Ultrasound Imaging Systems

The basic functional components of an ultrasound imaging system are shown below. Modern ultrasound systems use ***digital computer electronics to control most of the functions in the imaging process*** (see Figure 8.3). Therefore, the boxes in the illustration above represent functions ***performed by the computer and other electronic circuits*** and not individual physical components. المكونات الوظيفية الأساسية لنظام التصوير بالموجات فوق الصوتية مبينة أدناه. تستخدم أنظمة الموجات فوق الصوتية الحديثة إلكترونيات الكمبيوتر الرقمية للتحكم في معظم الوظائف في عملية التصوير (انظر الشكل 8.3). ولذلك، فإن المربعات الموجودة في الرسم التوضيحي أعلاه تمثل الوظائف التي يؤديها الكمبيوتر والدوائر الإلكترونية الأخرى وليس المكونات المادية الفردية.

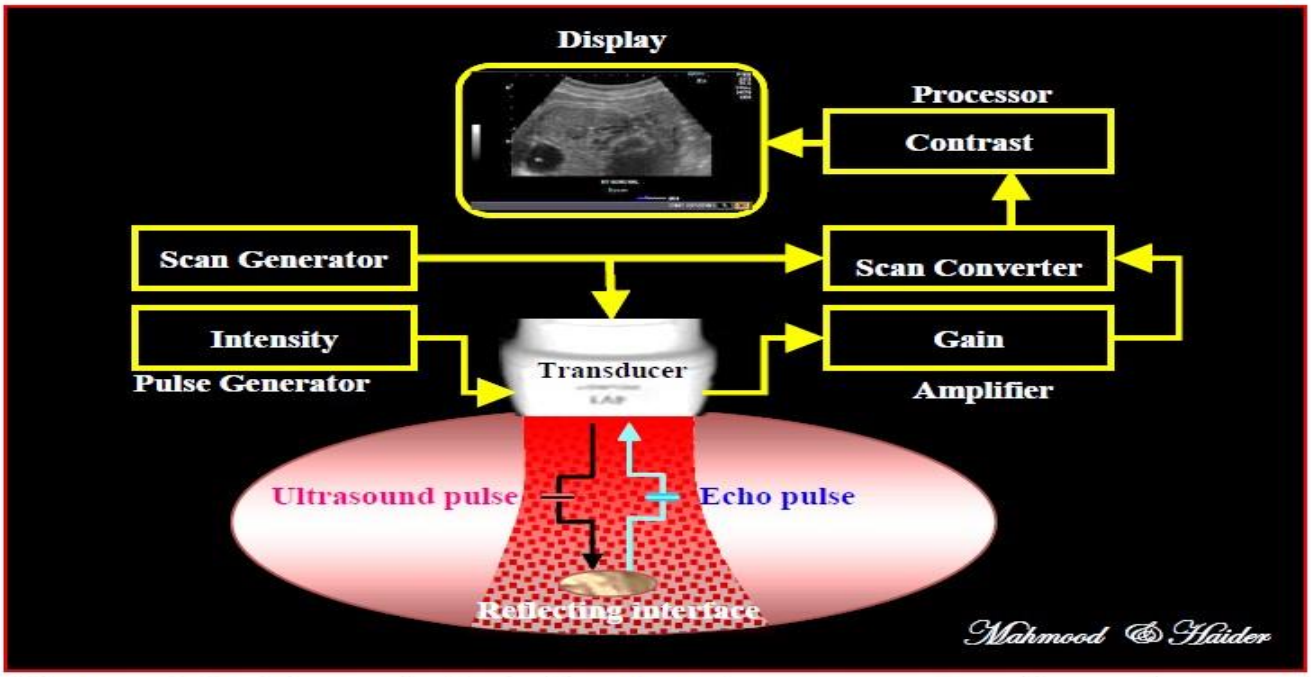

Figure 8.3: The principal functional components of an ultrasound imaging system

We will now consider some of these functions in more detail and how they contribute to image formation. سننظر الآن في بعض هذه الوظائف بمزيد من التفصيل وكيفية مساهمتها في تكوين الصورة.

Ultrasound Transducers

In general, a ***transducer is a device that converts energy from one form to another***, in the case of Ultrasound transducers; the conversion is ***from electrical to mechanical energy (or vice versa)***. بشكل عام، محول الطاقة هو جهاز يحول الطاقة من شكل إلى آخر، في حالة محولات الطاقة بالموجات فوق الصوتية؛ يتم التحويل من الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الميكانيكية (أو العكس).

