وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

الموجات فوق الصوتية
Ultrasound

بحث مقدم الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة قسم الفيزياء

كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء

من قبل الطالبة : حوراء علي محمد

بإشراف : م. عمار يحيى كاظم المعموري

1444هـ

2023م

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ أَمْرِ رَبِّي وَمَا

أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا ﴾

صدق الله العظيم

(سورة الإسراء ، أية ٨٥)

إهداء

إلى الذي لم يبخل علية يوماً، وذلل الصعاب كي أنال ما اتمنى..

والدي الحبيب

إلى التي سهرت الليالي تربيني وتغذيني أدباً وخلقاً..

والدتي الحبيبة

إليكم اخوتي واخواتي رفاق حياتي

أهدي جهدي المتواضع

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين ، وبعد ....

فيطيب لي ان أتقدم بوافر الشكر وعظيم الامتنان لكل من مد لي يد العون كي انجز بحثي هذا، لاسيما أستاذي المشرف (م. عمار يحيى كاظم المعموري) المحترم حفظه الله، وإلى كل أساتذتي الأجلاء في قسم الفيزياء الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم وفضلهم، فلهم منا جميعاً كل الشكر وعظيم الامتنان، وحفظهم الله شموع تنير دروب المعرفة لطلبتهم.

والشكر موصول لأسرتي التي وفرت كل مستلزمات الدراسة لي طوال السنوات الاربع التي قضيتها في كليتي الحبيبة كلية التربية للعلوم الصرفة.

لكم جميعاً كل الشكر والامتنان والعرفان.

الخلاصة

تعرف الموجات فوق الصوتية بأنها موجات ذات طبيعة ميكانيكية تتطلب وسطًا مرنًا للانتشار حيث تنتشر الموجات فوق الصوتية بترددات أكبر من (20 KHZ)(الحد الأعلى لسماع الأذن البشرية) حتى ترددات (10 MHZ) والتي تنتقل بعد ذلك إلى ما يسمى بالمنطقة فوق الصوتية ، هناك نوعين من الموجات فوق الصوتية وهي عالية الطاقة ومنخفضة الطاقة حيث تتميز العالية بالترددات المنخفضة (100 KHZ - 20) والتي تستخدم في بعض تقنيات الغذاء اما الموجات التشخيصية منخفضة الطاقة تستخدم في القياسات الفيزيائية بشكل أساسي للاستخدامات الطبية والتشخيصية وقد سمحت دراسة انتشار الموجات فوق الصوتية في البشر ببناء أدوات تشخيص طبية مستقرة تستخدم في أمراض النساء والجهاز الهضمي وعلم الأوعية الدموية وأمراض القلب.

ان مبدأ عمل الموجات فوق الصوتية في التطبيقات الطبية اهم جزء في أجهزه مولد الموجات فوق الصوتية جزء يدعى محول الطاقة والذي يتكون من مصفوفه من الكريستالات الكهروضغطية ، تبدا الكريستالات الكهروضغطية بالاهتزاز عند تسليط اشارة كهربائية عليها فتنتج الموجات عالية التردد تدعى الموجات فوق الصوتية. الشيء الأهم ان هذا النوع من الكريستالات يمكن ان يعمل بطريقة عكسية مولدا إشارة كهربائية عندما يتحسس موجات صوتيه عالية التردد.

وقد تم استخدام الموجات فوق الصوتية كعلاج للعديد من الأمراض ، بما في ذلك الجلطات الدموية وتصلب الشرايين و تدفق الدم في الشرايين بالإضافة الى عده استخدامات أخرى . ولكن رغم هذه المنافع لها مضار عند استخدامها لفترات طويلة على جسم الانسان وبلاخص على الجنين في بطن امه .

المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الأية	I
أهداء	II
شكر وتقدير	III
الخلاصة	IV
المحتويات	VI
الفصل الأول	
المقدمة	1
دراسات آليات العمل الفيزيائية والجزيئية بالموجات فوق الصوتية	2
خصائص الموجات فوق الصوتية	4
الفصل الثاني	
نبذة تاريخية لتطور أجهزة الموجات فوق الصوتية	6
ماهي الموجات فوق الصوتية	8
فكرة عمل الموجات فوق الصوتية	9

مكونات جهاز الموجات فوق الصوتية	10
عمل الجهاز	15
العوامل المؤثرة على تخفيف الموجات الصوتية	16
انواع أجهزة الموجات فوق الصوتية	17
مخاطر استخدام الموجات فوق الصوتية	19
فوائد الموجات فوق الصوتية للجسم	20
التطورات والمستقبل	20
تطبيقات الموجات فوق الصوتية	21
المصادر	25

الصور والأشكال

عرض تخطيطي لأنظمة تحفيز الخلايا لتحفيز الموجات فوق الصوتية المنخفضة أو عالية الكثافة	2
صورة الموجات فوق الصوتية لجنين في الأسبوع الثاني عشر ويظهر على اليمين الرأس ومن العنق وباقي الجسم الى اليسار	10
جهاز الموجات فوق الصوتية ومعه عدة أنواع من المجسات المستخدمة	11
أجزاء جهاز التصوير باستخدام الموجات فوق الصوتية	12
صورة ثلاثية الأبعاد باستخدام التقنيات الحديثة للتطوير بالموجات فوق الصوتية	17
جهاز دوبلر للموجات فوق الصوتية لقياس سرعة تدفق الدم خلال القلب	18

