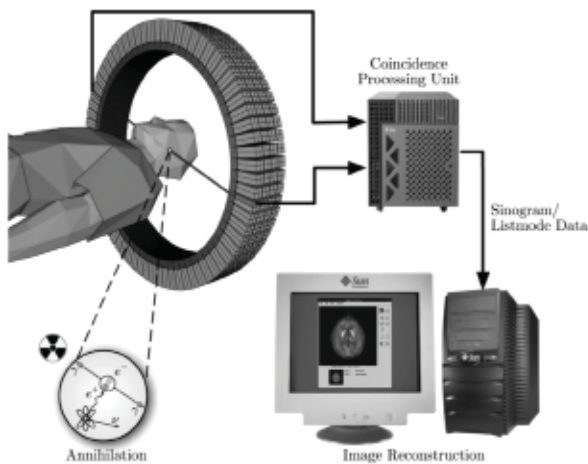


## بررسی روش‌های جدید تصویربرداری پستان؛

# تصویربرداری هسته‌ای و تصویربرداری مادون قرمز

در پت، در هریک از فرآیندهای ماده رادیواکتیو مورد استفاده، با از بین رفتن یک پزیترون، دو فوتون پر انرژی در دو جهت کاملاً برعکس گسیل می‌شوند. بنابراین از میان فوتون‌های دریافت شده تنها فوتون‌هایی که تقریباً همزمان (با اختلاف تنها چند نانو ثانیه) و در جهت معکوس یکدیگر دریافت شوند، در تشکیل تصویر نهایی شرکت داده می‌شوند.

یک دستگاه پت علاوه بر مجهز بودن به سنسورهای گیرنده پرتوهای رادیواکتیو، دارای سیستم پردازش الکترونیکی برای تشخیص همزمانی دریافت فوتون‌ها است. همین نکته باعث شده کیفیت تصاویر پت نسبت به تصاویر اسپکت به‌طور قابل توجهی بالاتر باشد. در شکل ۲ به‌صورت شماتیک، فرآیند تشکیل تصویر در سیستم پت نشان داده شده است.



شکل ۲. فرآیند تشکیل تصویر در سیستم پت. در این فرآیند سیگنال‌های ناشی از دریافت پرتو که توسط آشکار سازها تولید شده‌اند به واحد پردازش همزمانی انتقال یافته و داده‌های حاصل در واحد بازسازی تصویر، به تصویر تبدیل می‌شوند.

### پت-سی تی

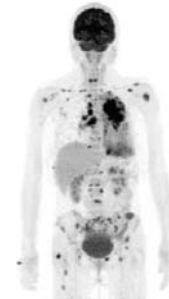
از آن‌جاکه پت یک روش تصویربرداری فیزیولوژیک است، برای داشتن همزمان تصویر آناتومیک و فیزیولوژیک از بدن بیمار، که به تشخیص بهتر کمک می‌کند، در برخی مواقع از ترکیب آن با روش تصویربرداری سی تی اسکن استفاده می‌شود. به این روش تصویربرداری، پت-سی تی می‌گویند. در شکل ۳ یک تصویر پت-سی تی نشان داده شده است.

در شماره گذشته، از میان روش‌های مختلف تصویربرداری پستان، به ماموگرافی، سونوگرافی و ام‌آر‌آی پرداختیم. در این شماره، علاوه بر بررسی مختصر تصویربرداری هسته‌ای، به موضوع تصویربرداری مادون قرمز یا حرارتی پرداخته می‌شود.

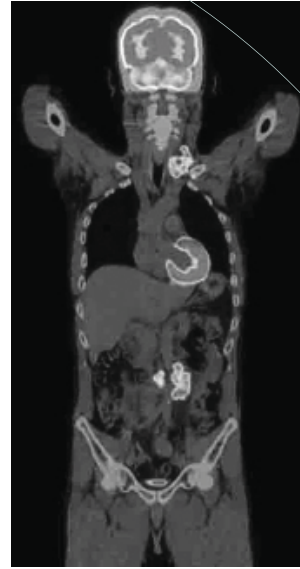
### تصویربرداری هسته‌ای

اسپکت یا برش‌نگاری رایانه‌ای گسیل تک‌فوتون یک روش تصویربرداری هسته‌ای است. پت-PET یا برش‌نگاری گسیل پزیترون نیز روشی جدید شبیه اسپکت در زمینه تصویربرداری هسته‌ای است. نحوه انجام آزمایش به این صورت است که ابتدا مقدار کمی ماده رادیواکتیو که تریسر- Tracer نامیده می‌شود به درون ورید بازوی بیمار مورد بررسی تزریق می‌شود. این ماده (که در پت معمولاً یک نوع قند به نام فلورودی اکسی‌گلوکز است) مقدار کمی پرتو از خود گسیل می‌کند. هنگامی که این ماده رادیواکتیو وارد بدن می‌شود، بیشتر جذب قسمت‌هایی می‌شود که فعالیت بالاتری دارند. از آن‌جاکه سلول‌های سرطانی در بدن دارای فعالیت بسیار بالایی هستند، بیشتر از همه، این سلول‌ها ماده رادیواکتیو را جذب می‌کنند.

دستگاه پت و اسپکت با اسکن کردن قسمتی از بدن که باید مورد بررسی قرار گیرد، براساس میزان دریافت پرتو از نواحی مختلف، تصویری با سطوح خاکستری متفاوت، از این نواحی تولید می‌کنند. در یک تصویر پت یا اسپکت، قسمت‌هایی از بدن که فعالانه در حال رشد هستند، به‌صورت نقاط تیره دیده می‌شوند. در شکل ۱ تصویر پت نشان داده شده است. همان‌طور که در تصویر دیده می‌شود، ماده رادیواکتیو بیشتر در نواحی قلب و مغز جذب گردیده و در نتیجه پرتو بیشتری را از خود گسیل کرده است.



