وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل السابع عشر
التصوير بالصدى (الإيكوغرافي)

Echography

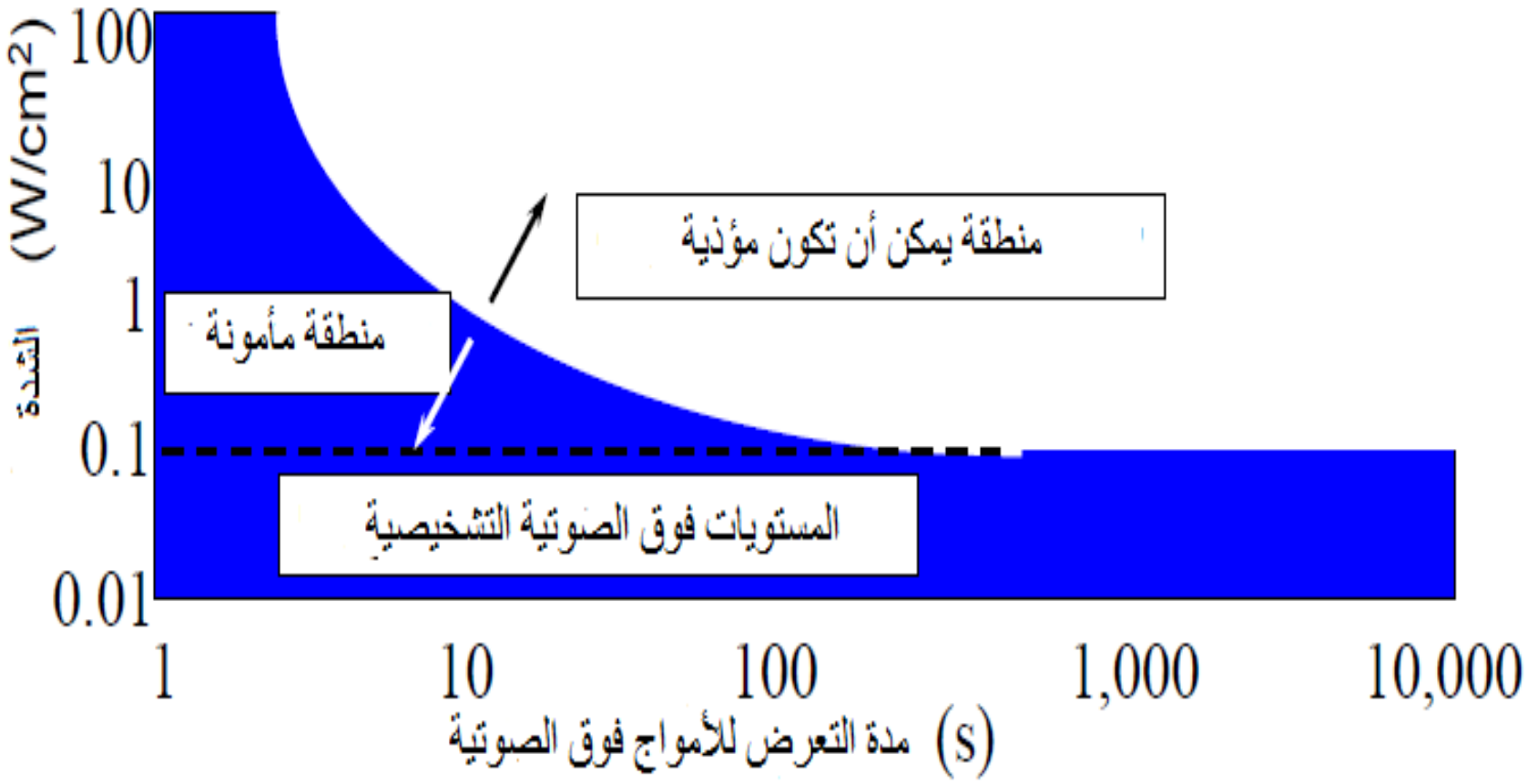
أهداف الفصل

- التعرف على آلية توليد الأمواج فوق الصوتية
- التعرف على المجس والحزمة الصوتية
- التعرف على أنواع المجسات
- التعرف على العدسة الإلكترونية وآلية عملها
- الأمواج فوق الصوتية العالية الشدة المبأرة وتطبيقاتها الطبية
- التعرف على مفعول دوبلر وأهميته في قياس سرعة الدم
- الإيكوغرافي وتصوير مرونة النسج

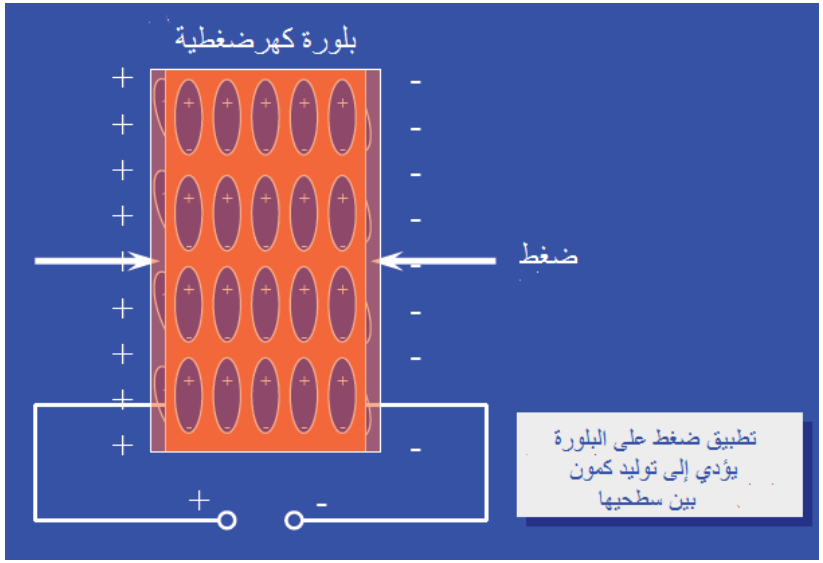
أهمية الأمواج فوق الصوتية

- يمكن "بإنارة" الجسم بالأمواج فوق الصوتية، الحصول على صور لبنيته الداخلية، إما عن طريق الموجة التي تنفذ منه، وإمَّا عن طريق الأصداء التي ترتد عنه echography.
- تشكل هذه الصور نصراً طبياً عظيماً، ذلك أن الأمواج فوق الصوتية تخترق النسج الحيوية، وتسمح باستكشاف الجسم البشري من دون إلحاق أي ضرر به.
- وأصبح بإمكان الطبيب حالياً تحديد موقع ورم معين في الجسم، وأن يكشف النقاب عن وجود الأجربة، وأن يراقب الحمل من دون خطر على العضوية.

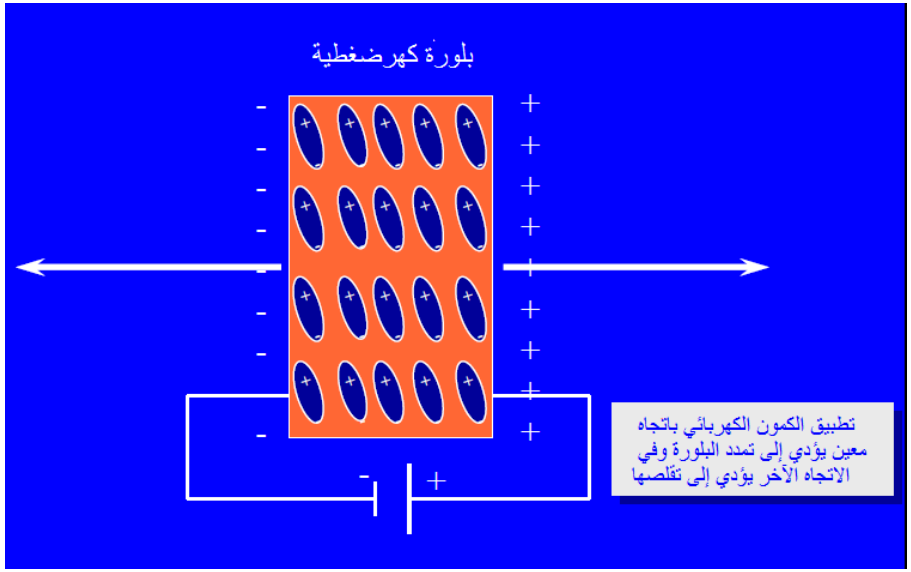
حدود الأمان في الأمواج فوق الصوتية



توليد الأمواج فوق الصوتية ببلورة كهرضغطية piezoelectric



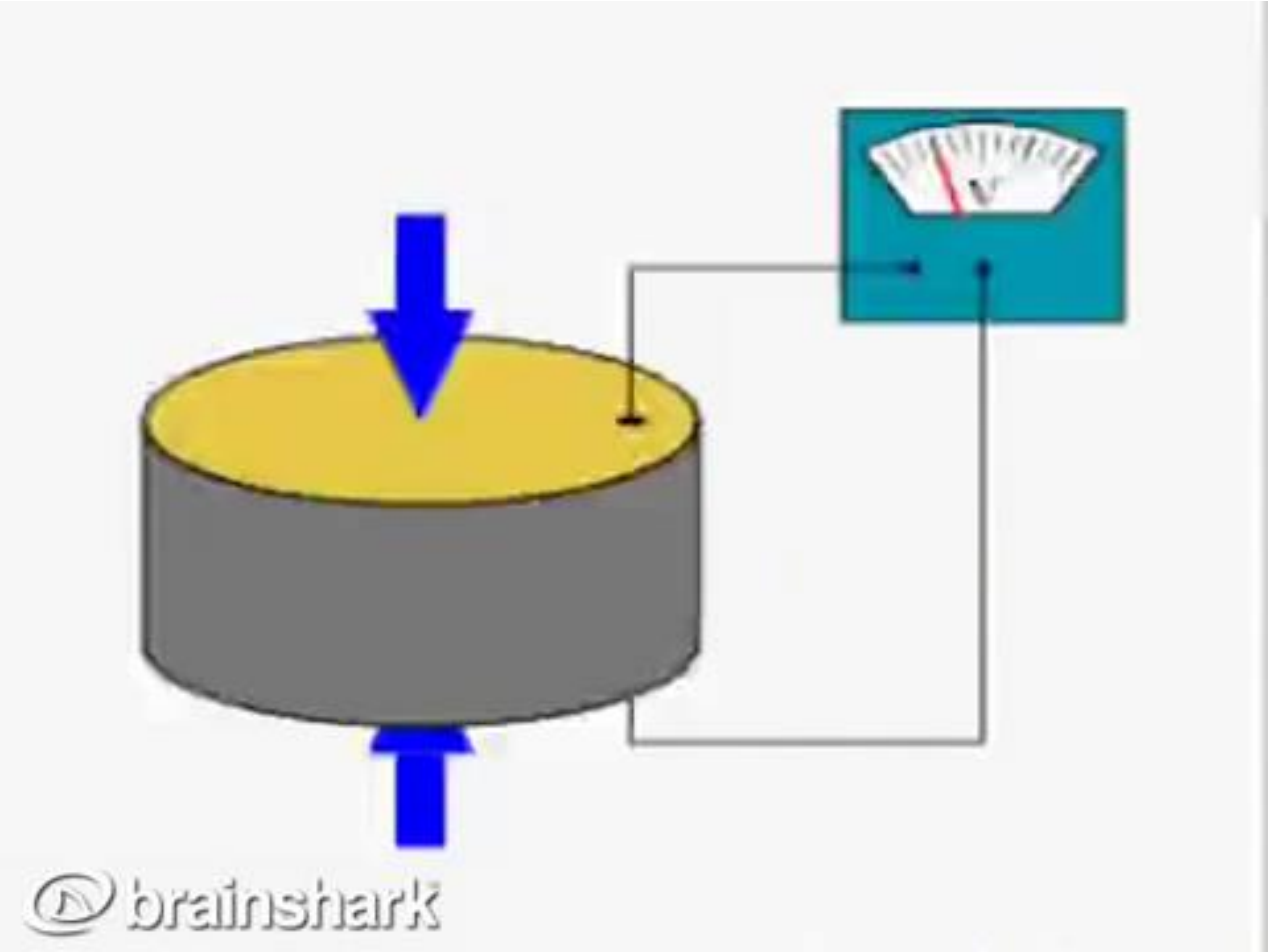
البلورة الكهرضغطية وتولد كمون بين سطحيها بتطبيق ضغط



