دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست-پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال هجدهم، شماره ۱، صفحه ۲۰۹ - ۲۰۰ (فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۴)

ISMJ 2015; 18(1): 200-209

تصویربرداری مولکولی فوتوآکوستیک

فروغ جعفریان دهکردی [۱*]، علی محمود پاشازاده [۱]، مجید اسدی [۱]

[۱] مرکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای خلیج‌فارس، پژوهشکده زیست پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

(دریافت مقاله: ۹۲/۹/۱۹- پذیرش مقاله: ۹۲/۹/۳۰)

چکیده

زمینه: روش‌های تصویربرداری هیبریدی با بهره‌گیری همزمان از توانمندی‌های سیستم‌های ترکیب شده این امکان را فراهم می‌سازند تا کیفیت تصاویر حاصل، نسبت به تصاویری که هر کدام از سیستم‌ها به تنهایی می‌توانند ایجاد کنند بهبود یابد. یکی از روش‌هایی که به‌صورت هیبرید تکنیک تصویربرداری فراصوتی و تصویربرداری اپتیکی وارد عرصه تحقیقات پزشکی شده است تصویربرداری فوتوآکوستیک می‌باشد که از موج فراصوتی که بعد از دریافت پالس لیزر توسط بافت تولید می‌شود برای تهیه تصاویر پزشکی بهره می‌برد. در این مطالعه قصد داریم تا به بررسی یافته‌های اخیر در مورد این روش تصویربرداری و ارزیابی توانمندی‌های آن بپردازیم.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مروری، با استفاده از کلید واژه‌هایی از قبیل **ultrasound laser**، **photoacoustic**، **optoacoustic** و **thermoacoustic** در سایت‌های معتبر علمی نظیر **PubMed** و **ISI** به بررسی مطالعات انجام شده و یافته‌های حاصل در زمینه فوتوآکوستیک پرداخته شد.

یافته‌ها: روش تصویربرداری فوتوآکوستیک با تهیه تصاویر با کنتراست بالا و قدرت تفکیک مطلوب این امکان را فراهم می‌آورد تا به انجام مطالعات فیزیولوژیک و آناتومیک پرداخته شود. این روش به‌دلیل عدم استفاده از پرتوهای یون‌ساز محدودیت سیستم‌های مبتنی بر این نوع پرتوها را نداشته و می‌تواند به‌صورت غیرتهاجمی به تصویربرداری از سلول، عروق، تشخیص بافت طبیعی از بافت سرطانی و تصویربرداری از کل بدن حیوان بپردازد.

نتیجه‌گیری: روش تصویربرداری فوتوآکوستیک روشی نوپا در تحقیقات آزمایشگاهی در زمینه تصویربرداری پزشکی است که می‌تواند در انواع مطالعات فیزیولوژیک و آناتومیک مورد استفاده قرار بگیرد. این روش به‌دلیل استفاده از پرتوهای غیریون‌ساز می‌تواند محدودیت روش‌های مبتنی بر پرتوهای یون‌ساز در بررسی‌های تشخیصی را برطرف نماید.

واژگان کلیدی: تصویربرداری هیبریدی، تصویربرداری فراصوتی، تصویربرداری اپتیکی، روش فوتوآکوستیک

* بوشهر، پژوهشکده زیست پزشکی خلیج‌فارس، مرکز تحقیقات پزشکی‌هسته‌ای خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

E-mail : f.j.dehkordi@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

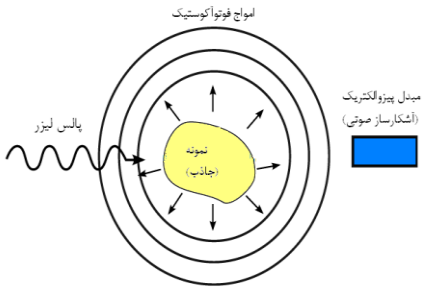
مقدمه

تصویربرداری پزشکی نقش مهمی در تشخیص بیماری و تحقیقات پزشکی ایفا می‌کند. تاکنون روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی از قبیل تصویربرداری پزشکی هسته‌ای، تصویربرداری به کمک اشعه ایکس، تصویربرداری به‌کمک امواج فراصوت و تصویربرداری اپتیکی برای تهیه تصاویر پزشکی معرفی و ایجاد شده است. هر کدام از روش‌های موجود، در کنار توانمندی‌های که در تهیه تصاویر دارند دارای محدودیت‌های خاصی نیز می‌باشند. به‌عنوان نمونه، تصویربرداری به کمک اشعه ایکس که اطلاعات خوب آناتومیکی از بدن بیمار فراهم می‌کند منجر به تجمع پرتوهای یونیزان در درون بافت در حین تصویربرداری و دوز دریافتی بیمار می‌شود. از طرفی روش تصویربرداری فراصوت، علیرغم آنکه از امواج غیریونیزان در تهیه تصاویر بهره می‌برد اما تصاویر اخذ شده، از کنتراست نسبتاً پایینی برخوردار می‌باشند. در روش‌های تصویربرداری اپتیکی نیز به‌دلیل تضعیف فوتون‌های نوری که عمدتاً ناشی از پراکندگی این فوتون‌ها در درون بافت می‌باشد، امکان تهیه تصاویر عمقی از ساختارهای بافت زنده وجود ندارد، به‌علاوه این تصاویر دارای قدرت تفکیک پایینی می‌باشند (۱).