شکل ۱. تصویرگیری با روش پت. در این تصویر ماده پرتوزا بیشتر در نواحی قلب و مغز تجمع یافته و در تصویر با رنگ تیره مشخص شده است.



شکل ۳. یک تصویر پت-سی تی. همان‌طور که در این تصویر دیده می‌شود، تصویر علاوه بر به نمایش در آوردن اطلاعات آناتومیک بدن بیمار، نقاط مختلف را بر حسب میزان پرتوزایی (فعالیت فیزیولوژیک) با طیفی از چند رنگ نمایش داده است.

### جایگاه و کاربردهای تصویربرداری هسته‌ای

برای تشخیص اولیه سرطان پستان از پت استفاده نمی‌شود زیرا این روش در کشف توده‌های ۵ تا ۱۰ میلی‌متری دقت مناسبی نداشته و قابل اتکا نیست. از روش تصویربرداری پت در ارزیابی روش درمانی انتخاب شده برای بیمار مبتلا به سرطان پستان استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال برای یک بیمار ممکن است روش درمانی به این صورت باشد که ابتدا با استفاده از شیمی‌درمانی، اندازه توده را تا حدی کوچک کنند که بتوان در مرحله بعد با جراحی، آن توده را از بدن خارج کرد. برای ارزیابی موفقیت شیمی‌درمانی در کوچک کردن اندازه توده، می‌توان از پت استفاده کرد.

یکی دیگر از کاربردهای پت، بررسی وجود متاستاز در بدن بیمار مبتلا به سرطان است. پت این امکان را به پزشک می‌دهد که با دقت خوبی این کار را انجام دهد.

اگرچه این روش توانایی بالایی در ارزیابی روش درمانی بیمار مبتلا به سرطان و همچنین بررسی وجود متاستاز در سایر نقاط بدن دارد، اما محدودیت‌هایی همچون گران بودن آزمایش، در دسترس نبودن، نیاز به مواد رادیواکتیو با نیمه‌عمر کوتاه که باید در شتاب‌دهنده‌های دوار هسته‌ای - Cyclotron تولید شده و به مرکز تصویربرداری منتقل شوند و نیاز به آموزش دقیق به پرسنل، از محدودیت‌های استفاده از این روش تصویربرداری است.

### تصویربرداری حرارتی مادون قرمز از سینه

سرطان به بیش از ۱۰۰ نوع بیماری اطلاق می‌شود که باعث رشد سریع و خارج از کنترل سلول‌ها می‌شوند. سلول‌های سرطانی به‌طور غیرعادی تقسیم شده و تولید مثل می‌کنند. در اغلب سرطان‌ها،

سلول‌های سرطانی سرانجام به یک توده سرطانی به نام تومور تبدیل می‌شوند. سلول‌های سرطانی پس از درگیر کردن بافت اطراف خود، از طریق عروق خونی یا لنفوی به سایر قسمت‌های بدن نیز سرایت کرده، در آنجا هم باعث ایجاد تومورهای سرطانی می‌شوند؛ که به این پدیده متاستاز می‌گویند.

ناهنجاری‌های ژنتیکی عموماً در دو دسته از ژن‌ها یافت می‌شوند:

۱- انکوژن‌ها (Oncogenes): که باعث فعال شدن سلول‌های سرطانی می‌شوند. سلول‌های سرطانی خواص جدیدی مانند رشد و تقسیم بیش‌ازحد، مرگ سلولی بی‌برنامه و از بین بردن حریم بافت‌های سالم مجاور پیدا می‌کنند.

۲- ژن‌های سرکوب‌کننده (Tumor suppressor genes): که باعث می‌شوند سلول‌های سرطانی عملیات عادی خود، مانند تکرار DNA دقیق، کنترل روی سیکل سلولی و ارتباط متقابل با سلول‌های محافظ سیستم ایمنی را از دست بدهند.

سرطان‌ها بسته به نوع سلولی که تومور را تشکیل می‌دهند، دسته‌بندی می‌شوند. دسته کارسینوما (Carcinoma)، شامل تومورهای بدخیم است که از سلول‌های اپیتلیال (Epithelial) به‌دست می‌آیند. این دسته معرف بیشترین نوع سرطان‌هاست و در معمول‌ترین شکل سرطان سینه دخالت دارد.

### رگ‌سازی، متابولیسم با نرخ بالا، گشادی رگ‌ها

سلول‌های سرطانی گرم‌تر از سلول‌های سالم هستند. اما چرا؟ سه عامل برای گرم‌تر بودن سلول‌های سرطانی نسبت به سلول‌های سالم عبارتند از: رگ‌سازی، متابولیسم با نرخ بالا و گشادی رگ‌ها.

### رگ‌سازی

تومور ممکن است برای تأمین مواد مغذی به بافت‌های اطرافش محتاج شود. فرآیند تکثیر رگ‌های خونی جهت خون‌رسانی به توده توموری را رگ‌سازی یا Angiogenesis می‌نامند. تا به حال مطالعات گسترده‌ای در رابطه با رگ‌سازی تومورها صورت گرفته است. مشاهده شده است که ساختار رگ‌های تومورها تفاوت قابل ملاحظه‌ای با ساختار رگ‌های بافت‌های سالم دارد. شبکه‌های رگ‌های سالم الگوهایی درخت‌مانند دارند. فاصله‌های بین رگ‌ها یک مشخصه دائم و ثابت است درحالی‌که در شبکه‌های رگ‌های تومورهای سرطانی چنین مشخصه ثابتی وجود ندارد. رگ‌سازی فقط در دو نمونه زیر به‌صورت سالم و طبیعی صورت می‌گیرد: ترمیم زخم که با فرآیند اساسی رشد و گسترش رگ‌های خونی کاملاً منظم همراه است.

