

اصول سیستم های رادیولوژی و تصویرگر پزشکی

فصل هشتم: تصویربرداری هسته ای (Nuclear Imaging)

مدرس: حسین پورقاسم

تصویربرداری هسته ای

- تصویربرداری هسته‌ای، ایجاد تصاویر از توزیع عوامل پرتوزا (رادیوپرتوها) در داخل بدن می‌باشد.
- در تصویربرداری هسته‌ای معمولاً از اشعه‌های گاما یا فوتون‌های نابودی جهت تشکیل تصویر استفاده می‌شود.
- تفاوت عمده در تشکیل تصاویر هسته‌ای نسبت به تصویربرداری‌های کلاسیکی همچون تصویربرداری برش‌نگاری کامپیوتری این است که در تصویربرداری برش‌نگاری کامپیوتری، اساس تشکیل تصویر براساس میزان تضعیف اشعه ایکس عبوری از بدن بیمار است. اما در تصویربرداری هسته‌ای، منشأ تولید اشعه، مواد پرتوزایی است که در داخل بافت‌های بدن بیمار تزریق شده است و تصویر نیز براساس چگالی پرتوهای دریافتی از هر واحد حجم بدن شکل می‌گیرد.
- به غیر از این مورد، کلیات شکل‌گیری تصویر از روی پرتوهای دریافتی از بدن، شبیه سیستم تصویربرداری برش‌نگاری کامپیوتری است.



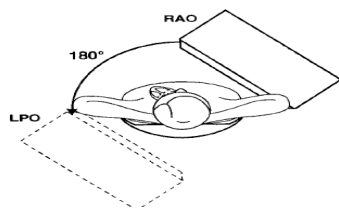
Single-photon emission computed tomography (SPECT)

- تصویربرداری SPECT یک روش تصویربرداری برش نگاری پزشکی هسته ای مبتنی بر اشعه گاما است. این نوع تصویربرداری می تواند تصاویر عرضی و در یک حالت کاملتر سه بعدی فراهم کند.
- اساس کار این روش تصویربرداری این است که یک ماده رادیوایزوتوپ با تشعشع گاما (رادیودارو یا رادیواکتیو) به جریان خون بیمار تزریق شود.
- این ماده رادیواکتیو بدون ترکیب شیمیایی با خون به محلهایی از بدن که دارای فعالیت های متابولیسمی هستند می رود.
- این مواد در نواحی بدن که دارای فعالیتهای بیشتری هستند همچون تومورها یا سلولهای سرطانی تجمع بیشتری خواهند داشت و بنابراین تصاویر بهتری و واضحتری می توان در آن نواحی گرفت.
- نهایتا با یک دوربین گاما، تشعشعات گامای ساطع شده از نواحی مختلف بدن باعث شکل گیری تصاویر ۳ بعدی می گردد.



اساس تشکیل تصویر SPECT

- سیستم های SPECT از یک یا چند دوربین جرقه زن به همراه یک مکانیسم موازی سازی (کولیماسیون) استفاده می کنند که در اطراف بیمار می چرخند.
- سپس کامپیوتر سیستم تصویربرداری SPECT، تصاویر عرضی را با استفاده از روش پس-نمایش فیلتر شده (همانند سیستم برش نگاری کامپیوتری) یا روشهای بازسازی تکرارشونده بازسازی می کند.
- دوربین های جرقه زن در سیستم SPECT در اطراف بیمار می چرخد و در زوایای زوج، تصاویر پرتوافکنی را تهیه می کند. دوربین ها می توانند تصاویر را در حال حرکت مداوم تهیه کرده و یا ممکن است در یک زاویه ای از پیش تعیین شده بایستند و سپس تصاویر را تهیه کنند.

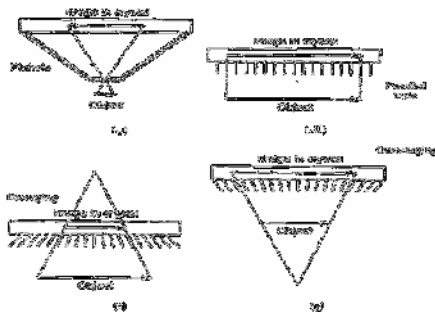


- شکل (۹-۳): یک چرخش قلبی ۱۸۰ درجه ای در
- سیستم SPECT.