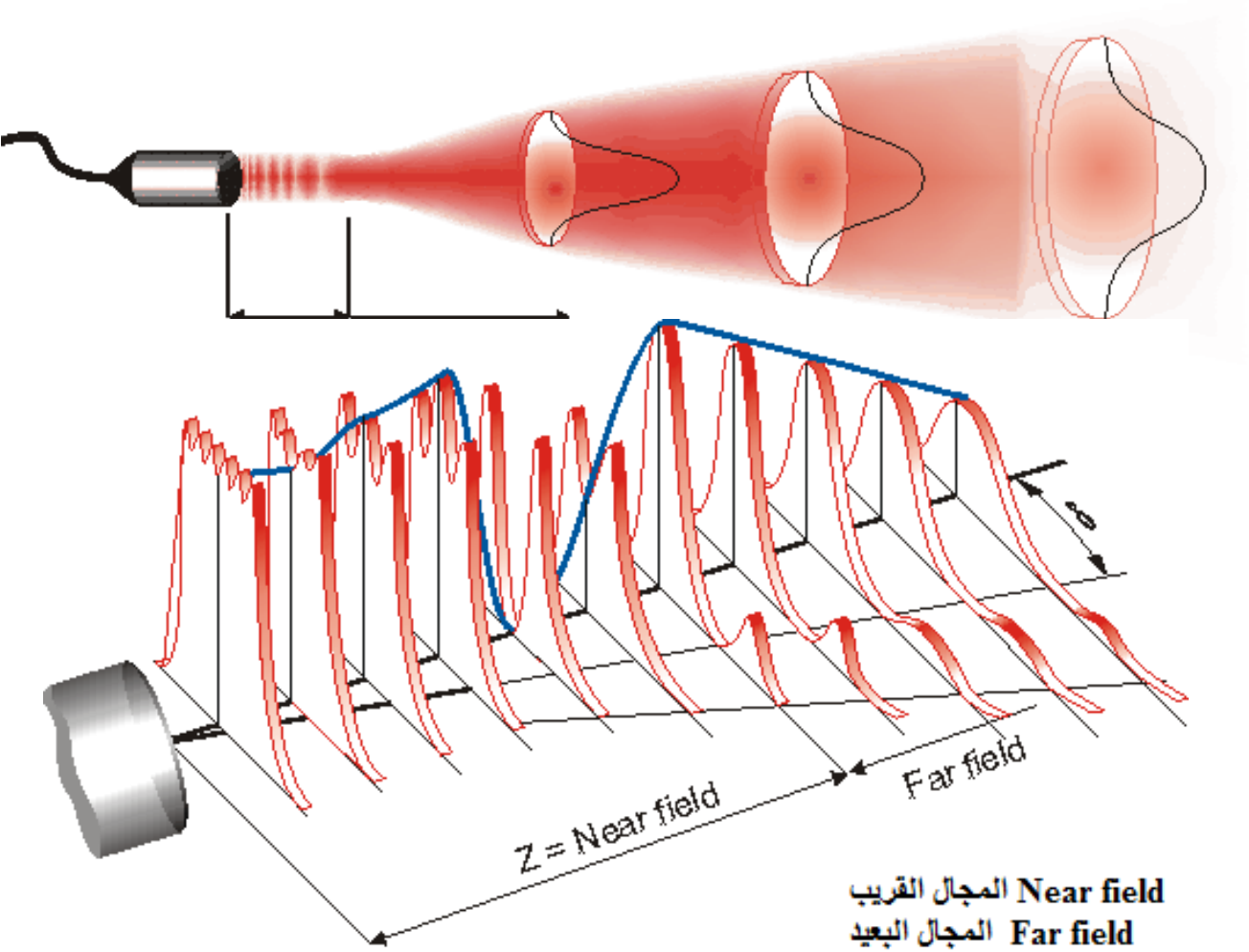
البلورة الكهرضغطية وتغير ثخانتها بالكمون الكهربائي

عندما يكون الكمون الكهربائي المطبق بين سطحي البلورة متناوباً، تتغير ثخانتها زيادة ونقصاناً، فتترافق بتوليد موجة صوتية، الأمر الذي يجعل الاهتزازات الكهربائية تتحول إلى اهتزازات ميكانيكية. يمكن التحكم بتواتر هذه الاهتزازات بجعل ثخانة البلورة الكهرضغطية تساوي نصف أو ربع الطول الموجي الموافق

المفعول الكهرضغطي



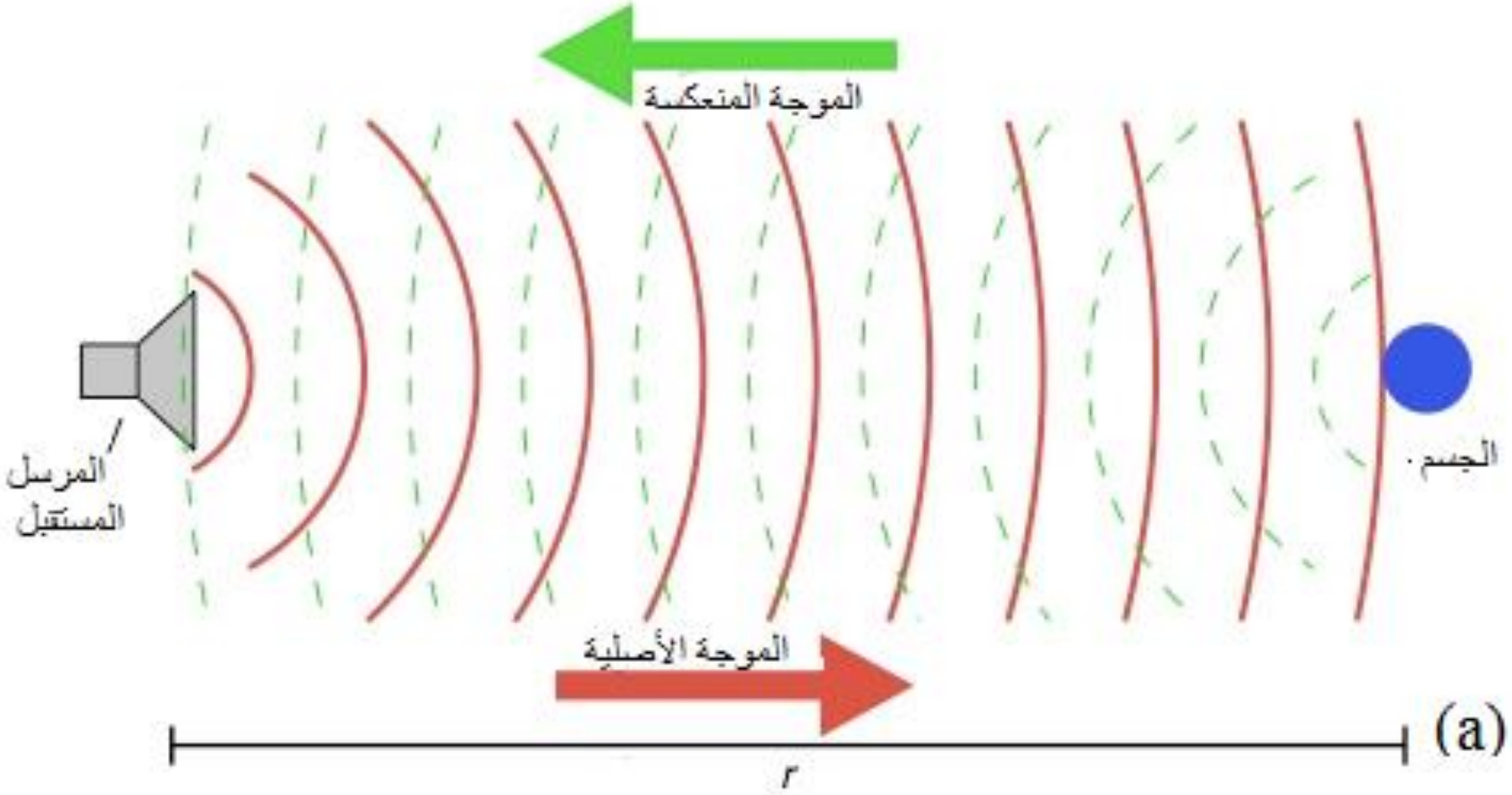
المجس الباعث _ المستقبل



تقريب دراسة انتشار الأمواج الصادرة: منطقة فرينل (منطقة المجال القريب) ومنطقة فراونهوفر (المجال البعيد).

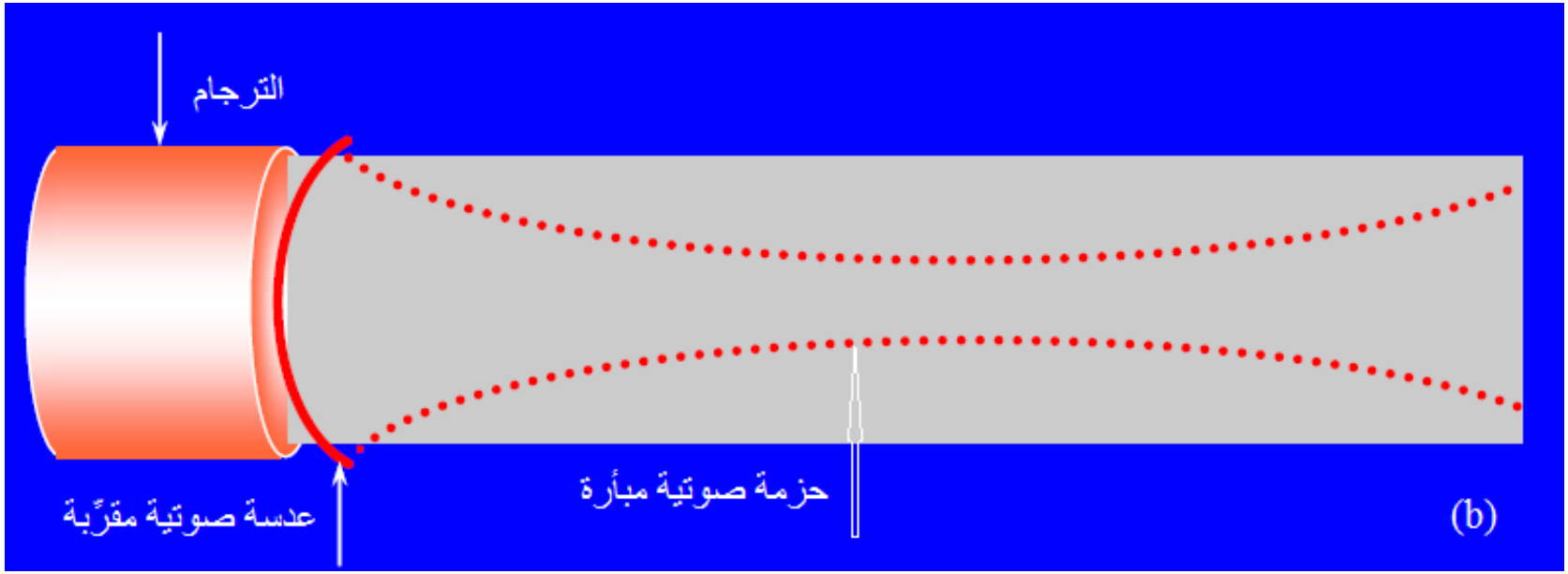
تخامد الموجة الصادرة من المجس بدلالة البعد

المجس الباعث_المستقبل



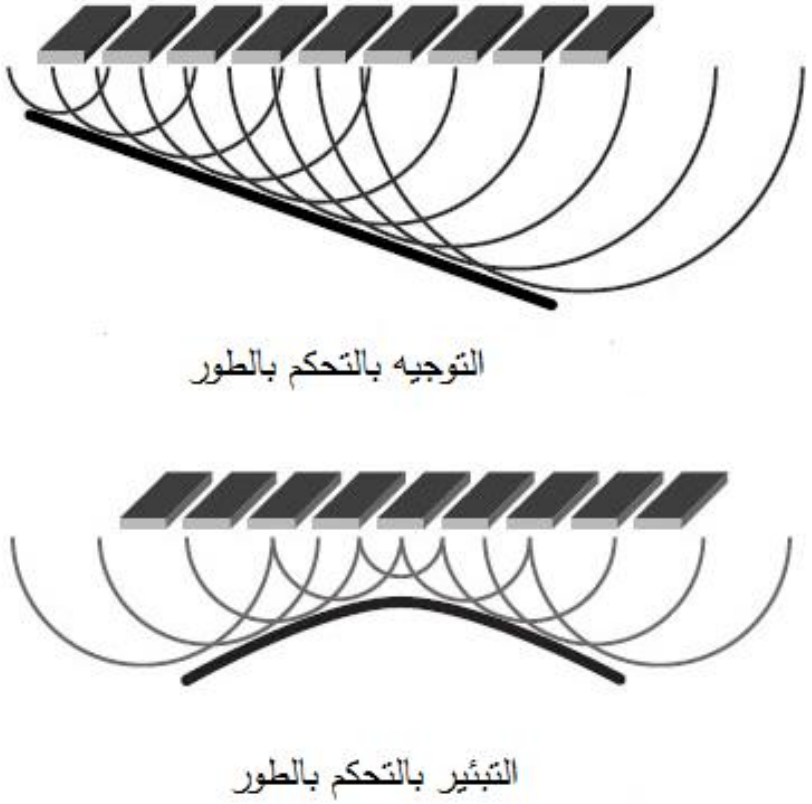
مجس مرسل مستقبل: يظهر في الشكل تمثيل لموجة واردة (الأحمر) على جسم معين (الأزرق) وتمثيل للموجة المنعكسة (الأخضر) عن الجسم

المجس الباعث _المستقبل



مجس مرسل مستقبل يظهر فيه الترجام transducerوهو البلورة الكهرضغطية التي تحول الإشارة الكهربائية إلى إشارة ضغطية (صوتية) وتحول الإشارة الضغطية إلى إشارة كهربائية . يضم المجس أيضاً عدسة صوتية لتقريب الحزمة وتتكون العدسة من مادة البليكسيغلاس التي تتميز بالسرعة الكبيرة لانتشار الأمواج الصوتية فيها

أشكال المجسات وصدور الموجة



مجسات مختلفة مركبة من بلورات كهرضغطية مصطفة بهندسات مختلفة.