Ultrasonic Transducer Structures

Transducers for ultrasound imaging consist of ***one or more piezoelectric crystals*** or elements. The basic ***properties of ultrasound transducers (resonance, frequency response, focusing***) can be illustrated in terms of single-element transducers. However, imaging is often preformed with ***multiple-element "arrays" of piezoelectric crystals***. تتكون محولات الطاقة المستخدمة في التصوير بالموجات فوق الصوتية من بلورة أو عناصر كهرضغطية واحدة أو أكثر. يمكن توضيح الخصائص الأساسية لمحولات الطاقة بالموجات فوق الصوتية (الرنين، استجابة التردد، التركيز) من حيث محولات الطاقة ذات العنصر الواحد. ومع ذلك، غالبًا ما يتم تشكيل التصوير باستخدام "مصفوفات" متعددة العناصر من بلورات كهرضغطية.

A piezoelectric transducer comprises a ***"crystal" sandwiched between two metal plates***. When a sound wave ***strikes one or both of the plates***, the plates ***vibrate***. The ***crystal picks up this vibration***, which it translates into a ***weak AC voltage***. Therefore, an ***AC voltage arises between the two metal plates***, with a ***waveform similar to that of the sound waves***. Conversely, if an ***AC signal is applied*** to the plates, it causes the crystal to ***vibrate in sync with the signal voltage***. As a result, the metal plates vibrate also, ***producing an acoustic disturbance***. يتكون محول الطاقة الكهرضغطية من "بلورة" محصورة بين لوحين معدنيين. عندما تضرب موجة صوتية إحدى الصفيحتين أو كلتيهما، تهتز الصفيحتان. تلتقط البلورة هذا الاهتزاز، والذي يترجم إلى جهد تيار متردد ضعيف. ولذلك، ينشأ جهد متناوب بين اللوحين المعدنيين، بشكل موجة مشابه لموجات الصوت. على العكس من ذلك، إذا تم تطبيق إشارة التيار المتردد على اللوحات، فإن ذلك يتسبب في اهتزاز البلورة بالتزامن مع جهد الإشارة. ونتيجة لذلك، تهتز الصفائح المعدنية أيضًا، مما يؤدي إلى حدوث اضطراب صوتي.

Piezoelectric transducers are common in ***ultrasonic a***pplications, such as ***intrusion detectors and alarms***. Piezoelectric devices are ***employed at AF (audio frequencies)*** as ***pickups, microphones, earphones, beepers, and buzzers***. In ***wireless applications***, piezoelectricity makes it possible to ***use crystals and ceramics as oscillators that generate predictable and stable signals at RF (radio frequencies)***. محولات الطاقة الكهرضغطية شائعة في تطبيقات الموجات فوق الصوتية، مثل أجهزة كشف التسلل وأجهزة الإنذار. تُستخدم الأجهزة الكهروضغطية في التركيز البؤري التلقائي (الترددات الصوتية) مثل أجهزة التقاط الصوت والميكروفونات وسماعات الأذن وأجهزة التنبيه وأجهزة الإنذار. في التطبيقات اللاسلكية، تتيح الطاقة الكهربائية الانضغاطية استخدام البلورات والسيراميك كمذبذبات تولد إشارات مستقرة ويمكن التنبؤ بها عند الترددات اللاسلكية (ترددات الراديو).

Ultrasound transducers are usually made of ***thin discs of an artificial ceramic perovskite material such as PZT***. The basic design of a plain transducer is shown in Figure 8.4. عادة ما تكون محولات الطاقة بالموجات فوق

الصوتية مصنوعة من أقراص رفيعة من مادة البيروفسكايت الخزفية الاصطناعية مثل. يظهر التصميم الأساسي لمحول الطاقة العادي في الشكل 8.4.