یکی از استراتژی‌هایی که امروزه به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های موجود در سیستم‌های تصویربرداری تک مدالیته پیشنهاد می‌شود بهره‌مندی همزمان از مزایای دو یا چند روش تصویربرداری به‌صورت توأم و در قالب یک سیستم تصویربرداری هیبریدی می‌باشد. یکی از این روش‌های ترکیبی، تکنیک تصویربرداری فوتوآکوستیک[1] (PA) است که روش تصویربرداری هیبریدی حاصل ترکیب روش‌های تصویربرداری اپتیکی و فراصوتی می‌باشد. روش فوتوآکوستیکی یا اپتوآکوستیک[2] (OA) که ترموآکوستیک[3](TA) نیز گفته می‌شود، امروزه یکی از زمینه‌های مطالعاتی غیر تهاجمی در ارزیابی بافت زنده می‌باشد (۲). مبنای این روش، اثر فوتوآکوستیک است که برای اولین بار توسط الکساندر گراهام بل در سال ۱۸۸۰ معرفی شد. وی دریافت که جذب امواج الکترومغناطیس توسط محیط، می‌تواند منجر به تولید امواج صوتی شود (۳).

با اینکه تولید امواج فراصوت توسط لیزر، سالیان زیادی در تست‌های غیرمخرب مواد مورد استفاده قرار می‌گرفت اما اولین نشانه‌های اینکه بافت‌های بیولوژیک نیز می‌توانند یک منبع تولید کننده‌ی فراصوت باشند در سال ۱۹۹۰ مشاهده گردید (۴).

تشکیل امواج فوتوآکوستیک به این‌صورت می‌باشد که وقتی یک پالس نوری لیزری به نمونه‌ای از ماده برخورد می‌کند، مقداری از این انرژی توسط لایه‌ای از ماده که در نزدیک سطح قرار دارد جذب می‌شود که این انرژی جذب شده به گرما تبدیل شده و با افزایش دما منجر به انبساط ترموالاستیک[4] نمونه می‌شود. در نهایت این افزایش فشار ناگهانی به‌صورت امواج صوتی منتشر می‌شوند (شکل ۱). شکل موج فراصوت تولید شده در روش فوتوآکوستیک حاوی اطلاعات مفیدی از ویژگی‌های نوری نمونه جاذب می‌باشد (۵).



شکل ۱) نمای شماتیک اثر فوتوآکوستیک

[1] Photoacoustic

[2] Optoacoustic
[3] Thermoacoustic
[4] Thermo-elastic expansion

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

معادله حاکم بر فشار آکوستیک ایجاد شده در نتیجه دریافت انرژی لیزر پالسی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - v_s \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{v_s^2 \beta}{C_p} \frac{\partial H}{\partial t} \quad (۱)$$

که در آن، p فشار آکوستیکی، vs سرعت صوت، Cp گرمای ویژه، β ضریب انبساط حجمی نمونه جاذب، z و t به ترتیب طول و زمان و H تابع گرمایش موضعی می‌باشد که به‌صورت انرژی جذب شده در واحد زمان و واحد حجم بیان می‌شود (۵).

به‌عنوان یک تکنیک هیبریدی، تصویربرداری فوتوآکوستیکی به‌طور همزمان از مزیت‌های تصویربرداری اپتیکی و فراصوت بهره می‌برد.

در روش‌های تصویربرداری اپتیکی[5] از بافت نرم، تصاویر اپتیکی علیرغم آنکه دارای کنتراست بالای ناشی از برهمکنش جذبی موج الکترومغناطیس با ماده می‌باشد، ولی به‌علت استفاده از طول موج‌های کوتاه (۶۵۰-۱۳۵۰ نانومتر)، افزایش عمق ناحیه مورد بررسی باعث کاهش قابل توجه قدرت تفکیک‌پذیری فضایی[6] می‌گردد (۵). از طرفی در روش تصویربرداری فراصوت که کنتراست تصاویر به‌دلیل تغییرات کم سرعت عموماً پایین می‌باشد (برای بافت‌های بیولوژیکی، پراکندگی امواج فراصوت ۳-۲ برابر کمتر از پراکندگی اپتیکی می‌باشد) در طول موج‌های کوتاه فراصوتی، تصاویر حاصل دارای قدرت تفکیک‌پذیری بسیار بالایی در حد ۱۰۰ میکرومتر بوده و می‌توانند جزئیات بیشتری را از ناحیه مورد بررسی ارائه نمایند.