جنین در حال رشد در رحم مادر که شبکه وسیعی از سرخرگ‌ها، سیاهرگ‌ها و موی رگ‌ها به‌واسطه آن در حال رشد و گسترش هستند. تا به حال تحقیقات زیادی در رابطه با اثر رگ‌ها در تصاویر مادون قرمز سینه صورت گرفته است و مشخص شده است که رگ‌سازی یک رویداد مهم در رشد تومورهاست. فرآیند رگ‌سازی با آزاد شدن

فاکتورهای رگ‌سازی (Angiogenesis Factors) یا AF از سلول‌های قبل از سرطانی شدن یا سرطانی آغاز می‌شود. در مراحل اولیه رشد تومور، اگر نئوپلاسم (بافت غیرطبیعی ناشی از زایش سلول‌های سرطانی) دارای متابولیک سلولی پایین باشد، آنگاه آزاد شدن AF باعث می‌شود رگ‌های موجود جهت فراهم کردن مواد غذایی برای توده در حال رشد، قدرت انقباض نداشته باشند. هر چه اندازه تومور افزایش یابد، نیاز آن به مواد مغذی بیشتر می‌شود. AF نفوذش را با بازکردن رگ‌های عادی در سینه شروع می‌کند و زمانی که این منبع خونی جهت رشد نئوپلاسم کم باشد، AF باعث تشکیل رگ‌های جدید می‌شود. این رگ‌های جدید لوله‌های اندوتلیال ساده هستند که تومور را به سرخرگ‌های موجود نزدیک متصل می‌کند. وسکولارایزیشن به دنبال رگ‌سازی رخ می‌دهد که با تکثیر و کوچ کردن سلول‌های اندوتلیال همراه است. این رگ‌های خونی اضافه شده، باعث افزایش درجه حرارت و عدم تقارن عروقی در سینه می‌شوند. مبحث رگ‌سازی که در ردیابی زود هنگام سرطان سینه اساسی است در سال ۱۹۹۶ توسط Schitt و Guidi تأیید شد. مشاهدات ایشان نشان داد که رگ‌سازی یک رویداد زود هنگام در ایجاد سرطان سینه است.

### متابولیزم با نرخ بالا

فرآیند متابولیزم در یک سلول به‌طور کلی تبادل انرژی و ماده بین سلول و محیط اطرافش است. متابولیزم دارای چهار عمل است: به‌دست آمدن انرژی از مولکول‌های سوخت تبدیل مواد مغذی برون‌زاد به بلوک‌های ساختمانی یا مواد متشکله اجزاء سلول مولکولی رساندن چنین بلوک‌های ساختمانی به پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و اجزاء سلولی دیگر تشکیل و تنزیل بیومولکول‌های لازم در اعمال خاص سلولی متابولیزم به دو مرحله اصلی کاتابولیزم (Catabolism) و آنابولیزم (Anabolism) تقسیم می‌شود. کاتابولیزم یک مرحله تنزیلی از متابولیزم است که در آن مولکول‌های بزرگ و پیچیده غذایی (کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و پروتئین‌ها) به مولکول‌های ساده‌تر و کوچک‌تر (اسید لاکتیک، اسید استیک، CO<sub>2</sub>، آمونیا و اوره) تبدیل می‌شوند. در کاتابولیزم همچنین تبدیل بعضی از انرژی مواد مغذی به شکل تریفسفات آدنوزین (ATP) صورت می‌گیرد. برعکس، آنابولیزم مرحله ساخت متابولیزم است و طی آن مولکول‌های پیچیده کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسید نوکلئیک‌ها از مواد ساده متشکله ساختمانی ساخته می‌شوند. بیوسنتز مولکول‌های ارگانیک از مواد متشکله ساده نیازمند انرژی شیمیایی است. این انرژی توسط ATP که در مرحله کاتابولیزم تولید شده تأمین می‌شود. انرژی تولید شده در مسیرهای متابولیکی توسط سلول برای تقسیم شدن استفاده می‌شود. سلول‌ها تقسیم سلولی میتاتیک - Mitotic می‌شوند که فرآیندی است که طی آن سلول منفرد به سلول‌های فراوانی

تقسیم می‌شود و بافت را تشکیل می‌دهد و در ادامه گسترش و رشد ارگانیک‌های چند سلولی را به دنبال دارد. هنگامی که سلول‌ها تقسیم می‌شوند هر قسمت یک سلول بسیار کوچک کامل است که بلافاصله بعد از تقسیم به اندازه سلول اصلی می‌رسد. در بدن انسان رشد طبیعی در هر ارگان با تقسیم سلولی میتاتیک و به دنبال آن با بزرگ شدن و تبدیل سلول‌های ایجاد شده به ارگان مربوطه صورت می‌گیرد. در سلول‌های سرطانی سلول‌های تقسیم شده توانایی تبدیل شدن به ارگان را از دست می‌دهند. سلول‌های سرطانی از الگوهای نرمال تشکیل بافت تبعیت نمی‌کنند و به‌صورت تهاجمی رشد می‌کنند. این سلول‌ها یک متابولیزم متفاوت دارند. سلول‌های سرطانی سیر تنزیل گلیکولیز - Glycolysis را به‌صورت غیرقاعده دارند. میزان اکسیژن مصرفی کمتر از سلول‌های سالم است. سلول‌های بدخیم ۵ تا ۱۰ برابر سلول‌های سالم گلوکز مصرف می‌کنند که اکثر آن به لاکتات - Lactate به جای پیروویت - Pyruvate تبدیل می‌شود. لاکتات یک ترکیب انرژی کم است. درحالی‌که پیروویت یک ترکیب انرژی زیاد است. مهم‌ترین تأثیر این عدم تعادل متابولیکی در سلول‌های سرطانی، استفاده از مقدار زیادی گلوکز خون و آزاد کردن مقدار زیادی لاکتات در خون است. لاکتات در جگر بازیافت و گلوکز دوباره تولید می‌شود. تشکیل یک مولکول گلوکز توسط جگر به ۶ مولکول ATP نیاز دارد در صورتی که شکست یک مولکول گلوکز به لاکتات فقط به دو مولکول ATP نیاز دارد. سلول‌های سرطانی مانند انگل متابولیکی به جگر وابسته هستند تا از طریق آن انرژی خود را تأمین کنند. به عبارتی، توده‌های بزرگ سلول‌های سرطانی مصرف‌کننده انرژی حاصل از سوخت‌وساز در عضو میزبان هستند. نرخ متابولیکی زیاد سلول‌های سرطانی باعث افزایش درجه حرارت محلی نسبت به سلول‌های سالم می‌شود.