الفصل

الاول

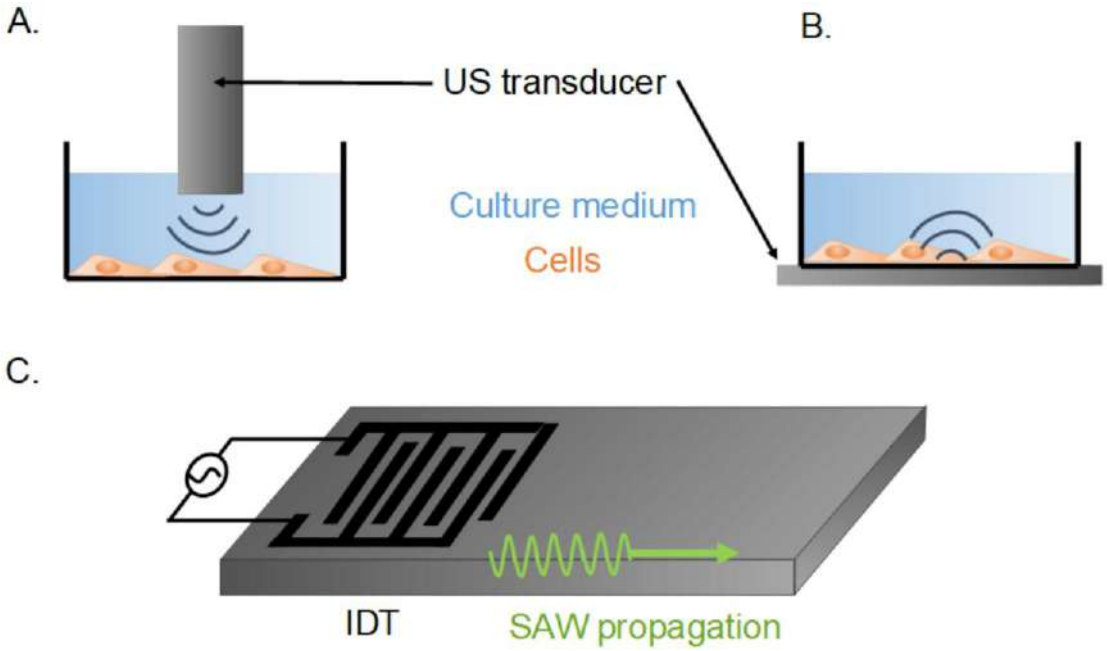
(1.1) المقدمة

تعرف الموجات فوق الصوتية بأنها موجات ذات طبيعة ميكانيكية تتطلب وسطًا مرنًا للانتشار ، تختلف الأصوات والموجات فوق الصوتية في التردد حيث تنتشر الموجات الصوتية بترددات مسموعة للأذن البشرية (16 HZ – 16-20 MHZ) بينما تنتشر الموجات فوق الصوتية بترددات أكبر من (20 KHZ) (الحد الأعلى لسماع الأذن البشرية) حتى ترددات (10 MHZ) والتي تنتقل بعد ذلك إلى ما يسمى بالمنطقة فوق الصوتية، تنتشر الموجات فوق الصوتية التي تتكون من موجات ميكانيكية في وسط من خلال نقل الطاقة وليس الجسيمات ، في الواقع يتأرجح الجسيم ببساطة حول موقع توازنه مع نقل الطاقة من جسيم إلى آخر. [1] ينتشر التذبذب في الوسط في اتجاهات مختلفة ، وبالتالي يميز على أنه موجات طولية وموجات عرضية ففي الموجات الطولية تكون الحركة التذبذبية للجسيمات في وسط النقل موازية لاتجاه الانتشار بينما في الموجات المستعرضة تكون الحركة عمودية، تنتشر الموجات الطولية (أو الانضغاطية) في أي وسط بينما تنتشر الموجات المستعرضة فقط في الاوساط الصلبة ، الموجة فوق الصوتية هي موجة طولية تتميز بتناوب دورات الانضغاط والخلخلة الوسط الذي تنتشر فيه ، والذي يستلزم اختلافات في ضغط الوسط ؛ تنتقل الطاقة من حركة الجسيمات ويمكن ان تُعرف عملية الانضغاط والخلخلة للجسيمات في الوسط وانهيارها اللاحق بظاهرة التجويف وهي أهم تأثير للموجات فوق الصوتية العالية الطاقة . [1]

عند الترددات العالية يمكن تحقيق النقل دون تجويف مما يسهل توصيل الجينات أو البروتين مع إمكانية تطبيق كبيرة في علم الأورام . [2] يمكن ان تنجم الموجات فوق الصوتية عن طريق صدى لكل المواد السائبة (كما هو موضح في الشكل (1.1) A,B) ، أو رنين السطح الأقصى لمادة مرنة (الشكل (1.1) C). [2.3]

(1.2) دراسات آليات العمل الفيزيائية والجزيئية بالموجات فوق الصوتية

تمثل دراسات آليات العمل الفيزيائية والجزيئية بالموجات فوق الصوتية مجالًا صاعدًا عبر العلوم الفيزيائية والبيولوجية.[2]



الشكل (1.1):عرض تخطيطي لأنظمة تحفيز الخلايا لتحفيز الموجات فوق الصوتية منخفضة أو عالية الكثافة.[2]

(A): يتم تحفيز الخلايا بشكل رئيسي عن طريق تدفق القص الناجم عن محول طاقة بالموجات فوق الصوتية مغمور في الاناء جيدًا.

(B): يتم تحفيز الخلايا بشكل رئيسي عن طريق الاهتزازات الميكانيكية لأناء البئر. الموجات فوق الصوتية التي يتم تحفيزها بواسطة محول طاقة الموجات فوق الصوتية تحتها.

(C): نظام بيزو كهربائي مع محول بين الأصابع لإحداث موجات صوتية سطحية . [2.4]

تاريخيا طورت الموجات فوق الصوتية على غرار فرع الصوتيات بالتوازي مع التقدم في فهم انتشار الموجات الصوتية ، شهدنا تطوير تقنيات قادرة على توليد الموجات فوق الصوتية فإن الموجات فوق الصوتية عبارة عن موجات صوتية ذات نطاق تردد يتراوح (20 KHZ – 10 MHZ) وتم تحديد المزيد من التقسيمات الفرعية ضمن هذا النطاق قد يكون لهذه التقسيمات الفرعية في الواقع خصائص مختلفة إلى حد كبير اعتمادًا على التردد الذي تتولد فيه وكمية الطاقة المولدة من المجال الصوتي على وجه الخصوص ، تؤثر الموجات فوق الصوتية على التفاعل الكيميائي ويتم تجميعها في فئتين فرعيتين:

- عالية الطاقة في الموجات فوق الصوتية تتميز بالترددات المنخفضة

(20 KHZ – 100 KHZ) والتي تستخدم في بعض تقنيات الغذاء وعمليات الطاقة الوسيطة للموجات فوق الصوتية التي تتميز بالترددات المتوسطة (100 KHZ – 1 MHZ) . [1]

- الموجات فوق الصوتية التشخيصية منخفضة الطاقة التي تستخدم في القياسات الفيزيائية وبشكل أساسي للاستخدامات الطبية والتشخيصية. [1]

وتتميز بالترددات العالية (5 MHZ _ 10 MHZ)، على الرغم من أن التجويف يعتبر حدثًا يجب تجنبه في العديد من المجالات إلا أن المجالات الأخرى تستغل التجويف الناتج بطريقة خاضعة للرقابة مثل الجيش الذي يستخدم طوربيدات تنتقل بسرعات عالية جدًا أو أنظمة التنظيف بالموجات فوق الصوتية المستخدمة لتنظيف الأشياء الصغيرة حيث تنفجر الفقاعات من الداخل حتى تنظف الأسطح الأكثر حساسية والتي يصعب الوصول إليها، وفي المجال الطبي يتم استخدام التجويف الخاضع للرقابة لإزالة حصوات الكلى (تفتيت الحصوات) والتي يتم سحقها بدقة من خلال تكوين فقاعات دقيقة تنفجر التكوينات الصلبة داخل الكلى ، وكذلك للتشخيص والتأثيرات الحرارية المسكنة علاوة على ذلك تم استخدام الموجات فوق الصوتية كعلاج للعديد من الأمراض بما في ذلك الجلطات الدموية وتصلب الشرايين

والسرطان ، وقد سمحت دراسة انتشار الموجات فوق الصوتية في البشر ببناء أدوات تشخيص طبية مستقرة تستخدم في أمراض النساء والجهاز الهضمي وعلم الأوعية الدموية وأمراض القلب ، والتي تستغل الصدى العائد الناتج عن الموجة فوق الصوتية التي تنتشر داخل جسم الإنسان وهي تباطأ بطريقة مختلفة من خلال الهياكل التشريحية المختلفة التي تعبرها .[1] علاوة على ذلك وبسبب المعاوقة الصوتية المختلفة للأنسجة المختلفة على وجه التحديد فقد تم استخدام الموجات فوق الصوتية لتحديد التأثيرات البيولوجية المختلفة من بينها التأثير الحراري ، كان الاستخدام الأصلي للموجات فوق الصوتية في جراحة العظام والطب الطبيعي والطب الرياضي لتثبيط الألم وخاصة في مجال جمالي لعلاج السمنة الموضعية والسيلوليت ، يستخدم التردد العالي / الطاقة المنخفضة في الموجات فوق الصوتية (تشخيص الموجات فوق الصوتية) بشكل أساسي كأسلوب تحليلي لمراقبة الجودة وخطوات المعالجة وللفحص غير المدمر الذي تم تطبيقه لتحديد تركيز ولزوجة وتكوين الطعام ، من بين أمور أخرى المعلمات .[1]

