الموجات فوق السمعية في الطب

د. السيد محمود السيد سليمان

الموجات الصوتيه هي موجات ميكانيكية تنشأ عن اهتزاز المواد، مما ينتج عنه زيادة أو نقص الضغط في المائع المحيط بمصدر هذه الموجات، ويسبب هذا التغير في الضغط انتشار هذه الموجات طولياً، أي أنها تنتشر في نفس اتجاه زيادة ونقص الضغط .

تتميز الموجات الصوتية كغيرها من الموجات بخواص محددة مثل الطول الموجي (λ) وعدد مرات ذبذباتها في الثانية ، وهو ما يطلق عليه التردد (f) الذي يقاس بوحدة الهرتز HZ (ذبذبه لكل ثانية)، بجانب ذلك فإن هذه الموجات لها سرعة انتشار (v) حيث ترتبط هذه الخواص ببعضها البعض حسب المعادلة الآتية : $v = f \lambda$.

بالإضافة إلى ذلك فإن للموجات الصوتية شدة تعتمد على سعة ذبذباتها. كما أن خواصها تعتمد على خواص الوسط المحيط بالمادة المهتزة المصدرة للصوت من كثافة ودرجة حرارة وخلافه. وتقاس الشدة الصوتية بوحدة قياس (شدة نسبية) هي الديسبل (dB).

أقسام الموجات الصوتية

تنقسم الموجات الصوتية ـ بناءً على ترددها ـ إلى ثلاثة أقسام هي :ـ

● الموجات تحت السمعية

الموجات تحت السمعية هي الموجات التي لا تستطيع أُذن الإنسان استقبالها بسبب أن ترددها أقل من المدى المسموع ، ويصل هذا التردد إلى أقل من ٢٠ هيرتز تقريباً .

● الموجات السمعية

الموجات السمعية هي الموجات التي يقع ترددها في المدى المسموع للأذن، وهو من ٢٠ هيرتز إلى ٢٠ ألف هيرتز.

● الموجات فوق السمعية

الموجات فوق السمعية (ultra sound) هي الموجات التي يزيد ترددها على ٢٠ ألف هيرتز، وتتميز هذه الموجات بأن ترددها أكثر من المدى المسموع بواسطة الأذن، ولذلك لا تستطيع استقبالها، ويطلق على هذا النوع تجاوزاً الموجات فوق الصوتية، وهو خطأ شائع .

● خصائص الموجات

تتميز الموجات الصوتية بأنواعها المذكورة بأنها موجات ميكانيكية، لها نفس صفات الموجات الضوئية من حيث الانعكاس والانكسار وتغير مسارها وتلاشي طاقتها تدريجياً عند سريانها في الوسط المارة فيه. إضافة إلى إمكانية تكوين عدسات صوتية لتركيز الصوت مثل العدسات الضوئية .

إنتاج وتطبيقات الموجات فوق السمعية

للموجات فوق السمعية تطبيقات عديدة جداً في الحياة وخاصة في الطب وكذلك في العلاج، فهي تستخدم الآن في تشخيص وتصوير الأعضاء المختلفة في الجسم الساكن منها أو المتحرك، وترجع أهمية استخدام هذه الموجات في الطب إلى أنها موجات ميكانيكية غير ضارة بالصحة مقارنة بالموجات الكهرومغناطيسية المختلفة المستخدمة، مثل الأشعة السينية وأشعة جاما، والتي قد تؤدي إلى إصابة الإنسان بالسرطان أو أمراض أخرى عند تعريضه لها بجرعات كبيرة، ولهذا السبب يحظر على المرأة الحامل التعرض لمثل هذه الأشعاعات الكهرومغناطيسية خاصة عند تصوير الجنين .

كان أول استخدام للموجات فوق السمعية أثناء الحرب العالمية الثانية . فقد استخدمتها البحرية في الكشف عن الغواصات في نظام يسمى سونار (sonar) وتأتي هذه الكلمة اختصاراً لمجموعة من الكلمات هي :

استخدام الصوت (sound) في الملاحة (navigation) وقياس المدى (ranging) .

وتتلخص هذه الطريقة في إرسال موجات فوق سمعية في الماء لتصطدم عند سيرها بالهدف لتنعكس وترتد ثانية إلى مصدر هذه الأشعة ، وعن طريق حساب زمن الارتداد يمكن معرفة بُعد هذا الهدف . ومن شروط استخدام الموجات فوق السمعية أن يكون هناك جهاز لإنتاج هذه الموجات و جهاز آخر لاستقبالها وتسجيلها.