### گشادی رگ‌های محلی

نیتریک اکساید سنتاز - NOS در سرطان کارسینوما سینه با استفاده از Immunohistochemistry بافت دیده شده است و در تومور در مراحل پیشرفته هم یافت شده است. نیتریک اکساید مولکولی است که باعث گشادی رگ‌ها می‌شود و یک رادیکال آزاد ساده با واکنش بالاست که به آسانی اکسیده می‌شود و نیتريت یا یون‌های نیترات را می‌دهد. به آسانی از بین واسطه‌های آب‌دوست و آب‌گریز نفوذ می‌کند. نیتریک اکساید - NO موجود در ناحیه توموری باعث گشادی رگ‌ها می‌شود. هنگامی که NO تولید می‌شود از بین بافت‌های اطراف داخل و خارج سیستم عروقی نفوذ می‌کند و باعث تغییرات وسیع بیوشیمی می‌شود. این تغییرات بستگی به گیرنده‌های خاص دارد. NO نفوذش را با اتصال به محل‌های گیرنده در اندوتلیوم سرخرگ‌ها اعمال می‌کند و از تنگی رگ‌های سمپاتیک جلوگیری می‌کند و در نتیجه، باعث گشادی رگ‌ها می‌شود.

نتیجه: رگ‌سازی، متابولیزم با نرخ بالا و گشادی رگ‌ها در سلول‌های سرطانی باعث می‌شود این سلول‌ها گرم‌تر از سلول‌های



شکل ۴. نمایی از فرآیند تصویربرداری مادون قرمز

البته باید توجه داشت که این شیوه تصویربرداری محدودیت‌هایی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به نسبی بودن دماهای ارائه شده در تصویر اشاره کرد. نسبی بودن دماها به این معناست که در تصویر، نقطه یا ناحیه‌ای به‌عنوان مبنا، در نظر گرفته می‌شود و دمای دیگر نقاط بر اساس درجه رنگشان بر مبنای آن ناحیه، بررسی می‌شوند. به‌عنوان مثال، در تصویربرداری گرمایی برای تشخیص سرطان پستان، گاهی ناحیه شاه‌رگ گردن به‌عنوان مبنا در نظر گرفته می‌شود و بنابراین دمای نقاط دیگر بدن بر اساس آن محاسبه می‌شود.

روش ترموگرافی سینه روشی غیرتهاجمی، بدون درد، با سرعت عمل بالا و هزینه اندک است. در این روش از هیچ اشعه زیانباری استفاده نمی‌شود و وسیله تصویربرداری نیز هیچ‌گونه تماسی با بدن بیمار ندارد. این روش برای همه زنان با گروه‌های مختلف سنی و زنان با اندازه‌های مختلف سینه، مناسب است. این روش برای زنان با سینه‌های فیبروکیستی یا سینه‌های فشرده و همچنین زنان آستن و شیرده نیز بسیار قابل اطمینان است. معمولاً وسیله تصویربرداری مادون قرمز قابلیت حمل و نقل دارد و دسترسی به تصویر سریع است. تحقیقات نشان می‌دهد اگر تومور زود ردیابی شود شانس زنده ماندن بیمار تا ۸۵ درصد افزایش می‌یابد. ترموگرافی قادر است سرطان سینه را ۸ تا ۱۰ سال زودتر از ماموگرافی ردیابی کند.

در طب جدید، ترموگرافی تغییرات فیزیولوژی و ماموگرافی تغییرات آناتومی را ردیابی می‌کند. لازم به ذکر است که تغییرات فیزیولوژی سرانجام به تغییرات آناتومی می‌انجامد. ترموگرافی می‌تواند به‌عنوان یک روش مکمل در کنار ماموگرافی قرار گیرد. ترموگرام سینه نرمال هر زن مانند اثر انگشتش منحصر به فرد است و با گذشت زمان تغییر نمی‌کند و از آن در معاینه‌های معمول استفاده می‌شود. در معاینه روتین، نخست یک ترموگرام پایه از بیمار تهیه می‌شود و ترموگرام‌های بعدی با این ترموگرام پایه مقایسه می‌شوند. شکل ۵ معاینه روتین یک مراجعه‌کننده سالم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصاویر، مشاهده می‌شود پروفایل حرارتی سینه‌ها در طی دو سال ثابت بوده است. شکل ۶ ترموگرام‌های یک بیمار مبتلا به داکتال

سالم باشند و در تصاویر مادون قرمز به‌صورت نقاط یا نواحی پرحرارت ظاهر شوند.

## تصویربرداری مادون قرمز (دمانگاری فروسرخ)

تصویربرداری مادون قرمز یک روش تصویربرداری غیرتهاجمی است که به‌عنوان یک ابزار تشخیصی به‌کار می‌رود. منشأ اصلی اشعه‌های مادون قرمز، گرمای برخاسته از بدن‌های مختلف است که دمای آن‌ها از صفر مطلق بیشتر است. بنابراین ترموگرام از یک بیمار، توزیع گرما در بدن را فراهم می‌کند. با توجه به آنچه پیشتر اشاره شد، سلول‌های سرطانی نسبت به سلول‌های طبیعی اطرافشان، دمای بیشتری دارند. بنابراین، می‌توان در تصاویر مادون قرمز، سلول‌های سرطانی را به‌صورت کانون‌های بحرانی نشان داد. ترموگرام، اطلاعات دینامیکی بیشتری از تومور نشان می‌دهد زیرا ممکن است تومور کوچک باشد اما بتواند به‌سرعت رشد کند و در نتیجه به‌سرعت در ترموگرام به‌صورت یک نقطه (ناحیه) با حرارت بالا به‌نظر برسد. اما در ماموگرافی شرایط متفاوت است و اگر تومور از سایز مشخصی بزرگ‌تر باشد نمی‌توان آن را نشان داد زیرا اساساً اشعه‌ی ایکس بدون هیچ‌گونه تأثیری از آن عبور می‌کند. این سبب می‌شود تصویربرداری مادون قرمز یک ابزار تشخیصی مؤثر برای تشخیص به‌موقع سرطان پستان محسوب شود. همچنین گفته شده است که نتایج ترموگرافی (حرارتی) می‌تواند ۸ تا ۱۰ سال قبل از اینکه ماموگرافی بتواند توده‌ها را در بدن بیمار تشخیص دهد، معتبر باشد.