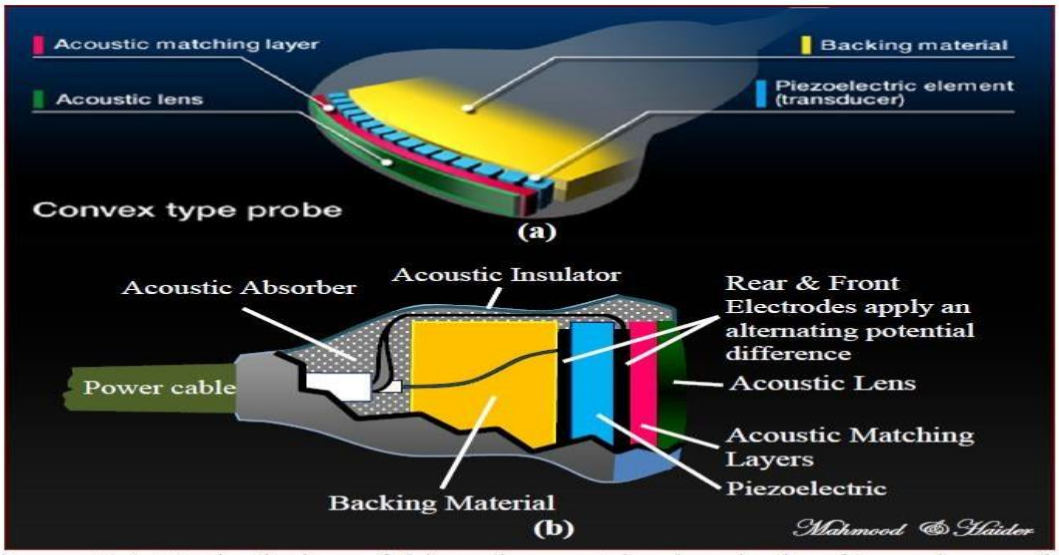

Figure 8.4: Basic design of (a) probe contains hundreds of transducers (b) single-element transducer.

The crystal is ***cut into a slice with a thickness equal to half a wavelength*** of the desired ultrasound frequency, as ***this thickness ensures most of the energy is emitted at the fundamental frequency***. Generally, the thickness of ***thin discs (usually 0.1–1 mm) determines the ultrasound frequency***. In most diagnostic applications, ultrasound is emitted in extremely ***short pulses as a narrow beam*** comparable to that of a flashlight. يتم تقطيع البلورة إلى شريحة بسمك يساوي نصف الطول الموجي لتردد الموجات فوق الصوتية المطلوب، حيث يضمن هذا السمك انبعاث معظم الطاقة عند التردد الأساسي. بشكل عام، يحدد سمك الأقراص الرفيعة (عادة 0.1-1 مم) تردد الموجات فوق الصوتية. في معظم التطبيقات التشخيصية، تنبعث الموجات فوق الصوتية في نبضات قصيرة للغاية كشعاع ضيق يشبه شعاع المصباح اليدوي.

When ***not emitting a pulse (as much as 99% of the time), the same piezoelectric crystal*** can act as a receiver that is the transducer can act as both ***a transmitter and a receiver***. The transducer (or probe) is containing ***multiple piezoelectric crystals***, which are ***interconnected electronically and vibrating in response to the applied voltage*** (see figure 8.5). Also ***proved the reverse piezoelectric effect***, any ***application of electricity to the quartz leads to vibration of quartz***. عند عدم إصدار نبضة (بقدر 99% من الوقت)، يمكن أن تعمل نفس البلورة الكهرضغطية كجهاز استقبال، حيث يمكن لمحول الطاقة أن يعمل كجهاز إرسال وجهاز استقبال. يحتوي محول الطاقة (أو المسبار) على بلورات كهرضغطية متعددة، مترابطة إلكترونيًا وتهتز استجابة للجهد المطبق (انظر الشكل 8.5). كما تم إثبات التأثير العكسي الكهرضغطي، حيث أن أي تطبيق للكهرباء على الكوارتز يؤدي إلى اهتزاز الكوارتز.