اساس تشکیل تصویر SPECT

- یکی از دو جزء اساسی تصویربرداری SPECT، کولیماسیون است.
- کولیماتور در یک سیستم تصویربرداری هسته‌ای، با فرستادن فوتون‌های اشعه ایکس و گاما به دوربین از طریق مسیرهای مشخص و رساندن آن به کریستال و نیز جذب بیشتر فوتون‌های دیگر، تصویر را شکل می‌دهد. کولیماتورها از موادی با عدد اتمی بالا و چگالی بالا ساخته شده و معمولاً سربی هستند.
- متداولترین کولیماتور مورد استفاده، کولیماتور با حفره‌های موازی می‌باشد که شامل هزاران حفره‌ی موازی است.



شکل (۹-۱): انواع کولیماتورهای مورد استفاده در تصویربرداری هسته‌ای. (الف) کولیماتور حفره-موازی، (ب) کولیماتور حفره ریز، (ج) کولیماتور همگرا و (د) کولیماتور واگرا.

Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

5

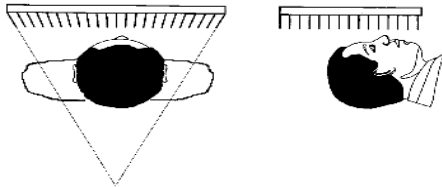
اساس تشکیل تصویر SPECT - کولیماتور

- در کولیماتور یک مصالحه‌ای میان رزولوشن فضایی و کارایی (حساسیت) می‌باشد. بدین صورت که برای افزایش قدرت جذب کولیماتور (افزایش کارایی) با افزایش ضخامت پره‌های آن، رزولوشن فضایی تصویر حاصل کاهش می‌باید.



اساس تشکیل تصویر SPECT

- بیشترین مورد استفاده از کولیماتورهای حفره-موازی با رزولوشن بالا می‌باشند.
- کولیماتور فن-پرتو، ترکیبی از کولیماتورهای همگرا و حفره-موازی می‌باشد. به خاطر اینکه، این کولیماتور، یک کولیماتور حفره-موازی در راستای محور Y است و هر ردیف از پیکسل‌ها در یک تصویر پرتوافکنی متناظر با یک برش عرضی از فانتوم می‌باشد. علاوه براین، این کولیماتور در راستای محور X، یک کولیماتور همگرا است با رزولوشن فضایی بیشتر نسبت به کولیماتور حفره-موازی.
- شکل (۹-۷): کولیماتور فن-پرتو در دو راستای محور X و Y.

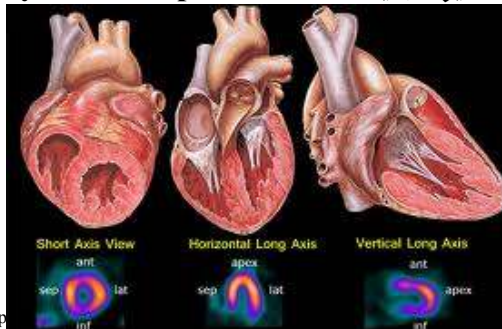


Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

7

کاربرد

- به کمک تصویربرداری SPECT، می‌توان تصاویر سه بعدی از عملکرد یک بافت یا اورگان مانند قلب یا مغز، بدست آورد.
- از تصویربرداری SPECT برای تصویربرداری از قلب و عروق و همچنین تصویربرداری عملکردی مغز، تومور استفاده کرد.
- دو مورد از معروفترین این تصویربرداری‌ها عبارتند از:
- تصویربرداری پرفیوژن میوکاردیال (Myocardial perfusion imaging)**