(1.3) خصائص الموجات فوق الصوتية

فيما يأتي بعض خصائص الموجات فوق الصوتية:

1. تنتشر الموجات فوق الصوتية في خطوط مستقيمة دائمًا.
2. تكون حزمة الموجات فوق الصوتية ضيقة جدًا، إذ تنتشر الموجات فوق الصوتية عبر الأنسجة كحزمة ذات أبعاد محدودة.
3. تهتز الموجات فوق الصوتية بتردد أكبر من النطاق المسموع للبشر، وهو يقدر بـ 20 كيلوهرتز تقريبًا.
4. تمتلك أطوالًا موجية صغيرة، ونتيجة لذلك، فإن قدرتها على الاختراق تكون عالية.
5. لا تنتقل الموجات فوق الصوتية عبر الفراغ.

6. تنتقل الموجات فوق الصوتية بسرعة الصوت في الوسط، وتكون في أقصى سرعتها الانتقالية في الأوساط الأكثر كثافة.
7. تنتقل الموجات فوق الصوتية بسرعة ثابتة في الأوساط المتجانسة.
8. تنتج الموجات فوق الصوتية اهتزازات عن انتقالها في السوائل منخفضة اللزوجة.
9. تخضع الموجات فوق الصوتية للانعكاس، والانكسار، والامتصاص.
10. تمتلك الموجات فوق الصوتية نسبة عالية من الطاقة، ويمكن أن تنتقل عبر مسافة كبيرة دون فقدان الكثير من طاقتها.
11. تنتج الموجات فوق الصوتية حرارة شديدة عندما تمر عبر الأشياء.
12. الموجات فوق الصوتية هي موجات طولية تنتج ضغطات وخلخلة أثناء انتقالها، وهي تطابق الموجات الصوتية في هذه الخاصية. [5.6]

الفصل الثاني

(2.1) نبذة تاريخية لتطور أجهزة الموجات فوق الصوتية

بدأت أول الأبحاث في الموجات الصوتية منذ عام 1822 عندما سعى عالم الفيزياء (دانيل كو لادين) السويسري الأصل لحساب سرعة الصوت عن طريق جرسه المائي في مياه بحيرة (جنيفا)، والتي أدت إلى وضع (نظرية الصوت) في عام 1877 بجهود العالم لورد ريليه والتي شرحت الأساسيات الفيزيائية لموجات الصوت وانتقاله وارتداده، وتوالت الأبحاث تباعاً حتى كان تصميم أول نظام رادار صوتي والمعروف باسم (Sonar) في الولايات المتحدة عام 1914 لأغراض الملاحة البحرية ولتحديد أماكن المارينز الألماني في الحرب العالمية الأولى ولم توظف الموجات فوق الصوتية لخدمة الأغراض الطبية حتى بداية الأربعينات على يد دكتور الأعصاب النمساوي (كارل ثيودو) والذي يعتبر أول طبيب استخدم الموجات فوق الصوتية في التشخيص الطبي وقد واجه في ذلك صعوبات بسبب امتصاص عظام الجمجمة لمعظم طاقة الموجات فوق الصوتية . [7] وبعد حصيلة جهود مكثفة للفيزيائيين والمهندسين الميكانيكيين والكهربائيين والبيولوجيين بالتعاون مع الأطباء ومبرمجي الكمبيوتر والباحثين ودعم الحكومات ابتدأ التشخيص بالموجات فوق الصوتية ليأخذ محله في عيادات الأعصاب والقلب والعيون ولتتطور الموجات من A-Mode محدودة الاستخدام إلى B-Mode والتي سعى العالم (دوغلاس هوري) كفني أشعة لاستغلالها في التشخيص لقدرتها على اختراق الأنسجة بهدف الدراسة التشريعية لأعضاء الجسم في جامعة (كولورادو) في تعاون مع زميله أخصائي الكلى جوزيف (هوملس) والذي بدوره تبنى الابحاث الطبية على هذا الصعيد وقام بتوجيهها وبتعاون العلماء والمهندسين (بيلز و بوساكوني) كان أول جهاز التراساوند ثنائي الأبعاد يعمل بنظام B-Mode عام 1951 ، وتوالت الاجهزة التي تعمل في هذا النظام إلا أنها جميعا كانت كبيرة الحجم ، وعلى المريض أن ينغمس كليا أو جزئيا في الماء في وضعية السكون لفترة زمنية طويلة الأمد الذي جعله غير عملي ويستحيل وجوده في عيادات الاختصاص، وفي أواخر

عام 1955 بدأ العالم بتطوير هذه الأجهزة لتصبح أكثر حساسية وأقل حجما وأكثر سهولة في طريقة الفحص حتى توصلوا للذراع المعدني المتحرك والذي يوضع على المكان المخصص للفحص ، ومع الثمانينات حدثت ثورة حقيقية في عالم الموجات فوق الصوتية وهي ما يسمى (Real time scanner) أي التصوير الحي (ثنائي الأبعاد B-Mode) والذي عن طريقه تم التعرف على حياة الجنين الفعلية وحركاته وتصرفاته ونبضات القلب والتنفس في رحم الأم ، وكان أول جهاز فعال في هذا المجال عام 1985 في ألمانيا وكانت الثمانينات هي ميدان التنافس للشركات المصنعة لأجهزة الالتراساوند لتقديم أدق الصور وأوضحها، وهكذا اتضحت معالم علم جديد في تخصص النسائية والتوليد (تشخيص وسلامة الجنين). [7]

وبعد هذه المراحل العريقة في تاريخ الموجات فوق الصوتية وبعد ثورات العلم المتأججة على كل صعيد ومتطلبات العصر المتجددة غدت أجهزة الالتراساوند الثنائية الأبعاد غير مرضية بالرغم من كل النجاح الذي حققته وتوجـه العلماء نحو البعد الثالث للحصول على صور حية مجسمة لما يحدث في جسم الإنسان، وفي اليابان في جامعة طوكيو كان أول تقرير حول نظام الأبعاد الثلاثية (الطول العرض العمق أو الارتفاع) عام 1984 وأول محاولة ناجحة في الحصول على صورة جنين ثلاثية الأبعاد من صورة ثنائية الأبعاد عن طريق الكمبيوتر كانت عام 1986 . [7] وبعد تطوير أجهزة التراساوند مستقلة ثلاثية الأبعاد كانت المشكلة في الفترة الزمنية التي يستغرقها التقاط كل مقطع حيث تتجاوز العشر دقائق وهو ما يستحيل معه العمل سواء للطبيب المعالج أو المريض وبالتالي يستحيل معه التسويق، ومع الجهود المكثفة والتطوير المستمر كان أول جهاز التراساوند ثلاثي الأبعاد يأخذ محلا تجاريا في الأسواق في عام 1989 في النمسا واستمر العالم وخصوصا في اليابان والنمسا وبريطانيا وكندا وحتى الصين في دفع عجلة التطور هذه حتى بدأت الأبحاث حول رباعي الأبعاد في لندن عام 1996 عندما بزغت فكرة