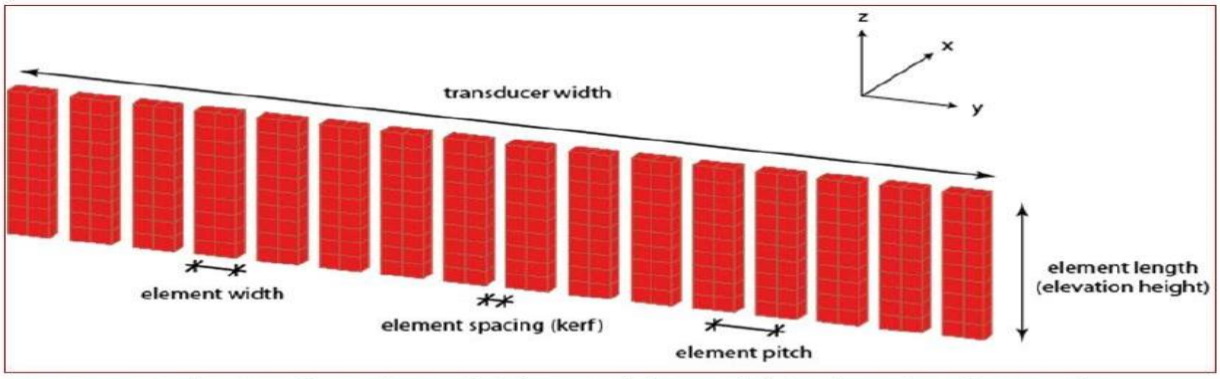

Figure 8.5: The transducer (or probe) is containing multiple piezoelectric crystals.

Types of Ultrasound Transducers

The essential element of each ultrasound transducer is a piezoelectric crystal, serving two major functions:: العنصر الأساسي في كل محول طاقة بالموجات فوق الصوتية هو بلورة كهرضغطية، تؤدي وظيفتين رئيسيتين

1) ***producing ultrasound pulses and*** إنتاج نبضات الموجات فوق الصوتية و (1
2) ***receiving or detecting the returning echoes*** استقبال أو اكتشاف الأصداء العائدة (1

Ultrasound systems today rely on the ***electro-mechanical properties of piezoelectric elements to generate the sound waves and to measure the amplitude of the reflected waves***. These elements convert ***high voltage pulses into sound waves*** that travel through the relevant tissues during transmission and ***convert small displacements into small voltage waveforms during reception***. These devices are ***quite expensive to manufacture*** because of ***the various layers*** that must be attached to achieve the desired level of ***impedance matching between the device and the human skin***. تعتمد أنظمة الموجات فوق الصوتية اليوم على الخواص الكهروميكانيكية للعناصر الكهرضغطية لتوليد الموجات الصوتية وقياس سعة الموجات المنعكسة. تقوم هذه العناصر بتحويل نبضات الجهد العالي إلى موجات صوتية تنتقل عبر الأنسجة ذات الصلة أثناء الإرسال وتحول الإزاحات الصغيرة إلى أشكال موجية ذات جهد صغير أثناء الاستقبال. يعد تصنيع هذه الأجهزة مكلفًا للغاية بسبب الطبقات المختلفة التي يجب ربطها لتحقيق المستوى المطلوب من مطابقة المعاوقة بين الجهاز وجلد الإنسان.

The Medical ultrasonic transducers (probes) come in a ***variety of shapes*** that are generally ***labeled according to their design*** or intended usage each containing a specified number of piezoelectric elements sector. That means, the ultrasound transducers ***differ in construction according to***: تأتي محولات الطاقة الطبية بالموجات فوق الصوتية (المجسات) في مجموعة متنوعة من الأشكال

التي يتم تصنيفها بشكل عام وفقًا لتصميمها أو الاستخدام المقصود، ويحتوي كل منها على عدد محدد من قطاع العناصر الكهرضغطية. وهذا يعني أن محولات الطاقة بالموجات فوق الصوتية تختلف في البناء وفقًا لما يلي:

- piezoelectric crystal arrangement, ترتيب الكريستال الكهرضغطية,
- aperture (footprint),الفتحة (البصمة)،
- operating frequency (which is directly related to the penetration depth) تردد التشغيل (الذي يرتبط مباشرة بعمق الاختراق)

There are ***three types of transducers*** that most often used in the critical ultrasound imaging: ***Linear***, ***Sector*** and ***Convex*** (standard or micro-convex) as shown in Figure 8.6. هناك ثلاثة أنواع من محولات الطاقة التي تستخدم غالبًا في التصوير بالموجات فوق الصوتية الحرجة: الخطي والقطاعي والمحدب (قياسي أو محدب صغير) كما هو موضح في الشكل 8.6.

