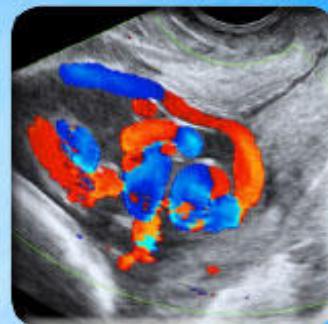
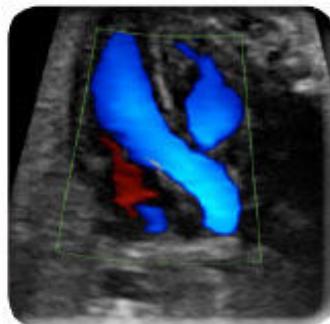


SIÊU âm trong sản khoa và phụ khoa: *một cách tiếp cận thực tế*



Biên tập

Alfred Abuhamad, MD

Tradotto da Prof. Dario Paladini

Với những đóng góp từ

Rabih Chaoui, MD

Philippe Jeanty, MD

Dario Paladini, MD

Trợ lý biên tập

Emily Walsh, MA

Lời tựa của giáo sư John Hobbins, MD

Alfred Abuhamad, MD

Bác sĩ Alfred Abuhamad là giáo sư trưởng khoa sản phụ khoa và phó khoa lâm sàng tại trường y khoa Eastern Virginia, Norfolk, Virginia. Bác sĩ Abuhamad được cho là chuyên gia hàng đầu trong lĩnh vực hình ảnh học sản phụ khoa và tim thai. Ông hiện là chủ tịch danh dự và chủ tịch của hiệp hội siêu âm y khoa Mỹ nhiệm kì vừa qua. Bác sĩ Abuhamad cũng là người thành lập ra uỷ ban khoa học của hiệp hội siêu âm sản phụ khoa thế giới (ISUOG) và là người đứng đầu nhiều hoạt động huấn luyện siêu âm cho các quốc gia đang phát triển trên thế giới.



Emily Walsh

Emily Walsh làm việc tại trường y khoa Eastern Virginia được 7 năm và có 3 năm tại khoa sản phụ khoa. Cô Emily có bằng BA (Bachelors of Arts) và bằng thạc sĩ về giao tiếp (Masters of Arts in Communications) với trọng tâm là truyền thông. Emily đã xuất bản sách *Alberta Katherine Magazine* out of Jacksonville, Florida và là đồng tác giả của sách Regent University's *The Daily Runner*. Emily cũng là người đồng sáng lập của LE Literary Services, là nơi chuyên hỗ trợ cho việc xuất bản và hiệu chỉnh cho các tác giả.



Rabih Chaoui, MD

Bác sĩ Rabih Chaoui là giám đốc của trung tâm chẩn đoán tiền sản và di truyền người tại Berlin, Đức. Ông là một chuyên gia đầu ngành trên thế giới về hình ảnh chẩn đoán của thai. Bác sĩ Chaoui đã góp công rất lớn trong việc xuất bản các tài liệu giảng dạy về hình ảnh chẩn đoán sản khoa và tim thai và đóng vai trò chính trong sự nghiệp giáo dục siêu âm trên toàn cầu. Ông là chủ tịch của uỷ ban khoa học của hiệp hội siêu âm sản phụ khoa thế giới ISUOG nhiệm kì 2009-2013



Philippe Jeanty, MD

Bác sĩ Philippe Jeanty là một bác sĩ rất nổi tiếng trong lĩnh vực hình ảnh chẩn đoán của phụ nữ. Ông là tác giả của nhiều sách về siêu âm được xuất bản. Ông cũng là người sáng lập ra The Fetus.net, một diễn đàn tự do và miễn phí cho các người làm siêu âm sản khoa trên khắp thế giới trao đổi học hỏi. Bác sĩ Jeanty được xem là một chuyên gia nổi tiếng trên thế giới về lĩnh vực siêu âm thai và đã giúp tổ chức các khóa đào tạo huấn luyện nhiều bác sĩ ở các nước kém phát triển



Dario Paladini, MD

Giáo sư Dario Paladini một giáo sư sản phụ khoa. Ông hiện là giám đốc của đơn vị y học và phẫu thuật bào thai tại Bệnh viện trẻ em Gaslini ở Genoa Italy. Giáo sư Paladini là một chuyên gia hàng đầu thế giới về hình ảnh thai, từ siêu âm 3D/4D cho đến tim, thần kinh và siêu âm thai sớm. Là tác giả của hơn 150 bài báo về hình ảnh thai và siêu âm phụ (IOTA trials). Giáo sư Paladini cũng là đồng tác giả của sách siêu âm bất thường thai (*Ultrasound of Fetal Anomalies*), một cuốn textbook được giải thưởng ở lần xuất bản thứ hai. Ông là người có rất nhiều đóng góp trong sự nghiệp huấn luyện siêu âm sản phụ khoa trên toàn cầu và là chủ tịch của uỷ ban khoa học của hiệp hội siêu âm sản phụ khoa thế giới ISOUG nhiệm kì 2004-2009 và là chủ tịch của hội siêu âm sản phụ khoa Ý (SIEOG) nhiệm kì 2010-2012.



LỜI MỞ ĐẦU

"You give but little when you give of your possessions. It is when you give of yourself that you truly give". Khalil Gibran - The Prophet

"Cho người vật chất là cho ít. Chia sẻ kiến thức, hiểu biết của bạn mới thật sự là cho"
Khalil Gibran- The Prophet

Tôi đã dấn thân vào sứ mệnh này với một ý chí quyết tâm là nâng cao việc huấn luyện lý thuyết cũng như thực hành siêu âm cho các bác sĩ với mục đích sau cùng là cải thiện việc chăm sóc sức khoẻ cho phụ nữ trên toàn cầu. Siêu âm được xem là một phần quan trọng của chuyên ngành sản phụ khoa, nhằm mục đích nhận diện ra các thai kì nguy cơ cao hay khảo sát phụ khoa (tử cung và buồng trứng lúc không mang thai). Để làm siêu âm tốt, người siêu âm cần có kiến thức sâu về kĩ thuật và kĩ năng thực hành tốt để tạo ra các hình ảnh chuẩn cho chẩn đoán và cả hai vấn đề này đều chưa đạt ở nhiều nơi trên thế giới. Do vậy cuốn e-book này nhằm mục đích giúp cải thiện hai vấn đề trên.