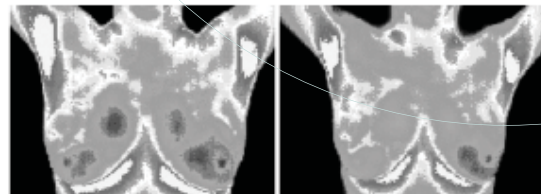
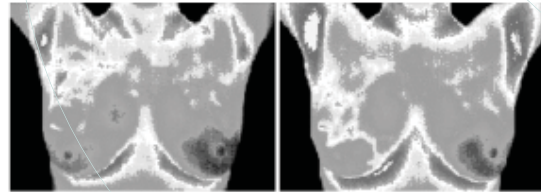
پوست، بزرگ‌ترین ارگان در بدن انسان است که به تنظیم درجه حرارت هسته بدن در یک بازه کوچک با اصلاح فرآیندهای انتقال حرارت از بدن به محیط اطراف و برعکس کمک می‌کند. برای انتقال حرارت به‌از پوست از سه مکانیسم انتقال حرارت استفاده می‌شود. این سه مکانیسم عبارتند از هدایت-Conduction (از میان لایه‌های بافت)، انتقال گرما (توسط سیستم عروقی) و تابش (عمدتاً به‌از محیط اطراف). انتقال حرارت با فرآیندهای فیزیولوژیکی پیچیده‌ای مانند گردش خون، تعرق، ایجاد حرارت متابولیکی و بعضی مواقع اتلاف حرارت توسط موهای سر یا موهای سطح پوست، صورت می‌گیرد. خواص حرارتی پوست در لایه‌های مختلف متفاوت است. عوامل متنوعی مانند حرارت، آسیب‌دیدگی، فشار، سن و غیره بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و خواص حرارتی پوست اثرگذارند.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت یک ترموگراف مادون قرمز، رکوردی از توزیع دمای لایه سطح خارجی پوست است.

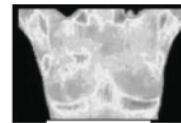
در تصویربرداری حرارتی مادون قرمز، تصویربردار انرژی حرارتی غیرقابل رؤیت را به‌منظور نمایش پروفایل حرارتی شیء به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کند و معمولاً خروجی یک تصویر است که به‌وسیله الگوریتم‌های مختلف رنگی شده است (شکل ۷).



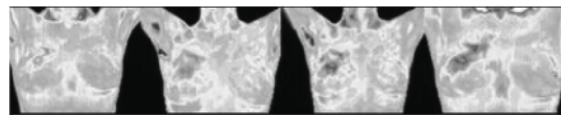
کارسینوما درجا- Ductal carcinoma in situ را نشان می‌دهد. ماموگرافی، قادر است این مورد را در مرحله‌ای که آخرین ترموگرام گرفته شده است، ردیابی کند.



شکل ۵. معاینه معمول یک مراجعه‌کننده سالم. تصویر سمت چپ بالا: ترموگرام پایه، تصویر سمت راست بالا: ترموگرام بعد از شش ماه، تصویر پایین سمت چپ: ترموگرام بعد از یک سال، تصویر آخر: ترموگرام بعد از دو سال



Baseline



شکل ۶. ترموگرام‌های یک بیمار مبتلا به داکتال کارسینوما درجا

## دوربین

اولین دوربین‌های مادون قرمز حجیم بودند و استفاده از آن‌ها آسان نبود. همچنین این دوربین‌ها برای خنک‌شدن به نیتروژن مایع نیاز داشتند و تنها در حالت افقی قابل استفاده بودند. دوربین‌های امروزی، کوچک و بدون نیاز به کولانت (مایع خنک‌کننده) هستند و در هر حالتی نیز قابل استفاده هستند. این قابلیت‌ها باعث می‌شود تا بتوان در اعمال مختلف، به‌عنوان مثال در بیهوشی و جراحی قلب هم از آن‌ها استفاده کرد. اغراق نیست اگر گفته شود توسعه یک دوربین دیجیتال بی‌نیاز به سیستم خنک‌کننده، انقلابی در پتانسیل ترموگرافی در طب ایجاد کرده است.

از مزایای این دوربین‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- هزینه پائین‌تر نسبت به روش‌های دیگر

۲- غیر تهجمی بودن

۳- عدم تماس مستقیم

۴- بدون تابش اشعه

۵- کم حجم

۶- قابل حمل و قابل استفاده در زوایای مختلف

۷- مشخص کردن خصوصیات توده

۸- ساخته شده با استفاده از تکنیک‌های قرص سیلیکون

۹- رزولوشن بالای دمایی و فضایی

۱۰- به صورت الکتریکی خنک‌شده یا خنک‌نشده هستند (برخی از دوربین‌ها ممکن است گرم شوند).

از دوربین‌های حسگر حرارتی که در تصویربرداری مادون قرمز از آن‌ها استفاده می‌شود می‌توان به دوربین FLIR مدل A-۳۰۰ اشاره کرد (شکل ۷).



شکل ۷. دوربین FLIR مدل A-۳۰۰

ویژگی‌های خاص این دوربین در جدول ۱ آورده شده است. از میان این ویژگی‌ها می‌توان به حساسیت بسیار عالی این دوربین اشاره کرد.