در واقع روش تصویربرداری فوتوآکوستیک قصد دارد با بهره‌گیری همزمان از مزایای تصویربرداری اپتیکی و فراصوت، تصاویری با کنتراست بهتر (در مقایسه با تصویربرداری فراصوتی) و تفکیک‌پذیری و عمق نفوذ مناسب‌تر (در مقایسه با تصویربرداری اپتیکی) ارائه دهد.

برای مثال با استفاده از روش فوتوآکوستیک با طول موج اپتیکی ۵۸۰ نانومتر می‌توان تصاویری از عمق یک سانتی‌متری بافت با قدرت تفکیک ۱۰۰ میکرومتر تهیه نمود و یا با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر می‌توان از عروق خونی در عمق ۷/۵ سانتی‌متر تصویری با قدرت تفکیک ۰/۴ میلی‌متر گرفت (۱). به‌دلیل آنکه در تصویربرداری از بافت به‌روش فوتوآکوستیک، از طیف امواج الکترومغناطیسی در محدوده اپتیکی (نور مرئی تا فروسرخ نزدیک NIR) و محدوده امواج رادیویی (RF) استفاده می‌شود این روش غیریونیزان بوده و محدودیت مربوط به پرتوهای یونیزان که منجر به دوز جذبی در بافت می‌شود را ندارد.

برای تولید امواج فراصوتی با فرکانس بالا در نمونه و به‌دست آوردن تصاویر با تفکیک‌پذیری بالا، پالس لیزر باید کوتاه‌تر از زمان استراحت گرمایی[7] (τ_{th}) و زمان استراحت تنشی[8] (τ_s) باشد (۵).

$\tau_{th}=d^2c/\alpha_{th}$ $\tau_s=dc/v_s$

در این رابطه dc بیانگر بُعد مشخصه ساختار بافت مورد نظر، α_{th} ضریب پخش گرمایی و VS سرعت صوت درون بافت می‌باشد.

یک سیستم لیزر می‌تواند پالس‌هایی در حد ۱۰ نانوثانیه تولید کند که این مقدار برای ایجاد سیگنال‌های فوتوآکوستیک در فرکانس‌های بالا (در حدود ۱۰۰MHz) کافی می‌باشد.

قدرت تفکیک توموگرافی به‌روش فوتوآکوستیکی معمولاً توسط مشخصات مبدل دریافت کننده موج فراصوت تولید شده، تعیین می‌گردد. بهترین قدرت

[5] Optical imaging
[6] Spatial resolution
[7] Thermal relaxation time
[8] Stress relaxation time

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

تفکیک زمانی فراهم می‌شود که از مبدل با فرکانس مرکزی و پهنای باند بالاتر استفاده شود. در هر صورت به‌علت تضعیف بالای فراصوت (در حدود ۱ dB/cm/MHz) در فرکانس‌های بالا، برای تصویربرداری توموگرافیکی به‌روش فوتوآکوستیک از بافت‌های عمیق، مبدل‌های فراصوت با فرکانس مرکزی ۱ الی ۲۰ مگاهرتز به‌کار گرفته می‌شود (۶). معمولاً برای آشکارسازی امواج فوتوآکوستیک از آشکارسازهای پیزوالکتریک استفاده می‌شود که دارای حساسیت بالا، انعطاف‌پذیری در تولید اشکال دلخواه و قابلیت کاربرد در آشکارسازی موازی است. اخیراً تلاش‌ها برای تولید و استفاده از آشکارسازهای فراصوتی-نوری می‌باشد که به‌دلیل پاسخ یکنواخت دامنه در یک محدوده‌ی فرکانسی گسترده و شفافیت نوری می‌تواند کاربرد مناسب‌تری در این زمینه داشته باشد. به‌عنوان نمونه در مواردی که نیاز به تصویربرداری از مناطق نقطه‌ای (منطقه آزمایش بسیار کوچک) می‌باشد عملکرد سنسورهای نوری به مراتب بهتر از سنسورهای پیزوالکتریک خواهد بود (۷).

