فراصوت
کاربردها و اثرهای آن بر بدن

فهیمه دهقان
کارشناس ارشد مهندس شیمی

کلیدواژه‌ها: صوت، فراصوت، امواج فراصوت کانونی با شدت بالا، کاویتاسیون.

تاریخچه

در سال ۱۸۷۶ میلادی، فرانسیس گالتون[۱] برای اولین بار به وجود امواج فراصوت پی برد. در زمان جنگ جهانی اول انگلستان برای جلوگیری از غرق شدن کشتی‌هایش توسط زیردریایی‌های آلمانی، دستگاهی به نام سونار[۲] ابداع کرد که زیردریایی‌ها را به کمک امواج صوتی کشف می‌کرد. این دستگاه برای پیدا کردن مسیر کشتی‌ها امواج فراصوت تولید می‌کرد. این فنّ در جنگ جهانی دوم تکمیل شد و بعدها به طور گسترده در صنعت این کشور برای آشکارسازی شکاف‌ها در فلزات و سایر موارد مورد استفاده قرار گرفت [۱]. پس از آن کاربرد فراصوت با افزایش فرکانس در علم پزشکی، مورد توجه قرار گرفت و سال‌هاست که برای تشخیص پزشکی از فراصوت استفاده می‌شود. امروزه از فناوری فراصوت برای تولید امواج فراصوتی که به داخل بدن نفوذ می‌کنند، گرفتن صدای منعکس شده و ایجاد تصویر ساختارهای داخلی بدن استفاده می‌شود [۲].

موج‌های صوتی

صحبت کردن یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای برقراری ارتباط با دیگران است. صدای ما توسط موج‌های صوتی به دیگران انتقال می‌یابد. هر صوت مقداری انرژی دارد و به صورت موج از چشمهٔ صوت انتشار می‌یابد. موج صوتی توسط یک جسم مرتعش تولید می‌شود. بنابراین به هر جسمی که صوت تولید کند، چشمهٔ صوت می‌گوییم، برای نمونه، حنجرهٔ انسان یک چشمهٔ صوت است و هرکس با عبور دادن هوا از حنجرهٔ خود، تارهای صوتی را به ارتعاش درمی‌آورد و ذرات هوای مجاور خود را نیز وادار به نوسان می‌کند. این نوسان از یک ذره به ذرهٔ دیگر منتقل می‌شود و ارتعاش تارهای صوتی، صوت را به وجود می‌آورد تا سرانجام صدا از چشمهٔ صوت به گوش ما برسد. موج صوتی برای انتشار در یک محیط مانند هوا یا آب باید توسط ذره‌های آن محیط، منتشر شود. این‌گونه موج‌ها را امواج مکانیکی می‌نامند [۳].

فراصوت

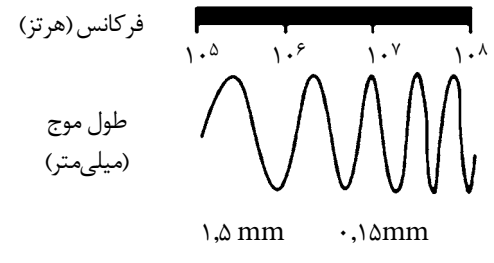
موج‌های صوتی برحسب فرکانس سه نوع هستند:

* به موج‌های صوتی که فرکانس آن‌ها در حدود ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ در ثانیه باشد «صوت» می‌گویند
* به صوت‌هایی که فرکانس آن‌ها کمتر از ۲۰ هرتز باشد، «فروصوت» می‌گویند
* به صوت‌هایی که فرکانس آن‌ها از ۲۰۰۰۰ هرتز بیش‌تر باشد، «فراصوت» گفته می‌شود.

فراصوت نیز مشابه صوت، تراکم مکانیکی امواج است که از میان بعضی واسطه‌ها عبور می‌کند. اگرچه فرکانس فراصوت فراتر از گسترهٔ شنوایی انسان (۲۰۰۰۰ هرتز) است اما می‌توان آن را با بعضی از خواص فیزیکی توصیف کرد. برای تشریح صوت از ویژگی‌هایی مانند فرکانس، طول موج و میدان نوسان یا شدت استفاده کنند [۲].

