



ARTÍCULO ESPECIAL

El ultrasonido: desde el murciélago hasta la cardiología no invasiva



Fabián Dávila*, Luis Alberto Barros, Jorge Reynolds, Antonio José Lewis e Iván René Mogollón

Departamento de Investigación, Clínica Shaio, Bogotá, Colombia

Recibido el 19 de febrero de 2016; aceptado el 11 de mayo de 2016
Disponible en Internet el 8 de julio de 2016

PALABRAS CLAVE

Cardiología;
Imágenes de
ecocardiografía;
Imagen;
Enfermedad
cardiovascular

Resumen

Introducción: El sonido se propaga en un medio aprovechando las propiedades elásticas del mismo. El presente estudio describe la evolución de la ultrasonografía cardiaca y su aplicación en la cardiología.

Materiales y métodos: Revisión descriptiva en bases documentales, se exploraron conceptos en textos electrónicos de física y fisiología, ampliando los conceptos por método de Snowball.

Resultados: Siglo XVIII y XIX: Spallanzani reconoció la existencia de la ecolocalización en el modelo animal (murciélagos), se descubre la piezoelectricidad.

Siglo XX: aplicación de la ecolocalización en el sistema SONAR y la detección de tumores cerebrales, cuerpos extraños en tejidos orgánicos y lesiones malignas en el intestino y el tejido mamario.

Década de los años 50 y 60, se identificaron masas en la aurícula izquierda, inicia la descripción de la enfermedad valvular mitral; se describen los primeros ecardiogramas en modo M (movimiento). En los años 60, un transductor de elemento único permitió los ecocardiogramas intracardiacos; luego un transductor de rotación lenta permitió obtener imágenes en 2D.

En los años 80, nace la ecocardiografía transesofágica para evaluar pacientes con pobre ventana acústica; en los años 90, se introdujeron los traductores omniplanares y biplanares con capacidad Doppler y flujo en color. En los últimos años, los desarrollos de la ecocardiografía han ampliado el alcance hasta la cirugía mínimamente invasiva.

Conclusiones: Grandes avances se han logrado en consecuencia con la evolución del ultrasonido en medicina, su inicio en la ecolocalización descrita en los murciélagos hasta la ultrasonografía cardiaca en 3D, han permitido el desarrollo de nuevas no invasivas en la medicina cardiovascular.

© 2016 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: fadavilar@gmail.com, fabian.davila@shaio.org (F. Dávila).

KEYWORDS

Cardiology;
Echocardiogram
images;
Image;
Cardiovascular
disease

Ultrasound: from bats to non-invasive cardiology**Abstract**

Introduction: Sound propagates in a medium taking advantage of its elastic properties. This study describes the evolution of cardiac ultrasonography and its application in cardiology.

Material and methods: Descriptive review of data bases, concepts were explored in electronic physics and physiology texts, expanding the concepts by means of the Snowball method.

Results: 18th and 19th century: Spallanzani recognised the existence of echolocation in the animal model (bats); piezoelectricity is discovered.

20th century: applying echolocation in the SONAR system and brain tumour detection, foreign bodies in organic tissue and intestinal and breast tissue malignancies.

50s and 60s: masses in the left atrium were identified, mitral valve disease description begins, first M-mode echocardiograms are described. In the 60s a single element transducer allowed for intracardiac echocardiograms, later on a slow rotating transducer displayed 2D images.

In the 80s transthoracic echocardiogram is born to assess patients with a poor acoustic window; in the 90s omniplane and biplane transducers with Doppler ability and colour flow were introduced. Over the last years, development of echocardiograms have broadened their scope towards minimally invasive surgery.

Conclusion: Big steps have been taken in parallel with progress of ultrasounds in the medical field, their onset in echolocation described in bats until 3D cardiac ultrasonography have contributed to the development of new non-invasive techniques in cardiovascular medicine.

© 2016 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El sonido se define en física como: una onda mecánica longitudinal, que se propaga en un medio aprovechando las propiedades elásticas del mismo, se trata de los movimientos vibratorios y longitudinales donde la dirección en la que se propaga es paralela a la dirección de vibración¹.

El ultrasonido es un término que se utiliza para describir vibraciones de un medio material, que posee frecuencias tan altas que no son audibles por el oído humano²; se ha documentado que aves como los guacharos (*Steatornis caripensis*) en ambientes con poca luz, emiten unos click de entre 6 kHz y 10 KHz para navegar en la oscuridad^{3,4}.