Sách gồm 3 phần chính: Ba chương đầu tập trung vào các khía cạnh về kĩ thuật và thực hành của siêu âm với các vấn đề như nguyên lý vật lý học của siêu âm, hướng dẫn tiếp cận sử dụng máy siêu âm và các kĩ thuật khi thăm khám siêu âm. Phần hai từ chương thứ 4 đến chương 10 là các vấn đề về sản khoa và phần ba từ chương 11 đến 14 là các vấn đề về phụ khoa. Chương cuối hướng dẫn các yêu cầu cần có của một kết quả siêu âm, là phần then chốt của việc siêu âm. Chương 10 và chương 14 giới thiệu sự chuẩn hoá các bước cần thiết khi thực hiện một siêu âm cơ bản của sản hay phụ khoa. Sách có đầy đủ bảng biểu, hình ảnh có chú thích và các kinh nghiệm được tích luỹ trong nhiều năm.

Có rất nhiều đóng góp cho sự thành công của cuốn sách này, đầu tiên và trước nhất là các người bạn thân thiết của tôi như Rabih Chaoui, Philippe Jeanty và Dario Paladini, những chuyên gia hàng đầu thế giới về siêu âm trong sản phụ khoa. Người tiếp theo là Emily Walsh, người đã giúp thiết kế cuốn sách, biên soạn hình ảnh và bảng biểu. Tiếp theo phải kể đến khoa tiếp thị của trường y khoa Eastern Virginia, nơi điều phối trang web để hỗ trợ cho cuốn sách này. Và cuối cùng là vợ tôi, Sharon, người đã cho tôi động viên, hỗ trợ giúp cho tôi toàn tâm toàn ý thực hiện cuốn sách này.

Một sự cảm ơn đặc biệt dành cho hiệp hội siêu âm sản phụ khoa thế giới (ISUOG) vì những hỗ trợ cho sứ mệnh huấn luyện siêu âm ở các quốc gia kém phát triển trên thế giới cũng như các tinh nguyện viên ISUOG đã giúp thời gian và tiền bạc của mình cho sự nghiệp này.

Nhiều phụ nữ trên thế giới mang thai và đi sinh với sự sợ hãi lo lắng vì các thương tổn hay thậm chí là tử vong. Nếu thông qua sự giáo dục này, chúng ta có thể tác động đến một cá thể thì các nỗ lực của chúng ta sau đó sẽ được ghi nhận.

- Alfred Abuhamad, MD.

1	Nguyên lý vật lý cơ bản của siêu âm dùng trong y khoa...	5
2	Các đặc tính cơ bản của máy siêu âm	26
3	Những khía cạnh về kĩ thuật của siêu âm	39
4	Siêu âm quí một thai kì.	60
5	Siêu âm quí hai thai kì	85
6	Siêu âm quí ba thai kì	116
7	Siêu âm đánh giá song thai	128
8	Các bất thường của bánh nhau	146
9	Đánh giá lượng ối	171
10	Chuẩn hoá các trình tự của qui trình siêu âm sản khoa quí hai và quí ba	179
11	Siêu âm đánh giá tử cung không mang thai	204
12	Siêu âm đánh giá phần phụ	245
13	Thai ngoài tử cung	278
14	Chuẩn hoá các bước siêu âm cơ bản vùng chậu nữ	298
15	Bảng trả lời kết quả siêu âm	310

NGUYÊN LÝ VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA SIÊU ÂM DÙNG TRONG Y KHOA

1

Người dịch: BS Nguyễn Quang Trọng

GIỚI THIỆU

Khi siêu âm được ứng dụng vào chuyên ngành sản – phụ khoa, nó đã tác động rất lớn đến sự chăm sóc bệnh nhân vì nó cho ta hình ảnh rõ nét của thai nhi, bánh nhau (sản khoa), của tử cung và phần phụ (phụ khoa). Những điều đó giúp ta có được chẩn đoán chính xác, cũng như hướng dẫn ta đường đi để can thiệp một cách an toàn cho bệnh nhân. Hiểu biết về nguyên lý vật lý của siêu âm là thiết yếu cho kiến thức cơ bản để điều chỉnh máy. Nó cũng giúp ta hiểu được sự an toàn và các tác động sinh học của kỹ thuật này. Trong chương này, chúng tôi trình bày những khái niệm cơ bản về nguyên lý vật lý của siêu âm, định nghĩa những thuật ngữ quan trọng, ôn lại tính an toàn, hiệu ứng sinh học và các khuyến cáo sử dụng siêu âm trong sản khoa trong nước và các tổ chức quốc tế.