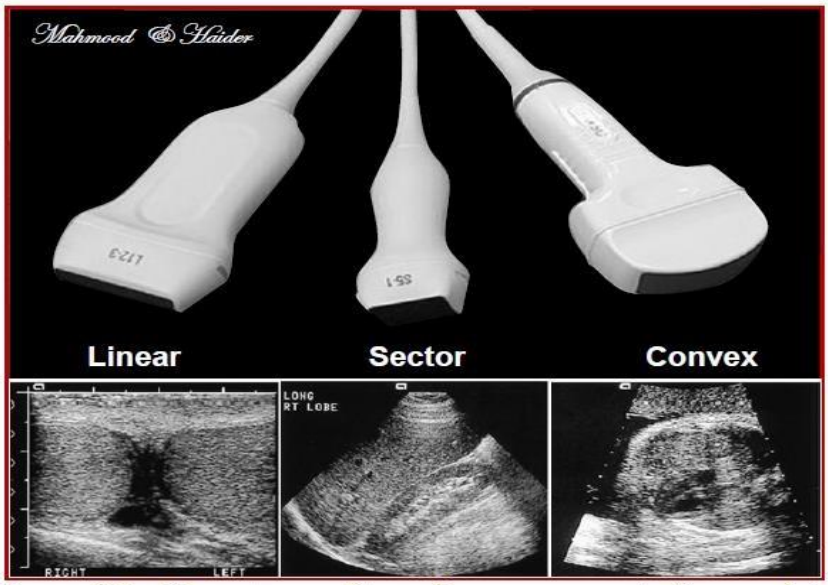

Figure 8.6: Three types of transducers are most often used in the critical ultrasound imaging.

Linear Transducer

Linear transducers are used primarily for small parts requiring high resolution and typically involve shallow depths. To achieve high resolution, higher frequencies are typically required. Since produce a rectangular image the elements are arranged in a linear fashion تُستخدم محولات الطاقة الخطية في المقام الأول للأجزاء الصغيرة التي تتطلب دقة عالية وعادةً ما تتضمن أعماقًا ضحلة. لتحقيق دقة عالية، عادة ما تكون هناك حاجة إلى ترددات أعلى. منذ إنتاج صورة مستطيلة يتم ترتيب العناصر بطريقة خطية.

- piezoelectric crystal arrangement: linear ترتيب الكريستال الكهرضغطي: خطي

- footprint size: usually big (small for the hockey transducers) حجم البصمة: عادةً ما يكون كبيرًا (صغيرًا بالنسبة لمحولات طاقة الهوكي)
- operating frequency (bandwidth): 3-12 MHz (usually 5-7.5 MHz) تردد التشغيل (عرض النطاق الترددي): 12-3 ميجا هرتز (عادة 7.5-5 ميجا هرتز)
- ultrasound beam shape: rectangular شكل شعاع الموجات فوق الصوتية: مستطيل
- use: ultrasound of the superficial structures, e.g. ***obstetrics ultrasound, breast or thyroid ultrasound, vascular ultrasound*** الاستخدام: الموجات فوق الصوتية للهياكل السطحية، على سبيل المثال. الموجات فوق الصوتية التوليدية، الموجات فوق الصوتية للثدي أو الغدة الدرقية، الموجات فوق الصوتية للأوعية الدموية

Sector Transducer

To ***broaden the field of view***, ***sector transducers are used***. These transducers have a ***small footprint and are good for cardio applications due to small rib spacing***. تتميز لتوسيع مجال الرؤية، يتم استخدام محولات القطاع. محولات الطاقة هذه بمساحة صغيرة وهي جيدة لتطبيقات القلب بسبب تباعد الأضلاع الصغير.

- piezoelectric crystal arrangement: phased-array (most commonly used) الترتيب البلوري الكهرضغطي: المصفوفة المرحلية (الأكثر استخدامًا)
- footprint size: small حجم البصمة: صغير
- operating frequency (bandwidth): 1-5 MHz (usually 3.5-5 MHz) تردد التشغيل (عرض النطاق الترددي): 5-1 ميجا هرتز (عادة 5-3.5 ميجا هرتز)
- ultrasound beam shape: sector, almost triangular شكل شعاع الموجات فوق الصوتية: قطاعي، مثلث تقريبًا
- use: small acoustic windows, mainly ***echocardiography, gynecological ultrasound, upper body ultrasound*** الاستخدام: نوافذ صوتية صغيرة، تخطيط صدى القلب بشكل رئيسي، الموجات فوق الصوتية لأمراض النساء، الموجات فوق الصوتية للجزء العلوي من الجسم

