Intensity and Power الشدة والقوة

Acoustic Power ***is the amount of acoustic energy generated per unit time***. Energy is measured in ***joules (J)*** with joules being ***the amount of heat generated by the energy***. The unit is the ***Watt (W) with 1W = 1J/s***. The ***biological effects of ultrasound*** in terms of power are in the ***milliwatt range***. Therefore the ***power is the rate of energy transfer and is expressed in the units of watts***. الطاقة الصوتية هي مقدار الطاقة الصوتية المتولدة لكل وحدة زمنية. يتم قياس الطاقة بالجول () حيث يمثل الجول كمية الحرارة الناتجة عن الطاقة. الوحدة هي واط () مع . التأثيرات البيولوجية للموجات فوق الصوتية من حيث الطاقة تقع في نطاق الملي واط. وبالتالي فإن الطاقة هي معدل نقل الطاقة ويتم التعبير عنها بوحدات الواط.

Intensity ***is the rate at which power passes*** through a specified area. It is the amount of ***power per unit area and is expressed in the units of watts per square centimeter***. Intensity is the rate at which ultrasound energy is applied to a specific tissue location within the patient's body. It is the quantity that must be considered with respect to producing ***biological effects and safety***. The intensity of most ***diagnostic ultrasound*** beams at the transducer surface is on the order of a ***few milliwatts per square centimeter***. الشدة هي المعدل الذي تمر به الطاقة عبر منطقة محددة. هي مقدار الطاقة لكل وحدة مساحة ويتم التعبير عنها بوحدات الواط لكل سنتيمتر مربع. الشدة هي معدل تطبيق طاقة الموجات فوق الصوتية على موقع معين من الأنسجة داخل جسم المريض. وهي الكمية التي يجب أخذها بعين الاعتبار فيما يتعلق بإنتاج التأثيرات البيولوجية والسلامة. تبلغ شدة معظم أشعة الموجات فوق الصوتية التشخيصية على سطح محول الطاقة بضعة ملي واط لكل سنتيمتر مربع.

Intensity is ***the power density or concentration of power within an area expressed as W/m^2 or mW/cm^2***. Intensity ***varies spatially within the beam and is greatest in the centre***. In a ***pulsed beam it varies temporally as well as spatially***. الشدة هي كثافة الطاقة أو تركيز الطاقة داخل منطقة يتم التعبير عنها بـ أو . تختلف الشدة مكانيًا داخل الشعاع وتكون أكبر في المركز. في الشعاع النبضي يختلف مؤقتًا ومكانيًا.

Therefore the ***intensity is related to the pressure amplitude of the individual pulses and the pulse rate***. Since the ***pulse rate is fixed*** in most systems, the ***intensity is determined by the pulse amplitude***. ولذلك ترتبط الشدة بسعة الضغط للنبضات الفردية ومعدل النبض. وبما أن معدل النبض ثابت في معظم الأنظمة، يتم تحديد الشدة من خلال سعة النبض.

Relative intensity of two pulses (I_1 and I_2) can be expressed in the units of decibels by: يمكن التعبير عن الشدة النسبية للنبضتين (1 و2) بوحدات الديسيبل بواسطة:

$$Relative\ Intensity = 10 \log I_2/I_1$$

Note that when ***intensities are being considered, a factor of 10 appears in the equation rather than a factor of 20***, which is used for relative amplitudes. This is because ***intensity is proportional to the square of the pressure amplitude***, which introduces a ***factor of 2 in the logarithmic relationship***. **لاحظ أنه عند أخذ الشدة في الاعتبار، يظهر عامل 10 في المعادلة بدلاً من عامل 20، والذي يستخدم للسعة النسبية. وذلك لأن الشدة تتناسب مع مربع سعة الضغط، مما يُدخل عامل 2 في العلاقة اللوغاريتمية.**

The intensity of an ultrasound beam ***is not constant with respect to time and not uniform with respect to spatial area***, as shown in the following figure. This must be taken into consideration when describing intensity. ***It must be determined if it is the peak intensity or the average intensity*** that is being considered. **شدة شعاع الموجات فوق الصوتية ليست ثابتة بالنسبة للزمن وليست موحدة بالنسبة للمساحة المكانية، كما هو موضح في الشكل التالي. يجب أن يؤخذ هذا في الاعتبار عند وصف الشدة. ويجب تحديد ما إذا كان يتم النظر في شدة الذروة أو متوسط الشدة.**