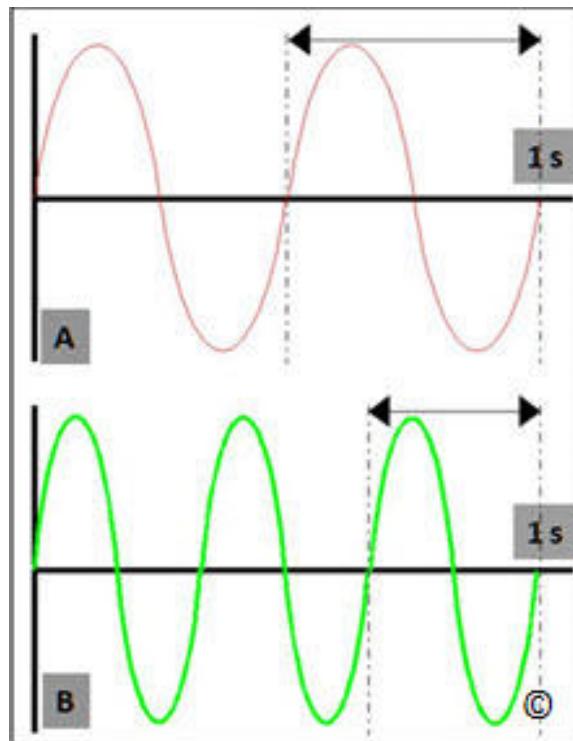
CÁC ĐẶC TÍNH VẬT LÝ CỦA ÂM THANH

Âm thanh là sóng cơ học lan truyền trong một môi trường ở dạng dọc và đường thẳng. Khi âm thanh lan truyền trong một môi trường, các phân tử trong môi trường đó luân phiên bị nén lại và giãn ra. Âm thanh không thể lan truyền trong chân không; nó cần một môi trường để truyền âm, vì sóng âm là năng lượng cơ học được truyền từ phân tử này tới phân tử khác. Điều quan trọng cần lưu ý đó là các phân tử không chuyển động khi sóng âm truyền qua chúng, chúng chỉ dao động tới – lui, hình thành những vùng nén lại và giãn ra trong môi trường. Bảy thông số được dùng để mô tả đặc tính của sóng âm. **Bảng 1.1** liệt kê các đặc tính này.

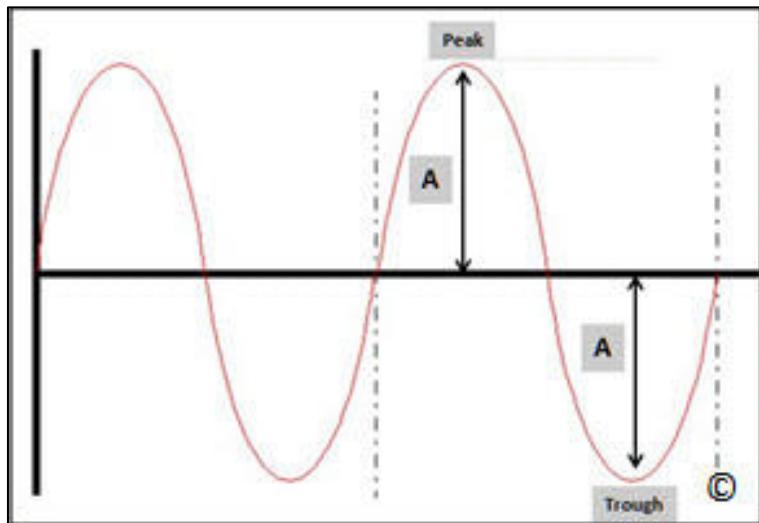
BẢNG 1.1	Các đặc tính của sóng âm
	<ul style="list-style-type: none">- Tần số (Frequency)- Chu kỳ (Period)- Biên độ (Amplitude)- Công suất (Power)- Cường độ (Intensity)- Độ dài bước sóng (Wavelength)- Vận tốc truyền âm (Propagation speed)

Tần số của sóng âm là số chu kỳ diễn ra trong 1 giây (**Hình 1.1**). Đơn vị Hertz là 1 chu kỳ / giây. Tần số là một đặc tính quan trọng của sóng âm, vì nó quyết định độ xuyên thấu của sóng âm và chất lượng hình ảnh.

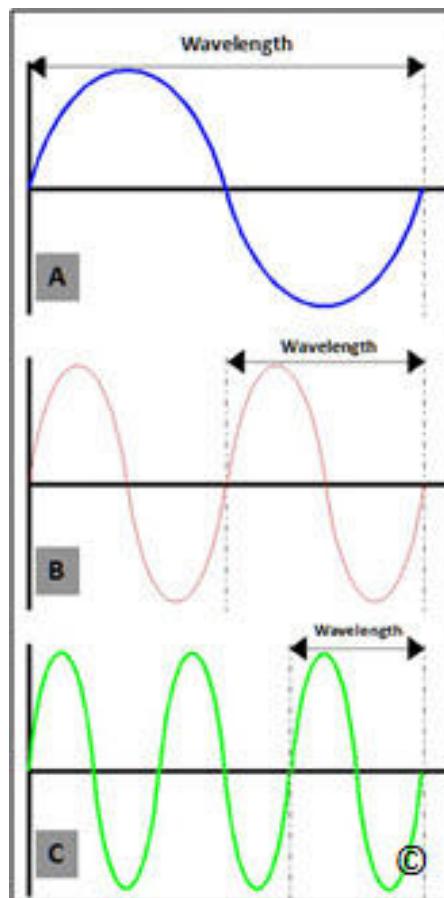
Chu kỳ của sóng âm là thời gian để hình thành một bước sóng đi lên và xuống, và như thế liên quan chặt chẽ với tần số. Ví dụ như, sóng âm có tần số 10 Hertz sẽ có chu kỳ là 1/10 giây. *Biên độ, công suất* và *cường độ* là ba đặc tính liên quan đến sức mạnh của sóng âm. *Biên độ* được xác định bằng sự chênh lệch giữa đỉnh (tối đa) hoặc lõm (tối thiểu) của sóng âm và giá trị trung bình (**Hình 1.2**). Đỉnh hoặc chỏm, biểu thị cho vùng nén lại và lõm biểu thị cho vùng giãn ra (**Hình 1.2**). Đơn vị của biên độ là thông số áp suất (Pascals) và trong hình ảnh lâm sàng, đơn vị là million Pascals (MPa). *Biên độ* của sóng âm giảm bớt khi âm thanh lan truyền trong cơ thể. *Công suất* là mức năng lượng chuyển qua sóng âm, đơn vị là Watts. *Công suất* tỷ lệ thuận với biên độ của sóng âm. *Công suất* có thể điều chỉnh tăng hoặc giảm trên máy siêu âm. *Cường độ* là sự tập trung năng lượng trong sóng âm và như thế nó phụ thuộc vào công suất và thiết diện cắt ngang của chùm sóng âm. *Cường độ* của sóng âm được tính bằng cách chia công suất của sóng âm (Watts) cho thiết diện cắt ngang của nó (cm^2), đơn vị là W/cm^2 . *Độ dài bước sóng* là chiều dài của sóng được xác định là khoảng cách của 1 chu kỳ. Nó được ký hiệu là lambda (λ), đơn vị tính là mm khi ứng dụng trong lâm sàng (**Hình 1.3**), và được tính bằng cách chia vận tốc của sóng âm cho tần số của sóng âm ($\lambda = v/f$). *Vận tốc truyền âm* là khoảng cách mà sóng âm truyền qua một môi trường đặc thù trong thời gian 1 giây.



