سی‌تی‌اسکن چهار بعدی 4DCT

■ دکتر حسن ندایی ـ استادیار رادیوتراپی/ انکولوژی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران
■ منصوره نبوی ـ دانشجوی کارشناسی ارشد پرتو پزشکی

تصاویر CT

تصاویر CT، تصاویری با کیفیت بالا است که سیگنال‌های حاصل از تضعیف خطی از بافت را دریافت نموده و به صورت تصویر 2D نمایش می‌دهد. CT های مدرن، دارای یک یا چندین ردیف detector هستند که ۳۶۰ درجه به دور بیمار می‌چرخند. گردش گانتری به دور بیمار بین ۱ تا ۰.۴ ثانیه طول می‌کشد، که البته این مدت زمان می‌تواند با توجه به نیاز کاهش یابد. طول قطاع بیمار که در هر چرخش گانتری تصویربرداری می‌شود ۴ الی ۱۶ سانتیمتر است.

Detector پرتو x از چندین ردیف آشکارساز ساخته شده است که امکان بازسازی تصویر را از روی Axial field of view (AFOV) فراهم می‌سازد.

دو روش مجزا برای تصویرگیری از اجسام بزرگ وجود دارد. CT Helical (spiral) روشی است که در آن بیمار در امتداد AFOV حرکت می‌کند. تصویر از ردیف‌های مجزا detector گرفته می‌شود، در حالی که بیمار در موقعیتی یکسان قرار ندارد.

Serial CT تصاویر را بر اساس ثابت بودن بیمار می‌گیرد به طوری که پیش از اسکن ناحیه‌ی مجاور آن را ترجمه می‌کند. بدین ترتیب کل حجم مورد نظر اسکن می‌شود. تصاویر مجزا از موقعیت‌های مختلف اسکن به هم متصل شده و تصویر 3D را می‌سازند.

به عنوان مثال برای تصویربرداری و تشخیص کانسر ریه، تصویربرداری، کل قفسه‌ی سینه (thorax) را شامل می‌شود که حدود (۳۰-۲۵ Cm) است و نیازمند تصویرگیری Helical و یا Serial است. با این وجود، حرکت قفسه‌ی سینه به دلیل تنفس حین تصویربرداری، قانون «ثابت بودن حین گردش ۳۶۰ درجه detectorها» را نقض می‌کند. حرکات تنفس حین تصویربرداری جهت مشخص کردن حجم‌ها دو خطا (Artifact) را به همراه دارد.

برای گرفتن تصاویر از اندام‌هایی که دارای حرکت هستند معمولا دو نوع آرتیفکت بوجود می‌آید.

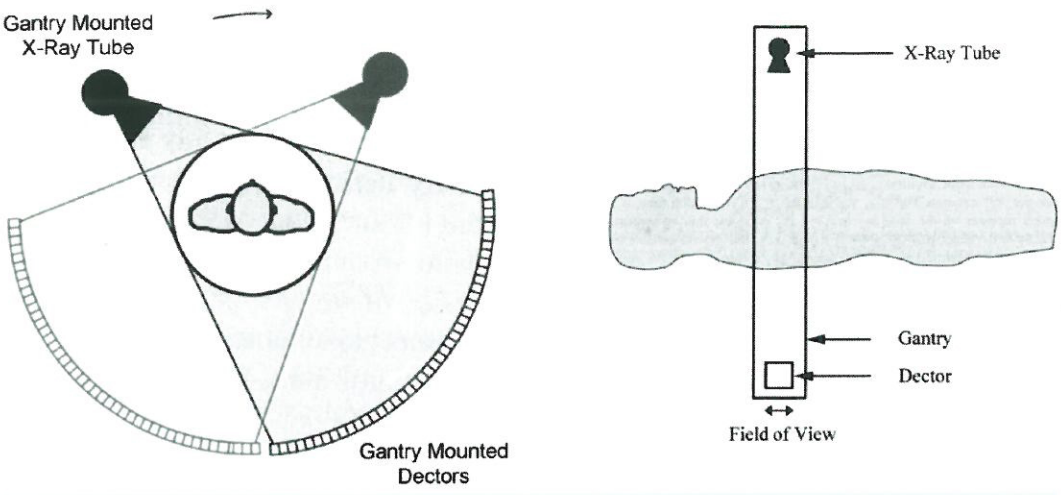
به عنوان مثال در تصویربرداری توراکس اولین آرتیفکت، مربوط به بین لایه‌ها (intra-slice) است. به دلیل آنکه تصویر در فازهای مختلف تنفس بازسازی می‌شود، این آرتیفکت باعث تحریف مهلک تصاویر شده و با نسبت زمان چرخش گانتری به مدت حرکت، دامنه‌ی حرکت، جهت حرکت و اندازه‌ی جسم مرتبط است.