متغیرهای مهم صوت

۱. سرعت انتشار صوت: سرعت انتشار صوت در مواد غیرمشابه متفاوت است و با افزایش سختی متوسط افزایش می‌یابد. برای نمونه، سرعت حرکات صوت از میان هوا تقریباً ۳۴۰ متر بر ثانیه و از میان بافت بدن انسان تقریباً ۱/۵۴۰ متر بر ثانیه است. سرعت صوت وابسته به فرکانس و طول موج صوت است. نماد سرعت انتشار صوت V و یکای اندازه‌گیری آن متر بر ثانیه یا میلی‌متر بر ثانیه است[۲].



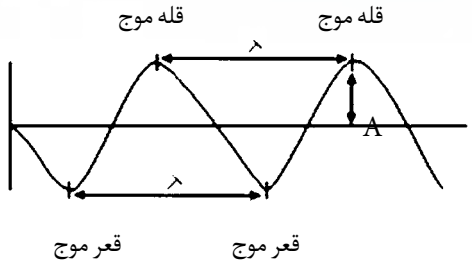
شکل ۱. متغیرهای کلیدی فراصوت دامنه و فرکانس هستند که در سیکل‌ها در هر ثانیه یا هرتز اندازه‌گیری می‌شوند [۲].

۲. فرکانس صوت: تعداد نوسان‌هایی که جسم نوسان‌کننده در مدت یک ثانیه انجام می‌دهد که نماد فرکانس f و یکای اندازه‌گیری آن هرتز Hz است.

۳. طول موج صوت: هر موج صوت دارای برجستگی‌ها و فرورفتگی‌هایی است که فاصلهٔ هر دو برجستگی (قلهٔ موج) پیاپی، یا

فاصله‌ی هر دو فرورفتگی (قعر موج) پیاپی را طول موج می‌نامند که طول موج را با λ نشان می‌دهند و یکای اندازه‌گیری آن متر (m) است.

۴.دامنهٔ موج صوت: حداکثر فاصله‌ای است که مولکول‌ها نسبت به وضع تعادل خود قرار می‌گیرند و معمولاً آن را با حروف A یا a نشان می‌دهند [۳].



شکل ۲. برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های یک موج فرضی [۱].

امواج فراصوت کانونی با شدت بالا (HIFU)

اگر شدت امواج فراصوت بیشتر از ۵ وات بر سانتی‌متر مربع باشد، آنها را «امواج فراصوت با شدت بالا» می‌گویند که اساس کار آن مانند فراصوت معمولی است. در بررسی‌های انجام گرفته امواج فراصوت دارای انرژی پایینی هستند و متمرکز کردن آنها روی هیچ ناحیه‌ای از بدن به‌طور کامل امکان‌پذیر نیست. در مقابل، امواج فراصوت با شدت بالا، انرژی و همگرایی نسبتاً بالاتری دارند و در موقعیت‌های خاص با داشتن انرژی کافی و در حجم خیلی کوچک می‌توانند بدون آسیب رساندن به بافت از میان آن عبور کنند و به‌طور کامل متمرکز شوند. در نتیجه، در نقطهٔ متمرکزشده، دما به سرعت افزایش پیدا می‌کند. این کار در موقعیتی انجام می‌گیرد که در بافت‌های اطراف کم‌ترین صدمه را وارد کند. این امواج با تولید حفرات صوتی باعث تخریب و مرگ سلول‌های سرطانی می‌شوند و با افزایش دمای بالاتر از حدّ آستانه، مرگ سلول‌های بافتی را به همراه دارند.

*** امواج فراصوت با شدت بالا با تولید حفرات صوتی باعث تخریب و مرگ سلول‌های سرطانی می‌شوند و با افزایش دمای بالاتر از حدّ آستانه، مرگ سلول‌های بافتی را به همراه دارند**

گاه در روش‌های درمانی با به کارگیری امواج فراصوت با شدت بالا می‌توان دما را در مدت‌زمان بسیار کوتاه در حد چند ثانیه حتی بالاتر از حد آستانه برای ایجاد یک اثر خاص روی بافت افزایش داد تا جریان خون کمترین اثر را در کاهش دمای منطقهٔ کانونی بگذارد و اطمینان به درمان بیشتر شود. در درمان، استفاده از امواج فراصوت با شدت بالا را با نام‌های جراحی با فراصوت کانونی یا تخریب سلولی با فراصوت نیز می‌شناسند [۲].