Hình 1.1: Tần số của sóng âm là số chu kỳ mỗi giây, đơn vị tính là Hertz (1 chu kỳ / giây). A, tần số là 2 chu kỳ mỗi giây hoặc 2 Hertz. B, tần số là 3 chu kỳ mỗi giây hoặc 3 Hertz. Mũi tên đôi ghi chú độ dài bước sóng được mô tả ở hình 1.3.



Hình 1.2: Biên độ (A) được xác định bằng sự chênh lệch giữa đỉnh (tối đa) hoặc lõm (tối thiểu) của sóng và giá trị trung bình. Đơn vị của biên độ là million Pascals (MPa).



Hình 1.3: Độ dài bước sóng của sóng âm là chiều dài của sóng, được xác định là khoảng cách của một chu kỳ. Ký hiệu là lambda (λ), đơn vị là mm. Trong biểu đồ này, 3 sóng âm có độ dài bước sóng ngắn dần từ A tới C.

BẢNG 1.2 Tốc độ của sóng âm trong một số môi trường

Môi trường	Speed (m/s)
Khí	330
Mỡ	1.450
Nước	1.450
Mô mềm	1.540
Xương	3.500
Kim loại	lên tới 7.000

Nguồn phát sóng âm (máy siêu âm và/hoặc đầu dò) quyết định tần số, chu kỳ, biên độ, công suất và cường độ của sóng âm. Độ dài bước sóng được xác định bằng cả nguồn phát sóng và môi trường truyền âm vì môi trường quyết định tốc độ lan truyền của sóng âm. Tốc độ lan truyền của sóng âm trong mô mềm là một hằng số, 1.540 m/s. **Bảng 1.2** cho biết vận tốc truyền âm trong một số môi trường và vật chất.

SIÊU ÂM LÀ GÌ?

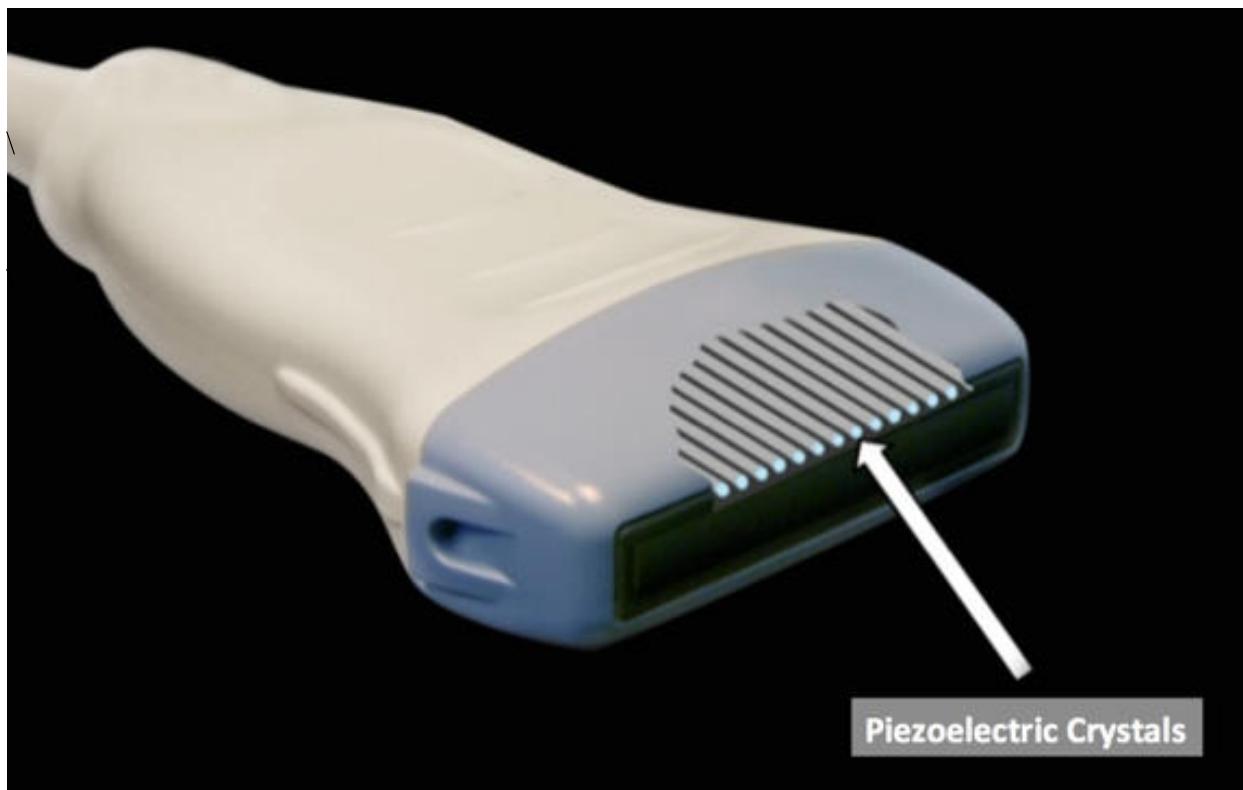
Âm thanh được phân loại dựa trên khả năng nghe của con người. Tai người trẻ khỏe cảm nhận được âm thanh có tần số từ 20 Hertz, viết tắt là Hz, tới 20.000 Hz, hoặc 20 KHz (Kilo Hertz), được gọi là âm thanh nghe được (từ 20 – 20.000 Hz). Nếu tần số sóng âm nhỏ hơn 20 Hz, tai người không thể nghe được và được gọi là hạ âm (infrasonic, infrasound). Nếu tần số sóng âm cao hơn 20 KHz, tai người cũng không thể nghe được và được gọi là siêu âm (ultrasonic, ultrasound). **Bảng 1.3**. Tần số thường dùng trong siêu âm chẩn đoán là 2-10 MHz (mega, (million), Hertz). Tần số sóng siêu âm thường dùng trong sản – phụ khoa thường giữa 3 và 10 MHz.