بر اساس مکانیسم‌های تصویربرداری، سیستم فوتوآکوستیک را می‌توان به چهار دسته‌ی کلی تقسیم کرد:

فوتوآکوستیک میکروسکوپی (PAM)[9]

این نوع سیستم‌ها بر اساس نحوه کانونی شدن به دو صورت می باشند:

- فوتوآکوستیک میکروسکوپی با قدرت تفکیک آکوستیکی[10] (AR-PAM) که در آن کانون نور معمولاً گسترده‌تر از کانون صوتی می‌باشد و بنابراین کانون آکوستیکی تفکیک را فراهم می‌سازد (۸).

- فوتوآکوستیک میکروسکوپی با قدرت تفکیک اپتیکی (OR-PAM)[11] که در این مدل کانون اپتیکی بسیار باریک‌تر از کانون صوتی می‌باشد و بنابراین قدرت تفکیک سیستم ناشی از کانون اپتیکی می‌باشد (۹).

توموگرافی کامپیوتری فوتوآکوستیک[12] (PACT)

توموگرافی کامپیوتری فوتوآکوستیک از تابش تمام زمینه جهت ایجاد تصاویر توموگرافیکی استفاده می‌کند و با استفاده از یک سیستم آرایه‌ای فراصوت، قدرت نفوذ و سرعت تصویربرداری را بهبود می‌بخشد (۱۰).

اندوسکوپی فوتوآکوستیکی[13] (PAE)

با وجود عمق نفوذ چند سانتی‌متری سیستم فوتوآکوستیکی، ارگان‌های داخلی مانند دستگاه گوارش هنوز به این روش قابل بررسی نیستند. اندوسکوپی فوتوآکوستیکی، در کنار اندوسکوپی نوری و صوتی، می‌تواند راه حلی برای این نیاز باشد (۱۱).

سیستم فوتوآکوستیکی مرکب با سایر سیستم‌ها به علت کنتراست جذب بالای اپتیکی، تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیک می‌تواند در ترکیب با سایر دستگاه‌های تصویربرداری (دستگاه فراصوت، میکروسکوپ کانفوکال، میکروسکوپ دو فوتونی و MRI)[14] قابلیت آن‌ها را افزایش دهد (۱۲).

در این مطالعه سعی شده است تا با مروری بر برخی مطالعات انجام شده، به بررسی روش فوتوآکوستیک و برخی از زمینه‌های مهم کاربردی آن به‌عنوان روش تصویربرداری هیبریدی در مطالعات پزشکی و زیستی پرداخته شود.

[9] Photoacoustic microscopy
[10] Acoustic resolution-photoacoustic microscopy
[11] Optical resolution-photoacoustic microscopy
[12] Photoacoustic computed tomography
[13] Photoacoustic endoscopy
[14] Magnetic Resonance Imaging

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

مواد و روش‌ها

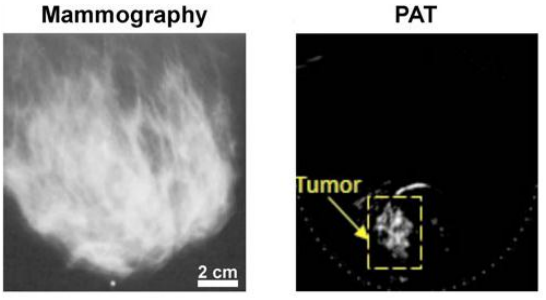
به‌منظور انجام مطالعه در مورد روش تصویربرداری فوتوآکوستیک و بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه، با استفاده از کلمات کلیدی از قبیل photoacoustic/optoacoustic imaging in medicine/biology در پایگاه داده‌های علمی از قبیلISI، pubmed و scopous و نیز سایت googlescholar به جستجو و مرور یافته‌های موجود در زمینه روش تصویربرداری فوتوآکوستیک پرداخته شد.

یافته‌ها

تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیک به‌عنوان روشی نوپا در عرصه مطالعات پزشکی شناخته می‌شود که مورد توجه محققان در جهت رشد و گسترش کاربردهای آن قرار دارد. مطالعات نشان می‌دهد که این روش تصویربرداری می‌تواند اطلاعات آناتومیکی، بیولوژیکی و فیزیولوژیک در سطوح مختلف از تحقیقات بیولوژیکی و کلینیکی را ارائه نموده و در برخی از مواردی که سایر تکنیک‌های تصویربرداری با محدودیت کاربرد مواجه هستند به خوبی عمل نماید. این تکنیک تقریباً نوپا تا رسیدن به جایگاه اصلی خود به‌عنوان ابزار تشخیصی پزشکی با چالش‌های اساسی روبرو است و مطالعات برای رفع آن‌ها همچنان ادامه دارد. تا به امروز پژوهش‌های متنوعی در مورد کاربرد این روش در پزشکی صورت گرفته است که از آن جمله می توان به تشخیص سرطان سینه، تصویربرداری از هسته سلول، چربی، ملانین، عروق کوچک حیوانات آزمایشگاهی اشاره کرد.