توجيه الحزمة إلكترونياً بالتحكم بأطوار إصدار الموجة من كل عنصر من عناصر المجس ما يمكن من توجيه الحزمة باتجاه معين (b) أوتبئير الحزمة (c).

المقدرة الفاصلة للمجس

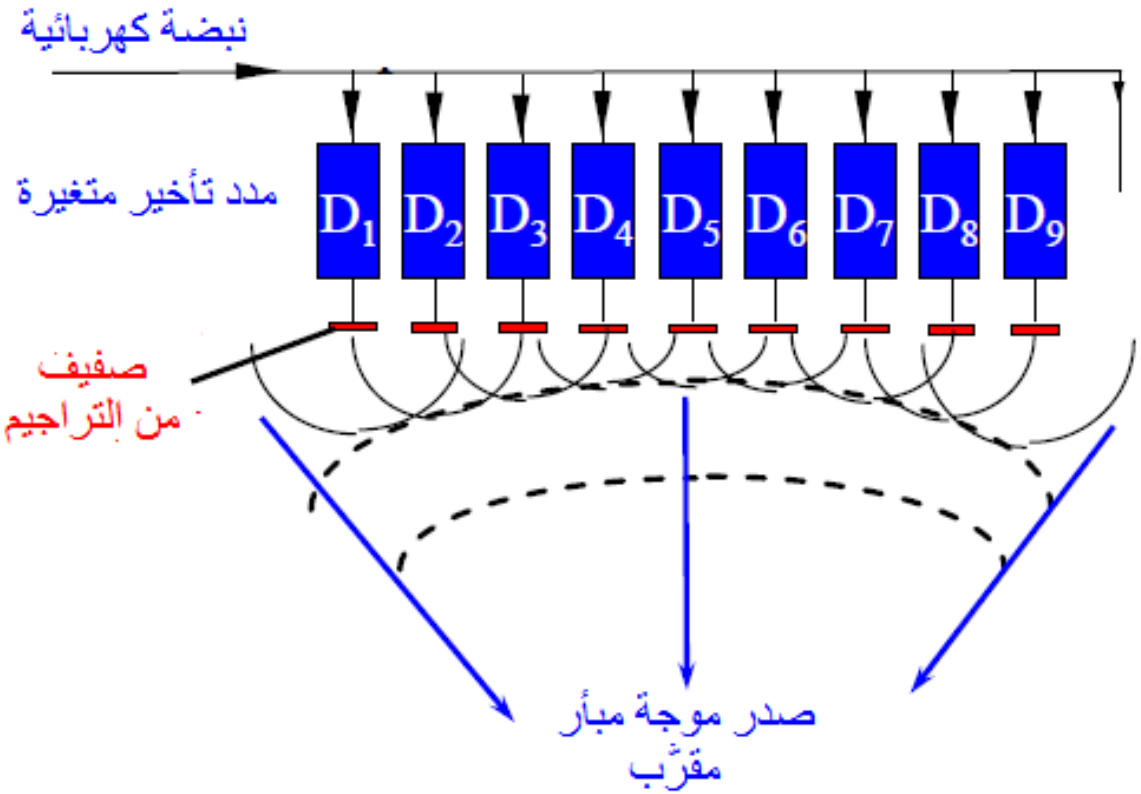
- يتميز المجس بمقدرتين فاصلتين هما:
- **المقدرة الفاصلة المحورية (وفق محور الحزمة):** وتتعين بإمكان التمييز بين جسمين قريبين أحدهما من الآخر مسافة تقدّر ببضعة أضعاف الطول الموجي، وهي بذلك في حالة التواترات العالية أفضل منها في حالة التواترات المنخفضة.
- **المقدرة الفاصلة العرضانية (وفق محور يتعامد مع الحزمة):** فيؤدي قطر الحزمة الدور الأساسي في تحديد دقة معلومات صورة الصدى؛ إذ يؤدي اتساع فتحة الحزمة مع العمق إلى إضعاف المقدرة الفاصلة تدريجياً، لذلك تستعمل بعض العدسات الصوتية لتبئير الحزمة.

تبئير (أو تقريب) الحزمة

- يمكن تصحيح تباعد الحزمة، في حالة ترجام وحيد، بإلصاق عدسة صوتية بالبلورة الكهرضغطية.
- يمكن الحصول على عدسات فوق صوتية من مواد ينتشر فيها الصوت على الأغلب بسرعة تزيد على سرعته في الماء كالبليكسيغلاس plexiglass مثلاً، وبناءً على ما تقدم تكون عدسة البليكسيغلاس السميكة الحواف والرقيقة في مركزها، مقربة، فيوافق شكلها بذلك العدسة الضوئية المبعِّدة.
- تتعلق خصائص المنطقة التي تتجمع فيها الطاقة الصوتية بعدة وسطاء: كنصف قطر انحناء العدسة وأبعاد البلورة الكهرضغطية وتواترها الصادر.
- هذا وإن تحقيق أفضل مقدرة فاصلة عند عمق معين مرهون باختيار المجس ذي البعد المحرقي الموافق.

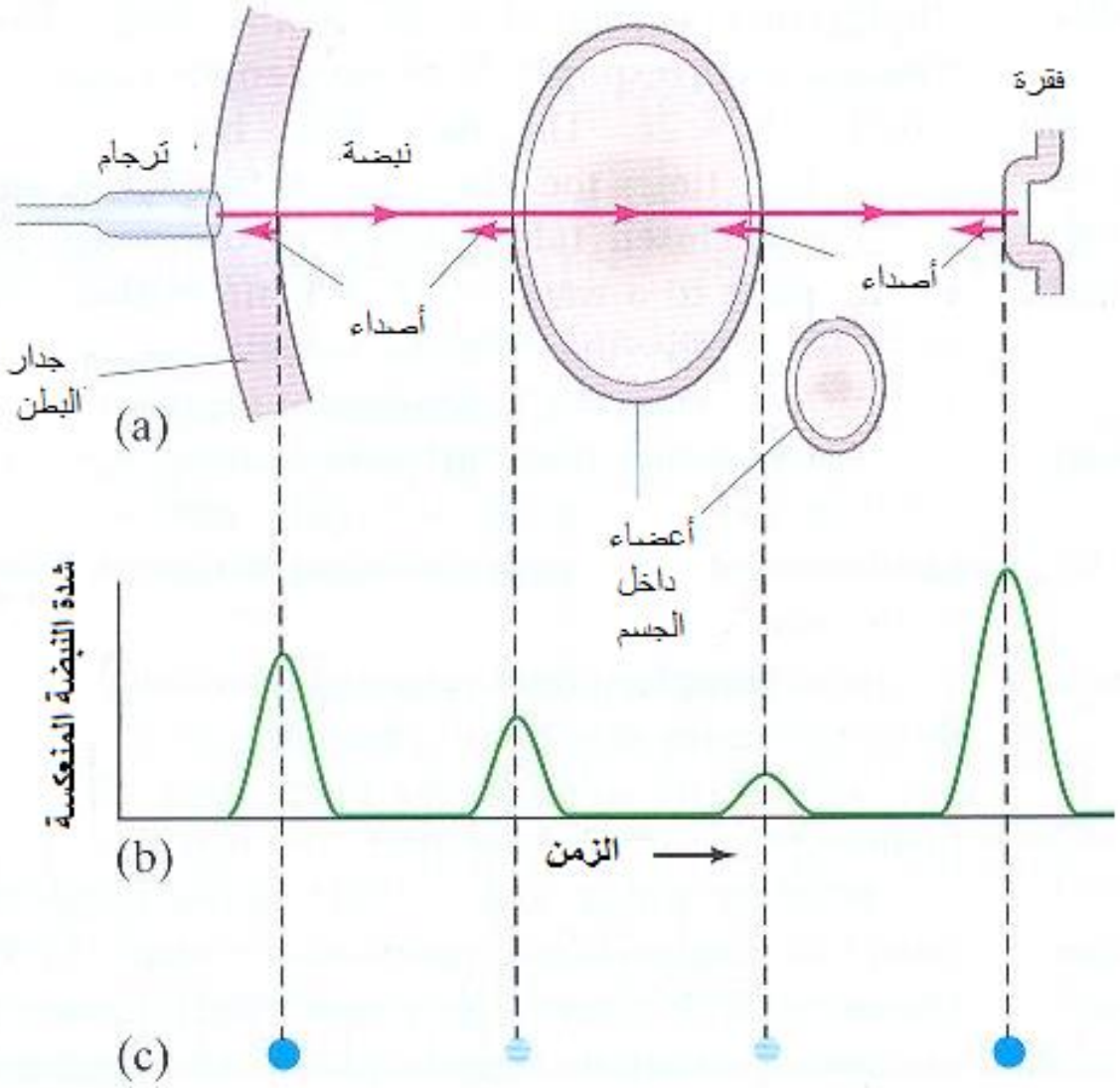
العدسة الإلكترونية

يمكن تقريب الموجة فوق الصوتية لدى إصدارها أو استقبالها بشبكة التراجيم الكهرضغطية بالاعتماد على خطوط تأخير إلكترونية.
حيث تبلغ الموجة الواردة إلى شبكة التراجيم من البؤرة focus الترجام المركزي أولاً ثم التراجيم المجاورة بتأخير قصير.



تبئير الحزمة بإضافة عناصر تأخير كهربائية.