التصوير ثلاثي الأبعاد الحي وليكون للبعد الرابع وهو البعد الزمني دوره في إعطاء صورة حقيقية حية بأسلوب عملي وما كان ذلك ليكون لولا التطورات الهائلة في علم الكمبيوتر والسرعة الهائلة في إجراء العمليات الحاسوبية ومن هنا كانت قصة البداية. [7]

(2.2) ماهي الموجات فوق الصوتية ؟

الموجات فوق الصوتية الالتراساوند هي تكنولوجيا تستخدم الموجات فوق الصوتية في التصوير الطبي وتستخدم موجات صوتية ذات ترددات اكبر من 20 كيلو هرتز أي أكبر من الترددات التي تسمعها أذن الإنسان وتعتمد فكرة عمل تلك الأجهزة الطبية على الموجات الفوق صوتية التي تسقط على الجسم وتنعكس عنه مثل ما يقوم الخفاش الذي يطير في الليل مستعينا بالموجات فوق الصوتية التي يحدثها لتسقط على الأجسام أمامه وتنعكس عنها ويسمعها فيحدد مساره دون الحاجة إلى حاسة الإبصار ليستدل على الطريق ولذلك يستطيع الطيران في الليل، كما تستخدم الحيتان في البحر الموجات فوق الصوتية وتستخدمها الغواصات البحرية كجهاز رادار يعمل في أعماق المحيطات لكشف الغواصات المعادية . [7]

(2.3) فكرة عمل الموجات فوق الصوتية

1. يرسل جهاز الموجات فوق الصوتية موجات صوتية بترددات صوتية عالية تتراوح بين (1 – 5 MHz) على صورة نبضات توجه إلى جسم الأنسان من خلال مجس خاص.
2. تخترق الموجات فوق الصوتية جسم الأنسان لتصدم بالفواصل والحدود الموجودة بين طبقات الجلد وبين طبقة الجلد والعظم.
3. جزء من الموجات فوق الصوتية تنعكس على الحدود الفاصلة بين مكونات جسم الأنسان وتعود إلى المجس بينما تستمر باقي الموجات فوق الصوتية لتخترق طبقات أعمق في الجسم لتصل إلى حدود فاصلة أخرى وتنعكس عندها وترتد إلى المجس .
4. يلتقط المجس الموجات فوق الصوتية المنعكسة تباعا عن طبقات جسم الأنسان التي أخترقها ويغذي فيها جهاز الموجات فوق الصوتية .
5. يقوم جهاز الموجات فوق الصوتية بحساب المسافة بين المجس وطبقة الجلد أو العضو الذي أنعكست عنه الموجات الفوق الصوتية مستخدما سرعة تلك الموجات في جسم الأنسان والتي تبلغ 1540 m/s ومستخدما الزمن الازم للعودة (6 – 10 S) الموجات الصوتية للمجس تكون في حدود الميكوثانية.
6. يظهر جهاز الموجات فوق الصوتية العلاقة بين المسافة وشدة الإشارة المنعكسة من جسم الانسان لتكون توزيع ثنائي الابعاد للمسافة والشدة والتي تعبر عن الصورة التي تشاهدها على جهاز الموجات فوق الصوتية والموضحة في الشكل التالي :

الشكل (2.1): صورة موجات فوق الصوتية لجنين في الأسبوع الثاني عشر ويظهر على اليمين الرأس ومن العنق وباقي الجسم الى اليسار . [7]

في أي جلسة للتصوير وباستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية فإن ملايين النبضات الصوتية التي ترسل للجسم وتستقبل مرة أخرى لتحلل وتحسب المسافة القادمة منها تلك الموجات لتعطي الصورة التي نراها كما أن تحريك المجس من مكان لأخر يمكن أن يعطي صورة من منظور مختلف .[7].

(2.4) مكونات جهاز الموجات فوق الصوتية

يتكون جهاز الموجات فوق الصوتية من الأجزاء الرئيسية التالية :

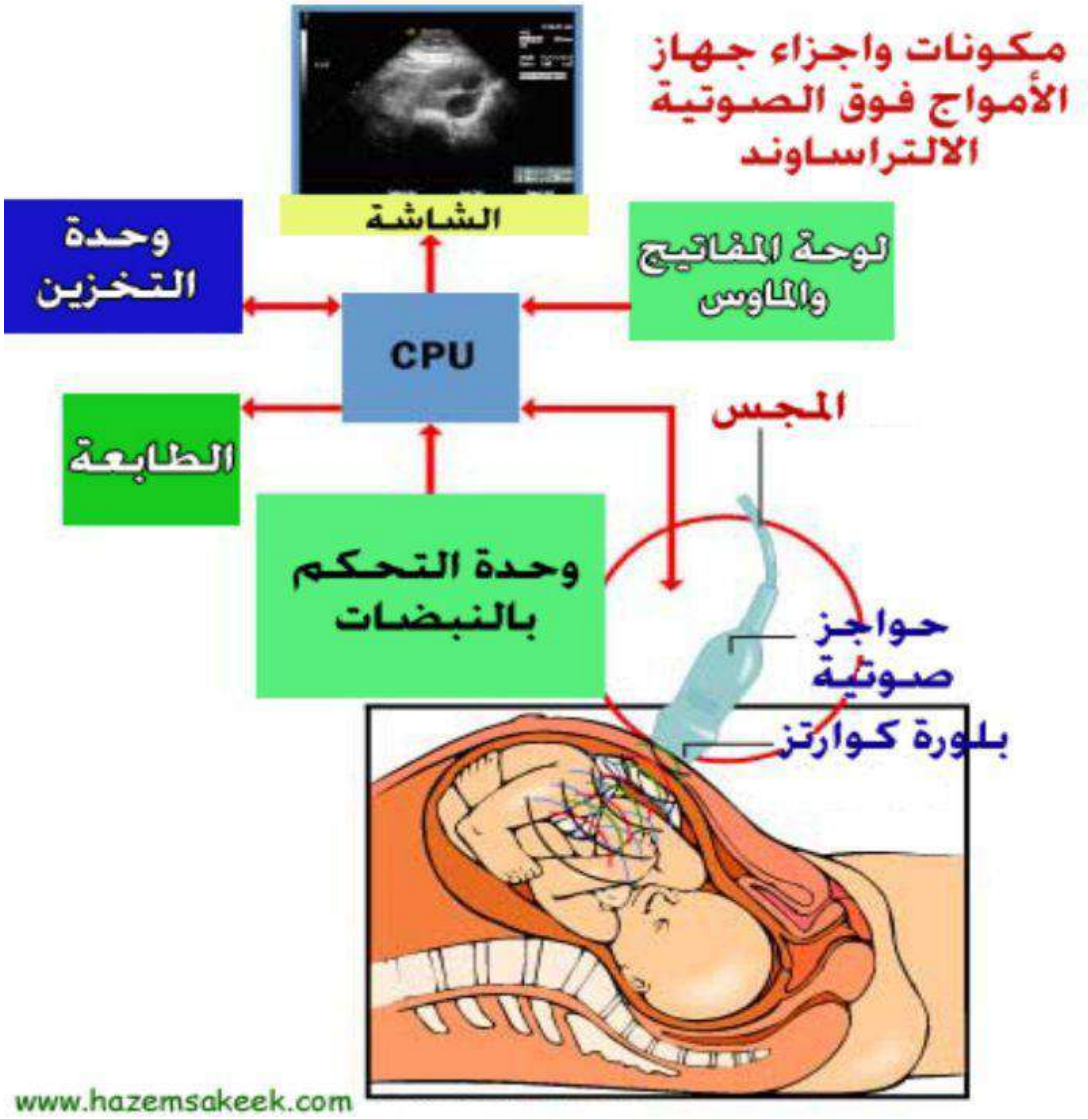
1. المجس .
2. وحدة التحكم المركزية .
3. وحدة التحكم بالنبضات .
4. شاشة العرض .
5. لوحة المفاتيح والماوس .
6. وحدة تخزين .
7. طابعة .