-استفاده از تصویربرداری فوتوآکوستیک در تشخیص سرطان سینه در انسان

سرطان سینه علت اصلی مرگ ومیر ناشی از سرطان در میان زنان می‌باشد که قادر است با معاینات دوره‌ای در مراحل اولیه تشخیص داده شود (۱۳). روش رایجی که در حال حاضر به منظور تشخیص این نوع سرطان به کار می‌رود ماموگرافی می‌باشد که مبتنی بر کاربرد اشعه یونیزان طی معاینات است، که از حساسیت نسبتاً کمی در مراحل اولیه تشخیص تومور برخوردار است (۱۴). مطالعات نشان می‌دهد که روش فوتوآکوستیک در مقایسه با سایر روش‌های رایج در تصویربرداری سینه از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر بوده و کنتراست بهتری نسبت به تصاویر ماموگرافی در تشخیص تومور دارد (۱۵ و ۱۶). این روش تصویربرداری قادر است تا ۱۸ تومور از ۲۰ نوع تومور بدخیم شناسایی شده به‌وسیله بیوپسی را تشخیص دهد در حالی که این آمار برای ماموگرافی ۱۴ مورد گزارش شده است (۱۲).



شکل ۲) مقایسه تصویر گرفته شده از سینه انسان به دو روش توموگرافی فوتوآکوستیک و ماموگرافی (۱۵).

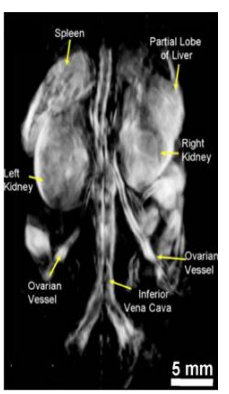
-استفاده از تصویربرداری فوتوآکوستیک در مطالعات تحقیقاتی بر روی حیوانات آزمایشگاهی

حیوانات آزمایشگاهی به‌ویژه موش‌ها، به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات بالینی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۷). تصویربرداری از درون بدن این

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

حیوانات می‌تواند نقش مهمی در پیشبرد مطالعات پزشکی ایفا کند.

اولین تصویر فوتوآکوستیکی که از کل بدن موش تهیه شد تصویربرداری توموگرافیک سه بعدی بود که در آن تصاویر سه بعدی طحال، کبد، کلیه و عروق کوچک و بزرگ به وضوح قابل مشاهده بودند (شکل ۳) (۱۸).



شکل ۳) توموگرافی فوتوآکوستیک از کل بدن موش (۱۸)

این روش تصویربرداری به دلیل بهره‌مندی از کنتراست فراصوتی و قدرت تفکیک اپتیکی، قادر است تا رگ‌های خونی ریز موجود در مغز موش و سایر ساختارهای مربوطه از قبیل مخچه و هیپوکامپوس را به تصویر بکشد (۱۹).

تصویربرداری فوتوآکوستیکی **از** عروق کوچک موش، می‌تواند در شناسایی نشانه‌های پاتوبیوفیزیولوژیکی مهمی به کار رود (۲۰). به‌عنوان نمونه، بسیاری از بیماری‌های چشمی با تغییراتی در عروق کوچک چشم همراه است. مطالعات نشان داده است که استفاده از روش فوتوآکوستیک برای تصویربرداری از عروق کوچک چشمی و شبکیه (photoacoustic ophthalmoscopy) در حیوانات کوچک روش بی‌خطری است که می تواند تصاویر با کیفیت بالا فراهم نماید (شکل ۴-الف) (۲۱ و ۲۲). همچنین تصاویر غیرتهاجمی اخذ شده در تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیک از فعالیت مغزی موش به‌دلیل قدرت تفکیک بالای این روش، می‌تواند اطلاعات خوبی در زمینه مطالعات مربوط به بیماری‌های عصبی فراهم نماید (شکل ۴-ب) (۲۳).

تصویربرداری فوتوآکوستیکی در مطالعات مربوط به بیماری‌های قلبی عروقی در موش نیز به کار می‌رود. در بیماری‌های قلبی عامل مشترک موجود در پلاکت‌های آترواسکلروتیک، چربی است که ارتباط تنگاتنگی با پیشرفت بیماری دارد. با توجه به اینکه چربی در مقایسه با بافت‌های آبگون اطراف طیف جذبی متمایزی در بازه ۱۲۵۰-۱۱۵۰ نانومتر دارد بنابراین تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیک می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی برای تصویربرداری از چربی به‌کار رود (۲۴). نتایج مطالعات انجام شده در تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیک از چربی نشان می‌دهد که این روش ابزار امیدوارکننده‌ای برای تشخیص چربی است (۲۸-۲۵).