BẢNG 1.3 Phổ tần số âm thanh

Sóng âm	Tần số
Siêu âm	Lớn hơn 20 KHz
Âm thanh nghe được	20 Hz tới 20 KHz
Hạ âm	Nhỏ hơn 20 Hz

SÓNG SIÊU ÂM ĐƯỢC TẠO THÀNH NHƯ THẾ NÀO?

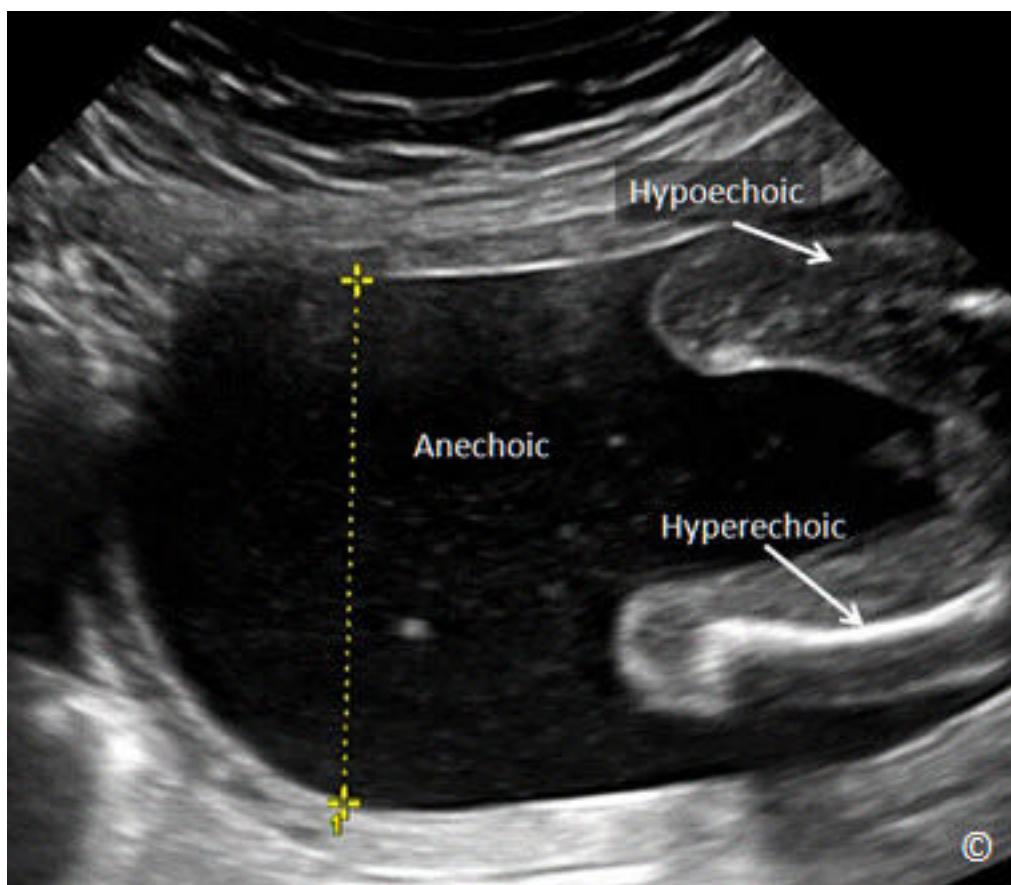
Sóng siêu âm được tạo thành từ những tinh thể áp điện nằm trong đầu dò siêu âm (**Hình 1.4**). Khi một dòng điện luân phiên đến những tinh thể này, chúng co lại và giãn ra với cùng một tần số mà dòng điện thay đổi chiều phân cực và tạo thành tia siêu âm. Tia siêu âm đi vào cơ thể với cùng một tần số mà đầu dò đã tạo ra. Ngược lại, khi tia siêu âm trở về đầu dò, những tinh thể này thay đổi hình dáng, và sự thay đổi nhỏ bé này tạo ra một dòng điện nhỏ bé rồi được khuếch đại bởi máy siêu âm để tạo thành hình ảnh siêu âm trên màn hình. Các tinh thể áp điện trong đầu dò đã chuyển năng lượng điện thành năng lượng cơ (siêu âm) và ngược lại. Một tinh thể là không đủ để tạo một sóng siêu âm cho chẩn đoán và các đầu dò hiện đại có rất nhiều tinh thể sắp xếp thành những hàng song song nhau (**Hình 1.4**). Tuy vậy mỗi tinh thể có thể được kích thích riêng biệt. Các tinh thể được bảo vệ bởi lớp cao su che phủ giúp giảm bớt trở kháng sóng âm từ tinh thể đến cơ thể. Sóng âm tần số cao được tạo thành bởi đầu dò không truyền tốt trong không khí, vì thế, dễ dàng truyền từ đầu dò tới da của bệnh nhân, một chất gel được dùng để kết nối giữa đầu dò và da, giúp sóng âm lan truyền dễ dàng. Như thế, sóng siêu âm được tạo thành bên trong đầu dò bởi các tinh thể chuyển đổi dòng điện thành sóng âm và ngược lại, chuyển đổi sóng siêu âm phản hồi trở về từ cơ thể thành dòng điện. Các đầu dò hiện đại có tinh thể được làm từ *plumbium zirconium titanate* (PZT) tổng hợp.