● إنتاج الموجات فوق السمعية

تعد خاصية البيزوكهربية (piezoelectricity) التي توجد في بعض المواد وخاصة الكوارتز من أهم الطرق لإنتاج وتسجيل الموجات فوق السمعية، فإذا وضعت بلورة من الكوارتز بين لوحين فلزيين، ومن ثم وُصِّلت هذه الألواح بجهد كهربي متردد، فإن هذا الجهد يسبب تضاغط وتخلخل للبلورة ، أي تنتج ذبذبات ميكانيكية في المدى فوق السمعي .

الجدير بالذكر أنه إذا تعرضت بلورة الكوارتز لموجات ميكانيكية فإنها سوف تنتج شحنات متغيرة على اللوحين الفلزيين المحيطين بها، أي تقوم بالعملية العكسية ، وهكذا تقوم بلورة الكوارتز بإنتاج الموجات فوق السمعية وكذلك تسجيلها . أي تقوم بالإرسال والاستقبال .

● استخدام الموجات فوق السمعية في الملاحة لقياس المدى .

وتتكون معظم الأجهزة التي تستخدم الموجات فوق السمعية أساساً من محول (Transducer) عبارة عن رأس توجد فيه بلورة الكوارتز التي تقوم بإرسال واستقبال الموجات ، وتتصل البلورة بسلك أو كابل لتوصيل التغذية الكهربائية ، واستقبال الإشارة الكهربائية الناتجة عن الموجات المنعكسة أوتوصيلها إلى أجهزة التسجيل و القياس والرؤية .

● طرق الاستخدام

توجد عدة طرق لاستخدام الموجات فوق السمعية في مسح (scan) أعضاء الجسم المختلفة منها ما يلي :

* **طرق المسح (أ) (A-scan)** ، وتطبق للحصول على معلومات تشخيصية عن عمق الأجسام الغريبة الموجودة في الجسم، أو أبعاد مكونات العضو . فمثلاً إذا طبقت هذه الطريقة على العين فإنه يمكن إيجاد المسافات بين القرنية و العدسة والشبكية وأيضاً تحديد الأجسام الغريبة في العين. وفي هذه الطريقة يوضع رأس المحول (الموجود به البلورة) ملاصقاً تماماً للعين بعد تغطيتها بمادة جلاتينية لإحكام دخول الموجات فوق السمعية، والتي تكون على هيئة نبضات تستمر في حدود الميكروثانية وبتردد من ٤٠٠ إلى ١٠٠٠ كيلو نبضة في الثانية (كيلو هيرتز).

وعندما تنتشر هذه الموجات داخل العين فإن جزء منها يرتد عند وجود أي حد فاصل داخل نسيج العين. ومن حساب زمن الارتداد يمكن إيجاد العمق أو البعد، وذلك بمعرفة سرعة هذه الموجات داخل الوسط .

* **طرق المسح (ب) (B-scan)**، وتستخدم لإيجاد صورة العضو في بعدين، وهي تختلف عن طرق المسح (أ) في أن المحول يتحرك، ولذا يقوم بمسح شامل للعضو، وإذا كان الجهاز مزود بحاسب فإنه يقوم بتجميع الموجات المرتدة على هيئة صورة ثنائية الأبعاد، ومع التقدم المذهل في برامج الحاسب أمكن الحصول على صور ملونة ثلاثية الأبعاد .

* **طرق المسح (م) (M-scan)**، وتجمع هذه الطريقة بين الطريقتين السابقتين(أ)،(ب)، وفيها يكون المحول ثابت والعضو هو الذي يتحرك مثل حركة القلب وصماماته، ولتطبيق هذه الطريقة ـ في حالة القلب ـ يوضع المحول على الجانب الأيسر للمريض ـ بين الضلوع ـ ويوجه إلى القلب بزاوية معينة لتسجل الموجات المرتدة، و تكرر هذه العملية عندما يكون المحول موجهاً بزاويا مختلفة، وفي هذه الحالة يمكن استخدام الحاسب لتخزين النتائج والحصول على صور لأجزاء القلب المختلفة وحركة صماماته .