Los límites de la frecuencia de sensación auditiva humana varían notablemente de una persona a otra; el límite superior definido en el umbral del dolor puede llegar hasta 20.000 Hz y el límite inferior establecido por el umbral auditivo es de 20 Hz⁵.

El ultrasonido, como método diagnóstico en cardiología, fue desarrollado por primera vez en la ciudad sueca de Lund en el año de 1953⁶. Esta técnica fue creada por los doctores I. Edler y C.H. Hertz, motivados por sus colegas cirujanos, quienes querían diagnósticos más precisos antes de las cirugías⁷. La primera grabación ecocardiográfica de un corazón humano la realizó el jueves 29 de octubre de 1953 y fue publicada en el año 1954⁶. El aparato que utilizaron para realizar estas grabaciones era un detector de pulso eco de grietas industrial, el cual pedían prestado de un puerto en Malmö. Afortunadamente, para estos científicos, este instrumento tenía una longitud de onda y otras características físicas las cuales eran apropiadas para visualizar el corazón^{7,8}. A pesar de que Edler y C.H. Hertz fueron los

primeros en aplicar el ultrasonido en el campo de la cardiología, muchos reconocen al cardiólogo chino Xin-fan Wang como el "padre de la ecocardiografía", gracias al extraordinario avance que realizó en este campo con la escasez de recursos que había en esa época, llegando a publicar artículos sobre la ecocardiografía en enfermedades del pericardio y la estenosis mitral y aportando a desarrollar nuevas modalidades de esta técnica como, por ejemplo: la ecocardiografía con contraste y la ecocardiografía fetal, entre otras⁹.

El presente manuscrito describe las características generales en relación con la evolución del ultrasonido en el campo de la cardiología.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión descriptiva, con bases documentales, en los textos de la fisiología básica en humanos y se ampliaron los registros por el método de Snowball en la construcción de la evolución histórica del ultrasonido; que consiste en una revisión creciente de artículos, orientando hacia a la ampliación exhaustiva del concepto en las palabras clave hacia nuevas referencias, hasta que la perspectiva del mismo se considere que esté agotada¹⁰.

Resultados

Siglo XVIII: Lazzaro Spallanzani (Italia) demostró que los murciélagos son animales ciegos y navegan en la oscuridad usando sonidos inaudibles (inicio de la ecolocalización como concepto); debido a este descubrimiento, Spallanzani es considerado como el "Padre del ultrasonido"⁷, aun cuando

su teoría fue muy criticada debido a que en su época las únicas ondas acústicas conocidas eran audibles y el vuelo del murciélago era silencioso¹¹.

Siglo XIX: El concepto de ultrasonido renació en el año de 1880 con el descubrimiento de la piezoelectricidad por el físico francés Pierre Curie, quien junto a su hermano Jacques, realizó un experimento que demostró que ciertos cristales se deformaban cuando eran expuestos a un campo eléctrico, convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica¹², demostrando ondas similares a las del sonido pero con frecuencias mayores al rango audible del ser humano^{12,13}.

Siglo XX: Paul Langevin (Francia) durante la primera guerra mundial (años 20's) desarrolló un dispositivo capaz de detectar submarinos enemigos a través de ultrasonido; el dispositivo utilizaba el efecto piezoeléctrico mediante cristales de cuarzo y amplificadores de tubo de vacío, lo que constituyó la base del sistema de navegación SONAR que fue implementado durante la segunda guerra mundial¹². Sokolov en el año 1929, describió un método usando sonido reflejado para detectar defectos en las placas de metal; luego, en el año 1942, el ingeniero americano Floyd Firestone aplicó esta tecnología y recibió la patente; esta tecnología para detectar defectos en las placas de metal fue la que por último se aplicó a la medicina¹⁴. El primero en descubrir el potencial que tenía esta nueva herramienta diagnóstica fue Karl Dussik (Austria), la denominó "hipersonografía". Mediante esta herramienta, Dussik era capaz de detectar tumores cerebrales¹⁵.

En el año 1949 los científicos George Ludwig y Francis Stuthers (Estados Unidos) utilizaron el ultrasonido para detectar cuerpos extraños incluidos experimentalmente en diferentes tejidos orgánicos tales como: el vidrio, el metal, los plásticos, los cálculos biliares, etc. Fue la primera aplicación en medicina del método ecoimpulso y las frecuencias que se utilizaron oscilaban entre 1 y 2,5 MHz¹².