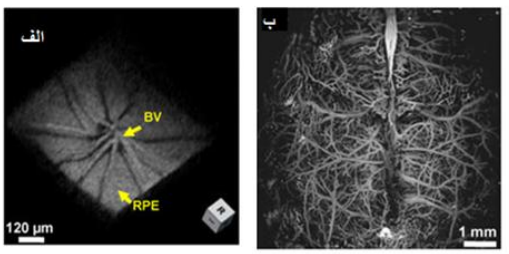
روش فوتوآکوستیکی به دلیل قدرت تفکیک بالا امکان تصویربرداری از هسته سلول‌ها را نیز فراهم می کند. از آنجا که هسته سلول‌های سرطانی شکل و اندازه متفاوتی در مقایسه با سلول‌های طبیعی دارا هستند بنابراین تصویربرداری از هسته سلول می‌تواند در مطالعات مربوط به سرطان در حیوانات آزمایشگاهی به کار رود. از آنجایی که در روش‌های مرسوم تصویربرداری از هسته سلول نیاز به برش و رنگ‌آمیزی بافت می‌باشد که در مطالعات in-vivo قابل استفاده نمی‌باشد، از طرفی دیگر با توجه به اینکه اسیدنوکلئیک (عمده اجزای DNA و RNA) جاذب قوی در محدوده طیف فرا بنفش می‌باشد، بنابراین روش فوتوآکوستیک می‌تواند انتخاب مناسبی برای تصویربرداری از سلول باشد (۲۹). این روش

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

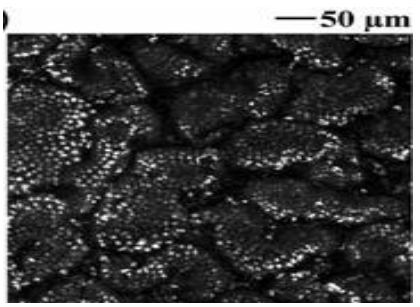
تصویربرداری فوتوآکوستیکی UV-PAM [15] نامیده می‌شود که می‌تواند از هسته سلول‌های مختلف تصویر تهیه نماید. (شکل ۵) (۲۹ و ۳۰).

روش فوتوآکوستیک همچنین امکان تصویربرداری از تومورهای القا شده در حیوانات آزمایشگاهی را با کیفیت مطلوبی فراهم آورده است. استفاده از این روش تصویربرداری در شناسایی استئوکارسینومای القا شده به موش برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ گزارش شد. نتایج این بررسی نشان داد که این روش تشخیصی در مقایسه با روش‌های اسکن استخوان و X-ray از حساسیت بالاتری برخودار بوده و قادر است در مراحل اولیه استئوکارسینوما را شناسایی کند (۳۱).

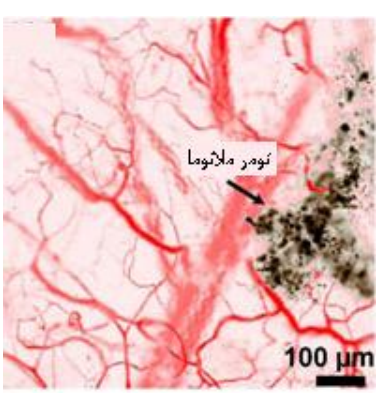
روش تصویربرداری فوتوآکوستیک می‌تواند به‌عنوان یک تکنیک غیرتهاجمی در تشخیص ملانومای زیرپوستی و رگزایی پیرامون آن مورد استفاده قرار گیرد. با وجود اینکه ملانوما بیشترین آمار مرگ ومیر را در بین سرطان‌های پوست دارد، در صورتی‌که در مراحل اولیه تشخیص داده شود قابل درمان خواهد بود. مطالعات انجام شده برای تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیک از ملانوما با استفاده از ملانین (به‌عنوان جاذب نور) نشان می‌دهد که در طول موج ۷۰۰ نانومتر جذب ملانین تقریباً ۱۰۰۰ برابر آب است که این عامل، روش فوتوآکوستیک را قادر به تشخیص ملانوما در بافت‌های عمیق و در مراحل اولیه آن می‌سازد (شکل ۶) (۳۲). این روش تصویربرداری به‌دلیل برخورداری از قدرت تفکیک و کنتراست بالا می‌تواند هم در تشخیص و هم در پیگیری درمان ملانوما در محیط in-vivo مورد استفاده قرار گیرد (۳۳).



شکل ۴) تصاویر فوتوآکوستیکی از عروق کوچک: (الف) تصویر ساختار شبکیه موش صحرایی (BV، رگ خونی و RPE (retinal pigment epithelium)، اپیتلیوم رنگی شبکیه می‌باشد). (ب) تصویر عروق مغزی موش با جمجمه سالم (۲۳).