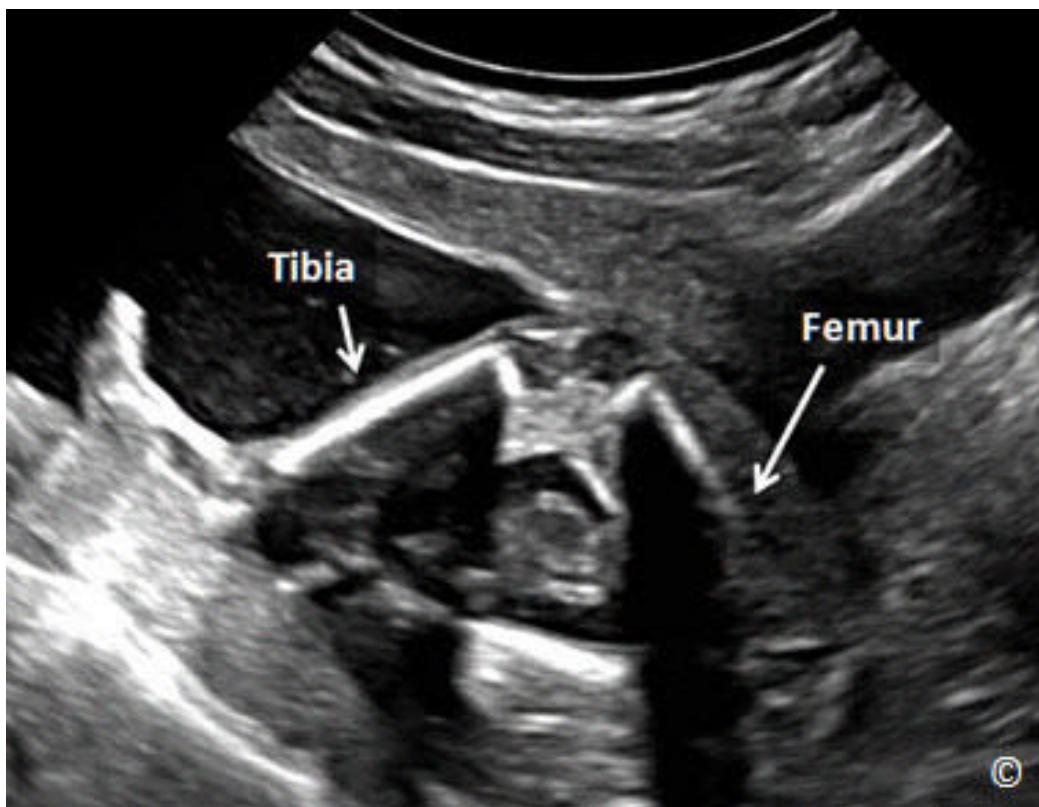
Hình 1.4: Các tinh thể áp điện bên trong một đầu dò. Lưu ý sự sắp xếp đối xứng của các tinh thể. Hình này là sơ đồ minh họa, vì thực tế các tinh thể có kích thước nhỏ hơn nhiều. Hình 1.4 được sửa đổi với sự cho phép từ Hiệp hội Siêu âm trong Giáo dục Y khoa (Society of Ultrasound in Medical Education - SUSME.org).

HÌNH SIÊU ÂM ĐƯỢC TẠO THÀNH NHƯ THẾ NÀO?

Máy siêu âm hiện đại tạo ra một hình ảnh siêu âm bằng cách gửi nhiều xung sóng âm từ đầu dò với hướng đi khác nhau không đáng kể và phân tích sóng âm phản hồi trở về các tinh thể. Chi tiết của quá trình này nằm ngoài mục tiêu của cuốn sách này, nhưng điều quan trọng cần lưu ý là các mô phản xạ mạnh sóng siêu âm như xương hoặc khí sẽ tạo ra dòng điện mạnh từ các tinh thể áp điện và sẽ cho hình ảnh hồi âm dày (hyperechoic) trên màn hình máy siêu âm. (**Hình 1.5**). Nói cách khác, những phản xạ yếu sóng siêu âm, như dịch hoặc mô mềm, sẽ tạo ra dòng điện yếu, cho hình ảnh hồi âm kém (hypoechoic) hoặc hồi âm trống (anechoic) trên màn hình (**Hình 1.5**). Như thế hình ảnh siêu âm được tạo thành từ sự phân tích tinh vi sóng siêu âm phản hồi trở về để tạo thành hình ảnh trên thang độ xám. Vì răng sóng âm lan truyền theo trực dọc, để nhận được hình ảnh tốt nhất có thể, ta điều chỉnh đầu dò sao cho chùm tia siêu âm phát ra vuông góc với cấu trúc cần khảo sát, vì nhu thế góc tới bằng góc phản xạ (**Hình 1.6**).