* **تأثير دوبلر (doppler effect)** ، ويستخدم لقياس سرعة تحرك الأشياء مثل قياس سرعة الدم أو ضربات قلب الطفل في رحم الأم. ويأتي مصطلح تأثير **دوبلر** نسبة إلى مكتشفه . وتعتمد الفكرة الأساسية لتأثير **دوبلر** ـ معروفة منذ القدم ـ على أنه إذا اقترب شخص من مصدر صوتي ازداد تردد الصوت الذي يستقبله، أما إذا ابتعد عن المصدر فإن التردد الذي يستقبله يقل .

الجدير بالذكر أن قياس سرعة تحرك الأشياء باستخدام تأثير دوبلر ليست قاصرة على استخدام الموجات فوق السمعية، ولكن يمكن استخدام أي نوع آخر من الموجات الكهرومغناطيسية مثل الموجات القصيرة والموجات الدقيقة والأشعة تحت الحمراء وأشعة الليزر .

● التطبيقات التشخيصية

من أهم تطبيقات تقنية الموجات فوق السمعية ما يلي :ـ

* **الحمل**، ويعد ماسح الموجات فوق السمعية(ultrasonography) ـ منذ تطبيق استخدام الموجات فوق السمعية في أواخر

● صورة لجنين بالموجات فوق السمعية .

عام ١٩٥٠ في التشخيص ـ من أهم الأدوات التشخيصية في حالة الحمل، حيث بات من المألوف الآن استخدام أجهزة تسمى الماسح الزمني (real time scanner) لأنه يعطي صورة متصلة لحركة الجنين داخل الرحم تظهر على شاشة الماسح .

تستخدم في هذه التقنية أجهزة تطلق موجات فوق سمعية بتردد من ٣,٥ إلى٧ ميجاهرتز من خلال محول (Transducer) يوضع على بطن الأم الحامل بعد تغطيتها بسائل جلاتيني لإحكام توصيل هذه الموجات خلال جدار البطن. ويتحرك المحول لمسح جميع البطن. وتكوّن الموجات المرتدة صورة تظهر بمساعدة الحاسب على شاشة الماسح ، حيث يمكن رؤية حركة قلب الجنين وقياس دقات قلبه وتسجيل أي تشوهات أو أضرار به . كما يعطي معلومات عن حجم الجنين وعمره ونموه، وحتى ميعاد الوضع.

وبسبب أن الموجات فوق السمعية آمنة فإنه لاتوجد قواعد صارمة لتحديد مرات عمل المسح أثناء الحمل، إنما غالباً ما يجري المسح الأول بعد ٧ أسابيع لتأكيد الحمل ، وذلك بقياس نبضات الجنين. أما المسح الثاني فيكون بين الأسبوع ١٨ إلى ٢٠، وذلك لمراقبة النمو ومكان وهيئة المشيمة ، وأيضاً لتلافي الحمل المزدوج (خارج الرحم) وتأكيد أزمنة الوضع . بينما يكون المسح الثالث في حدود الأسبوع ٣٤ للتأكد النهائي . الجدير بالذكر أن المسح المتكرر يعتمد على نتائج المسوحات السابقة، أو عندما يشتبه في حدوث أشياء غير طبيعة أثناء الحمل .

* **تشخيص أمراض الرحم،** وقد ثبت من تقرير جامعة كاليفورنيا سان فرنسسكو أن الموجات فوق السمعية نجحت في تشخيص ٩٥٪ من حالات إصابة الرحم بالسرطان والأمراض المتعلقة بسن اليأس عند السيدات، وخاصة نزيف الدم. وفي هذه الحالة يستخدم اختبار يسمى (Endovaginal ultrasound-EVUS) حيث يدخل المحول (المجس) داخل المهبل لكي يقوم بقياسات بطانة الرحم وتصويره. فإذا كان سمكه أكبر من ٥ مم فإن ذلك يعني احتمال وجود عامل مخاطرة كبيرة للإصابة بالسرطان، وفي هذه الحالة تؤخذ مسحة للتشخيص المعملي.

* **تشخيص أمراض الثدي،** وقد أمكن الاستغناء عن استخدام الأشعة السينية بتقنية المسح الماموجرفي (mammography) في تشخيص أمراض الثدي لأنها تعرض السيدة لجرعات أشعة سينية كبيرة وخاصة في حالة كبر الثدي . لذلك وجد أن الموجات فوق السمعية تساعد في الكشف السريع عن أورام الثدي و طبيعة هذه الأورام من حيث الصلابة والسيولة

* **عينات الصدر،** حيث تساعد هذه التقنية في تحديد أماكن أخذ العينات من الصدر، وكذلك أماكن وضع الأقطاب العلاجية فيه .