En el año 1951 el médico John Wild (Inglaterra), interesado en desarrollar equipos que brindaran imágenes del intestino y el tejido mamario para detectar lesiones malignas, con la ayuda del doctor John Reid (Australia), construyó un escáner de contacto en modo B; las imágenes obtenidas mediante este instrumento eran hechas en tiempo real¹¹.

Al final de la década de los 50, Effert y Domanig identificaron masas en la aurícula izquierda usando la ecocardiografía, luego, a principio de los años 60 mientras visitaban Estados Unidos, se reunieron con Claude Joyner y discutieron el potencial de la ultrasonografía cardíaca¹⁶. Mientras tanto, John Reid, un ingeniero eléctrico discípulo de Wild en la Universidad de Minnesota, en conjunto con Joyner en Filadelfia, publicaron el primer artículo sobre la evaluación de la enfermedad de la válvula mitral¹⁷.

En una reunión de la American Heart Association en el año 1963, Hervey Feigenbaum, colocó en su tórax un transductor de un ecocardiógrafo para medir los volúmenes cardíacos; lo que observó fue similar a lo que Hertz había visto 10 años antes; para él, esto fue considerado un evento que le cambió la vida, por lo que decidió dedicar su trabajo a la detección ecocardiográfica de los derrames pericárdicos, finalizando en el año 1965 con una publicación de su trabajo¹⁷. Los primeros ecocardiogramas, grabados en modo M (movimiento), fueron obtenidos de la pared posterior del ventrículo izquierdo y de otra estructura que se creía que

era la pared anterior de la aurícula izquierda. La creación de la ultrasonografía cardíaca marcó el principio de una nueva técnica diagnóstica no invasiva en medicina cardiovascular. Edler utilizó esta técnica para el estudio preoperatorio de la estenosis de la válvula mitral y el diagnóstico de la regurgitación mitral⁶.

La detección del flujo sanguíneo con el uso de técnicas Doppler de onda continua empezó con Shigeo Satomura, PhD, en el año 1956, evolucionando así al punto de aplicaciones fisiológicas y clínicas por Dean Franklin en el año 1959 y Donald W. Baker en los años 1963 y 1964. Esta investigación se desarrolló en el departamento de fisiología y más adelante en el centro de bioingeniería en la Universidad de Washington¹².

Culminando la época de los años 60, se introdujo la grabadora de fibra óptica, permitiendo a la grabación en modo M de todas las estructuras a lo largo del haz del ultrasonido; este ha sido uno de los más grandes progresos de la ecocardiografía. Los científicos Gramiak y Shah también se destacan porque en el año 1969 en la Universidad de Rochester, introdujeron un nuevo concepto llamado ecocardiografía de contraste; lo que hicieron fue recopilar una gran cantidad de ecocardiogramas de adentro del corazón usando tinte verde de indocianina. Esta técnica fue luego replicada en el año 1970 por Feigenbaum y en el año 1975 por Seward, y ha sido mejorada por muchos investigadores para tratar de visualizar diferentes tipos de estructuras¹⁷.

En la década de los años 60, grandes avances se hicieron en el campo de la ecocardiografía en 2D en tiempo real, de hecho, esta técnica se desarrolló gracias a la combinación de la tecnología sonar con circuitos de radar avanzado, lo que mejoró el desempeño del instrumento ultrasónico e introdujo un prospecto de la ecocardiografía en 2D⁷. En el año de 1964, Tanaka junto a su grupo de investigación desarrollaron por primera vez la ecocardiografía en 2D en tiempo real. Además, de imágenes en 2 dimensiones de las estructuras del corazón, otra de las ventajas que ofrecía esta modalidad era información acerca del funcionamiento del órgano¹⁸; como muchos otros nuevos inventos, esta técnica no era muy aceptada al principio, investigadores como Gramiak, Shah, Popp y Pombo tuvieron que publicar sobre el valor y la precisión de esta como técnica no invasiva para que empezara a ganar aceptación en el campo de la medicina¹⁷.