کاربردهای فراصوت

* کاربردهای تشخیصی

۱. امروزه به فراصوت و استفاده از آن در صنعت پزشکی اهمیت بسیار داده می‌شود. خصوصاً در پزشکی و به این علت که فراصوت روی بافت‌های بدن انسان اثرهای تخریب پرتوهای X را ندارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان نمونه، در پزشکی از فراصوت برای بررسی رشد جنین در بدن مادر و اطمینان از سلامتی آن استفاده می‌شود [۱ و ۳].

هنگامی که امواج فراصوت از ناحیهٔ شکم به درون بدن فرستاده می‌شوند، با عبور از مرزها و فصل مشترک بین بافت‌ها و اعضای داخلی بدن، منعکس و پس از خروج از بدن وارد یک گیرنده می‌شوند، در گیرنده به موج الکتریکی تبدیل می‌شوند و روی صفحهٔ نمایشگر، تصویری به وجود می‌آورند که در صورت لزوم، یک دستگاه چاپگر آن را چاپ می‌کند [۳].

*** فراصوت نیز مشابه صوت، تراکم مکانیکی امواج است که از میان بعضی واسطه‌ها عبور می‌کند. اگرچه فرکانس فراصوت فراتر از گسترهٔ شنوایی انسان است، اما می‌توان آن را با بعضی از خواص فیزیکی توصیف کرد**

۲. از فراصوت در جست‌وجوی تومورها و دیگر عوامل غیرطبیعی حفرهٔ شکمی استفاده می‌شود [۱ و ۳].

۳. از امواج فراصوت می‌توان برای تمیز کردن دستگاه‌های پزشکی و دندانپزشکی استفاده کرد [۳].

۴. از امواج پرانرژی فراصوت می‌توان برای بریدن بافت‌های بدن استفاده کرد [۳].

۵. از امواج فراصوت برای بررسی قلب نیز استفاده می‌شود که به آن «اِکو داپلر» می‌گویند. این روش یک فنّ مطمئن و قدرتمند، غیرتهاجمی و بدون درد برای بررسی قلب است. اکو روی واقعیات فیزیولوژیک و فیزیکی ساده بنیانگذاری شده است که به راحتی قابل درک است؛ دارای طرز عمل کاربردی است و به مهارت زیاد و اپراتور یا شخصی که انجام آن را به عهده گرفته است، بستگی

دارد که چگونه و با چه کیفیتی اطلاعات ناشی شده از آن را تجزیه و تحلیل خواهد کرد. در اکو دو کمیت اندازه‌گیری می‌شود: الف) زمان تأخیر میان ارسال نبض یا تپش و دریافت اکوی منعکس شده. ب) شدت سیگنال منعکس شده که در واقع بازتاب اکوی بافت یا حد فاصل بافت – بافت است.

در روش اکو سیگنال‌هایی که به ارسال‌کننده برمی‌گردد، نشان‌دهندهٔ عمق و شدت انعکاس است و اطلاعات الکترونیک ارسال شده به نمایشگر با زمینهٔ خاکستری یا روی کاغذهای سفید (در صورت انعکاس)، خاکستری (در صورت انعکاس کمتر)، یا سیاه (بدون انعکاس) نمایان می‌شوند.

اکوی داپلر یکی از فنونی است که از امواج فراصوت برای حرکت یا جنبش گویچه‌های سرخ خون استفاده می‌کند. امواج فراصوت منعکس شده نسبت به امواج فراصوت ارسال شده تغییر می‌کنند که این تغییر توسط سرعت و جریان مستقیم خون تعیین می‌شود. این تغییر به ما اطلاعاتی راجع به مجراهای خون و قلب می‌دهد که می‌تواند برای اندازه‌گیری شدت یا سختی تنگی مجرا یا برای نمایان کردن برگشت خون استفاده شود. البته این فن خود به روش‌های دیگری نیز طبقه‌بندی می‌شود [۲].

*** در روش اکو سیگنال‌هایی که به ارسال‌کننده برمی‌گردد، نشان‌دهندهٔ عمق و شدت انعکاس است و اطلاعات الکترونیک ارسال شده به نمایشگر با زمینهٔ خاکستری یا روی کاغذهای سفید (در صورت انعکاس)، خاکستری (در صورت انعکاس کمتر)، یا سیاه (بدون انعکاس) نمایان می‌شوند**

* کاربرد گرمایی

با توجه به این‌که بخشی از انرژی امواج فراصوت که به وسیله بدن جذب و به گرما تبدیل می‌شود، گرمای موضعی حاصل از جذب امواج فراصوت با افزایش قابلیت کشسانی پروتئین و ایجاد کشش در زخم و آزاد کردن زخم از بافت‌های زیرین خود، بهبودی را تسریع می‌کند [۱].