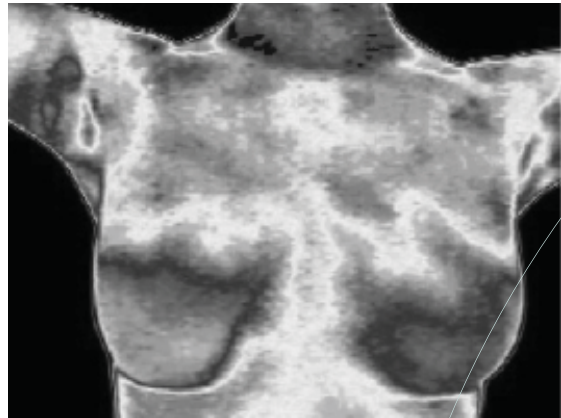
Characteristic	Specification
Sensibility	0.05 °C
Spatial resolution (IFOV)	1.36 mrad
Thermogram resolution	320 x 240 px
Sensor speed	25 us
Thermogram format	JPEG
Communication	Ethernet
Emissivity correction	Yes, from 0.1 to 1.0
Focus	Automatic
Zoom	Digital, up to 8x

جدول ۱. ویژگی‌های دوربین حسگر حرارتی FLIR مدل A-۳۰۰

## تقسیم‌بندی تصاویر حرارتی

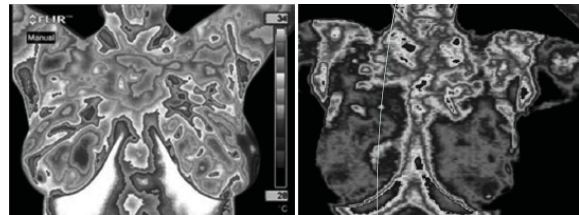
با لحاظ کردن نمونه‌های آزمایشی که در تحقیقات مختلف به دست آمده است می‌توان به نوعی تقسیم‌بندی در تصاویر حرارتی رسید. این نوع تقسیم‌بندی برای پزشک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این دسته‌بندی شامل موارد زیر می‌شود:

## تصاویر طبیعی یکنواخت بدون عروق (Non-Vascular)



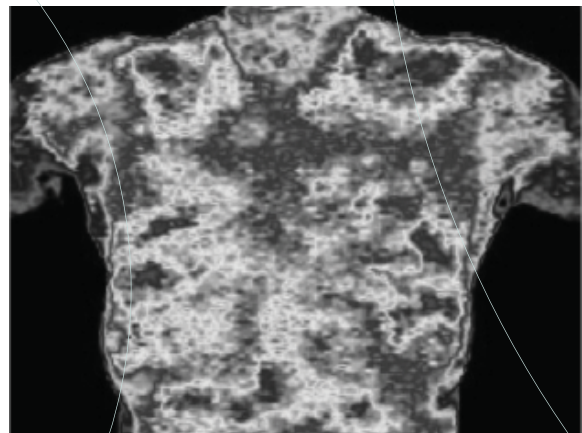
شکل ۸: طرح‌های رنگ (دمای) سینه‌ها ملایم هستند و در مقایسه با یکدیگر تقریباً یکسانند.

## تصاویر طبیعی یکنواخت عروقی



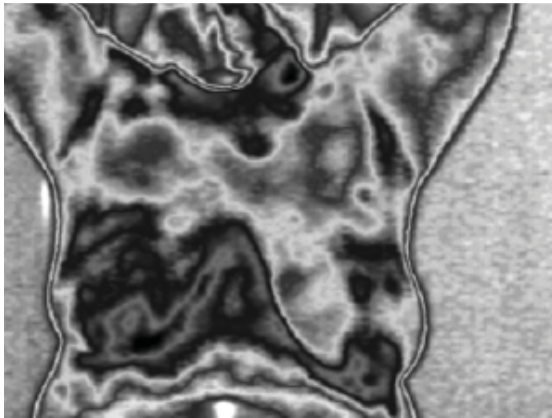
شکل ۹: به شعاع‌ها (خطوط) متقارن در هر دو سینه دقت کنید (عروق).

## تصاویر مشکوک (سؤال برانگیز)



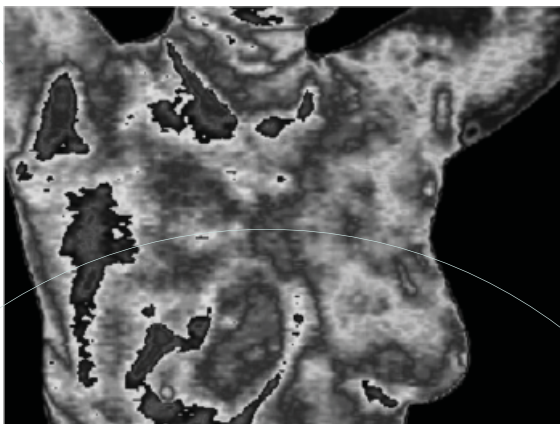
شکل ۱۰: به عروق گرم در سینه راست دقت کنید. این نتیجه نیازمند آن است که برای بررسی تغییر، چندین بار تحت نظر گرفته شود و اگر ثابت بماند، یا افزایش یابد، نتایج برای فیزیولوژی این بیمار طبیعی است.

## تصاویر غیر طبیعی



شکل ۱۱: تصویر غیر طبیعی سینه سمت راست به دلیل افزایش دمای (متابولیسم) سینه راست. سه ناحیه مشکوک با دمای بالاتر وجود دارند. ناحیه بسیار عروقی نزدیکتر به نوک پستان سمت راست، بیشتر قابل توجه است.

## تصاویر به شدت غیر طبیعی



شکل ۱۲: دمای به شدت افزایش یافته (متابولیسم) و حالت عروقی کل سینه راست. این تصویر مربوط به یک بیمار با غده سرطانی ملتهب در سینه راست است. این تصویر مراقبت و اقدام فوری را به بیمار توصیه می‌کند.