(2.4.1) المجس

يعتبر المجس المستخدم في أجهزة الموجات فوق الصوتية هو الجزء الرئيس للجهاز، ووظيفة المجس تكمن في اصدار الموجات الصوتية ورصد الصدى المرتد عن أنعكاسها ، يمكن تشبيهه بالفم الذي يتحدث والأذن التي تسمع لجهاز الموجات فوق الصوتية وتعتمد فكرة عمل المجس على ظاهرة البيزوالكترك piezoelectric effect والتي تعني ظاهرة الضغط لتوليد الكهرباء والتي اكتشفها العالم بير وكيوري Pierre and Jacques Curie في عام 1880 ، وهي عبارة عن بلورة كوارتز عند تطبيق تيار كهربائي على بلورة الكوارتز فإن البلورة يتغير شكلها بسرعة في صورة اهتزازات سريعة جداً تصدر الموجات صوتية ، والعكس يحدث عندما تصطدم الموجات صوتية تؤدي البلورة للاهتزاز فإن تيار كهربي يتولد عنها، وبهذا يمكن استخدام نفس بلورة الكوارتز لإصدار الموجات فوق الصوتية واستقبالها مع تزويد المجس بمادة تمتص الصوت حتى لا يحدث تشويش بين الصوت الصادر والصوت المنعكس، كذلك يزود المجس بعدسة صوتية acoustic lens لتركيز الموجات الصوتية الصادرة من المجس. [7]

شكل (2.2): جهاز الموجات فوق صوتية ومعه عدة أنواع من المجسات المستخدمة [7]

يتم تصنيع هذه المجسات لتأخذ أشكالا وأحجاما مختلفة لتستخدم حسب المنطقة المراد تصويرها بجهاز الموجات فوق الصوتية وكل مجس يصدر تردد مختلف من الموجات فوق الصوتية لتحدد العمق الذي يجب ان تخترقه هذه الموجات داخل جسم الإنسان للحصول على الصورة المطلوبة وبدقة عالية، ويمكن ان تحتوي المجسات على أكثر من بلورة كوارتز وكل بلورة كوارتز يجب ان يكون لها دائرتها الكهربائية المنفصلة، ويستخدم هذا النوع من المجسات المزودة بأكثر من بلورة للتحكم في الفارق الزمني الموجات الصوتية الصادرة عن كل بلورة والذي يساعد على تحريك الموجات الفوق الصوتية داخل الجسم . [7]



شكل (2.3): يوضح أجزاء جهاز التصوير باستخدام الأمواج فوق الصوتية . [7]

ومن أنواع المجس :

1- خطي

يستخدم تردد صوتي عالي (7 MHz) وينتج موجات صوتية خطية متوازية للتصوير الاجزاء السطحية من الجسم كالغدة الدرقية . [8]

2- منحنى

يتراوح عدد ترددات الموجات الصوتية المستخدمة فيه من (2-5 MHz) ليمكنه من الدخول لمناطق أعمق في الجسم كأعضاء المنطقة البطنية من كبد وكلى.[8]

3- المصفوفي

يستخدم للتصوير ثلاثي الابعاد التردد الموجي يكون بين (1-3 MHz) ويقوم بالتصوير في أتجاهين مختلفين بجودة عالية في نفس الوقت . [8]

(2.4.2) وحدة التحكم المركزية

وتمثل هذه الوحدة عقل الجهاز وهو عبارة عن جهاز كمبيوتر متصل بالمجس ويزوده بالطاقة الكهربائية ، وتقوم وحدة التحكم المركزية بإرسال التيار الكهربائي للمجس ليصدر الموجات فوق الصوتية وكذلك يستقبل النبضات الكهربية الناتجة من المجس عند استقبالها الموجات فوق الصوتية المرتدة عن أجزاء الجسم المراد تصويره ، وتقوم وحدة المعالجة المركزية بكافة الحسابات التي تمكن من رسم العلاقة بين المسافة وشدة الأشعة المرتدة لتكوين الصورة على الشاشة . [7]

(2.4.3) وحدة التحكم بالنبضات

وهي توفر الإمكانية للطبيب الذي يشغل الجهاز أو الفني المختص بإدخال قيمة التردد وزمن النبضات الصوتية الصادرة من المجس والتي يجب تحديدها مسبقا

حسب العضو المراد تصويره وكذلك تقوم هذه الوحدة بالتحكم بآلية المسح المستخدمة بواسطة الجهاز لأظهار الصورة . [7]

(2.4.4) الشاشة

وهي عبارة عن شاشة عرض عادية كالمستخدمة في الكمبيوتر والتي تظهر نتيجة الحسابات التي قامت بها وحدة المعالجة المركزية ويمكن أن تكون الشاشة أبيض وأسود أو شاشة ملونة حسب نوع ومواصفات جهاز الموجات فوق الصوتية . [7]

(2.4.5) لوحة المفاتيح والماوس

وهي الأدوات التي يستخدمها الطبيب أو الفني المختص لتشغيل برنامج الجهاز وإجراء عمليات حفظ الصورة على ملف معدني وعمل بعض القياسات لحساب الابعاد مستعينا بالصورة الظاهرة على الشاشة. [7]

(2.4.6) وحدة التخزين

تستخدم لحفظ الصور التي ظهرت على الشاشة ووسائط التخزين هي نفسها المستخدمة في الكمبيوتر وتشمل الاقراص الصلبة hard disks أو الاقراص المرنة floppy disks او الاقراص المدمجة DVD أو CD وتستخدم لعمل أرشيف طبي يحفظ لتتبع حالة المريض في مرات أخرى . [7]

(2.4.7) الطابعة

وفي الأغلب طابعات كمبيوتر ولكن من النوع الحراري المعروف باسم

الطابعات الحرارية .[7]

(2.5) عمل الجهاز

مبدأ عمل جهاز الموجات فوق الصوتية

عند توصيل جهاز الموجات فوق الصوتية بالكهرباء سيمر التيار الكهربائي إلى الكرستالات المكونة للمسبار (المجس) مما يؤدي إلى اهتزازها مكونة تأثير يسمى (بيزوالكتريك) كهروضغطية حيث يعتمد على الضغط تنتج الموجات فوق صوتية نتيجة للضغط الذي يؤدي الى تمدد وانكماش الكرستالات بعد مرور التيار الكهربائي فيها بتردد يتراوح بين (2-15 MHZ) فتعبر خلال الجسم وتمر بأحد هذه التفاعلات مع انسجة الجسم الداخلية :

- التخفيف : تقليل كثافة الموجات .
- الانكسار : تغيير في اتجاه وسرعة الموجات .