در بین این عوامل نسبت زمان چرخش گانتری به مدت حرکت، قابل دستکاری است، به طوری که می‌تواند این آرتیفکت را کاهش دهد. گرفتن سریع‌تر تصاویر (افزایش سرعت گانتری) باعث کاهش آرتیفکت می‌شود.

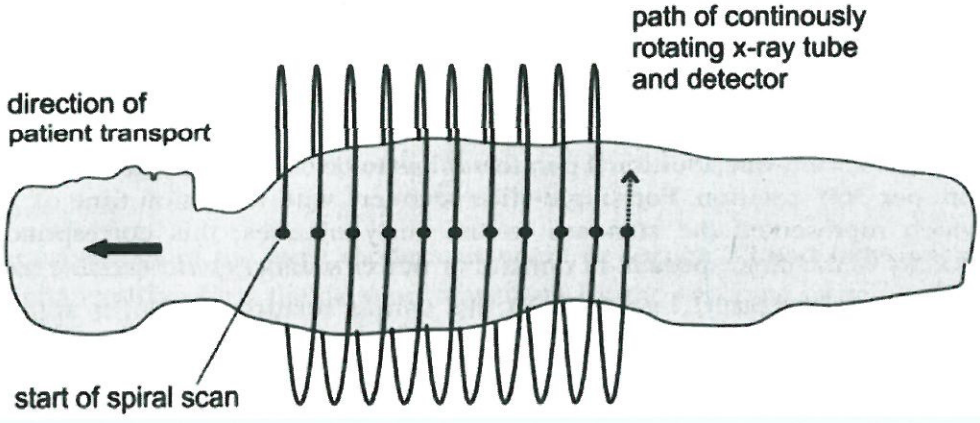
نوع دوم آرتیفکت به دلیل محدود بودن AFOV و احتیاج به الحاق تصاویر Subvolume به وجود می‌آید و با کمک متصل کردن بخش‌های Sub volume و یا افزودن طول تخت می‌توان تصویری از بخش طویلی مانند ریه گرفت.

چون تصاویر در فازهای مختلف تنفسی گرفته می‌شود، در نهایت تصویر بازسازی شده دارای inter-slice artifact است.

تصاویر Helical نشان می‌دهد که پارامترهای انتخابی طول جسم، می‌تواند کمتر و یا دو برابر دامنه شود.



تصاویر in plane و cross section سی تی اسکن



حرکت تیوب اشعه‌ی X در تصویربرداری Heliacal

۳ـ CT-Scan چهار بعدی:

روشی که باعث ارائه‌ی تصویر سه بعدی بدون آرتیفکت در حین تنفس می‌شود، تصویربرداری چهار بعدی است."4D CT" اسم عمومی پروتکلی است که علاوه بر تصویر سه بعدی، فاکتور زمان هم به آن اضافه شده است و همچنین AFOV آن بزرگتر از CT-Scanهای معمولی است.

"4D CT" هم با روش Helical CT و هم با روش Ciné CT قابل اجرا است. در تصویربرداری Helical درجه‌ی بسیار پایین (نسبت اسکن تخت به اسکن AFOV) استفاده می‌شود تا در فازهای مختلف تنفس، تصویر گرفته شود.

Ciné CT مانند Serial CT است، با این تفاوت که سری زمانی آن در حین تصویربرداری از یک پوزیشن ثابت و گردش گانتری است.

در هر دو روش نیاز به مارکر مبدل تنفسی (External surrogate) وجود دارد. این مارکر، تنفس را دنبال می‌کند و امکان آن را به دست می‌دهد که هر فاز تنفسی را مشخص کنیم.

پس از اتمام اسکن با استفاده از اطلاعات مارکر مبدل، فازهای تنفسی در هر چرخه مشخص می‌شود. (۸ تا ۱۲ عدد در هر چرخه‌ی تنفس). این روش "4D CT" که در آن ابتدا تصاویر گرفته می‌شود و سپس فازهای مختلف بـه آن نسبت داده می‌شـود را "Retrospective 4D CT" می‌نامند.

تفاوت روش Helical 4D CT و Ciné 4D CT در این است که Helical 4D CT سریع‌تر از Ciné 4D CT بوده ولی بیمار دز بیشتری می‌گیرد و در صورت تنفس نامرتب، نیاز به تصویر گیری مجدد وجود دارد.

Prospective 4D CT متـدی است کـه شـامـل Triggering (gating) است . زمانی که بیمار در فاز مناسب تنفسی باشد تصویر گرفته می‌شود. نتایج تصویربرداری Retrospective و Prospective مشابه بوده و تنها زمان Prospective طولانی‌تر است.