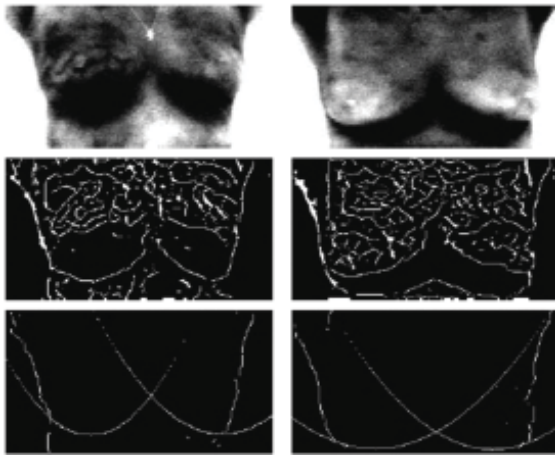
## برخی روش‌های شناسایی

### شناسایی بر مبنای تصویر

از نخستین اقدامات صورت گرفته، شناسایی سرطان بر مبنای تصویر بود. به طوری که پزشک به صورت ظاهری با استفاده از تصاویر حرارتی که از بیمار دریافت می‌کند سرطان را تشخیص می‌دهد. پزشکان بر مبنای تصاویری که به دست می‌آورند به کلاس‌بندی این بیماری می‌پردازند. این نوع شناسایی هنوز در حال انجام و تحقیقات می‌باشد.

## عدم تقارن

معمولاً اعضاء جفت (سینه‌ها، دست‌ها، پاها، چشم‌ها) در بدن انسان سالم، به صورت متقارن هستند. مقایسه دو سینه چپ و راست با یکدیگر سابقه طولانی در تشخیص سلامتی سینه دارد. رادیولوژیست‌ها با مقایسه ماموگرام دو سینه چپ و راست سعی در ردیابی ناهنجاری‌های سینه دارند و از آنجا که احتمال وجود تومور به صورت همزمان و متقارن در دو سینه تقریباً صفر است، کشف نامتقارنی‌های دو سینه چپ و راست می‌تواند در کشف ناهنجاری‌های سینه کمک کند. عدم تقارن، یکی از روش‌های اولیه تشخیص در تصویربرداری‌های حرارتی است اما این روش به علت کیفیت پائین این تصاویر در نمونه‌های اولیه و در نتیجه دقت جداسازی پائین، نتوانسته جایگاه مناسبی پیدا کند (شکل ۱۵).

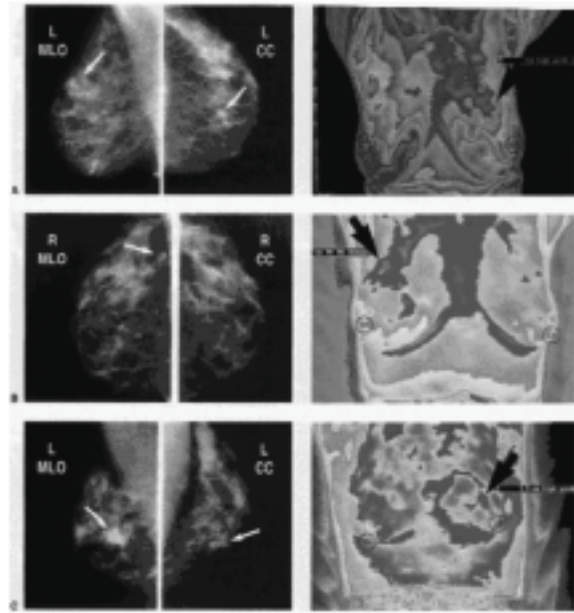


شکل ۱۵. جداسازی ناحیه سینه جهت پی‌یردن به عدم تقارن

## شریط استاندارد جهت ترموگرافی سینه

### شریط لازم برای محل (اتاق) تصویربرداری مادون قرمز

- ۱- اتاق باید به اندازه کافی بزرگ باشد (مثلاً حدود ۳ متر در ۴ متر) تا درجه حرارت یکنواختی داشته باشد.
- ۲- درجه حرارت اتاق باید بین ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد باشد (بهترین درجه حرارت ۲۱ درجه سانتی‌گراد یا ۷۰ درجه فارنهایت است).
- ۳- رطوبت اتاق باید کمتر از ۶۵ درصد باشد.
- ۴- تمام پنجره‌ها باید توسط پرده‌های مناسب پوشیده باشند تا از نفوذ اشعه مادون قرمز از منابع دیگر به داخل اتاق جلوگیری شود.
- ۵- وسیله روشنایی اتاق نباید لامپ‌های رشته‌ای باشد زیرا این لامپ‌ها خود اشعه مادون قرمز تولید می‌کنند. بهتر است برای روشنایی اتاق از لامپ فلورسنت استاندارد استفاده شود.
- ۶- باید درب اتاق دور از فردی که عکسبرداری می‌شود باشد زیرا باعث غیریکنواخت شدن حرارت محیط عکس برداری می‌شود.
- ۷- از آنجا که هنگام عکسبرداری لازم است بیمار کفش‌های خود را



شکل ۱۳. شناسایی نواحی مشکوک با استفاده از تصاویر حرارتی توسط پزشک به صورت ظاهری

دلایلی از جمله خستگی پزشک در دقت کامل به تمام تصاویر پزشکی و جزئیات آن‌ها و زمانی که برای آن‌ها صرف خواهد شد، باعث می‌شوند تا این روش برای شناسایی در سطح گسترده جمعیتی مفید نباشد.

## جداسازی هوشمند شده

شناسایی به صورت هوشمند و نرم‌افزاری بر اساس جداسازی تمام نواحی منحصر به فرد از تصویر صورت می‌گیرد. در این روش، اگر چه نواحی استخراج می‌شوند اما به دلیل اینکه تمام نواحی خارج شده‌اند نیاز به روئیت توسط پزشک دارند. در این روش، سیستم قادر به جداسازی ناحیه مشخص شده نیست؛ به عبارت بهتر سیستم فقط حالت تفکیک را انجام می‌دهد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. الگوریتم جداسازی نواحی مشکوک به سرطان جهت بررسی

درآورد، لازم است اتاق دارای کفپوش مناسب باشد تا از انتقال حرارت کف اتاق به شخص و برعکس جلوگیری شود.