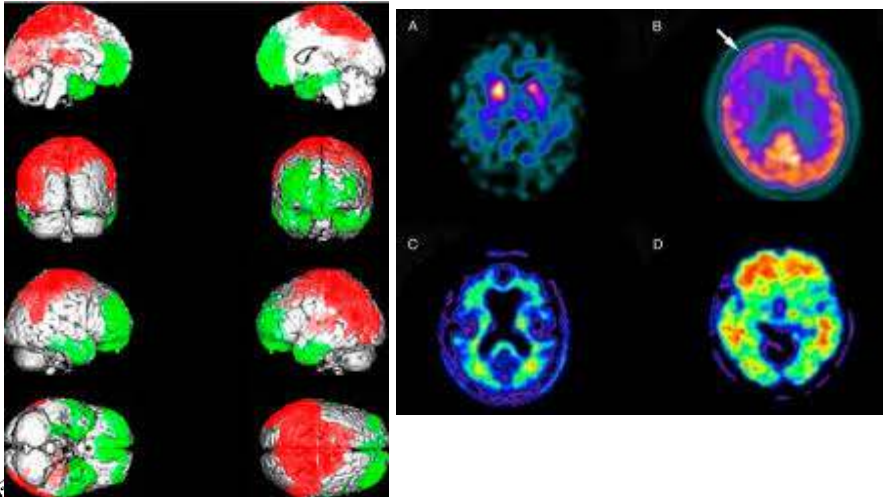
Dep

University, Dr. H. Pourghassem,

8

کاربرد

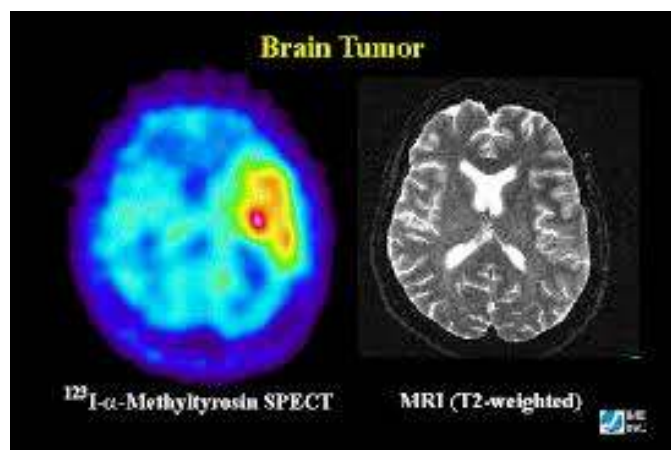
تصویربرداری از عملکرد مغز (Functional brain imaging)



Department of Electrical Engineering, Najafanad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

9

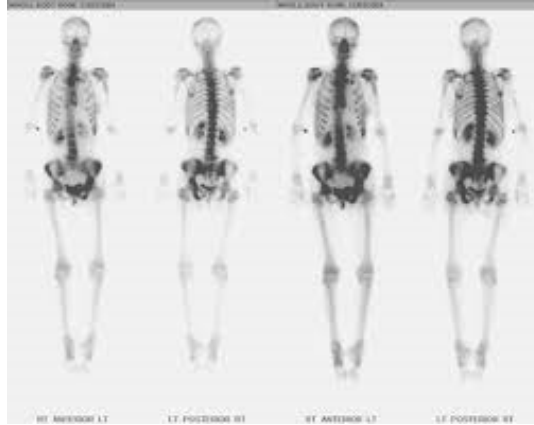
کاربرد - تومور



Department of Electrical Engineering, Najafanad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

10

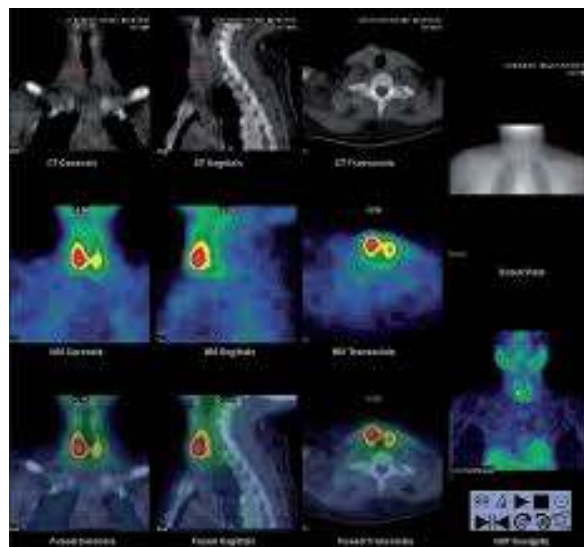
کاربرد - استخوان بدن



Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

11

کاربرد - تیروئید



Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

12

تصویربرداری SPECT/CT

- اخیراً تصویربرداری SPECT را در قالب تصویربرداری CT استفاده می کنند و بدین وسیله تصاویر با کیفیت بالاتری را بدست می آورند.
- در این تصویربرداری از دوربین گامای SPECT با اسکنرهای عادی CT بصورت یکجا استفاده می شود.
- این تصویربرداری دقیقاً شبیه CT معمولی است با این تفاوت که در CT منبع اشعه خارج از بدن است و تضعیف در اثر عبور از کل بدن شکل می گیرد در صورتی که در SPECT/CT منبع اشعه درونی (با تزریق مواد رادیودارو) است.