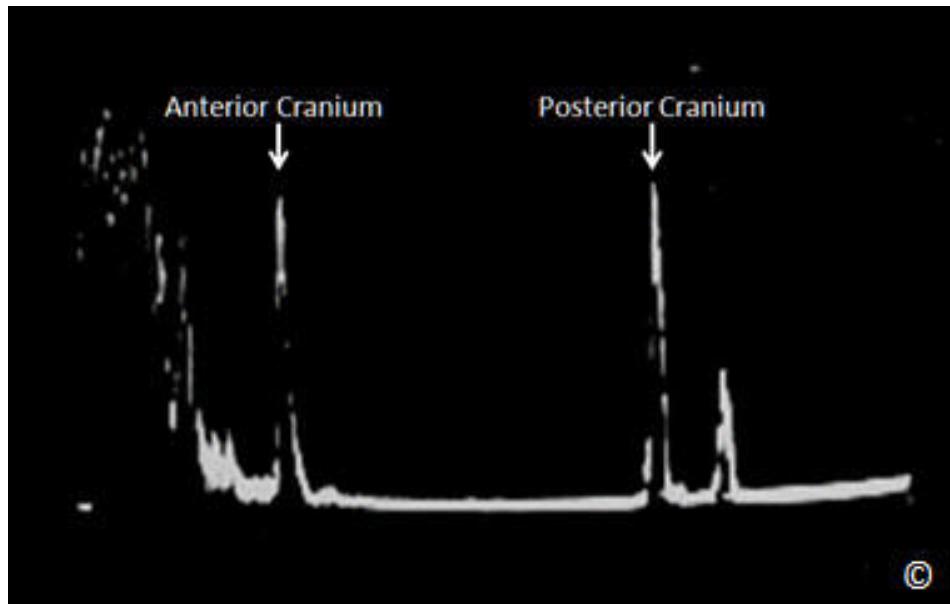
Hình 1.5: Hình ảnh siêu âm chi của thai quý II. Lưu ý xương đùi có hồi âm dày, mô mềm của đùi có hồi âm kém, nước ối có hồi âm trống. Đo dọc khoang ối lớn nhất (chương 9).



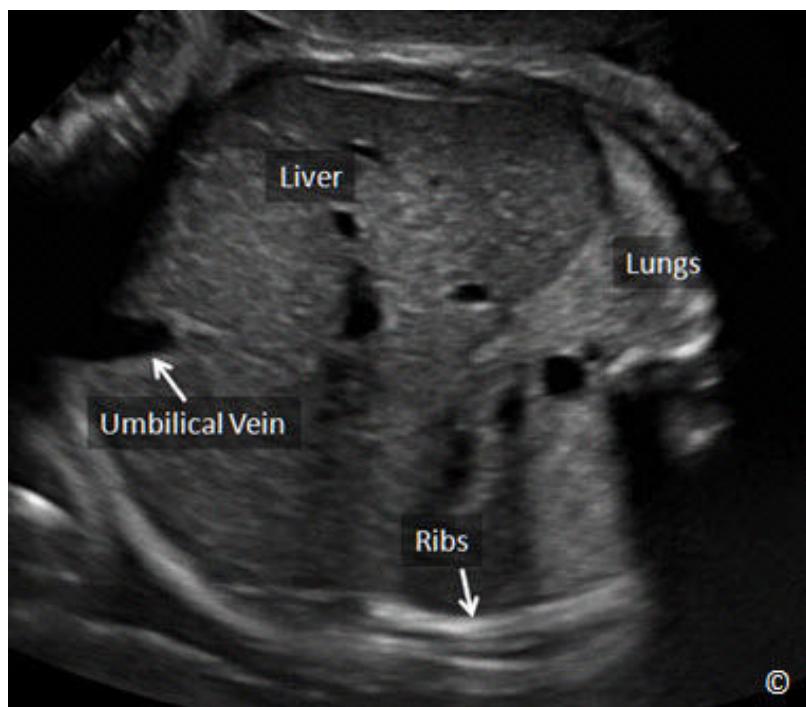
Hình 1.6: Hình ảnh siêu âm chi dưới của thai quý II mô tả hiệu ứng góc của sóng âm. Lưu ý rằng xương chày (tibia) thấy rõ vì chùm tia siêu âm tạo với nó một góc gần 90 độ. Xương đùi (femur) không thấy rõ vì nó gần như song song với chùm tia siêu âm.

CÁC MODE SIÊU ÂM KHÁC NHAU ?

A-mode, là “mode biên độ”, không còn được sử dụng trong siêu âm sản – phụ khoa, nhưng nó là nền tảng của hình ảnh siêu âm hiện đại. Hình A-mode, một biểu đồ thể hiện sóng âm phản hồi trở về với trực x biểu thị cho độ sâu trong mô và trực y biểu thị cho biên độ của sóng hồi âm. Lịch sử, A-mode được ứng dụng trong sản khoa để đo đường kính lưỡng đỉnh (**Hình 1.7**). B-mode, là “mode độ sáng”, còn gọi là hình ảnh hai chiều, thường được dùng để mô tả hình ảnh siêu âm trên thang độ xám. Hình ảnh tạo thành dựa trên cường độ của sóng hồi âm, được phản ánh bằng nhiều sắc thái trên thang độ xám để hình thành hình siêu âm (**Hình 1.8**). Điều quan trọng cần lưu ý đó là B-mode là hình ảnh theo thời gian thực (real-time), một đặc tính quan trọng và cơ bản của siêu âm. **Bảng 1.4** cho biết độ hồi âm khác nhau của mô thai nhi bình thường.



Hình 1.7: Siêu âm A-Mode đầu thai nhi. Đỉnh nhọn thứ nhất tương ứng với xương sọ phía trước và đỉnh nhọn thứ hai tương ứng với xương sọ phía sau. Đường kính lưỡng đỉnh (biparietal diameter) là khoảng cách giữa hai đỉnh nhọn.