*** با توجه به این‌که بخشی از انرژی امواج فراصوت که به وسیله بدن جذب و به گرما تبدیل می‌شود، گرمای موضعی حاصل از جذب امواج فراصوت با افزایش قابلیت کشسانی پروتئین و ایجاد کشش در زخم و آزاد کردن زخم از بافت‌های زیرین خود، بهبودی را تسریع می‌کند**

* کاربردهای درمانی و پزشکی

طبق نتایجی که دانشمندان از ۱۶۴ بیمار دارای چندین نوع سرطان شامل سرطان کبد و پستان، تومور بدخیم استخوان، تومور بافت نرم و تومورهای بدخیم دیگر که تحت امواج فراصوت با شدت بالا قرار گرفتند، به دست آوردند، تومورهای خارج شده با استفاده از این تکنیک در فرکانس‌های ۰.۸-۲. ۳ مگاهرتز و پیک کانونی ۵۰۰۰-۲۰۰۰۰ Watts/cm2 به سرعت انجام شد و نیاز بیماران برای جراحی را رفع کرد. انواع سرطان‌هایی که با HIFU درمان می‌شوند عبارت‌اند از: سرطان پروستات، سرطان کبد، سرطان مثانه، سرطان پستانع سرطان کلیه و سرطان استخوان.

در مورد سرطان‌های دیگر تحقیقات بسیار محدود بوده است. HIFU همچنین برای تسکین درد در بیماران مبتلا به سرطان‌های پیشرفته مثل سرطان پانکراس (لوزالمعده) نیز به کار رفته و نتایج خوبی از آن حاصل شده است. از کاربردهای دیگر که در زمینه درمانی و پزشکی از HIFU استفاده می‌شود، می‌توان به امراض زنانه، عصب‌شناسی، قلب و زیبایی اشاره کرد [۲].

اثرهای امواج فراصوت بر بدن

* اثرهای شیمیایی

اثرهای شیمیایی فراصوت از فرایندهای فیزیکی ناشی می‌شود که باعث ایجاد، گسترش و انفجار گازها و حباب‌های بخار در مایع شده‌اند. همچنین فراصوت می‌تواند با سرعت بالا در نقطه‌ای از برخورد با فلز، ذرات فلز را تحریک کند و باعث ذوب آن شود و حتی می‌تواند تابش‌های میکروسکوپی را در مایعات سرد تولید کند [۵].

* تغییرات ماکروسکوپی

بررسی ماکروسکوپی بافت بدن بیماران مورد آزمایش، نشان داده است که در هیچ‌کدام از بیماران جراحات حرارتی در نتیجه استفاده از امواج فراصوت با شدت انرژی بالا در بافت اطراف نقطه کانونی دیده نشده است [۲].

* سوختگی

اگر هنگام استفاده از دستگاه به منظور استفاده از امواج فراصوت، امواج به‌طور مداوم و در یک مکان بدون چرخش به کار روند، در محل بافت باعث سوختگی می‌شود. بنابراین، برای جلوگیری از سوختگی، این امواج را باید توسط دستگاهی که در اختیار داریم حرکت دهیم [۱].

* پارگی کروموزومی

وقتی امواج فراصوت را برای مدت‌زمان زیاد و با شدت خیلی بالا به کار ببریم، این امر سبب پارگی در رشتهٔ DNA می‌شود که خود عوارض ناگواری را در پی خواهد داشت [۱].

* ایجاد حفره یا کاویتاسیون

امواج شدید فراصوت با عبور از میان مایعات و با ایجاد گرمای زیاد، موجب لرزش بافت می‌شوند و حفرات یا حباب‌های کوچکی تولید می‌کنند. حباب‌ها یا حفرات تشکیل شده با فشار وارد می‌شوند از طرف آب می‌ترکند و همین امر موجب به وجود آمدن نوسانات در مایع می‌شود. در نتیجه انرژی امواج فراصوت کاهش پیدا می‌کند. به این پدیده کاویتاسیون می‌گویند [۴]. بنابراین کاهش انرژی امواج صوت هنگام گذشتن از بافت‌های بدن ایجاد همین پدیده (کاویتاسیون) است. همه محلول‌ها شامل مقدار قابل ملاحظه‌ای حباب‌های گاز غیرقابل دیدن هستند و دامنه بزرگ نوسان‌های امواج فراصوت در داخل محلول‌ها می‌تواند روی بافت‌ها تغییرات زیستی مانند پارگی دیوارهٔ سلول‌ها و از هم گسستن مولکول‌های بزرگ را ایجاد کند [۵، ۴، ۲، ۱، و ۶].