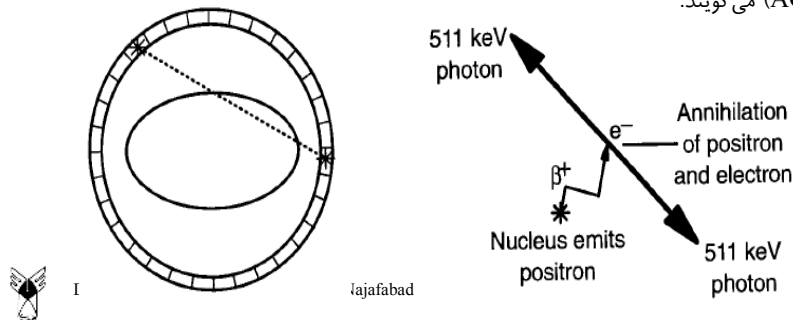
PET (Positron emission tomography)

- PET تصاویری ایجاد می کند که بیانگر توزیع پرتوهای منتشرکننده پوزیترون در بیمار می باشد و این تصاویر بصورت سه بعدی فرآیندهای عملکردی در بدن انسان را نشان می دهند.
- در یک اسکنر معمولی، چندین حلقه از آشکارسازها در اطراف بیمار تعبیه شده است. اسکنرهای PET جهت به دست آوردن پرتوافکنی توزیع فعالیت در شی، از شناسایی تصادف نابودی به جای موازی سازی استفاده می کنند. سپس کامپیوتر سیستم PET، تصاویر عرضی حاصل از داده های پرتوافکنی را بازسازی کرده که مشابه با عمل کامپیوتر در SPECT یا CTscan می باشد.
- این سیستم تصویربرداری جفت اشعه گامای تشعشع شده غیرمستقیم بوسیله مواد رادیواکتیوی که پوزیترون (ذره خلاف الکترون) تشعشع می کنند را آشکار می سازد.
- تصاویر سه بعدی از تمرکز مواد رادیودارو درون بدن بوسیله آنالیز کامپیوتری شکل می گیرد.



اساس تصویربرداری PET

- پوزیترون‌های انتشار یافته در ماده، بیشتر انرژی جنبشی خود را با ایجاد یونیزاسیون و برانگیختگی از دست می‌دهند. هنگامی که پوزیترون با یک الکترون واکنش نابودی دهد، بیشتر انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهد، کل جرم الکترون و پوزیترون تبدیل به دو فوتون 511 keV می‌شود که در جهت‌های نزدیک و مخالف هم منتشر می‌شوند.
- اگر هر دوی این فوتون‌های نابودی با آشکارسازها واکنش دهند، نابودی اتفاق افتاده در مسیر خط، قابل شناسایی خواهد بود. مدارهای الکتریکی موجود در اسکنر PET، واکنش‌های اتفاق افتاده در زمان‌های نسبتاً مشابه را شناسایی می‌کند که به این فرآیند شناسایی تصادف یا همزمانی نابودی (ACD) می‌گویند.