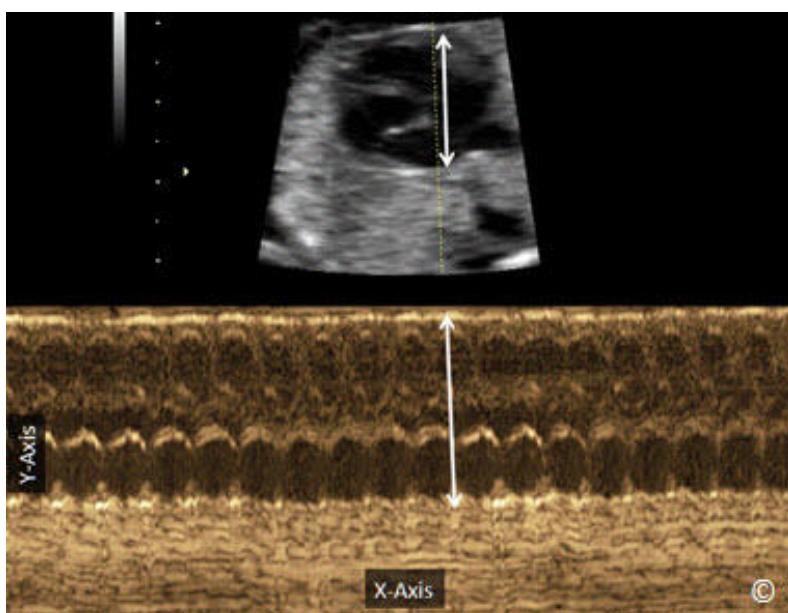
Hình 1.8: Những khác nhau trên thang độ xám trong hình siêu âm 2D vùng bụng thai nhi trong quý II. Lưu ý xương sườn và mô phổi có hồi âm dày, gan hồi âm kém và tĩnh mạch rốn hồi âm trống. Cường độ sóng hồi âm quyết định độ hồi âm.

BẢNG 1.4

Độ hồi âm khác nhau của mô thai nhi

Cơ quan	Hồi âm trống	Hồi âm kém	Hồi âm vừa	Hồi âm dày
Xương				✓
Não		✓		
Phổi			✓	
Dạ dày	✓			
Gan		✓		
Ruột non			✓	
Thận			✓	
Bàng quang	✓			
Bánh nhau			✓	
Nước ối	✓			

M-mode, là “mode chuyển động” sử dụng không thường xuyên trong siêu âm hiện nay nhưng được sử dụng chuyên biệt để đánh giá chuyển động của các buồng tim và van tim thai để làm bằng chứng thai sống và đánh giá một số bất thường tim thai như loạn nhịp tim và bệnh tim bẩm sinh. M-mode phát ra một tia sóng âm duy nhất xuyên qua cơ thể với tần số lập lại xung cao. Thể hiện trên màn hình chỉ thời gian của M-mode trên trực x và độ sâu trên trực y (**Hình 1.9**).



Hình 1.9: Hình M-mode của tim thai nhi trong quý II. M-mode thể hiện (màu nâu) tương ứng với tia sóng âm duy nhất (đường chấm vàng) với trục X chỉ thời gian và trục y chỉ độ sâu. Lưu ý hình ảnh của tim trên B-mode và tương ứng với M-mode bằng các mũi tên đôi.

Mode Doppler màu và Doppler phổ phụ thuộc vào *nguyên lý Doppler* (*hiệu ứng*). Nguyên lý Doppler mô tả sự biến đổi tần số của ánh sáng hoặc sóng âm khi đến gần hoặc xa, tương quan với người quan sát. Một ví dụ truyền thống mô tả hiện tượng vật lý này là sự biến đổi tần số của âm thanh khi xe lửa đi vào ga và rời khỏi hành đi khỏi ga. Âm thanh dương như cao độ hơn khi vào ga, và dường như thấp độ hơn khi khởi hành. Sự thay đổi cao độ âm thanh này chính là sự thay đổi tần số âm thanh, tương ứng với tốc độ chuyển động của nguồn phát sóng, trong ví dụ này là xe lửa. Điều quan trọng cần lưu ý là âm thanh thực sự của xe lửa không thay đổi; đó là cảm nhận sự thay đổi của âm thanh tới một người quan sát đứng yên, được gọi là “hiệu ứng Doppler”. Áp dụng trong lâm sàng, khi sóng âm được phát ra với một tần số cố định (f_0) tới một mạch máu xác định, tần số sóng phản hồi (f_d) hay sự thay đổi tần số là tương quan trực tiếp tới vận tốc của hồng cầu đang chuyển động (vận tốc dòng máu) trong mạch máu đó. Sự thay đổi tần số của tín hiệu phản hồi này được thể hiện dưới dạng đồ thị thay đổi theo thời gian. Trong đồ thị này, trực dọc biểu thị cho sự thay đổi tần số và trực ngang biểu thị cho thời gian, khi nó ghi lại những gì xảy ra trong chu kỳ tim (**Hình 1.10**). Sự thay đổi tần số này cao nhất trong thì tâm thu, khi vận tốc dòng máu nhanh nhất và thấp nhất trong thì tâm trương, khi vận tốc dòng máu là thấp nhất ở tuần hoàn ngoại vi (**Hình 1.10**). Vận tốc dòng chảy trong lòng mạch tỷ lệ nghịch với trở kháng của dòng chảy ở hạ lưu, vì thế sự thay đổi tần số cho ta thông tin về trở kháng của dòng chảy ở hạ lưu. Sự thay đổi tần số cũng phụ thuộc vào góc Doppler được tạo thành bởi tia siêu âm hợp với dòng máu (xem công thức trong **Hình 1.10**). Vì rằng góc của tia tới khó đo trong thực hành lâm sàng, các chỉ số (index) đo được bằng tỷ lệ của sự thay đổi tần số được phát triển để định lượng sóng Doppler. Các chỉ số Doppler này, vì thế, không phụ thuộc vào góc Doppler. Các chỉ số Doppler thường được dùng trong siêu âm sản – phụ khoa được mô tả (**Hình 1.11**).