مبدل‌های تنفسی External surrogate مختلفی استفاده می‌شود تا

تصویر چهاربعدی از حجم‌ها گرفته شود. متداول‌ترین مبدل، مارکر خارجی است که روی قفسه‌ی سینه قرار می‌گیرد و تغییرات یک بعدی را نشان می‌دهد. این مارکر پلاستیکی است و روی قفسه‌ی سینه نزدیک Xiphoid قرار می‌گیرد و دو نور فروسرخ (IR) روی آن تابش داده می‌شود. دوربینی این جا به جایی را دنبال می‌کند.

متدهای دیگر، تعیین جا به جایی شکم به دلیل تنفس Strain gauge و pneumatic below system هستند. این سه روش با فرض اینکه سیگنالی که دریافت می‌کنند ناشی از حرکات سه بعدی دیافراگم است، کار می‌کنند.

در آخر، دو روش دیگر وجود دارد که مبدل‌های تنفسی «External surrogate» با توجه به میزان هوای دم و بازدم است. اسپیرومتری میزان شار هوای دم و بازدم در دهان را اندازه گیری می‌کند. محدودیت‌این روش این است که به طور دوره‌ای برای سیگنال، می‌بایست تنظیم شود.

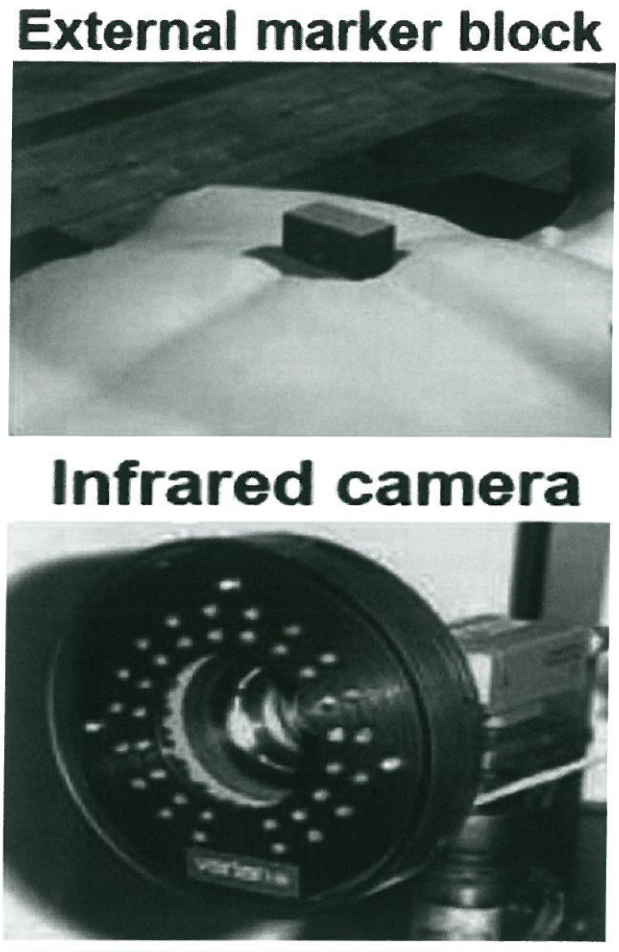
روش دیگر، استفاده از ترموکوپل برای اندازه گیری دمای هوای دهان بیمار است تا منحنی تنفسی را تشکیل دهد. قاعده‌ی این روش این است که بازدم هوا را گرم و دم هوا را سردتر می‌کند. این دو روش آخر با فرض آن است که حرکت سه بعدی تنفس با میزان شار هوای دم و بازدم متناسب باشد. مطالعات نشان داده‌اند که اسپیرومتری، اطلاعات دقیق‌تری از حرکات داخلی نسبت به مارکر روی قفسه‌ی سینه می‌دهد.

منحنی‌های تنفسی حاصل از مبدل، به شکل نیمه سینوسی و دوره‌ای و دارای فاز دم و بازدم هستند. از دامنه‌ی این منحنی برای تولید منحنی فاز تنفسی استفاده می‌شود که بین ۰ تا ۲ رادیان می‌چرخد. زاویه‌ی فاز تنفسی به منحنی سینوسی وابسته است و موقعیت را در چرخه‌ی تنفس توضیح می‌دهد.

برای هر مبدل Surrogate دو روش جهت مرتب کردن تصاویر غیر هم زمان وجود دارد:

دامنه یا فاز منحنی مبدل. با وجود اینکه مرتب کردن بر اساس زاویه‌ی فاز مبدل ابتدا استفاده می‌شود، مرتب کردن بر اساس دامنه برتری‌هایی دارد.