15

اساس تصویربرداری PET

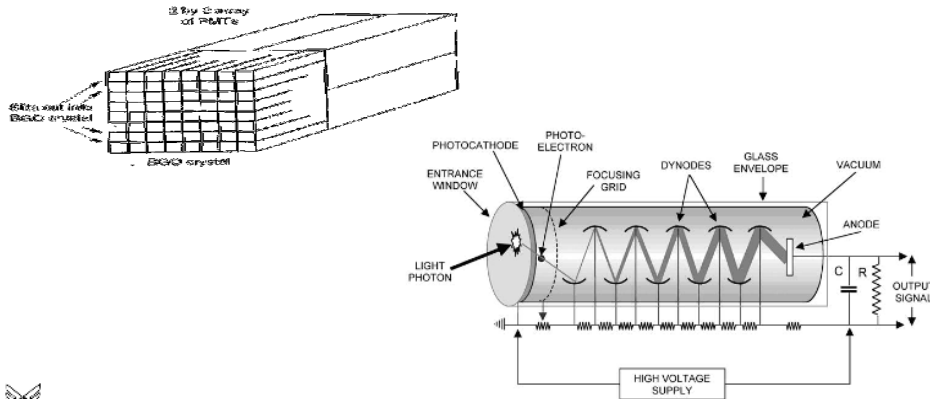
- سپس مدار اسکنر، خط ارتباط‌دهندهء موقعیت‌های دو واکنش را شناسایی و مشخص می‌کند. از این رو، ACD مسیر حرکت فوتون‌های تشخیص داده شده را ایجاد می‌کند.
- این عملکرد در سیستم‌های SPECT توسط عمل موازی‌سازی (کولیماسیون) انجام می‌گردد. با این حال، روش ACD نسبت به موازی‌سازی، فوتون‌های کمتری را هدر می‌دهد.
- در PET از کریستال‌های نوری یکپارچه شده با لامپ‌های تشدیدکننده نوری (PMT) به عنوان آشکارساز استفاده می‌شود.
- سیگنال‌های حاصل از PMT بصورت پالسی تحت پردازش قرار می‌گیرند تا سیگنال‌هایی که حاوی اطلاعاتی همچون موقعیت، انرژی ذخیره شده و زمان هر واکنش هستند، ایجاد گردد.
- سیگنال انرژی برای تمایز انرژی جهت کاهش خطای محاسبه موقعیت رخداد نابودی بوجود آمده، استفاده می‌گردد. سیگنال زمان نیز برای تشخیص همزمانی به کار می‌رود.



16

اساس تصویربرداری PET

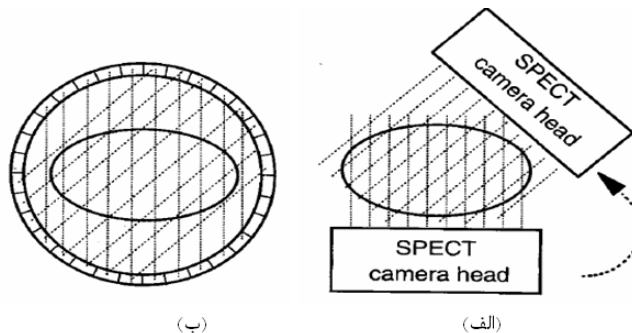
- در اسکنرهای اولیه PET، هر کریستال نوری با یک PMT، یکپارچه می‌شدند. در این طراحی، اندازه کریستال به تنهایی رزولوشن فضایی سیستم را تعیین می‌کرد. کاهش اندازه (یعنی افزایش تعداد کریستال‌ها) باعث بهبود رزولوشن می‌شد.



Department of Electrical Engineering, Najafaba

اساس تصویربرداری PET

- هنگامی که یک برخورد شناسایی می‌گردد، مدار یا کامپیوتر اسکنر، خطی در فضا را شناسایی می‌کند و دو واکنش را با هم مرتبط می‌سازد. این خط را خط پاسخ می‌نامند. تعداد برخوردهای شناسایی شده در امتداد هر خط پاسخ در حافظه کامپیوتر ذخیره می‌شود.