Convex Transducer

For ***abdominal viewing***, curved transducers are typically used because of ***resolution and penetration benefits***. They allow for ***the maximum field of view and depth because of their large aperture***. Note that any type of transducer can be ***phase arrayed to produce a beam of sound that can be steered and focused by the ultrasound controller***. لمشاهدة البطن، تُستخدم عادةً محولات الطاقة المنحنية نظرًا لفوائد الدقة والاختراق. إنها تسمح بأقصى مجال للرؤية والعمق بسبب الفتحة الكبيرة. لاحظ أن أي نوع من محولات الطاقة يمكن تجميعه على مراحل لإنتاج شعاع من الصوت يمكن توجيهه وتركيزه بواسطة وحدة التحكم بالموجات فوق الصوتية.

- piezoelectric crystal arrangement: curvilinear, along the aperture ترتيب البلورات الكهرضغطية: منحني الأضلاع، على طول الفتحة
- footprint size: big (small for the micro-convex transducers) حجم البصمة: كبير (صغير بالنسبة لمحولات الطاقة المحدبة الدقيقة)
- operating frequency (bandwidth): 1-5 MHz (usually 3.5-5 MHz) تردد التشغيل (عرض النطاق الترددي): 1-5 ميجا هرتز (عادة 3.5-5 ميجا هرتز
- ultrasound beam shape: sector; the ultrasound beam shape and size vary with distance from the transducer, that causes the lack of lateral resolution at greater depthsv شكل شعاع الموجات فوق الصوتية: يختلف شكل وحجم شعاع الموجات فوق الصوتية مع المسافة من محول الطاقة، مما يتسبب في عدم وجود دقة جانبية عند الأعماق الأكبر
- use: useful in all ultrasound types except echocardiography, typically abdominal, pelvic and lung (micro-convex transducer) ultrasound الاستخدام: مفيد في جميع أنواع الموجات فوق الصوتية باستثناء تخطيط صدى القلب، عادةً الموجات فوق الصوتية للبطن والحوض والرئة (محول الطاقة المحدب الصغير)

Also, the medical ultrasonic ***transducers (probes) come in a variety of shapes according to intended usage each as shown*** in Figure 8.7. The transducer may be passed over the ***surface of the body or inserted into a body opening*** such as the ***rectum or vagina***. For example, أيضًا، تأتي محولات الطاقة الطبية بالموجات فوق الصوتية (المجسات) في مجموعة متنوعة من الأشكال وفقًا للاستخدام المقصود، كل منها كما هو موضح في الشكل 8.7. يمكن تمرير محول الطاقة على سطح الجسم أو إدخاله في فتحة الجسم مثل المستقيم أو المهبل. على سبيل المثال،

In other words, the transducer is the component of the ultrasound system that is ***placed in direct contact with the patient's body***. Inside the transducer contains ***one or more of the piezoelectric elements***. It's also focuses the beam of pulses to give it a ***specific size and shape at various depths within the body and also scans the beam over the anatomical area that is being imaged***. بمعنى آخر، محول الطاقة هو أحد مكونات نظام الموجات فوق الصوتية الذي يتم وضعه على اتصال مباشر بجسم المريض. يحتوي داخل محول الطاقة على واحد أو أكثر من العناصر الكهرضغطية. كما أنه يركز شعاع النبضات ليعطيه حجمًا وشكلًا محددًا على أعماق مختلفة داخل الجسم ويقوم أيضًا بمسح الشعاع فوق المنطقة التشريحية التي يتم تصويرها.

Figure 8.7: Ultrasound Transducer Types.

Attention!

An ultrasound transducer is the ***most important and usually the most expensive element of the ultrasound machine***, so it should be used carefully, which means the following: يعد محول الموجات فوق الصوتية هو العنصر الأكثر أهمية والأكثر تكلفة في جهاز الموجات فوق الصوتية، لذلك يجب استخدامه بعناية، مما يعني ما يلي:

1. do not throw, drop or knock the transducer, 1. لا تقم برمي محول الطاقة أو إسقاطه أو ضربه،
2. do not allow to spoil the transducer`s duct لا تسمح بإفساد قناة محول الطاقة,
3. wipe the gel from the transducer after each use, امسحي الجل من محول الطاقة بعد كل استخدام،
4. do not sluice with alcohol-based confections. لا تسد مع الحلويات التي تحتوي على الكحول.

الحمدلله قولاً وفعلاً:●

By:Mohammed Jabbar Hussein