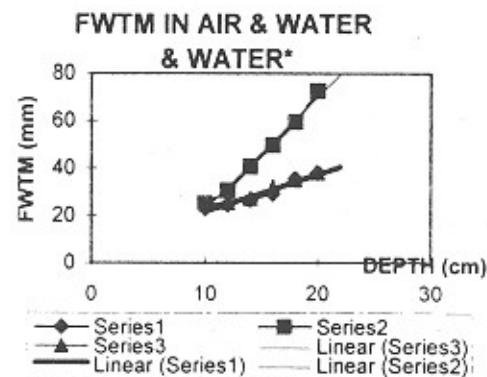
نتایج حاصله نشان می‌دهد که نه تنها قدرت تفکیک مکانی تصاویر حاصله با افزایش فاصله چشمه در هوا از سر دوربین به طور قابل توجهی بدتر می‌شود بلکه ما شاهد افزایش FWTM نیز هستیم لکن چون این دو پارامتر با هم افزایش می‌یابند تابع خط گستر شکل گوسی خود را حفظ کرده و باعث می‌شود که محو شدن فصل مشترک چشمه خطی و محیط اطراف کمتر محسوس باشد و در این حالت اثر نامطلوب غالب، بدتر شدن قدرت تفکیک مکانی باشد. پرتوهای پراکنده به تنهایی تأثیر چندانی بر FWHM تابع خط گستر و یا عبارتی بر قدرت تفکیک مکانی تصاویر حاصله نمی‌گذارد و با افزایش عمق چشمه در محیط پراکندگی تجمع پرتوهای پراکنده در شانه های تابع خط گستر شدت افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که تابع خط گستر از حالت گوسی خارج گردد. پهن شدگی دنباله ها و یا عبارتی افزایش FWTM تابع خط گستر بدون تغییر محسوس در مقدار FWHM باعث محوشدگی مرز بین منطقی داغ از منطقه سرد می‌گردد. یعنی در این حالت وضوح تصویر بخصوص در لبه ها از بین می‌رود.

بنابر این بطور کلی میتوان اعلام نمود که افزایش فاصله چشمه از سر دوربین باعث کاهش قدرت تفکیک مکانی و افزایش عمق چشمه در محیط پراکندگی باعث کاهش کنتراست می‌گردد. و چنانچه ضایعه ای در عمق بدن بیمار قرار داشته باشد در شرایطی نگاره برداری صورت می‌گیرد که ترکیبی از هر دو اثر (افزایش فاصله از سر دوربین و اثر افزایش عمق چشمه در محیط پراکندگی) وجود دارد که هم باعث بدتر شدن قدرت تفکیک مکانی و هم کاهش کنتراست می‌گردد.

در سه حالت بررسی شده در این مقاله تغییرات FWHM و FWTM با افزایش فاصله در هوا، افزایش عمق در محیط پراکندگی و با افزایش ترکیبی از هر دو بصورت خطی بود که معادلات مربوطه بدست آمد. با توجه به معادلات بدست آمده میتوان مقادیر FWHM و FWTM را در هر شرایطی محاسبه نمود و تابع خط گستر مربوطه را بدست آورد و با در هم پیچیدن



(a)



(b)

شکل ۱۲- مقایسه تغییرات FWHM (a) و FWTM (b) توابع خط گستر (LSF) با تغییرات عمق چشمه در هوا و محیط پراکندگی

FWHM و FWTM تابع خط گستر بترتیب بمیزان ۵۴٪ و ۶۴٪ افزایش می‌یابند. در این حالت پهن شدگی تابع خط گستر قابل توجه بوده و لیکن تابع شکل گوسی خود را تقریباً حفظ می‌کند. در ادامه تحقیقات افزایش عمق چشمه در آب همگام با افزایش فاصله چشمه از سر گاماگامرا بررسی شد. در این حالت تغییرات فاصله از ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر در محیط پراکندگی یعنی آب انجام شد که همراه با تغییرات شدید تابع خط گستر بود. این تغییرات ترکیبی از اثر افزایش فاصله و بیشتر شدن میزان پرتوهای پراکنده بدلیل افزایش عمق چشمه در آب بود برای تفکیک این دو اثر و مطالعه تأثیر پرتوهای پراکنده به تنهایی بر تابع خط گستر در مرحله

منابع

- 1- Michael K, O'connor, Carlo caiati, Timothy F. Christian, Effects of Scatter Correction on the Measurement of Infarct Size from SPECT Cardiac phantom Studies. J Nucl Med 1995; 36: 2080-2086.
- 2- Budinger TF, Rollo D. physics and instrumentation. In: Holman B, Sonnenblick EH, Lesch M, edS. Principles of cardiovascular nuclear medicine. New York: Grune and Stratton; 1978: 17-52.
- 3- Fred A. Mettler, Milton J. Essentials of Nuclear Medicine Imaging. Third Edition, 1991.
- 4- Floyd CE, Jaszczak RJ, Harris CC, Coleman RJ. Energy and distribution of Multiple order Compton Scattering in SPECT: a Monte Carlo investigation. Phy Med Biol 1984; 29: 1217-1230.
- 5- Kenneth F. koral, Fayez M. Swailem, Steven Buchbinder, et al. SPECT Dual-Energy-Window compton correction, Scatter Multiplier Required for Quantification. J Nucl Med 1990; 31: 90-98.
- 6- Jun Hashimoto, Atsush; Kubo, Koichi ogawa, et al. Scatter and Attenuation Correction in Technetium - 99m Brain SPECT J Nucl 1997; 38: 157-162.
- 7- Anger Ho. Radioisotope cameras. In: Hine GJ, ed. Instrumentation in nuclear medicine, vol. 1. New York: Academic Press; 1967: 485-552.
- 8- Jaszczak RJ, Greer KL, Floyd CE, Harris CC, Coleman RE. Estimating SPECT count densities, Scatter fractions, and Statistical noise. IEEE Trans Nucl Sci 1985; NS: 762-768.

convolution آن با یک تابع دیگر به تابع خط گسسته ایده آل دست یافت.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل تحقیقاتی است که با حمایت های مالی و تجهیزاتی مرکز تحقیقات علوم و تکنولوژی در پزشکی (RCSTIM) و بخش پزشکی هسته ای بیمارستان قلب شهید رجایی انجام شده است از این رو مراتب تشکر و قدردانی خود را از مؤسسات مذکور اعلام میداریم.