تخفيف أو تقليل الموجات له ثلاث انواع :

1- الانعكاس

عندما تسقط الموجات بنسيجين مختلفين فإن جزء منها ينعكس ويرتد للمسبار، وتعتمد نسبة الموجات المرتدة على الفرق بين المقاومة في النسيجين ، وكلما زاد الفرق بين النسيجين في المقاومة زادت نسبة الموجات المنعكسة هذا هو اساس تكوين صور الموجات فوق صوتية الاختلاف في كثافة ومقاومة الانسجة للموجات في بعض الحالات قد تكون الفرق بين المقاومة في الانسجة عالي جدا مما يسبب في انعكاس كامل الموجات . [11]

2- الامتصاص

هو الشكل الرئيسي للتخفيف ويحدث الامتصاص عند عبور الموجات خلال الانسجة الرخوة فتنتج حرارة وفقدان للطاقة الموجية نتيجة للاحتكاك، ويزيد فقدان الطاقة الصوتية مع الزيادة في العمق . [11]

3- الانتشار المبعثر

اذا كان طول الموجة أكثر من المكان المراد فان الارتداد الموجي لا يكون بشكل مستقيم ولكن بعدة اتجاهات عدا الاتجاه الصحيح ناحية المسبار(المجس) . [11]

(2.6) العوامل المؤثرة على تخفيف الموجات الصوتية

1. التردد الموجي كلما زاد التردد زاد التخفيف وقل الاختراق الموجي للجسم.
2. نوع الانسجة التي تمر من خلالها الموجات.
3. عمق الأنسجة المراد تصويرها ، نقل طاقة الموجات كلما زاد العمق .

تقنية تصوير الجسم بالموجات فوق الصوتية تعتمد على اسقاط حزمة صوتية والتقاط الانعكاس المرتد من العضو مكونا صور تتدرج من الأسود إلى الابيض نتيجة الاختلاف المقاومة الصوتية بين انسجة الجسم، بحيث تظهر الانسجة ذات المقاومة العالية بيضاء والانسجة العديمة المقاومة سوداء . [11]

(2.7) انواع أجهزة الموجات فوق الصوتية

الأجهزة التي تحدثنا عنها حتى الآن هي أجهزة للتصوير ثنائي الأبعاد ولكن هناك نوعان من الأجهزة التي تستخدم نفس التقنيات وهي أجهزة التصوير ثلاثية الأبعاد وأجهزة دوبلر للموجات فوق الصوتية . [7]

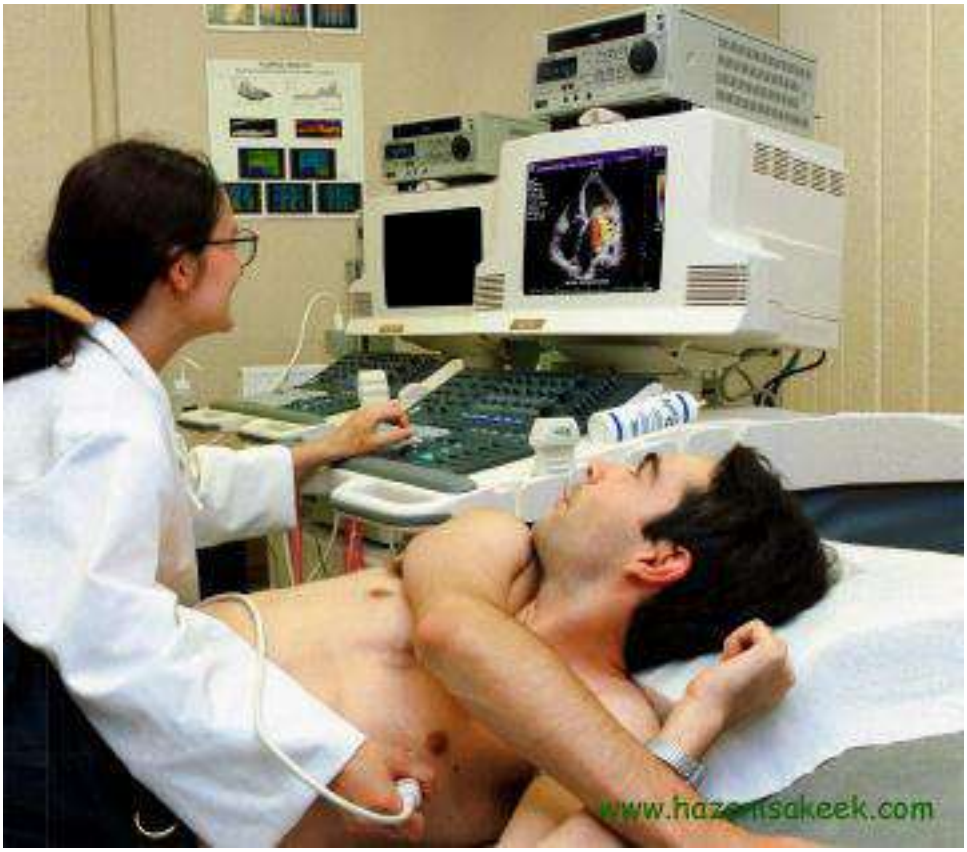
(2.7.1) أجهزة التصوير ثلاثية الأبعاد

وتعتمد فكرة هذا الجهاز للحصول على صور مجسمة ثلاثية الأبعاد للأعضاء الداخلية في جسم الإنسان أو للجنين من خلال تمرير المجس فوق الجسم أو إدارة المجس حول الجسم لأخذ عدة صور ويقوم جهاز الكمبيوتر بتكوين الصور المجسمة منها . [7]

شكل (2.4): صورة ثلاثية الأبعاد باستخدام التقنيات الحديثة للتطوير بالموجات فوق الصوتية [7] .

(2.7.2) أجهزة دوبلر للأمواج فوق الصوتية

وهي أجهزة تستخدم ظاهرة دوبلر وفكرتها أن الموجات الفوق الصوتية المنعكسة عن الأعضاء المتحركة تحدث تغيير في التردد بين الموجات الفوق الصوتية المرتدة والموجات الفوق الصوتية الساقطة على الجسم ، ومن فارق التردد بين الموجات المرتدة والصادرة يمكن حساب سرعة هذه الأعضاء بدقة مثل حساب سرعة تدفق الدم من القلب وإلى الأوعية الدموية والشرايين . [7]



شكل (2.5): استخدام جهاز دوبلر للموجات فوق الصوتية لقياس سرعة تدفق الدم خلال القلب . [7]