مبدأ تصوير الصدى بمجس أحادي البلورة

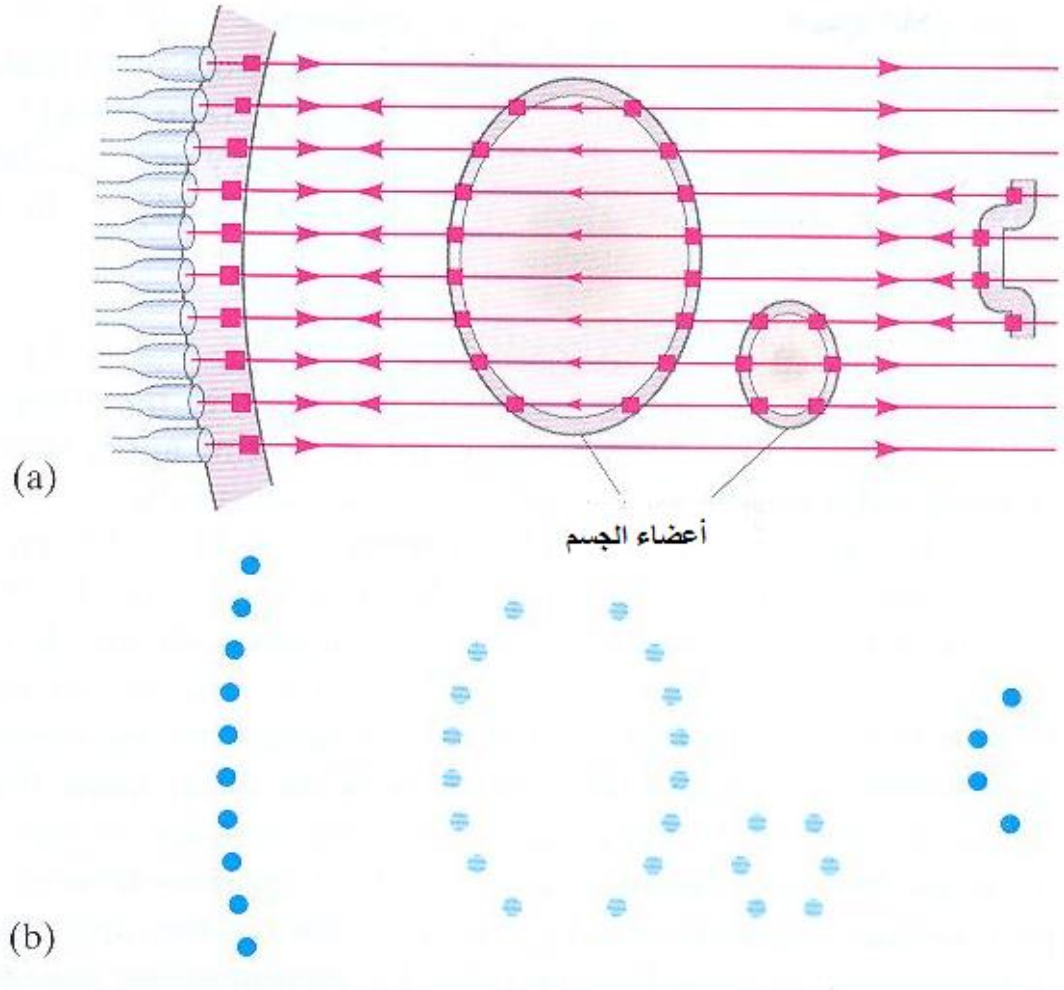


ترجام يولد نبضة فوق صوتية والانعكاس والنفوذ عند السطوح الفاصلة بين النسج المختلفة بالممانعة الصوتية

شدة الأصداء الناجمة عن السطوح الفاصلة بين النسج المختلفة بالممانعة الصوتية

عرض نقطي للأصداء، ترتبط إضاءة نقاطه بشدة الصدى

مسح مستو في البطن بتصوير الصدى



يتم إما بتحريك ترجام في المستوي أو باستخدام عدة تراجيم في المجس

التواتر الذي يقع عليه الخيار

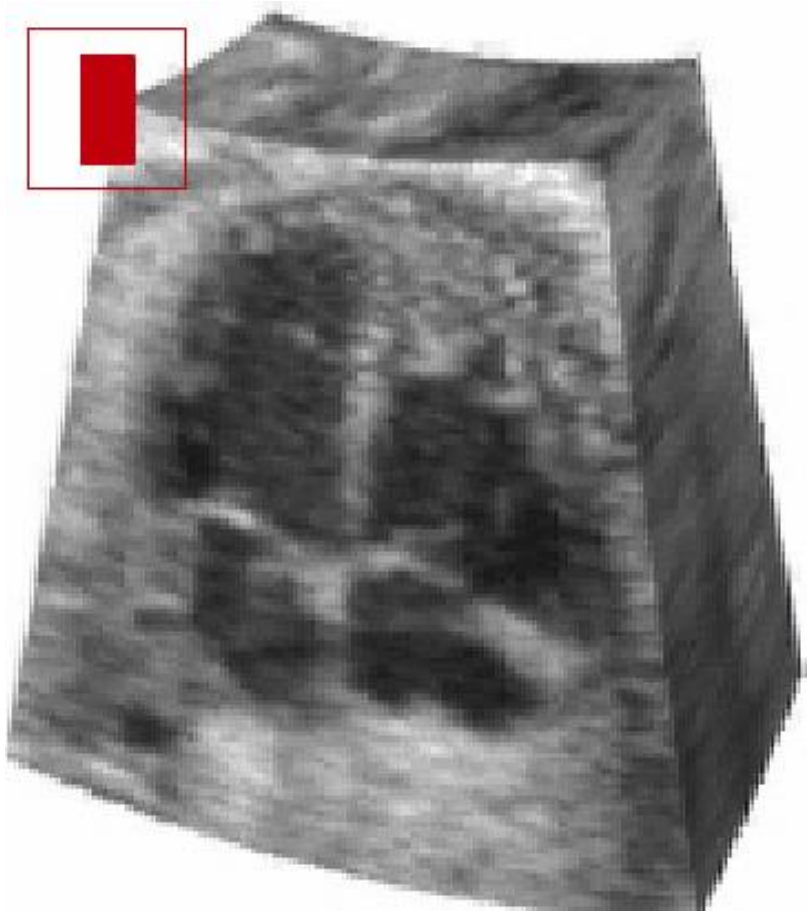
- يجب أن يؤخذ في الحسبان عاملان لدى اختيار تواتر الموجة فوق الصوتية:
- - أصغر تفصيل يرغب بتمييزه، تبعاً لقوانين الانعراج، أي إن المقدرة الفاصلة لنظام ما (ضوئي أو صوتي) هي من مرتبة الطول الموجي، ولهذا يستخدم طول موجي قصير للحصول على صورة أكثر تفصيلاً أي يستخدم تواتر مرتفع.
- تزايد امتصاص وسط ما للطاقة فوق الصوتية من جهة أخرى، تزايداً سريعاً مع ارتفاع تواتر الموجة الصوتية.
- في التطبيقات الطبية، تستخدم عملياً تواترات من مرتبة بضعة ميغا هرتز كتسوية بين العاملين المتناقضين

تصوير الصدى

SAMPLE USE ONLY
© 2011 Nucleus Medical Media. All Rights Reserved.
nucleus
MEDICAL MEDIA

الهيكل العظمي لجنين عمره 19 أسبوعاً

تصوير الصدى (العضلة القلبية)



السرعة الطبيعية لقلب جنين عمره 8 أسابيع

تخامد الحزم الصوتية

- تتخامد الطاقة المحمولة بالحزمة الصوتية مع الابتعاد التدريجي عن المجس الباعث وفق تابع أسي. وتتعلق قيمة معامل التخامد بكل من وسط الانتشار وبالتواتر.
- 1. تؤدي مضاعفة التواتر، لدى دراسة الوسط نفسه، إلى مضاعفة معامل التخامد، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض مدى الحزمة إلى النصف.
- 2. إن الماء ناقل جيد للصوت معامل تخامده صغير، ولكن ارتفاع معامل تخامد النسج يجعلها أقل جودة في النقل ويسوّغ إدخال نظام تضخيم مناسب لكشف الأصداء البعيدة وتصحيحها.

تصحيح تخامد الموجة الصوتية

التضخيم الكلي وهو يتناول الأصداء كلها، فيزيد من شدة الأصداء السطحية، ويجعلها تتجاوز عتبة الإشباع من جهة، ويصبح إدراك الأصداء الأكثر بعداً ممكناً من جهة أخرى.

التضخيم التفاضلي ويهدف إلى المساواة بين مطالات الأصداء على أعماق المنطقة المدروسة كلّها.

تقتضي هذه الطريقة تخفيض اتساع الأصداء الأكثر قرباً من المجس، وتعويضاً متزايداً لتخامد الأصداء الأكثر بعداً تبعاً لعمقها، وذلك وفق نمط لغارتمي.

الأمواج فوق الصوتية العالية الشدة المبأرة والتطبيقات الطبية

- الأمواج فوق الصوتية العالية الشدة المبأرة High intensity focused ultrasound (HIFU أو أحياناً MRgFUS التي تعني الأمواج فوق الصوتية المبأرة الموجهة بالتجاوب المغنطيسي)
- طريقة طبية يطبق فيها طاقة فوق صوتية مبأرة عالية الشدة لتسخين النسيج المريض أو التالف موضعياً وتحطيمه من خلال الاستئصال.

الأمواج فوق الصوتية العالية الشدة المبأرة والتطبيقات الطبية

- تستخدم التطبيقات العلاجية الأمواج فوق الصوتية لإحداث الحرارة أو التهيج في الجسم.
- ولذلك تستخدم طاقة أعلى بكثير منها في حالة الأمواج فوق الصوتية التشخيصية.
- كما إن مجال التواترات المستخدمة في كثير من الحالات شديدة الاختلاف.

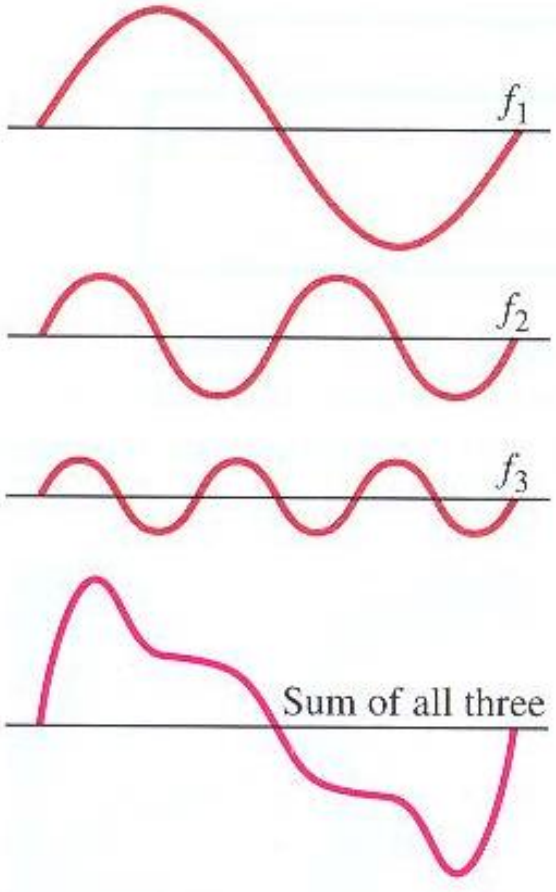
مجالات المعالجة بتقنية (MRgFUS) أو (HIFU).

- يمكن استخدام الأمواج فوق الصوتية المبأرة في توليد تسخين شديد التوضع في معالجة الكييسات cysts والأورام الحميدة والخبيثة.
- التواترات المستخدمة أخفض منها في حالة التصوير الطبي التشخيصي بالأمواج فوق الصوتية (من 0.250 إلى 2MHz)، ولكن بطاقات أعلى بكثير.
- في تحطيم حصى الكلية بتفتيت الحصى lithotripsy.
- في معالجة السادات cataract عن طريق استحلاب العدسة phacoemulsification.

أهمية الأمواج فوق الصوتية المنخفضة الشدة

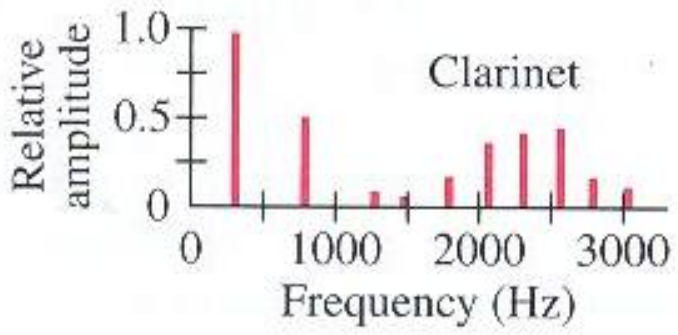
- اكتشفت مفعولات فيزيولوجية إضافية للأمواج فوق الصوتية المنخفضة الشدة، منها:
- إمكانية تحريض نمو العظام،
- إمكانية تمزيق الحاجز الدموي الدماغي لسوق الدواء.