Temporal Characteristics الخصائص الزمنية

The figure 8.14 shows two sequential pulses. Two important time intervals are the pulse duration and the pulse repetition period. **يوضح الشكل 8.14 نبضتين متتابعتين. هناك فترتان زمنيتان مهمتان هما مدة النبضة وفترة تكرار النبضة.**

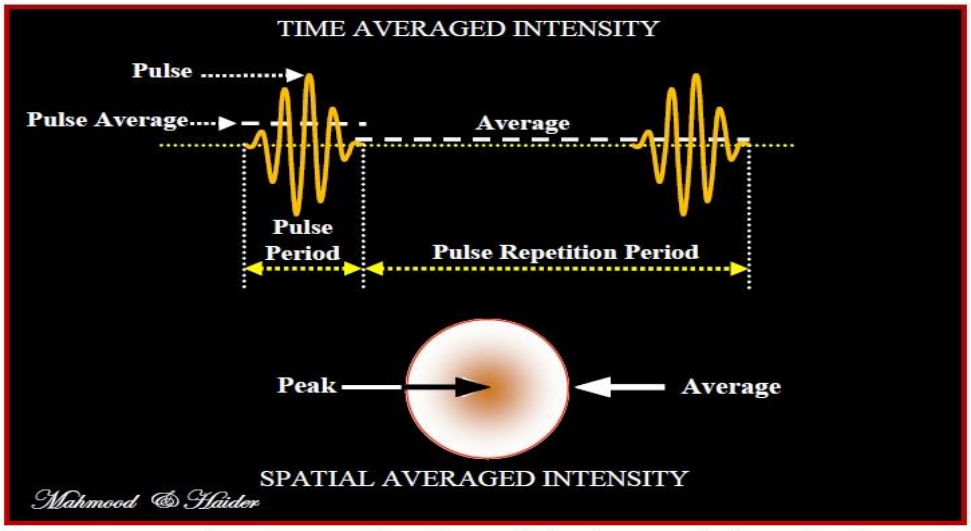

Figure 8.14: The Temporal and Spatial Characteristics of Ultrasound Pulses That Affect Intensity Values.

The ***ratio of the pulse duration to the pulse repetition period is the duty factor***. The duty factor is ***the fraction of time that an ultrasound pulse is actually being produced***. If the ultrasound is produced as a ***continuous wave***, the ***duty factor will have a value of 1***. ***Intensity and power are proportional to the duty***

factor. Duty factors are relatively small, ***less than 0.01, for most pulsed imaging applications***. إن نسبة مدة النبضة إلى فترة تكرار النبضة هي عامل الواجب. عامل الواجب هو جزء من الوقت الذي يتم فيه إنتاج نبض الموجات فوق الصوتية فعليًا. إذا تم إنتاج الموجات فوق الصوتية كموجة مستمرة، فسيكون لعامل التشغيل قيمة 1. وتتناسب الشدة والقوة مع عامل التشغيل. تكون عوامل التشغيل صغيرة نسبيًا، أقل من 0.01، بالنسبة لمعظم تطبيقات التصوير النبضي.

With ***respect to time*** there are three possible power (intensity) values. One is ***the peak power***, which is ***associated with the time of maximum pressure***. Another is the ***average power within a pulse***. The ***lowest value is the average power over the pulse repetition period for an extended time***. This is ***related to the duty factor***. فيما يتعلق بالوقت هناك ثلاث قيم محتملة للقوة (الشدة). إحداهما هي قوة الذروة، والتي ترتبط بوقت الضغط الأقصى. والسبب الآخر هو متوسط الطاقة داخل النبضة. أدنى قيمة هي متوسط الطاقة خلال فترة تكرار النبض لفترة طويلة. ويرتبط هذا بعامل الواجب.

Spatial Characteristics الخصائص المكانية

The energy or ***intensity*** is generally ***not distributed uniformly*** over the area of an ultrasound pulse. It can be expressed either as the ***peak intensity***, which is often in the ***center of the pulse***, for as the ***average intensity over a designated area***. بشكل عام، لا يتم توزيع الطاقة أو الشدة بشكل موحد على مساحة نبضة الموجات فوق الصوتية. يمكن التعبير عنها إما بكثافة الذروة، والتي غالبًا ما تكون في مركز النبض، أو بمتوسط الشدة على منطقة معينة.