* **كشف المثانة ومجرى البول،** يمكن بواسطة الموجات فوق السمعية وباستخدام الدوبلر قياس سرعة اندفاع البول، ومن ثم تحديد مكان اختناقه سواء كان في المثانة أو بمجرى البول.

* **المسح البطني (Abdominal scan)،** ويمكن بواسطته الكشف عن عدد من مسببات أمراض البطن، مثل آلام البطن والدوار والقيء . ويمكن أيضاً عمل مسح للكبد والبنكرياس والطحال، وكذلك الكشف عن المرارة ومجاري العصارة الصفراء .

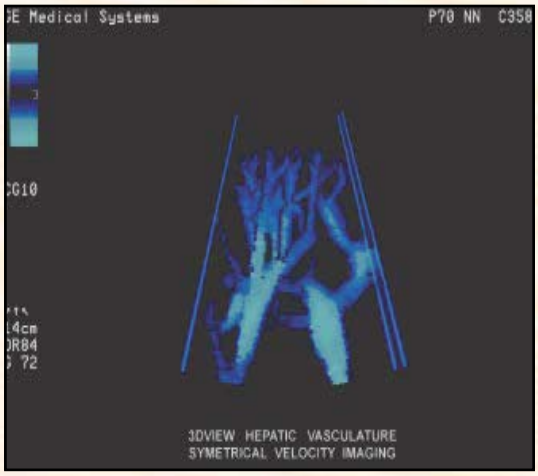
● **التطبيقات العلاجية**

تستخدم الموجات فوق السمعية في العلاج أيضاً وليس فقط في التصوير والتشخيص الدقيق للأمراض. وتنقسم الموجات فوق السمعية المستخدمة في العلاج على أساس شدتها (كثافة قدرتها)، إلى نوعين هما:

ـ موجات فوق سمعية ذات شدة قليلة أو متوسطة، وفي هذه الحالة تستخدم في العلاج الطبيعي وإزالة الالم وإلتئآم الجروح وما إلى ذلك .

ـ موجات فوق سمعية ذات شدة كبيرة، وتصل شدتها إلى ألف وات/سم٢ ، ويكون التأثير الحراري لها كبير، ولذا فإنها تستخدم في إزالة الأورام وتجلط الدم وأمراض العيون.

ويعتمد استخدام الموجات فوق السمعية في العلاج ـ عموماً ـ على التأثير الحراري الناتج عن مقاومة النسيج خلال سريان هذه الموجات داخله. فعندما تمر الموجات فوق السمعية داخل النسيج فإنها



● مسح الكبد بالموجات فوق السمعية.

تحدث مناطق من التضاغط و التخلخل داخله . وإذا زادت هذه التضاغطات والتخلخلات عن حد المرونة لهذه الأنسجة فإنها تتمزق، وهذا يفسر سبب تمزق طبلة الأذن بواسطة أصوات ذات شدة كبيرة نتيجة للضغط والتخلخل الذي يصاحب هذه الموجات فوق سمعية.

الجدير بالذكر أن الموجات فوق السمعية ذات شدة ٣٥ وات/سم ٢ يمكنها إحداث تغيرات في الضغط مقدارها ١٠ ضغط جوي ، وهذا بدوره ينتج قوة هائلة تؤدي إلى تكسير روابط جزيئات المادة . وعند الشدة العالية جداً فإن الماء يتحول إلى أول أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وهيدروجين (H_2) مما يؤدي إلى تكسير روابط الأحماض الأمينية والنووية .

كذلك يمكن أن يؤدي الضغط السالب خلال فترة التخلخل إلى خروج الغاز المذاب في المحاليل مثل الدم ، وبذلك تتكون الفقاقيع (Cavitation) التي تقوم بدورها بقطع الروابط بين الغاز والأنسجة .

ويمكن للموجات فوق السمعية عند شدة مقدارها ألف وات/ سم٢ أن تدمر أي نسيج عند أي عمق بواسطة شعاع من الموجات فوق الصوتية المركزة الموجهة نحو الهدف، وفي هذه الحالة لا يكون التدمير بسبب التأثير الحراري فقط ولكن بسبب التغيرات الكيموحيوية داخل النسيج .

ولهذا فإن الموجات فوق السمعية ذات الشدة العالية تعد أداة مهمة وآمنة للقضاء على الأورام بأنواعها والأورام الليفية ، وفي إزالة المياه البيضاء من العين . وتعتمد شدة الموجات المستخدمة على حسب الحالة.