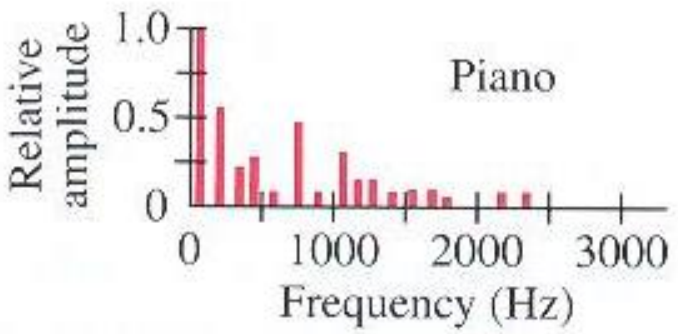
الأصوات البسيطة والمركبة

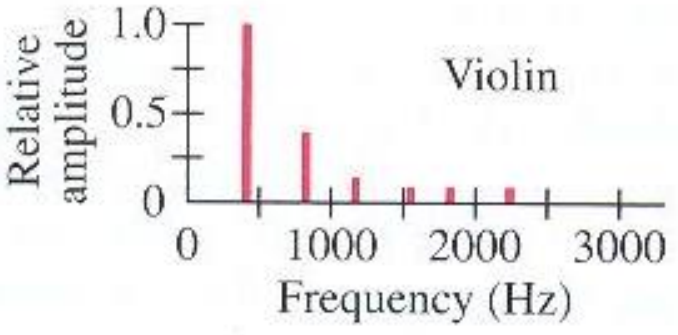


انضمام سعات النغمة الأساسية والنغمتين التوافقيتين الأولى والثانية في كل نقطة للحصول على المجموع أو الموجة المركبة منهما.

الأطياف الصوتية لمختلف الآلات الموسيقية.

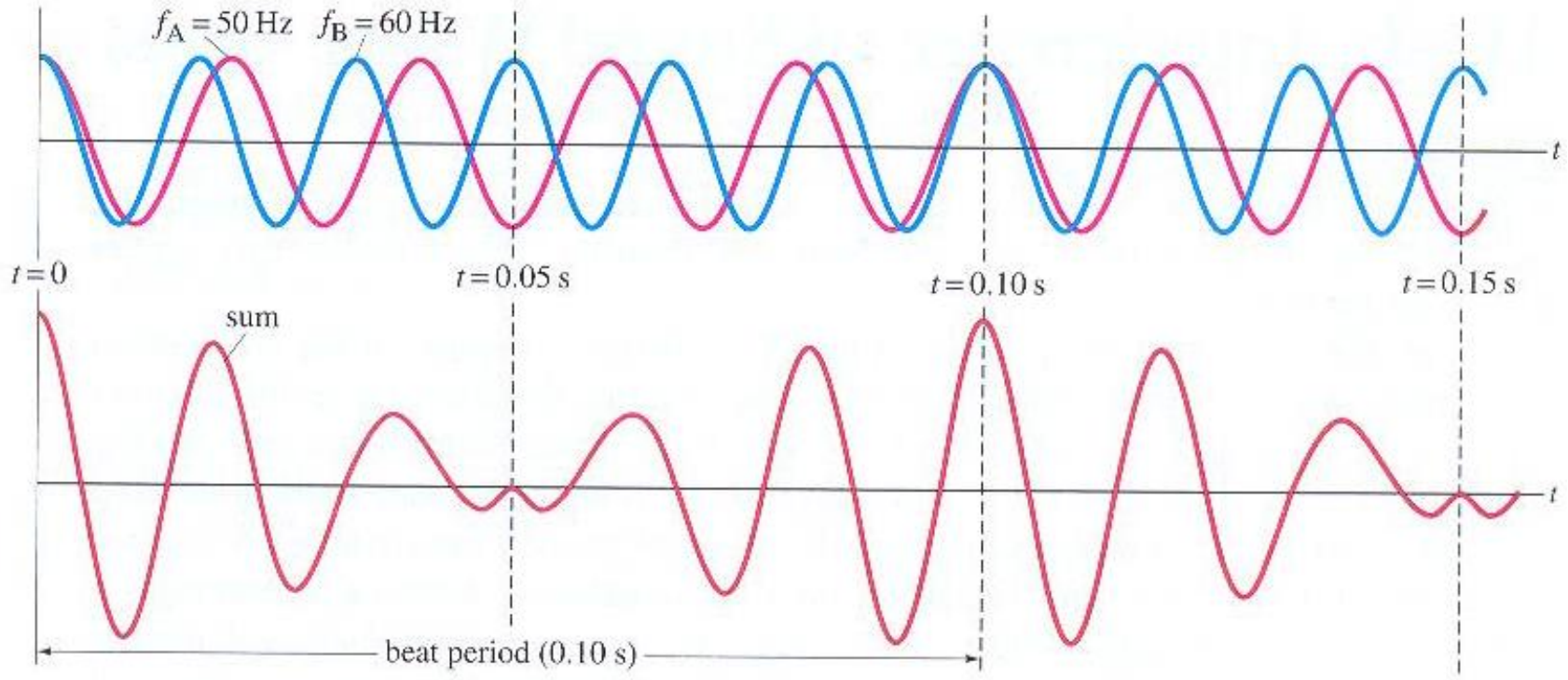






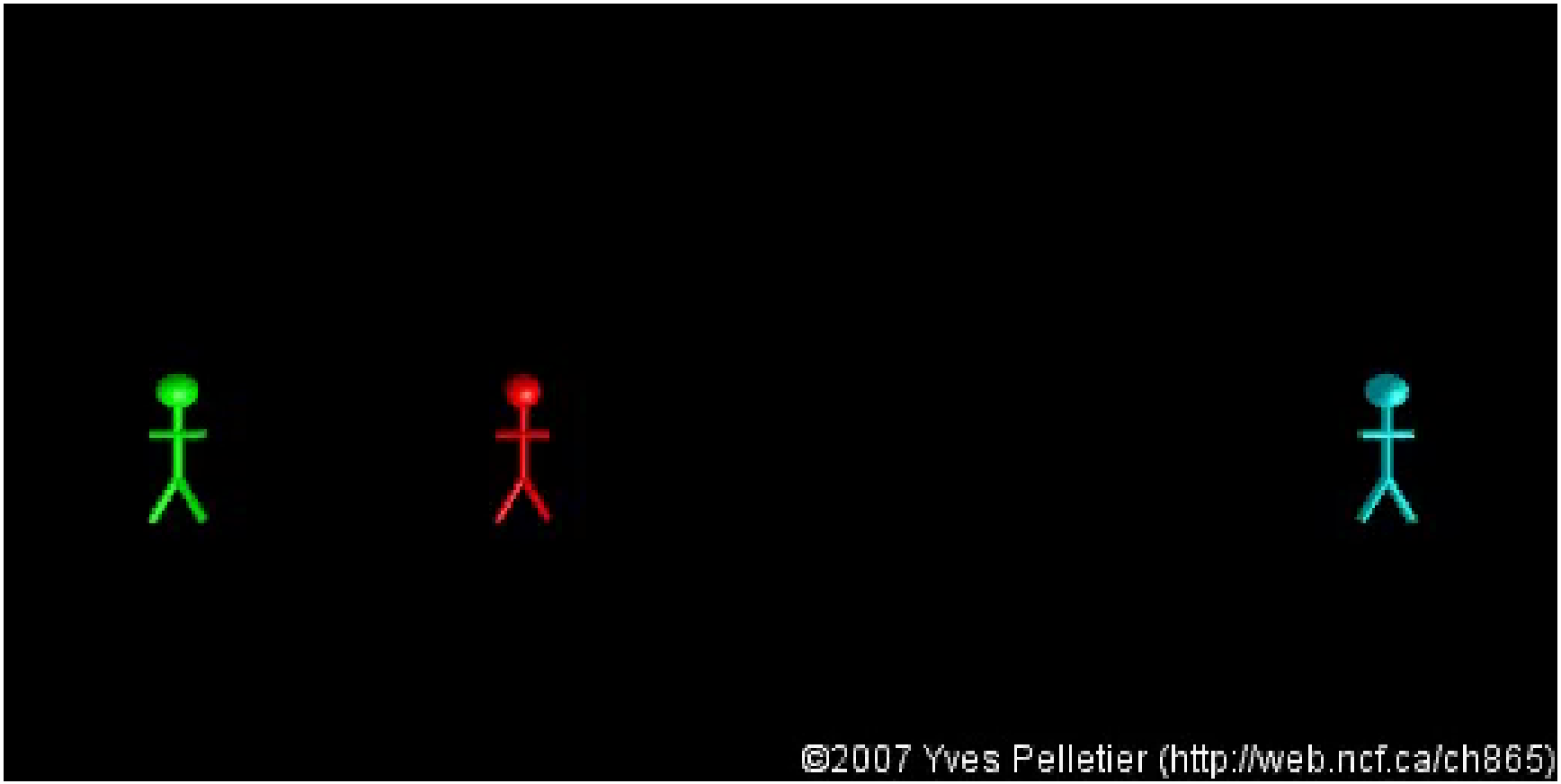
تختلف الأطياف عندما تعزف الآلات نغمات مختلفة. فالمزمار معقد قليلاً. فهو يعمل كأنبوب مغلق عند التواترات المنخفضة، ويتميز بتواترات فردية فقط، ولكن جميع التوافقيات تحدث عند التواترات العالية، كما هو الحال في أنبوب مفتوح

انضمام موجتين متقاربتين في التواترbeats
الخفقان

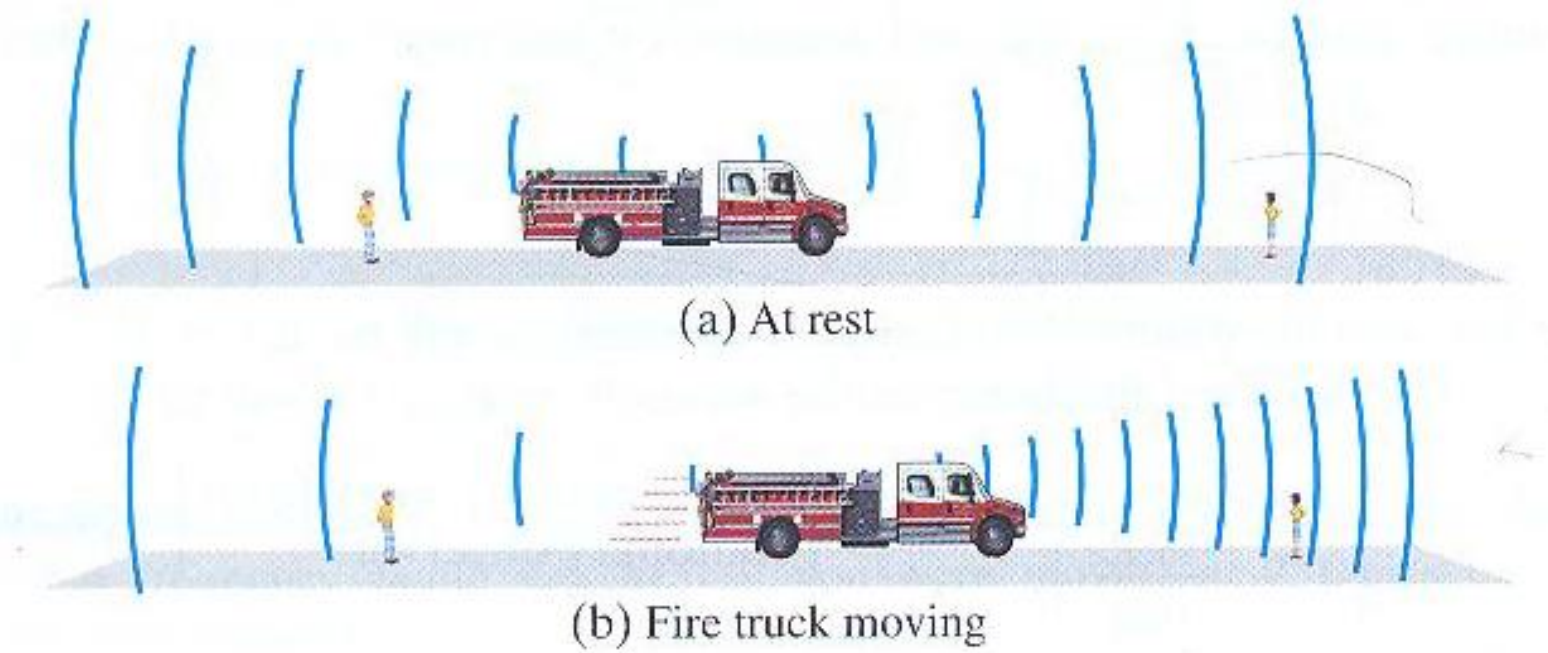


- يحدث الخفقان نتيجة لانضمام موجتين متقاربتين في التواتر
- beats

مفعول دوبلر
(سرعة الأمواج أعلى من سرعة المادة)



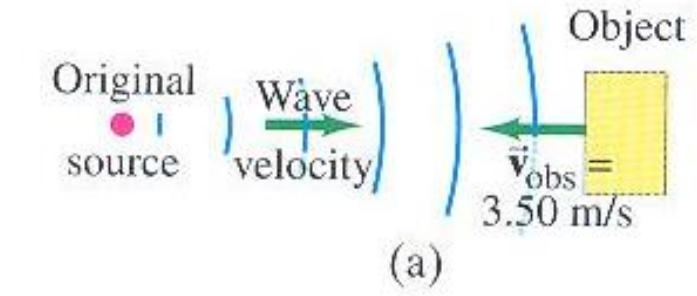
مفعول دوبلر



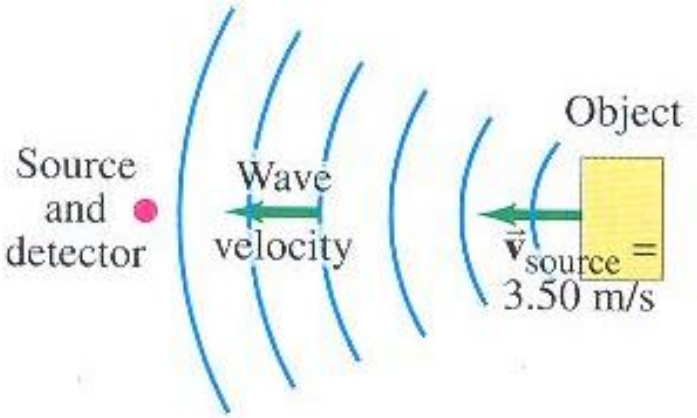
(a) كلا المراقبين على الرصيف يسمعان التواتر نفسه الصادر عن شاحنة الإطفاء الساكنة

(b) مفعول دوبلر: المراقب الذي تتقدم نحوه الشاحنة يسمع صوتاً تواتره أعلى، في حين أن المراقب الذي يقع خلف شاحنة الإطفاء يسمع صوتاً تواتره أخفض.