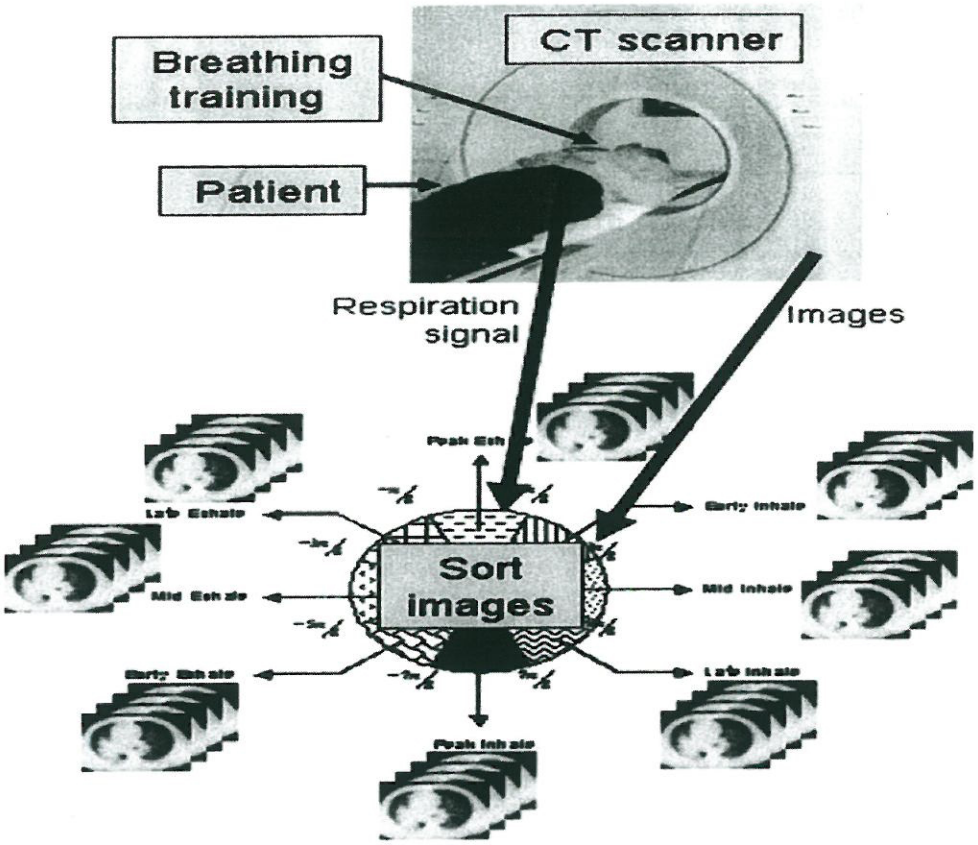
به طور معمول برای تهیه‌ی تصاویر 4DCT، بیمار روی تخت می‌خوابد. سنسور روی دیافراگم او قرار گرفته و با دوربینی که دارای پرتوی فرو سرخ می‌باشد، حرکات آن دنبال می‌شود. برای آن که تنفس بیمار منظم باشد صدای ضبط شده‌ی «دم ـ بازدم» با سرعتی هماهنگ شده او را راهنمایی می‌کند.



سیستم سنسور. مبدل خارجی و دوربین فروسرخ

تصاویر چهاربعدی به عنوان یک تصویر کلی برای یک مدت طولانی در یک فیلد تصویری ـ پزشکی گردآوری شده است. پیشرفت تصاویر سی تی چهاربعدی نسبت به سه بعدی، نه تنها باعث کاهش آرتیفکت ناشی از حرکت ارگان‌ها می‌شود بلکه اطلاعات مربوط به حرکت ارگان و تومور در تصاویر چهاربعدی کدگذاری می‌شوند. یک طرح الگو وار با استفاده از تصاویر سی تی چهاربعدی در شکل زیر نشان داده شده است. این بیمار با تکنیک spiral سی تی اسکن شده است.

سیگنال‌های تنفسی بیمار، به طور هم زمان حاصل شده‌اند. اولین تصاویری که به دست آمده‌اند مربوط به مجموعه‌ی تصاویر سه بعدی هستند که قبلا، بر اساس فاز تنفسی در زمانی که هر تصویر حاصل شده، بررسی شده‌اند. به دلیل اینکه برای تشکیل یک اسکن چهاربعدی نیاز به set کردن تعداد زیادی اسکن سه بعدی است. پس بسیاری از آن sliceها ضروری خواهند بود. این افزایش تعداد sliceها پیامدهای افزایش دز بیمار، گرم شدن تیوب CT و مدیریت اطلاعات را به دنبال دارد. ■



Refrence :
1. 4Dimensional Computed Tomography Imaging and treatment planning By Paul Keall
2. ASSESSING AND IMPROVING 4D-CT IMAGING FOR RADIOTHERAPY by Greg Pierce
3.Tumor full motion; inspiration gating versus free breathing by M Rains