تسمى الأجهزة المنتجة للموجات فوق السمعية عند تردد بين ١إلى٣ ميجاهرتز ودورات تشغيل (Duty Cycle) تتراوح من ٢٠ إلى أقل من ١٠٠ ٪ بالأجهزة النبضية (Pulsed)، أي التي تعمل على النظام النبضي .أما إذا وصلت دورات التشغيل إلى ١٠٠ ٪ فتسمى بأجهزة النظام المستمر (Continuos) . ويستخدم كل نوع على حسب حالة العلاج سواء كانت حادة أو مزمنة، وذلك كما يلي :

● استخدام الموجات فوق السمعية في العلاج الطبيعي.

* **العلاج الطبيعي** ، ويعد من أهم مجالات الاستخدام لهذه التقنية، حيث تستخدم بصفة خاصة في الإصابات التي يطلق عليها إصابات الملاعب التي تشمل كدمات العضلات والأربطة وكدمات والتهابات المفاصل . ويتم ذلك بوضع المحول (Transducer) المنتج للموجات فوق السمعية ذات التردد و الشدة ودورة العمل المناسبة على سطح العضلة المغطاة بطبقة السائل (gel) الموصل، فينشأ عن سريان الموجات الصادرة داخل العضلة وعن طريق ذبذباتها تسخين أنسجة هذه العضلة، فتتسبب هذه الحرارة في تمدد الأنسجة الدموية المغذية للعضلة، وبذلك تحفز مرور الدم حاملاً الأكسجين والمواد الغذائية، وفي نفس الوقت يتم التخلص من المواد الضارة مثل حامض اللبن (Lactic acid) الذي يسبب تراكمه داخل العضلات الإحساس بالألم .

كما تستخدم الموجات فوق السمعية في إدخال المواد المسكنة على هيئة سائل إلى داخل الجسم، وذلك بتغطية الجزء المراد تسكينه بتلك المواد، ثم وضع محول الموجات فوق السمعية ذو الرأس المستديرة على هذا الجزء لتقليل الالتهاب .

* **التئام الجروح**، وتقوم الموجات فوق السمعية عند وضعها على مكان الجرح العميق والبسيط ـ خاصة جروح مرضى البول السكري ـ المغطى بالسائل الموصل بالضغط على الخلايا الحلمية (mast cell)، وينشأ عن ذلك انسياب مادة الهستامين والمواد الموصلة (mediators) الأخرى. وتلعب هذه المواد دوراً هاماً في تحفيز وجلب مكونات الخلايا إلى مكان الجرح، وتساعد هذه العملية مع عمليات أخرى في تسريع مرور مرحلة الإلتهاب والتي بدورها تؤدي إلى التئام الجرح بسرعة .

إضافة لذلك فقد لوحظ أثناء هذه العملية أن الموجات فوق السمعية تؤثر على خلايا الألياف (Fibroblast) وتحثها على إفراز الكولاجين، وهذا بدوره يسرع ويحسن قوة الأنسجة الضامة مكان الجرح.

* **استخدامات أخرى** ، ومن ذلك إزالة الدهون في الأماكن غير المرغوب فيها بالجسم، و طب الأسنان وبالتحديد في إزالة التكلسات المترسبه على الأسنان (us scalers) .

مستقبل أجهزة الموجات فوق السمعية

نظراً لأن الموجات فوق السمعية ليس لها أي آثار جانبية تذكر على جسم الإنسان مثل تلك الناتجة عن الموجات الكهرومغناطيسية المؤينة (الأشعة السينية وأشعة جاما وغيرها) والتي يمكن أن تؤدي إلى الإصابة بالسرطان عند تكرار التشخيص بها. لذا فمن المؤمل أن تستبدل هذه الأجهزة وخاصة المقطعية منها (CT) بأجهزة تستخدم الموجات فوق السمعية لتؤدي نتيجة أفضل .

وتجري الأبحاث لإنتاج وتصميم جهاز يستخدم الموجات فوق السمعية في تصوير أعضاء الجسم، وفي نفس الوقت وقف نزيف الدم خاصة أثناء الحوادث و أمراض المعارك. ويسمى هذا الجهاز (Acoustic Hemostasis Device For Advanced Truma care) وتنشأ أهميته من معرفة أن وقف النزيف الداخلي للدم من جسم الإنسان يعد أحد الأسباب الرئيسة للوقاية من حالات حوادث الطرق والحروب. إذ في هذه الحالة