شکل ۵) تصویر UV-Pam از هسته سلول‌های پرزهای روده‌ای موش



شکل۶) تصویر PAT از ملانوما (۳۲)

بحث

تصویربرداری به‌روش فوتوآکوستیکی نقش مهمی در مطالعات تشخیصی از سطوح ریز ارگانلی تا سطوح بزرگ شامل کل بدن بازی می‌کند. روش فوتوآکوستیک این امکان را فراهم می‌کند تا پارامترهای مهم فیزیولوژیک و تعیین کننده در یک پاتولوژی خاص، به راحتی بررسی گردد. به‌عنوان مثال، بررسی غلظت اکسی هموگلوبین و جریان خون

[15] Ultraviolet-photoacoustic microscopy

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

در یک ناحیه با استفاده از روش فوتوآکوستیک می‌تواند اطلاعات مفیدی در ارتباط با سوخت و ساز آن ناحیه که می‌تواند بیانگر سرطان در آن ناحیه باشد را در اختیار قرار دهد. استفاده از لیزر با آهنگ پالس بالا به همراه اسکن سریع امکان تصویربرداری real time فوتوآکوستیک را فراهم می‌آورد تا بتوان به بررسی و مطالعه آناتومیکی و فیزیولوژیکی همزمان با فرایند اسکن پرداخت.

در واقع این روش با بهره‌گیری از دو تکنیک تصویربرداری فراصوتی و اپتیکی، تصاویر با کنتراست و قدرت تفکیک مطلوبی تولید می‌کند که می‌تواند این روش را به‌عنوان مکملی برای سایر سیستم‌های تصویربرداری پزشکی قرار داده و جایگاه مهمی را در تحقیقات بالینی برای آن باز نماید.

References:

1.Su Y, Zhang F, Xu K, et al. A photoacoustic tomography system for imaging of biological tissues. J Phys D Appl Phys 2005; 38: 2640-6.
2.Scruby CB, Drain LE. Laser Ultrasonics: techniques and applications. New York: Taylor & Francis: 1990.
3.Bell AG. On the production and reproduction of sound by light. Am J Sci 1880; 20: 305-24.
4.Roome KA, Payne PA, Dewhurst RJ. Towards a sideways looking intravascular laser-ultrasound probe. Sens Actuators A: Phys 1999; 76: 197-202.
5.Montigny ED. Photoacoustic Tomography :Principles and applications. 2011.
6.Xia J, Wang L. Photoacoustic Tomography of the Brain. Bioanalysis 2013; 3: 137-56.
7.Nuster R, Zangerl G, Haltmeier M, et al. Full field detection in photoacoustic tomography. Opt Express 2010; 18: 6288-99.
8.Zhang HF, Maslov K, Stoica G, et al. Functional photoacoustic microscopy for highresolution and noninvasive in vivo imaging. Nat Biotechnol 2006; 24: 848–51.
9.Maslov K, Zhang HF, Hu S, et al. Optical-resolution photoacoustic microscopy for in vivo imaging of single capillaries. Opt Lett 2008; 33: 929–31.
10.Gamelin J, Maurudis A, Aguirre A, et al. A real-time photoacoustic tomography system for small animals. Opt Express 2009; 17: 10489–98.
11.Wang LV. Prospects of photoacoustic tomography. Med Phys 2008; 35: 5758–67.
12.Yao J, Wang LV. Photoacoustic tomography: fundamentals, advances and prospects. Contrast Media Mol Imaging 2011; 6: 332–45.
13.American Cancer Society. Hawaii Pacific Division, Cancer Research Center of Hawaii, Hawaii Dept of Health, edithors. Hawaii cancer facts and figures 2010: a sourcebook for planning and implementing programs for cancer prevention and control. Honolulu: The Division: 2010.
14.Berg WA, Gutierrez L, NessAiver MS, et al. Diagnostic accuracy of mammography, clinical examination, US, and MR imaging in preoperative assessment of breast cancer. Radiology 2004; 233: 830–49.
15.Ermilov SA, Khamapirad T, Conjusteau A, et al. Laser optoacoustic imaging system for detection of breast cancer. J Biomed Opt 2009; 14: 024007.
16.Yang WT, Le-Petross HT, Macapinlac H, et al. Inflammatory breast cancer: PET/CT, MRI, mammography, and sonography findings. Breast Cancer Res Treat 2008; 109: 417-26.
17.Lewis JS, Achilefu S, Garbow JR, et al. Small animal imaging: current technology and perspectives for oncological imaging. Eur J Cancer 2002; 38: 2173-88.
18.Brecht HP, Su R, Fronheiser M, et al. Whole-body three-dimensional optoacoustic tomography system for small animals. J Biomed Opt 2009; 14: 064007.
19.Wang X, Pang Y, Ku G, et al. Three-dimensional laser-induced photoacoustic tomography of mouse brain with the skin and skull intact. Opt Lett 2003; 28: 1739-41.
20.Li JK. Dynamics of the vascular system. River Edge, NJ, USA: World Scientific. 2004; 272 pp.
21.Jiao S, Jiang M, Hu J, et al. Photoacoustic ophthalmoscopy for in vivo retinal imaging. Opt Express 2010; 18: 3967-72.
22.Silverman RH, Kong F, Lloyd H, et al. Fine-resolution photoacoustic imaging of the eye.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