Temporal/Spatial Combinations التركيبات الزمنية / المكانية

There is some significance associated with each of the intensity expressions. However, they are not all used to express the intensity with respect to potential biological effects. ***Thermal effects are most closely related to the spatial-peak and temporal-average intensity (ISPTA)***. This expresses the ***maximum intensity delivered to any tissue averaged over the duration of the exposure***. ***Thermal effects*** (increase in temperature) also ***depend on the duration of the exposure to the ultrasound***. Mechanical effects such as ***cavitation*** are more closely related to the ***spatial-peak***, ***pulse-average intensity*** (ISPPA). هناك بعض الأهمية المرتبطة بكل من تعبيرات الشدة. ومع ذلك، لا يتم استخدامها جميعًا للتعبير عن شدة التأثيرات البيولوجية المحتملة. ترتبط التأثيرات الحرارية ارتباطًا وثيقًا بالذروة المكانية والكثافة المتوسطة الزمنية . وهذا يعبر عن الحد الأقصى من الشدة التي يتم تسليمها إلى أي نسيج في المتوسط خلال مدة التعرض. تعتمد التأثيرات الحرارية (زيادة درجة الحرارة) أيضًا على مدة التعرض للموجات فوق الصوتية. ترتبط التأثيرات الميكانيكية مثل التجويف ارتباطًا وثيقًا بالذروة المكانية ومتوسط شدة النبض .

Interactions of Ultrasound with Tissue تفاعلات الموجات فوق الصوتية مع الأنسجة

As an ultrasound pulse passes through matter, such as human tissue, it interacts in several different ways. Some of these interactions are necessary to ***form an ultrasound image***, whereas others absorb much of

the ultrasound energy or ***produce artifacts*** and are generally undesirable in diagnostic examinations. The ability to conduct and interpret the results of an ultrasound examination depends on a thorough understanding of these ultrasound interactions. عندما تمر نبضة الموجات فوق الصوتية عبر المادة، مثل الأنسجة البشرية، فإنها تتفاعل بعدة طرق مختلفة. بعض هذه التفاعلات ضرورية لتكوين صورة بالموجات فوق الصوتية، في حين أن البعض الآخر يمتص الكثير من طاقة الموجات فوق الصوتية أو ينتج نتاجًا صناعيًا وهو غير مرغوب فيه بشكل عام في الفحوصات التشخيصية. تعتمد القدرة على إجراء وتفسير نتائج الفحص بالموجات فوق الصوتية على الفهم الشامل لهذه التفاعلات بالموجات فوق الصوتية.

Interaction between ultrasound and the medium, such as human tissue, is in several different ways which can be described by ***attenuation***, ***reflection***, ***scattering***, ***refraction*** and ***diffraction*** (all well-known ***optical phenomena***). Together with ***absorption***, they cause ***attenuation of an ultrasound*** beam on its way through the medium. The total ***attenuation in a medium is expressed in terms of the distance within the medium*** at which the ***intensity of ultrasound is reduced to 50% of its initial level, called the halfvalue thicknesses***. يتم التفاعل بين الموجات فوق الصوتية والوسط، مثل الأنسجة البشرية، بعدة طرق مختلفة يمكن وصفها بالتوهين والانعكاس والتشتت والانكسار والحيود (جميع الظواهر البصرية المعروفة). ومع الامتصاص، فإنها تسبب توهين شعاع الموجات فوق الصوتية في طريقه عبر الوسط. يتم التعبير عن التوهين الإجمالي في وسط ما من حيث المسافة داخل الوسط الذي تنخفض فيه شدة الموجات فوق الصوتية إلى 50% من مستواها الأولي، الذي يسمى سمك نصف القيمة.