مقياس دوبلر لتدفق الدم



(a)



(b)

عندما تمتزج الموجة الواردة والموجة المنعكسة معاً (وليكن إلكترونياً)، تتداخل إحداهما مع الأخرى وتتولد خفقات beats. **إن تواتر الخفقان يساوي الفارق بين التواترين.**

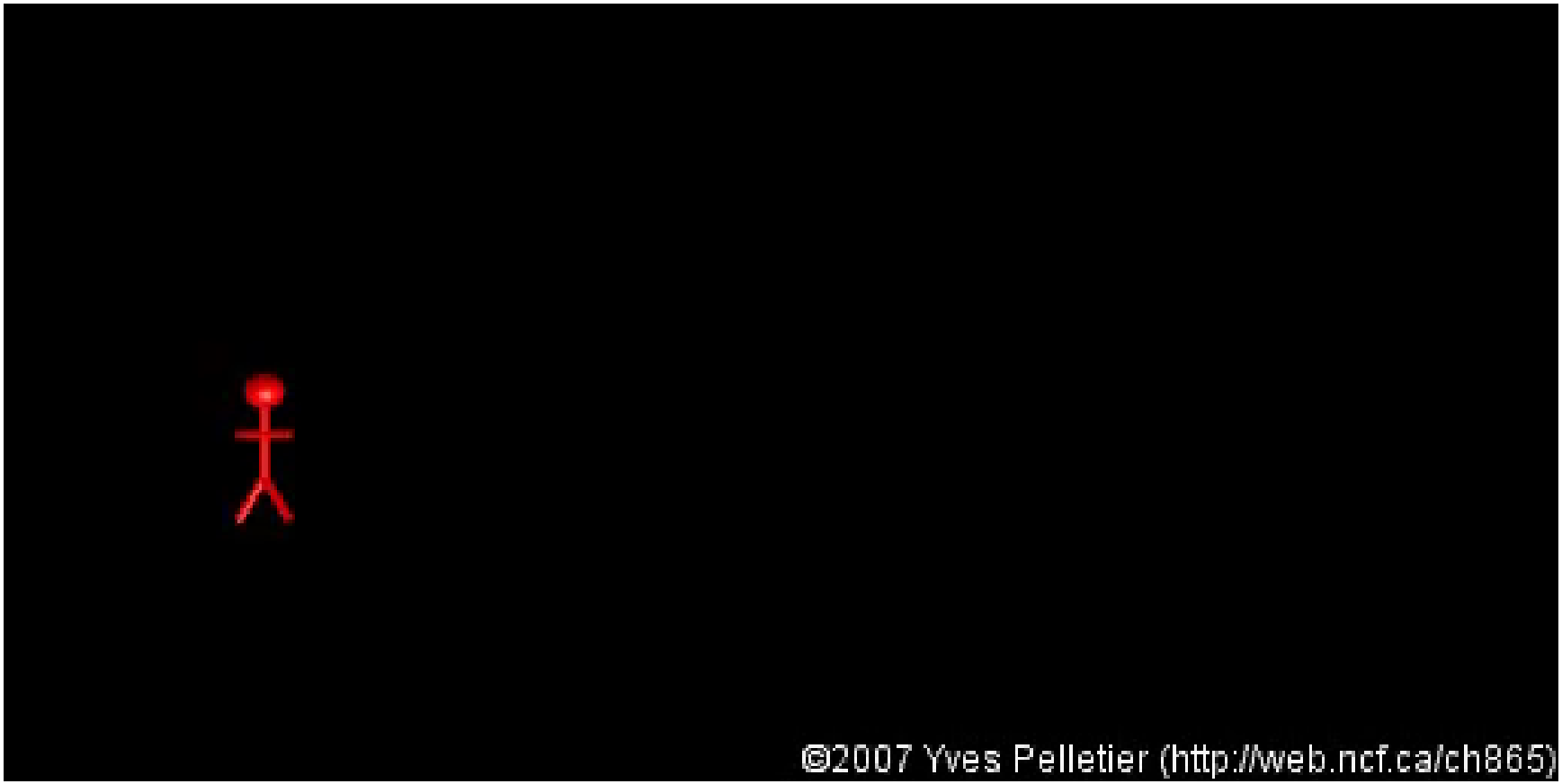
تستخدم تقنية دوبلر هذه في العديد من التطبيقات الطبية، وخاصة في الأمواج فوق الصوتية في مجال تواتر الميغاهرتز.

إذ يمكن استخدام الأمواج فوق الصوتية المنعكسة عن خلايا الدم الحمراء مثلاً في تحديد سرعة تدفق الدم. وبالمثل يمكن استخدام هذه التقنية في الكشف عن حركة صدر جنين صغير وفي مراقبة حركاته القلبية.

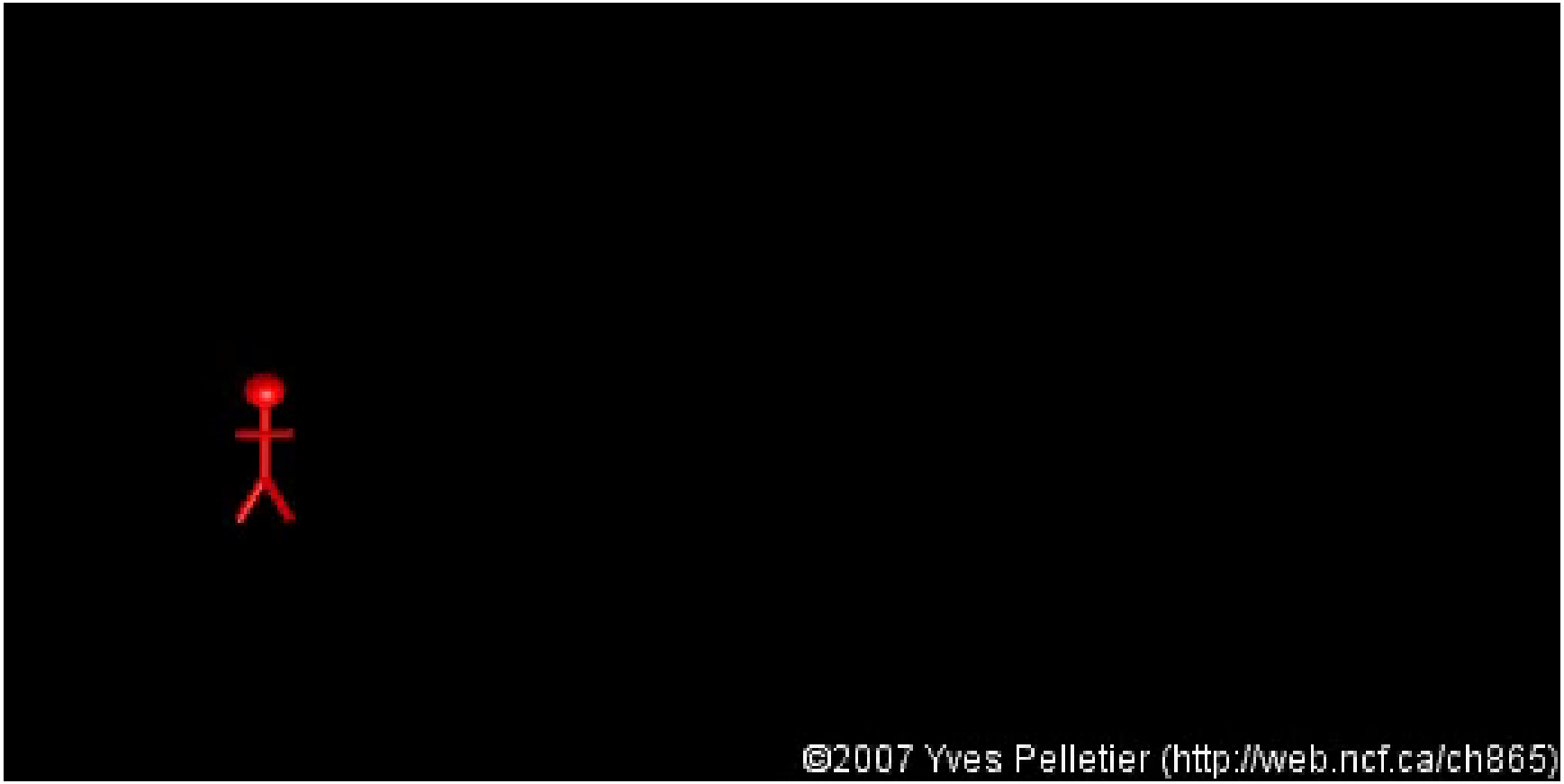
الخفاش ومفعول دوبلر

- الخفاش يستخدم الأمواج فوق الصوتية للإبحار في العتمة.
- يستخدم الخفاش تشكيلة من تقنيات تحديد مواقع الأصداء للكشف عن فرائسه. فهو يستطيع الكشف عن تواترات تزيد على 100 kHz، وربما تصل إلى 200 kHz.

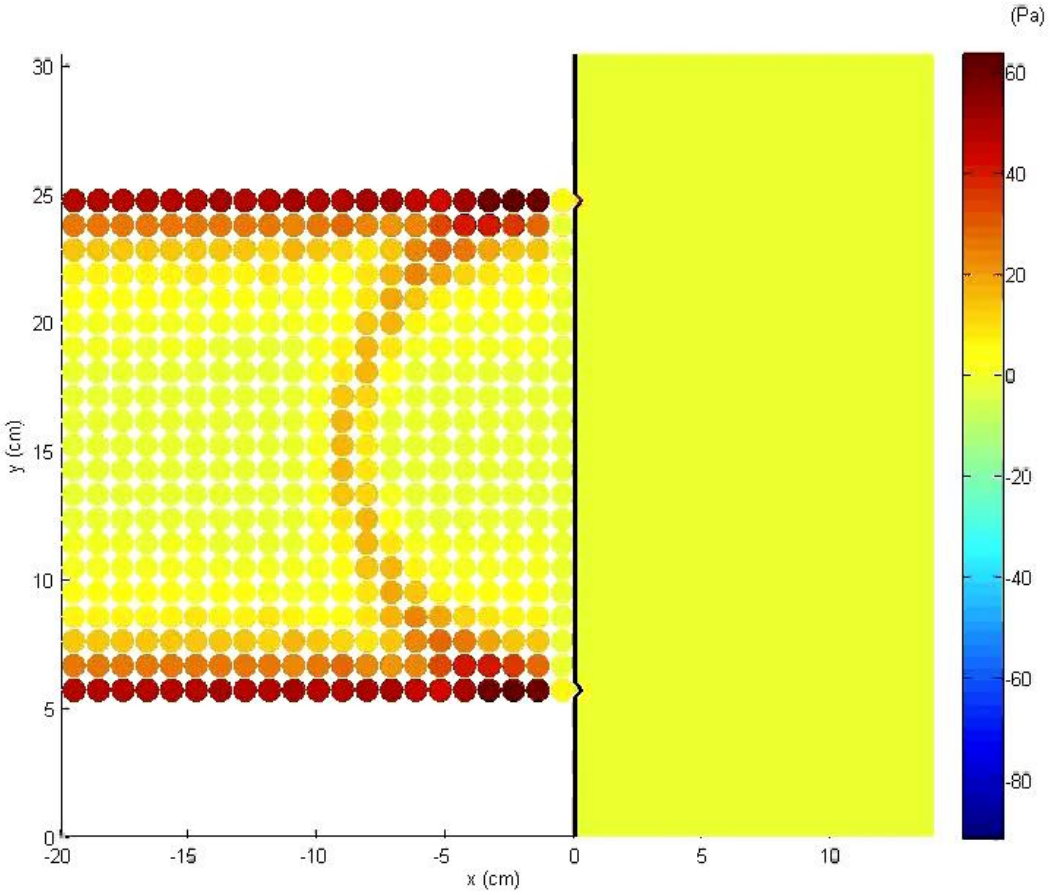
سرعة المادة تساوي سرعة الأمواج الصوتية



الأمواج الصادمة
(سرعة المادة أعلى من سرعة الأمواج الصوتية)