*** امواج شدید فراصوت با عبور از میان مایعات و با ایجاد گرمای زیاد، موجب لرزش بافت می‌شوند و حفرات یا حباب‌های کوچکی تولید می‌کنند. حباب‌ها یا حفرات تشکیل شده با فشار وارد می‌شوند از طرف آب می‌ترکند و همین امر موجب به وجود آمدن نوسانات در مایع می‌شود**

* اثر گرمایی

انرژی فراصوت که به وسیله بافت بدن جذب می شود، موجب ارتعاش مولکولی بر اثر انرژی گرمایی و در نتیجه افزایش سریع دما در فاصلهٔ کانونی می‌شود. علاوه بر این، تراکم و انبساط پی‌درپی موجب می‌شود امواج فراصوت در بافت بدن پخش شوند و در سطح سلولی در میان شکاف‌ها قرار گیرد. اگر دمای بافت به بالای ۵۶ درجهٔ سانتی‌گراد (به مدت ۱ ثانیه) برسد، باعث مرگ سلولی و تخریب بافت در نقطهٔ کانونی می‌شود اما بافت اطراف بدون تأثیر باقی می‌ماند. همان‌طور که فرکانس افزایش می‌یابد، توانایی متمرکز شدن امواج فراصوت نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، انرژی که یک موج فراصوت با خود حمل می‌کند، با عبور از بافت تضعیف می‌شود، این تضعیف در اثر جذب و پخش صوتی است. جذب صوت باعث افزایش دما در بافت می‌شود. در عمل جذب ۸۰-۶۰ درصد کل تضعیف را تشکیل می‌دهد و بقیه مربوط به پدیدهٔ پخش صوت است [۲].

جمع‌بندی

علی‌رغم تحقیقات ارزشمندی که در زمینهٔ HIFU انجام شده است، استفاده از آن به عنوان یک وسیلهٔ جراحی غیرتهاجمی در بسیاری از موارد برای قطع بافت زیرپوستی و یا روش‌های جراحی که می‌توانند مقادیر زیادی از بافت چربی‌دار را از میان ببرند، هنوز در مرحلهٔ مقدماتی خود قرار دارد. طبیعت غیرتهاجمی HIFU و آزادی عمل روی فرکانس و شدت انرژی استفاده شده چندین فایده مانند رفع نیاز برای تسکین و کاهش ریسک عفونت، از بین بردن بافت چربی‌دار با درجهٔ بالایی از دقت و ظرافت نسبت به سایر روش‌های جراحی فراهم می‌کند که مکانیزم عمل آن را منحصر به فرد ساخته است، اما به نظر می‌رسد که محدودهٔ بیماری‌های قابل درمان با HIFU بسیا وسیع باشد و با توجه به تحقیقات انجام شده و پیشرفت‌های حاصل شده در سال‌های اخیر، HIFU در آینده می‌تواند نقش مهمی در درمان سرطان ایفا کند. [۲].

پی‌نوشت

1. Francis Galton
2. Sonar

مراجع

[۱]. دانشنامه مرجع مهندسی ایران.

[2]" High Intensity Focused Ultrasound", Jens U. Quistgaard, Ph.D., President, General Manager Charls Desilets, Ph.D., Chief Technology Officer Pat Martin, BS, Executive Director of Clinical Affairs Medicis Technologies Corpoation, Bothell, Washington, U.S, Spring 2010.

[۳] سایت علمی نخبگان جوان.

[4]"Cleaning membrane with focused ultrasound beams for drinking water treatment", Jian- Yn Lu1, Xi Du2, Glenn Lipscomb2, Department of Bioengineering and 2Department of Chemical Engineering, USA.

[5] "The chemical Effects of Ultrasound", Kenneth S. Suslick, SCIENTIFIC AMERICAN, February 1989.

[6] "Sonochemistry and its application nanochemistry", Aharon Gedanken, Department of Chemistry, Bar-Ilan University, Israel.