Energy is lost as the wave ***overcomes the natural resistance of the particles in the medium to displacement***, i.e. the viscosity of the medium. Thus, ***absorption increases with the viscosity of the medium*** and contributes to the attenuation of the ultrasound beam. ***Absorption increases with the frequency*** of the ultrasound يتم فقدان الطاقة عندما تتغلب الموجة على المقاومة الطبيعية للجزيئات الموجودة في الوسط للإزاحة، أي لزوجة الوسط. وبالتالي، يزداد الامتصاص مع زيادة لزوجة الوسط ويساهم في توهين شعاع الموجات فوق الصوتية. يزداد الامتصاص مع تكرار الموجات فوق الصوتية.

In soft tissue, ***attenuation by absorption is approximately 0.5 decibels (dB) per centimeter of tissue and per megahertz***. ***Attenuation limits the depth*** at which examination with ultrasound of a certain frequency is possible; this distance is called the في الأنسجة الرخوة، يبلغ التوهين الناتج عن الامتصاص حوالي 0.5 ديسيبل (ديسيبل) لكل سنتيمتر من الأنسجة ولكل ميجا هرتز. يحد التوهين من العمق الذي يمكن عنده إجراء فحص بالموجات فوق الصوتية بتردد معين؛ هذه المسافة تسمى
'penetration depth'. In this connection, it should be noted that the ***reflected ultrasound echoes also have to pass back out through the same tissue to be detected***. Energy loss suffered by distant reflected echoes must be ***compensated for in the processing of the signal*** by the ultrasound unit using echo gain techniques

(***depth gain compensation (DGC) or time gain compensation (TGC)***) to construct an image with ***homogeneous density*** over the varying depth of penetration. عمق الاختراق'. وفي هذا الصدد، تجدر الإشارة إلى أن أصداء الموجات فوق الصوتية المنعكسة يجب أيضًا أن تمر مرة أخرى عبر نفس الأنسجة حتى يتم اكتشافها. يجب تعويض فقدان الطاقة الناتج عن الأصداء المنعكسة البعيدة عند معالجة الإشارة بواسطة وحدة الموجات فوق الصوتية باستخدام تقنيات كسب الصدى (تعويض كسب العمق () أو تعويض كسب الوقت ()) لإنشاء صورة ذات كثافة متجانسة على عمق متفاوت اختراق.

Attenuation

Attenuation generally indicates that the ultrasound wave constantly ***loses energy (decreasing intensity) when transmitted through the medium***. It is the result of absorption of ultrasound energy by ***conversion to heat, as well as reflection, refraction and scattering*** that occurs between the boundaries of tissue with different densities. The rate at which an ultrasound ***wave is absorbed generally depends*** on two factors: يشير التوهين عمومًا إلى أن الموجات فوق الصوتية تفقد الطاقة باستمرار (تناقص الشدة) عند إرسالها عبر الوسط. وهو نتيجة امتصاص طاقة الموجات فوق الصوتية عن طريق تحويلها إلى حرارة، وكذلك الانعكاس والانكسار والتشتت الذي يحدث بين حدود الأنسجة ذات الكثافات المختلفة. يعتمد معدل امتصاص الموجات فوق الصوتية بشكل عام على عاملين:

1) The material through which it is passing. (المواد التي يمر من خلالها.
2) The frequency of the ultrasound. تردد الموجات فوق الصوتية.

This means the ***attenuation increases (and hence penetration of the beam reduced)*** by: وهذا يعني زيادة التوهين (وبالتالي تقليل اختراق الحزمة) عن طريق:

- Increased distance from the transducer زيادة المسافة من محول الطاقة
- Less homogenous medium to traverse due to increased acoustic impedance mismatch وسط أقل تجانسًا للاجتياز بسبب زيادة عدم تطابق المعاوقة الصوتية
- Higher frequency (shorter wavelength) transducers محولات الطاقة ذات التردد العالي (الطول الموجي الأقصر).

Air forms a virtually ***impenetrable barrier to ultrasound***, while ***fluid offers the least resistance***. يشكل الهواء حاجزًا لا يمكن اختراقه فعليًا أمام الموجات فوق الصوتية، بينما يوفر السائل أقل مقاومة.