(2.8) مخاطر استخدام الموجات فوق الصوتية

بالرغم من أنه لم تسجل أي حالات مرضية في كلا من الإنسان أو الحيوان الذي تعرض لفحوصات أو علاج بواسطة الموجات فوق الصوتية وأن هذه الأجهزة ستبقى مستخدمة كأحد وسائل التشخيص بدون إجراء جراحة أو استخدام مواد مشعة تحقن في المريض إلا أنه ينصح باستخدامها كلما دعت الضرورة فقط ، وذلك تفاديا لتعرض أجزاء من جسم الإنسان للطاقة الصوتية الناتجة عن الموجات فوق الصوتية والتي تمتص بسهولة في الماء الموجود في الأنسجة الحية مما يسبب ارتفاع موضعي في درجة الحرارة للمناطق المعرضة للموجات فوق الصوتية .[7] حيث يعتبر المسح الفوق الصوتي مهم عندما يكون هناك فائدة طبية أما الاستخدام غير الضروري والمتكرر على سبيل المثال لمعرفة جنس الجنين أو تحديد وضعه أو وزنه وطوله أو كمية المياه فال داعي له ، من المهم جدا أن نعرف التاريخ الدقيق لفترة الحمل ومن المؤكد أنها مفيدة لمعرفة تفاصيل الجنين لكننا لا ينبغي أن نستعملها على بطن الام لساعات وساعات ، كما وقد أكدت دراسة قامت بها الجامعة الالمانية تشير إلى أن التعرض للموجات فوق الصوتية خلال المسح بالموجات فوق الصوتية الروتينية يمكن أن يؤثر على نمو دماغ الجنين ويشجع الباحثون النساء الحوامل على تجنب التصوير بالموجات فوق الصوتية التي لا لزوم لها حتى يتم إجراء مزيد من البحوث بالرغم من أن آثار الموجات فوق الصوتية في تنمية العقل البشري غير مفهومة تماما إلا أنها تسبب الظروف الصحية التالية :

1- التخلف العقلي .
2- عسر القراءة .
3- صرع الطفولة .
4- الفصام .
5- اضطرابات التوحد .
6- التلعثم في الكلام .

7- الاضطرابات في السلوك .

سببها أن خاليا الدماغ في غير موضعها أثنا التطور الجنيني وهذا أحدث ما توصلت إليه الدراسات التي وجدت أن ذلك يحدث في الفئران الحوامل التي تعرضت للموجات فوق الصوتية . [8]

(2.9) فوائد الموجات فوق الصوتية للجسم

1- تعزيز زيادة إختراق المنتجات الجلدية .

2- تحسين الدورة الدموية المحلية والليمفاوية .

3- تحضير وتشبع غشاء الخلية .

4- تحفيز الخلايا عن طريق التدليك الصغير الذي يوسع المساحة التي توجد فيها الخلايا مما يؤدي إلى حركة السيتوبلازم – إهتزاز نواة الخلية . [8]

(2.10) التطورات والمستقبل

كلما تطورت أجهزة الكمبيوتر كلما تطورت أجهزة الموجات فوق الصوتية من ناحية السرعة والقدرة التخزينية للمعلومات ، كما جاري العمل على تطوير التصوير ثلاثي الأبعاد باستخدام الموجات فوق الصوتية وإنتاج اجهزة صغيرة الحجم ، أما التطور الأغرب والمشوق هو تحويل الصور المأخوذة من جهاز الموجات فوق الصوتية وتغذيتها لخوذة يضعها الطبيب على راسه لتبني مجسم وهمي للإنسان الذي يتم تصويره تمكن الطبيب من فحص الأجزاء الداخلية لجسم الإنسان . [7]

(2.11) تطبيقات الموجات فوق الصوتية

تستخدم الموجات فوق السمعية في تفتيت الحصاوي والتعرف عليها ومتابعة نمو الجنين وتستخدم كذلك في استكشاف النفط ومعرفة التكوينات الرسوبية والنارية لطبقات الأرض وفي تحديد عمق أبار النفط وكذلك تستخدم في التنظيف والكشف عن الأجسام الموجودة تحت الماء كالأسماك والخواصات وتستخدم أيضاً في الزراعة . [9] وتستخدم في مجالات متعددة ايضا منها :

(2.11.1) استخدامات الموجات فوق الصوتية الصناعية و النووية

تستخدم الموجات فوق السمعية في عدة تطبيقات ويمكن تصميم مولدات فوق صوتية وأجهزة تحسس فوق صوتية لأستخدامها في الكثير من التطبيقات حيث يستخدم في الكشف عن الالغام الأرضية وكذلك يستخدم في تعقيم الماء واللبن وكذلك يستخدم في الكشف عن التشوهات والشقوق داخل المواد وهي تقنية حديثة في مجال البنى التحتية من جسور وأنفاق .[9].

اما في المجال النووي يستخدم في مراقبة مدى صناعة التجهيزات وهي تقلل بشكل كبير من اخطار الحوادث المفاجئة حيث يحتوي الجهاز المستخدم على باعث ومستقبل للموجات فوق صوتية وهناك تطبيقات أخرى في حساب أعماق البحار حيث يحتوي الجهاز المستخدم على باعث ومستقبل للموجات فوق صوتية حيث يطلق الباعث خلال وقت قصير جداً (نانوثانية)موجات ترددها يتراوح بين (50 KHZ إلى 200 KHZ) ، وعندما ترتد الموجات فوق الصوتية يستقبلها المستقبل حيث تقاس الفترة الزمنية لذهاب وإياب الموجة وبمعرفة سرعة الموجات فوق الصوتية في الماء يمكن معرفة عمق المياه في هذه المنطقة وتستعمل هذه الطريقة أيضاً للكشف عن أسراب السمك. [9]

تستخدم أيضاً في فحص المعادن وذلك للكشف عن مواضع الصدوع والشقوق والفقاعات في المعادن وذلك بوضع مصدر الموجات فوق صوتية ملاصقاً لسطح المعدن المراد فحصه وتستقبل الحزمة المارة خلال المعدن من الجهة الأخرى المقابلة للمصدر. ويقاس مقدار الإمتصاص في طاقة الموجة ويتم فحص جميع أجزاء القطعة ،فإذا ظهر إختلال في مقدار الإمتصاص الحاصل للموجات فوق الصوتية النافذة من المعدن فهذا يدل على وجود ثقب او صدع ويمكن تحديد مكانه ، وتستخدم الموجات فوق السمعية في التعقيم وذلك عند مرور الموجات فوق الصوتية في سائل تزداد سرعة وتعجيل جسيمات الوسط المتذبذبة ونتيجة لذلك تحدث انقطاعات في اتصالات السائل تظهر وتختفي باستمرار وهذه الإنقطاعات تمثل فقاعات بالغة الدقة وعند الإنقطاع يحدث إرتفاع لحظي في الضغط يصل إلى ألاف المرات بقدر الضغط الجوي لذا تقوم بتفتيت ما يوجد في السائل من أجسام صلبة او كائنات حية او جزيئات وبهذه الطريقة أيضاً يتم إزالة الدهون وطبقات أكاسيد من سطوح الأجسام وتخريم الزجاج والسيراميك . [9]

(2.11.2)استخدامات الموجات فوق الصوتية في الطب

نسمع كثيراً عن استخدام الموجات فوق الصوتية في تصوير الجنين في رحم الأم وهو في مراحل تكوينه ، وفي مرات أخرى نسمع عن استخدامها في تفتيت الحصى دون إجراء العمليات الجراحية ،كما تستخدم الموجات فوق الصوتية في تدفق الدم في الأوردة للأطمئنان على سالمة المريض ، وتعد الاستخدامات لهذه الموجات في مجال الطب من الأساسيات التقنية للتشخيص دون إجراء العمليات الجراحية . [9]

ومن هذه الاستخدامات :-

- ❖ الكشف عن الاورام السرطانية .
- ❖ تشخيص تضخم غده البروستاتا عند الرجال ومدى تأثيرها على المثانة.