شکل (۹-۱۰): جمع‌آوری داده‌های پرتوافکنی در دو سیستم SPECT (الف) و PET (ب). 1

assem,

18

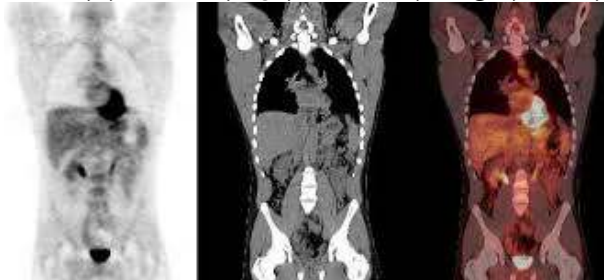
اساس تصویربرداری PET

- پس از اینکه داده‌های پرتوافکنی فراهم شد، داده‌ها برای هر خط پاسخ نسبت به تصادفات پراکندگی و همچنین تضعیف غیریکنواخت تصحیح می‌شود. پس از انجام این اصلاحات، بازسازی تصاویر عرضی انجام می‌شود.
- برای تهیه تصاویر دو بعدی، روش‌های بازسازی تصاویر مشابه با تصویربرداری SPECT می‌باشد. مانند SPECT، روش‌های پس-نمایش فیلتر شده یا بازسازی تکرار شونده را می‌توان استفاده کرد.
- رزولوشن فضایی اسکنرهای PET بوسیله سه عامل اساسی محدود و تعیین می‌شوند: (الف) رزولوشن فضایی ذاتی آشکارسازها، (ب) مسیر طی شده توسط پوزیترون‌ها قبل از نابودی و (ج) این حقیقت که فوتون‌های نابودی دقیقاً در جهت‌های مخالف از یکدیگر منتشر نمی‌شوند.
- رزولوشن ذاتی آشکارسازها، مهمترین عامل تعیین رزولوشن در اسکنرهای کنونی می‌باشد.



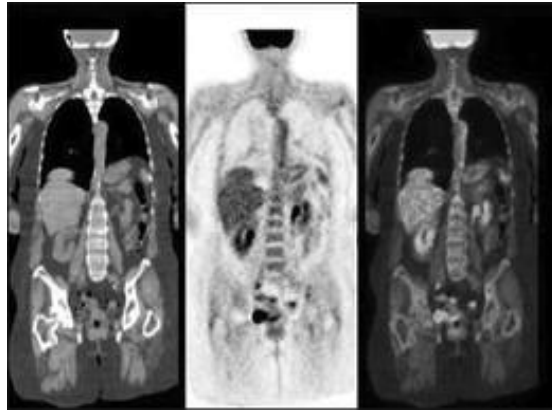
ترکیب PET با CT یا MRI

- جهت یکجا کردن اطلاعات آناتومیکی و متابولیستی یک عضو از بدن، تصویربرداری CT یا MRI با تصویربرداری PET ترکیب می‌شود که به آن PET/CT می‌گویند.
- به دلیل اینکه هر دو اسکن بطور همزمان صورت می‌گیرد. هر دو تصویر با یکدیگر بطور دقیق تثبیت می‌شود و نواحی غیر نرمال بر روی تصویر PET به طور کامل بر روی نواحی آناتومیک متناظرش بر روی تصویر CT قرار می‌گیرد.



تصاویر از چپ به راست: تصویر PET، CT و ادغام آن دو.

تصویربرداری PET/CT



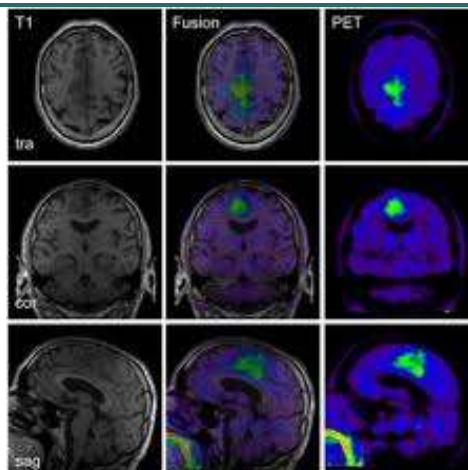
تصاویر از چپ به راست: تصویر CT, PET و ادغام آن دو.



Department of Electrical Engineering, Najafanad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

21

تصویربرداری PET/MRI



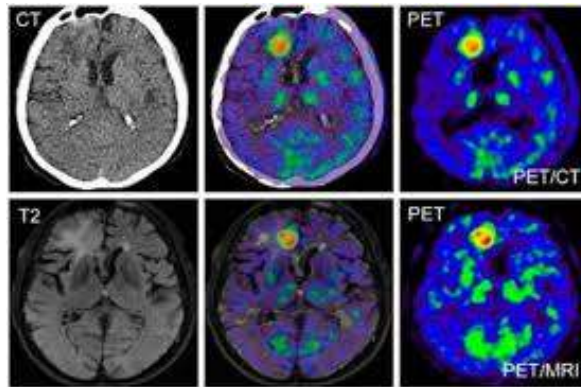
تصاویر از چپ به راست: تصاویر MRI, ادغام و PET



Department of Electrical Engineering, Najafanad Branch, Islamic Azad University, Dr. H. Pourghassem,

22

ادغام تصاویر



تصاویر از چپ به راست: تصاویر CT و MRI، PET و ادغام هر دوی آنها.