الطلقة الصوتية



أرجوحة نيوتن والعدسة الصوتية

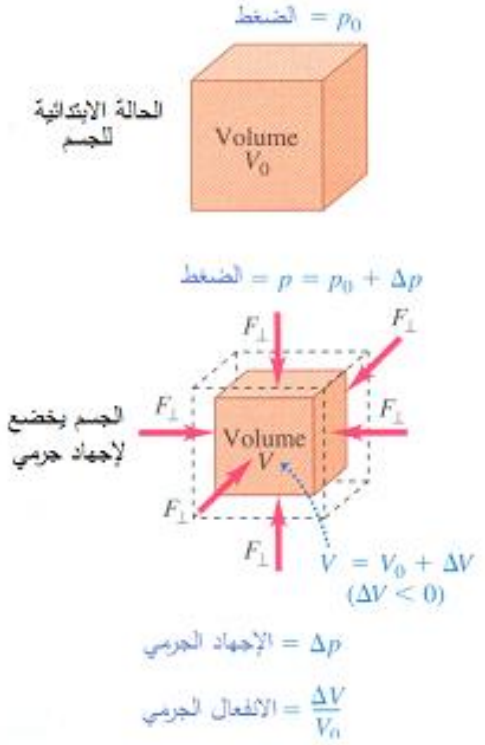
مفتت الحصى

تصوير مرونة النسج

- كان الأطباء المصريون القدماء، كأطباء اليوم يمارسون جس الأعضاء للكشف عن الشذوذات فيها كالأورام أو الأمراض التي تغير في مرونة النسج كتشمع الكبد. ويعد جس الأعضاء أداة تشخيصية مفيدة تتطلب المهارة والخبرة: فالكتلة التي يصعب تشويهها في عضو معين غالباً ما ترتبط بوجود ورم. حتى إن الجراحين يستخدمون الجس ليستدلوا بفعالية على المناطق التي يريدون جراحتها.
- وقد برزت عدة طرائق لتصوير المرونة تعتمد في مجملها على تطبيق موجة ميكانيكية قصية وموجة ضغطية.

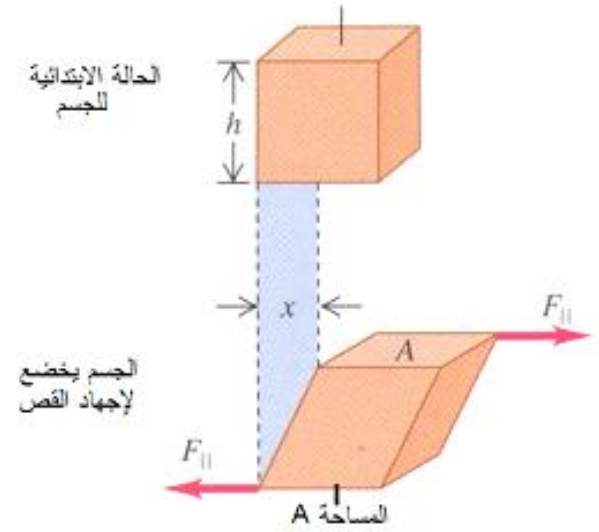
عامل المرونة الجرمي أو الحجمي

التشوّه حجمي
الإجهاد: تغير الضغط ΔP أو الضغط الصوتي $p_{acoustic}$
الانفعال: التغير النسبي في الحجم أو الكتلة الحجمية $-\Delta V / V_0 = \Delta\rho / \rho_i$
ثابت التناسب: العامل الجرمي (أو عامل المرونة الحجمي) B



عامل المرونة القصِّي

التشوّه قصّي
الإجهاد: قوة القص مقسومة على المساحة الموازية للسطح الذي تؤثر فيه $F_{\parallel} / A$
الانفعال: نسبة الإزاحة النسبية لـ x إلى الفاصل h بين السطحين المتوازيين x / h.
ثابت التناسب: عامل القص S

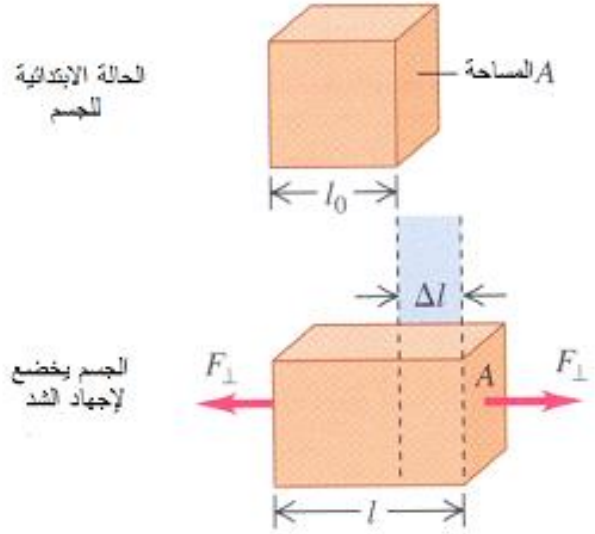


$$\text{إجهاد القص} = \frac{F_{\parallel}}{A}$$

$$\text{انفعال القص} = \frac{x}{h}$$

عامل يانغ التمددي (الأيسر)، الانضغاطي (الأيمن)

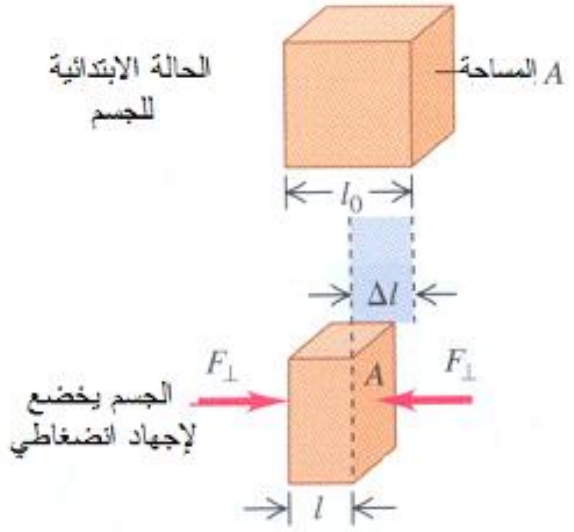
التشوّه تمددي
الإجهاد: القوة في وحدة مساحة المقطع $F_\perp / A$
الانفعال: التغير النسبي في الطول $\Delta l / l_0$
ثابت التناسب: عامل يانغ Y



$$\text{إجهاد الشد} = \frac{F_\perp}{A}$$

$$\text{انفعال الشد} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

التشوّه انضغاطي
الإجهاد: القوة في وحدة مساحة المقطع $F_\perp / A$
الانفعال: التغير النسبي في الطول $\Delta l / l_0$
ثابت التناسب: عامل يانغ Y



$$\text{الإجهاد الانضغاطي} = \frac{F_\perp}{A}$$

$$\text{الانفعال الانضغاطي} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

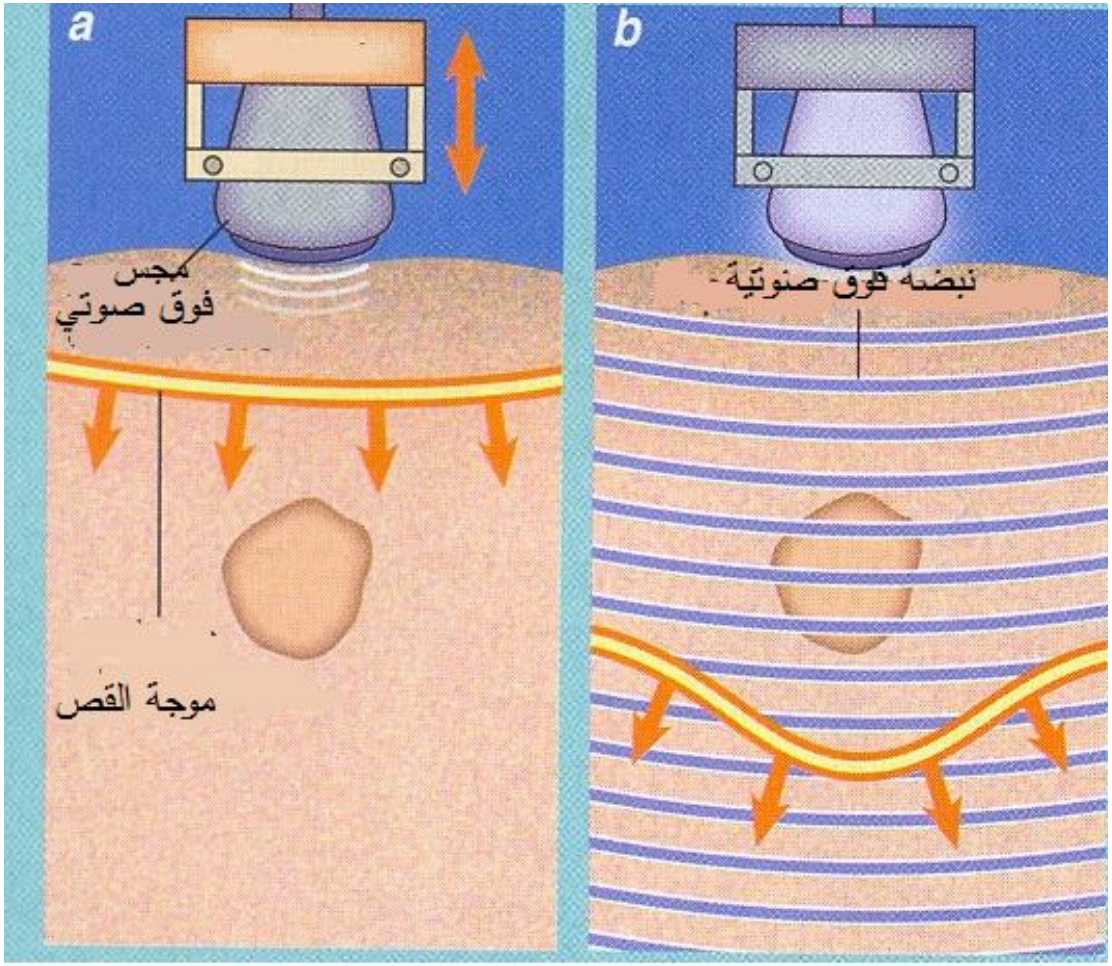
تصوير المرونة بالأمواج القصية

- في منتصف 1990s اقترحت طريقة لتصوير مرونة النسج أطلق عليها تصوير المرونة بالأمواج القصية shear-wave elasticity imaging (SWEI) لرسم خارطة لمرونة النسج.
- تعتمد الطريقة على استخدام قوة الإشعاع الصوتي acoustic radiation force للأمواج فوق الصوتية المبأرة focused ultrasound في إحداث أمواج قصية shear waves في النسيج الرخو.