منابع

### شرایط لازم برای بیماران

این شرایط عبارتند از:

- ۱- تصویربرداری باید در پنجمین تا دوازدهمین روز شروع قاعدگی یا بیست و یکمین روز بعد از شروع قاعدگی انجام شود زیرا در این زمان درجه حرارت بدن زنان پایدار است و وسکولاریزیشن در پایینترین سطح و با حداقل تراکم خون در عروق است.
- ۲- بیماران نباید از عطر، دئودرانت، پودر و کرم در اطراف محل تصویربرداری استفاده کنند. این مواد از هدایت حرارتی پوست جلوگیری می‌کنند.
- ۳- بیمار یا مراجعه‌کننده باید در حدود ۱۵ دقیقه در اتاق حضور داشته باشد تا پیش از تصویربرداری بدن به درجه حرارت اتاق عادت کند.
- ۴- از آنجاکه این تست یک تست فیزیولوژی است بیمار باید تا حد امکان از عوامل استرس‌زایی که سبب ناپایداری درجه حرارت بدن می‌شود دوری کند.

### تهیه پرسش‌نامه از بیماران

بیماران باید به این پرسش‌ها پاسخ دهند:

- سن، سابقه فامیلی سرطان سینه، نمونه‌برداری از سینه، هورمون درمانی، وجود ترشحات سر سینه، سن شروع قاعدگی، یائسگی در ۵۰ سال به بالا، اولین زایمان در ۳۰ سال به بالا، چندمین روز از شروع قاعدگی.
- این سؤالات دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. عوامل خطر برای سرطان سینه می‌توانند چنین مطرح شوند.
- سرطان سینه در زنان جوان شانس کمتری دارد و آمار نشان می‌دهد فقط حدود ۵ درصد سرطان سینه در زنان کمتر از ۴۰ سال است. زنانی که سابقه فامیلی سرطان سینه دارند شانس بیشتری برای سرطان سینه دارند. هورمون‌درمانی بیش از ۵ سال بعد از یائسگی می‌تواند یک عامل خطر برای سرطان سینه به‌شمار آید. همچنین ترشحات سینه معمولاً مربوط به حالت‌های خوش‌خیم هستند. سرطان سینه به‌ندرت با درد همراه است. معمولاً نشانه‌های اولیه سرطان سینه بدون درد است. دردهای سینه در زنان جوان و در زنانی که به سن یائسگی رسیده‌اند مربوط به تغییرات هورمونی در بدنشان است. زنانی که قاعدگی زودهنگام (قبل از دوازده سالگی) یا یائسگی دیرهنگام (بعد از ۵۰ سالگی) دارند شانس بیشتری برای سرطان سینه دارند. زنانی که بچه‌دار نمی‌شوند یا اولین زایمان آن‌ها بعد از ۳۰ سالگی است شانس سرطان سینه بیشتری دارند زیرا حاملگی تعداد دفعات قاعدگی را کاهش می‌دهد که ممکن است یکی از دلایل آن باشد. همچنین دوران قاعدگی بر روی درجه حرارت بدن اثر می‌گذارد.

### پایان‌نامه

[۱] مهناز اتحادتوکل، «ردیابی نامتقارنی‌های حرارتی دو سینه و آنالیز فرکتالی و غیرخطی در تصاویر مادون‌قرمز سینه جهت تشخیص تومورها»، رساله دکترای مهندسی برق دانشگاه صنعتی اصفهان. این رساله با راهنمایی استاد عالی‌مقام زنده یاد پروفسور کارو لوکس انجام گرفته است.

[۲] ایمان عباس‌پورکازرونی، «شخص زود هنگام بیماری سرطان پستان با استفاده از تصاویر گرمایی» پایان‌نامه جهت دریافت درجه دکتری رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک دانشگاه حکیم سبزواری

[۳] حسین قیومی‌زاده، «تشخیص سرطان پستان بر اساس ویژگی‌های حرارتی در تصاویر مادون قرمز»، پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک، دانشگاه تربیت معلم سبزواری [۴] یاسر فخاری، «تشخیص خودکار نقیصه‌ها در تصاویر ماموگرافی با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و تشخیص الگو و مقایسه آن با نتایج تجربی»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی پزشکی گرایش بیوالکترونیک دانشگاه اصفهان

[۵] فرزانه عیسیایی خوش، «مقایسه دوز و کیفیت تصویر در سی‌تی ماموگرافی با دوز بسیار کم، ماموگرافی معمولی و ماموگرافی دیجیتال با استفاده از فانتوم»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز.

[۶] فاطمیرا حسناوی، «بررسی صحت روش‌های تصویربرداری دمانگاری کامپیوتری (CRT) و ماموگرافی در تشخیص و پیگیری سرطان پستان» پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس

### مقاله

[۷] حسین قیومی‌زاده و همکاران، تشخیص سرطان پستان به کمک تصویربرداری حرارتی در حوزه پزشکی و هوش مصنوعی: مقاله مروری، مجله دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، شهریور ۱۳۹۵، دوره ۷۴، شماره ۶، صفحه‌های ۳۷۷ تا ۳۸۵

[۸] جواد حدادنیا و همکاران، شناسایی سرطان پستان براساس الگوی حرارتی در تصاویر مادون قرمز، فصلنامه بیماری‌های پستان ایران، سال چهارم، شماره اول و دوم، بهار و تابستان ۱۳۹۰ مقاله پژوهشی

[9] Ng EYK, Ung LN, Ng FC, Sim LSJ. Statistical analysis of health and malignant breast thermography. Journal of Medical Engineering and Technology 2001; 25(6): 253- 63.