Proc SPIE 7564 Photons Plus Ultrasound: Imaging and Sensing 2010; 75640–8.
23.Hu S, Wang LV. Neurovascular photoacoustic tomography. Fron Neuroenergetics 2010; 2:1-7.
24.Wang B, Su J, Amirian J, et al. Detection of lipid in atherosclerotic vessels using ultrasound-guided spectroscopic intravascular photoacoustic imaging. Opt Express 2010; 18: 4889-97.
25.Allen TJ, Hall A, Dhillon A, et al. Photoacoustic imaging of lipid rich plaques in human aorta. Proc of SPIE 2010; 7564: 75640C
26.Allen TJ, Hall A, Dhillon AP, et al. Spectroscopic photoacoustic imaging of lipid-rich plaques in the human aorta in the 740 to 1400 nm wavelength range. J Biomed Opt 2012; 17(6): 061209.
27.Wang B, Karpiouk A, Yeager D, et al. Intravascular photoacoustic imaging of lipid in atherosclerotic plaques in the presence of luminal blood. Opt Lett 2012; 37(7): 1244-6.
28.Wang P, Wang P, Wang HW, et al. Mapping lipid and collagen by multispectral photoacoustic imaging of chemical bond vibration. J Biomed Opt 2012; 17(9): 96010-1.
29.Yao DK, Maslov K, Shung KK, et al. In vivo label-free photoacoustic microscopy of cell nuclei by excitation of DNA and RNA. Opt Lett 2010; 35: 4139-41.
30.Strohm EM, Berndl ESL, Kolios MC. High frequency label-free photoacoustic microscopy of single cells. Photoacoustics 2013; 1: 49-53.
31.Hu J, Yu M, Ye F, et al. In vivo photoacoustic imaging of osteosarcoma in a rat model. J Biomed Opt 2011; 16: 020503.
32.Zhang C, Maslov K, Wang L. Subwavelength-resolution label-free photoacoustic microscopy of optical absorption in vivo. Opt Lett 2010; 35: 3195-7.
33.Oh JT, Li ML, Zhang HF, et al. Three-dimensional imaging of skin melanoma in vivo by dual-wavelength photoacoustic microscopy. J Biomed Opt 2006; 11: 34032.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]

ISMJ 2015; 18(1): 200-209

Review Article

Molecular photoacoustic imaging

F. Jafarian Dehkordi [1*], A. Mahmoud Pashazadeh [1], M. Assadi [1]

[1] The Persian Gulf Nuclear Medicine Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

(Received 10 Dec, 2013 Accepted 21 Dec, 2013)

Abstract

Background: Hybrid imaging modalities which simultaneously benefit from capabilities of combined modalities provides an opportunity to modify quality of the images which can be obtained by each of the combined imaging systems. One of the imaging modalities, emerged in medical research area as a hybrid of ultrasound imaging and optical imaging, is photoacoustic imaging which apply ultrasound wave generated by tissue, after receiving laser pulse, to produce medical images.

Materials and Methods: In this review, using keywords such as photoacoustic, optoacoustic, laser-ultrasound, thermoacoustic at databases such as PubMed and ISI, studies performed in the field of photoacoustic and related findings were evaluated.

Results: Photoacoustic imaging, acquiring images with high contrast and desired resolution, provides an opportunity to perform physiologic and anatomic studies. Because this technique does not use ionizing radiation, it is not restricted by the limitation of the ionizing-based imaging systems therefore it can be used noninvasively to make images from cell, vessels, whole body imaging of the animal and distinguish tumor from normal tissue.

Conclusion: Photoacoustic imaging is a new method in preclinical researches which can be used in various physiologic and anatomic studies. This method, because of application of non-ionizing radiation, may resolve limitation of radiation based method in diagnostic assessments.

Key words: hybrid imaging, ultrasound imaging, optical imaging, photoacoustic

***Address for correspondence*: The Persian Gulf Nuclear Medicine Research Center, The Persian Gulf Biomedical Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran. E-mail: f.j.dehkordi@gmail.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-11]