تصوير المرونة بالأمواج القصية

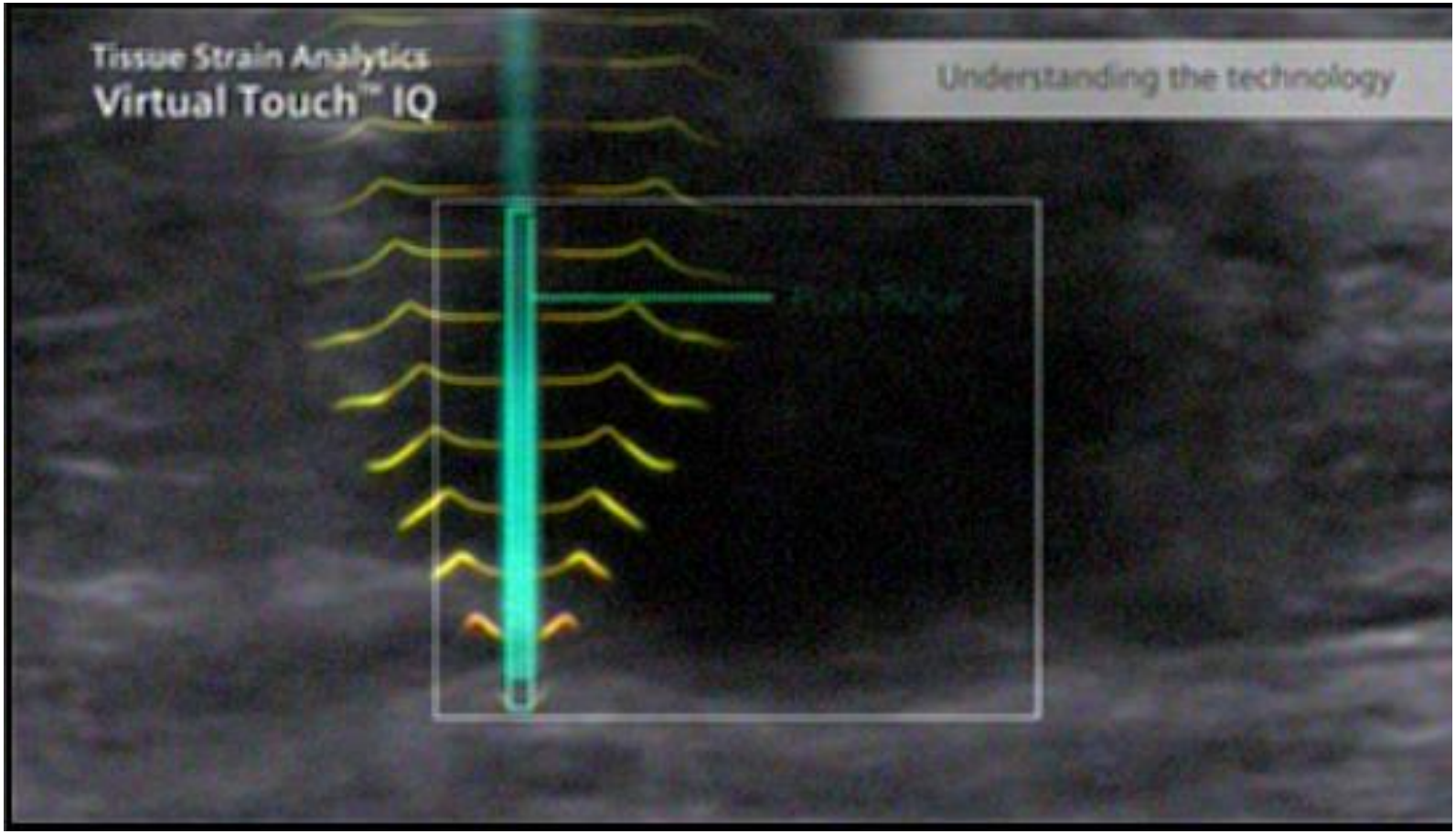
- بقياس برامترات انتشار الأمواج القصية باستخدام الأمواج فوق الصوتية أو تصوير الرنين المغنطيسي يمكن رسم خارطة لمرونة النسيج.
- لما كان المصطلحان اللذان يدلان على تصوير المرونة "elasticity imaging" أو "elastography"مترادفين، غالباً ما يحول المصطلح الأصلي SWEI إلى SWE الذي يدل على shear wave elastography.

تصوير المرونة بالأمواج القصية

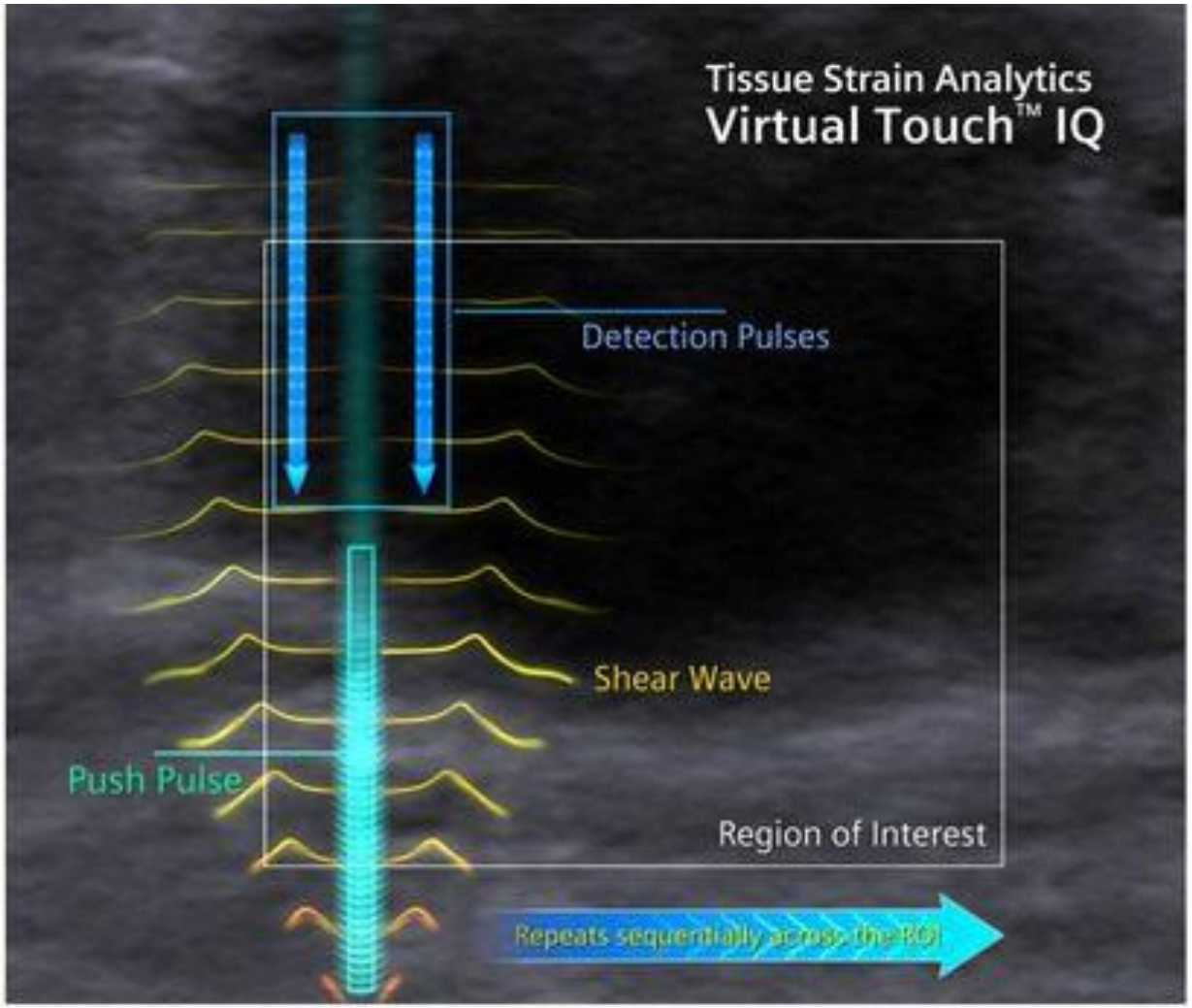


- (a)انتشار موجة القص في النسيج (b) تعقب موجة القص بالأمواج فوق الصوتية العالية السرعة

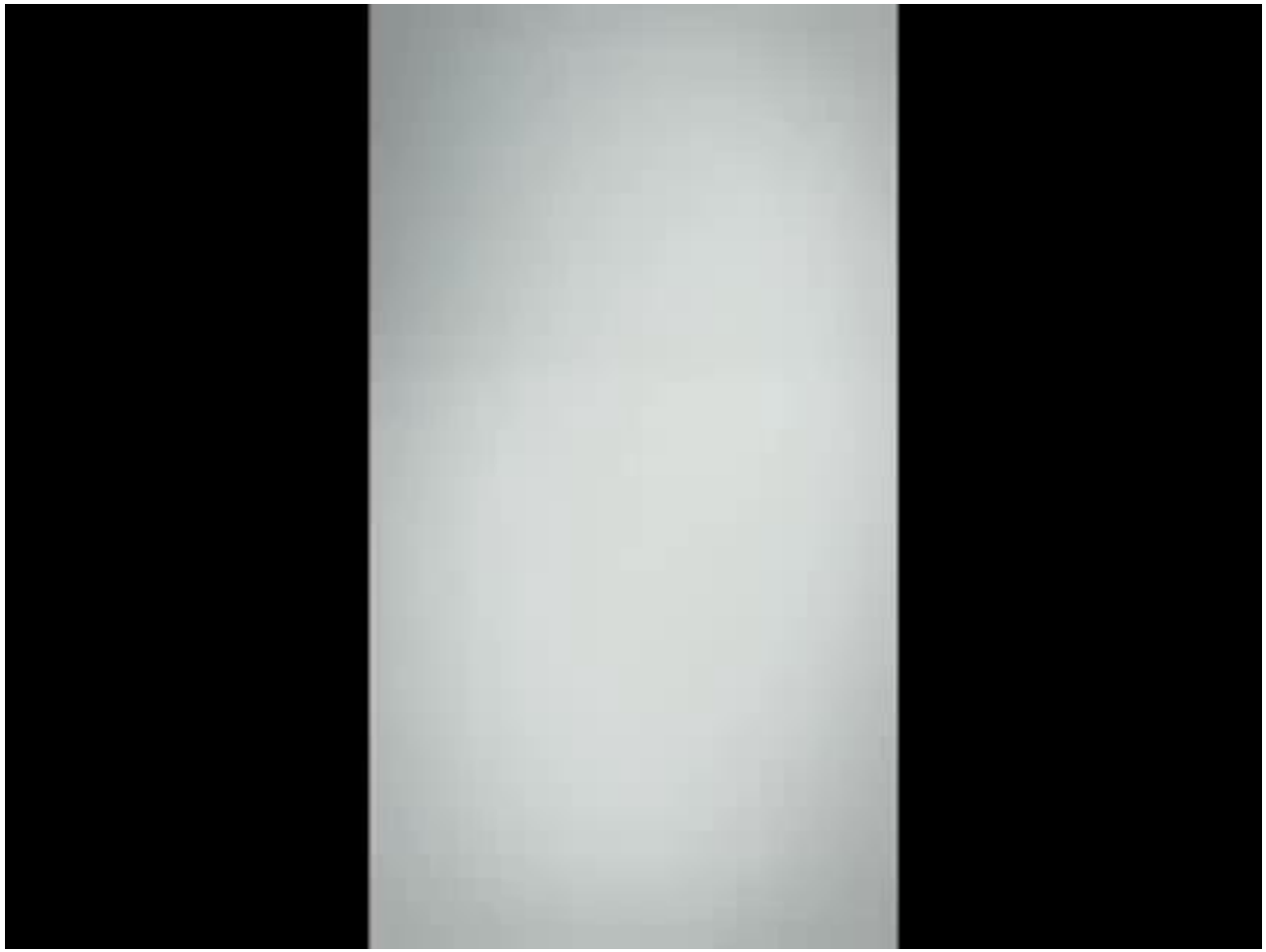
تصوير المرونة بالموجة القصية



تصوير المرونة بالموجة القصية



تصوير المرونة بالموجة القصية



تصوير المرونة بالأمواج القصية

- يتحكم بسرعة موجة القص معامل القص للنسيج shear modulus الشديد الحساسية للتغيرات البنيوية الفيزيولوجية والمرضية للنسيج. يمكن أن يتغير معامل القص بعدة مراتب تبعاً لبنية النسيج وحالته.
- يزداد هذا التغير في سرعة موجة القص في الكثير من النسج بوجود المرض؛ فالنسج السرطانية مثلاً يمكن أن تكون أكثر قساوة بكثير من النسيج السليم. لهذا السبب درست إمكانية استخدام الأمواج القصية في طرائق وأدوات تشخيصية جديدة في العقدين الأخيرين.