- ❖ تفتيت حصوات الكلي والحالب بدون اجراء عمليات جراحية .
- ❖ المراقبة الغير صناعية CND للكشف عن التشوهات والشقوق داخل المواد وهي تقنية تعتبر حديثة في مجال صيانة البنى التحتية من جسور وانفاق وبنايات كما تستعمل في المجالات النووية لمراقبة مدى صناعة الابنية والتجهيزات وهي ايضاً تقلل بشكل كبير من اثار الحوادث المفاجئة ولها استعمالات كثيرة أخرى . [10]

يستخدم المسح بالموجات فوق الصوتية في الطب للكشف عن وضع الجنين داخل الرحم وفي تشخيص أمراض القلب ،حيث تستخدم موجات صوتية ترددها (21 ميجا هيرتز _ 15ميجاهيرتز) ويستخدم لهذا الغرض كاشف يمثل الباعث والمستقبل في آن واحد حيث يبعث نبضة من الموجات فوق الصوتية ثم يستقبل الموجة المنعكسة ،يحدث الإنعكاس من سطح العضو المراد فحصه (القلب _ الكبد _ الرحم) في حين أن العظام والعضلات والتي تحتوي على الهواء وتمتص الموجات فوق الصوتية وبذلك تتكون صور لهذه الأعضاء وعند فحص المرأة البد ان تكون مثانتها مليئة لأن الماء يساعد على إختراق الموجات فوق الصوتية وتستخدم الموجات فوق الصوتية أيضاً للتدليك وكذلك تدمير الخلايا السرطانية وتحطيم الحصى في الكلى . [9] ومن الأستخدامات المهمة للموجات فوق الصوتية هو استخدامها في الطب وبالذات في الكشف عن الجنين في بطن أمه وهل هو حي ام ميت حيث أنه عندما يسلط الطبيب مصدر تلك الموجات على رحم الأم تنعكس تلك الموجات وعندما يكون قلب الجنين ينبض فإن زمن إنعكاس او ارتداد تلك الموجات يختلف تبعاً لإنقباض عضلة قلب الجنين وانبساطها وذلك يعود لتغيير بسيط في المسافة التي تقطعها الموجة قبل أن ترتد مما يعطي الجهاز المستقبل الموجات المنعكسة الفرصة لتسجيل تلك النبضات وبالتالي تظهر على شاشة الطبيب حركة القلب اي ان الجنين يكون حياً ، لكن لو كان الجنين ميتاً فإن الموجات ترتد في نفس الزمن . [11]

كما أن الموجات فوق الصوتية تستخدم في تشخيص أورام البطن والحوض وفي الكشف عن العديد من أمراض الجهاز الهضمي والبولي وكذلك في فحص الغدة الدرقية والثدي إلى جانب فحص الخصية ويستخدم نظام خاص هو الدوبلير في معاينة جريان الدم في الأوعية الدموية لذا فهو يستخدم في تشخيص أمراض الأوعية الدموية ، تستخدم ايضاً الموجات فوق الصوتية في فحص أجهزة الجنين حيث تساعد هذه الموجات على فحص أجهزة الجنين المختلفة وإكتشاف وجود امراض او عيوب خلقية من الممكن أن يتم عالجها خلال الحمل ، كما يتم أيضاً تحديد نوع الجنين (جنسه) وأحياناً يفضل الأطباء عدم ذكر نوع الجنين حتى لا تهمل الأم الحمل ، كما أن للموجات فوق الصوتية تطبيقات كثيرة في مجال إكتشاف أمراض النساء وذلك من خلال متابعة التبويض وقياس حجم البويضة وإكتشاف كفاءة المبيض في إنتاج بويضات ، كما أن الموجات فوق الصوتية تستخدم لفحص الجهاز التناسلي وإكتشاف أي أورام ليفية بالرحم او وجود أكياس بالمبيض كما يتم فحص الجهاز التناسلي في حالات وجود نزيف رحمي غير وظيفي لمعرفة سبب النظيف واستبعاد أورام قد تسبب النزيف ،كما تساعد في التأكد من وجود الرحم في وضعه الطبيعي . [9]

(2.11.3) استخدامات اخرى للموجات فوق الصوتية

تعتبر اجهزة الموجات فوق الصوتية من أهم الأجهزة التي تستخدم في العالج الطبيعي وخاصة في الأصابات التي يطلق عليها إصابات الملاعب والتي تشمل كدمات العضلات والأربطة والتهابات المفاصل وتستخدم ايضاً في إدخال المواد المسكنة للجسم وتساعد في إلتئام الجروح السطحية والعميقة وهذه مهمة جداً وخاصة في حالات مرضى السكري الذين يعانون من صعوبة إلتئام الجروح.

والأن تستخدم في إزالة الدهون من الأماكن غير المرغوب في الجسم وأيضاً في مجال طب الأسنان وبالتحديد في إزالة التكلسات المترسبة على الأسنان . [9]

المصادر

1. Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. Foods, 7(10), 164.
2. Figarol, A., Olive, L., Joubert, O., Ferrari, L., Rihn, B. H., Sarry, F., & Beyssen, D. (2022). Biological Effects and Applications of Bulk and Surface Acoustic Waves on In Vitro Cultured Mammal Cells: New Insights. Biomedicines, 10(5), 1166.
3. Brugger, M. S., Baumgartner, K., Mauritz, S. C., Gerlach, S. C., Röder, F., Schlosser, C., ... & Westerhausen, C. (2020). Vibration enhanced cell growth induced by surface acoustic waves as in vitro wound-healing model. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(50), 31603-31613.
4. Levario-Diaz, V., Bhaskar, P., Carmen Galan, M., & Barnes, A. C. (2020). Effect of acoustic standing waves on cellular viability and metabolic activity. Scientific Reports, 10(1), 8493.
5. Kossoff, G. (2000). Basic physics and imaging characteristics of ultrasound. World journal of surgery, 24(2), 134-142.
6. https://byjus.com/jee/properties-of-ultrasonic-waves/

7. اجهزة التشخيص الطبية ، الدكتور حازم فلاح سكيك ، من اصدارات شبكة الفيزياء التعليمية سلسلة تبسيط الفيزياء ، 2013 .

8 . عوض، & عائشة رابح محمد. (2017). مقارنة بين التصوير بالموجات فوق الصوتية والتصويرالإشعاعي تقنياتا لا إتلافية

(جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا ,Doctoral dissertation) .

9 . إبراهيم، زينب بابكر، الزين، رندة أحمد، محجوب، & مودة الجعلي. (2016). فيزياء الموجات الصوتية

(جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا ,Doctoral dissertation) .

10 . حسن، نازك فوزي، يحي، قمرة داؤد، إسماعيل، هبة عثمان، ... & منى الحضري. (2016). تفتيت الحصاوي بالموجات فوق الصوتية .

11 . حلواني، & أمنية صلاح أحمد. (2016). إستخدام الموجات فوق الصوتية لتشخيص وعلاج المياه البيضاء في العين

(جامعة البطانة كلية الدراسات العليا ,Doctoral dissertation) .