Attenuation (absorption) rate is described in terms of ***attenuation coefficient of tissues***. It is the relation of ***attenuation to distance***; therefore it is measure ***decibels per centimeter*** units, and ***depends on the tissues traversed and the frequency of the ultrasound wave***. So it is necessary specify the frequency when an attenuation rate is given due to the ***attenuation in tissue increases with frequency***. Through a thickness of material, x, the attenuation is given by: يتم وصف معدل التوهين (الامتصاص) من حيث معامل التوهين للأنسجة. إنها

علاقة التوهين بالمسافة؛ ولذلك يتم قياسه بالديسيبل لكل وحدة سنتيمتر، ويعتمد على الأنسجة التي يتم عبورها وتردد الموجات فوق الصوتية. لذلك من الضروري تحديد التردد عند إعطاء معدل التوهين بسبب زيادة التوهين في الأنسجة مع التردد. من خلال سمك المادة، x، يتم إعطاء التوهين بواسطة:

$$Attenuation\ (dB) = (\alpha)\ (f)\ (x)$$

where α is the attenuation coefficient (in ***decibels per centimeter at 1 MHz***), and f is the ultrasound frequency, in megahertz. أين معامل التوهين (بالديسيبل لكل سنتيمتر عند 1 ميجا هرتز)، وتردد الموجات فوق الصوتية بالميجا هرتز.

Attenuation coefficient values in the table 8.2, it is clear that there is ***considerable variation in the rate of attenuation from material to material***. All materials mentioned, and water ***produce far less attenuation***. قيم معامل التوهين في الجدول 8.2، فمن الواضح أن هناك اختلافًا كبيرًا في معدل التوهين من مادة إلى أخرى. جميع المواد المذكورة والماء تنتج توهينًا أقل بكثير

- The ***water is a very good conductor of ultrasound***. So ***attenuation is low in fluidfilled structures as the case in cysts and bladder***.
- يعتبر الماء موصلًا جيدًا جدًا للموجات فوق الصوتية. لذلك يكون التوهين منخفضًا في الهياكل المملوءة بالسوائل كما هو الحال في الأكياس والمثانة.
- Most of the soft tissues in the body contain the ***attenuation coefficient values of about 1 dB per cm in MHz***, with the exception of ***fat and muscle which have high attenuation*** rate.
- تحتوي معظم الأنسجة الرخوة في الجسم على قيم معامل توهين تبلغ حوالي 1 ديسيبل لكل سم في ميجاهرتز، باستثناء الدهون والعضلات التي تتمتع بمعدل توهين مرتفع.
- ***Muscle has a set of values that depend on the direction of ultrasound with respect to the muscle fibers***.
- *العضلات لديها مجموعة من القيم التي تعتمد على اتجاه الموجات فوق الصوتية بالنسبة للألياف العضلية.*
- Lung has a ***much higher proportion of tissue attenuation either air or soft***. This is because the small pockets of air in the alveoli are very effective in scattering ultrasound energy. Because of this, and normal lung structure is very difficult to penetrate with ultrasound.
- الرئة لديها نسبة أعلى بكثير من الأنسجة الموهونة سواء الهواء أو الرخوة. وذلك لأن جيوب الهواء الصغيرة الموجودة في الحويصلات الهوائية فعالة جدًا في تشتيت طاقة الموجات فوق الصوتية. ولهذا السبب، يصعب جدًا اختراق بنية الرئة الطبيعية باستخدام الموجات فوق الصوتية.
- Compared with the soft tissues of the body, ***attenuation rate is high in the bones***.

Higher frequency waves are subject to ***greater attenuation*** than lower frequency ones. ***To compensate for attenuation***, returning signals can be amplified by the ultrasound system, ***known as gain***.
- بالمقارنة

مع الأنسجة الرخوة في الجسم، يكون معدل التوهين مرتفعًا في العظام. تتعرض الموجات ذات التردد العالي إلى توهين أكبر من الموجات ذات التردد المنخفض. للتعويض عن التوهين، يمكن تضخيم الإشارات العائدة بواسطة نظام الموجات فوق الصوتية، المعروف باسم الكسب.

Table 8.2: Approximate values of the attenuation coefficient for various materials of interest.

Body tissue	Attenuation Coefficient (dB/cm at 1MHz)
Water	0.002
Blood	0.18
Fat	0.66
Liver	0.5-0.94
kidney	1.0
Soft tissue (average)	0.9
Muscle	1.3-3.3
Air	12.0
Bone	20.0
Lung	40.0

إلـلهمُ صَـلِ علـى مُحَمَد وَ آل مُحَمَد .

By:Mohammed Jabbar Hussein