En el inicio del año 1960, T. Ciezynski colocó un transductor de elemento único en un catéter para obtener ecocardiogramas intracardiacos, y tres años más tarde R. Omoto obtuvo imágenes intracardiacas en 2D con un transductor de rotación lenta de elemento único colocado en la punta de un catéter. Dos años después, N. Bom y su grupo de investigación describieron un ecocardiograma intracardiaco en tiempo real usando un escáner electrónico de antena en fase de 32 elementos en la punta de un catéter 9F. Estos instrumentos fueron descontinuados por las limitaciones de los transductores miniatura y por los grandes avances y la calidad de las imágenes que brindaba el ecocardiograma transtorácico de ese momento, convirtiendo a las imágenes intracardiacas innecesarias. A pesar de esto, debido al gran progreso en el campo de la cardiología intervencionista, se renovó el interés por aparatos capaces de desarrollar imágenes circunferenciales de las paredes de las arterias desde la superficie endotelial. Cada vez más se utilizan este tipo de sistemas^{17,19}.

Por muchos años uno de los mayores problemas de la ecocardiografía en 2D era el gran tamaño de los transductores y la pequeña ventana precordial, por lo que muchos científicos se dedicaron a innovar en el área de los transductores generando esfuerzos por miniaturizar sus estructuras. En el año 1968, J. Somer construyó el primer escáner electrónico de red en fase el cual basa su principio en la teoría de frente de onda creada por C. Huygens y la tecnología SONAR, pero las ventajas de la ecocardiografía en 2D sobre la ecocardiografía en modo M apenas se iban a descubrir⁷.

En el año 1974 Griffith y W. Henry presentaron el transductor sectorial mecánico, en el mismo año en que F. J. Thurstone y O. T. von Ramm construyeron su transductor electrónico de red en fase, similar al transductor que había creado J. Somer. Este instrumento marcó el principio del impacto revolucionario del ultrasonido en la cardiología clínica.

En Holanda, un grupo liderado por el profesor Nicolaas Bom había realizado un gran progreso con el desarrollo de un transductor lineal de múltiples elementos en el año 1971. Este transductor permitió perfeccionar la ecocardiografía en 2D pudiéndose visualizar anomalías en el movimiento de las paredes del corazón en pacientes con enfermedad coronaria^{6,20}; Johnson y Dodge lograron en el año 1973 combinar la ecocardiografía en 2D con la tecnología de impulso Doppler para desarrollar imágenes con las cuales se podían detectar señales de flujo de lugares específicos dentro del corazón o de los grandes vasos, desde este momento nació la ecocardiografía dúplex⁶.

El principio de Bernoulli en la dinámica de los fluidos enuncia que, en un sistema longitudinal, el incremento en la velocidad de los mismos, secundario a un área disminuida, ocurre simultáneamente con una disminución en la presión, por tanto, un incremento en la velocidad del fluido (sangre) se correlaciona de manera indirecta con el área del tubo. Así pues, si se correlaciona con la ecocardiografía, la diferencia de los gradientes de la presión entre el ventrículo izquierdo y la aorta concuerdan con el área del anillo valvular aórtico. Holen y Liv Hatle en el año 1976 notaron que mediante una ecuación de Bernoulli modificada se podían detectar los gradientes de la presión a través de una válvula estenótica y demostraron que los datos hemodinámicos se podían determinar mediante la ultrasonografía Doppler⁶. Al final de la década, Stevenson y sus colegas introdujeron el concepto de Doppler multientrada de flujo de color. Desafortunadamente, este concepto no se afianzó sino hasta el principio de los años 80¹². Basado en principios similares, C. Kasai y su grupo de trabajo contruyeron en 1982 el sistema de imágenes Doppler de flujo de color, brindando de esta manera un "angiograma no invasivo" del flujo sanguíneo normal y anormal latido por latido. Hoy en día, las diferentes modalidades, es decir, el modo M, 2D, el doppler pulsado, continuo y de flujo en color, se encuentran todas en una misma consola diagnóstica y representan la modalidad más completa del diagnóstico cardíaco; brindando: información estructural, funcional y hemodinámica⁷.

En los años 80, surgió gran interés en encontrar una mejor ventana ecocardiográfica para examinar el corazón. Muchos pacientes adultos con: enfisema, EPOC, obesidad y otras condiciones requerían una visualización de la anatomía cardíaca más precisa que las ventanas precordiales no podían brindar, debido a esto, la ecocardiografía transesofágica se

convirtió en el método ideal para evaluar el corazón. El primer ecocardiograma transesofágico en modo M fue reportado en el año 1976 por Frazin y sus colegas, pero fueron realmente los europeos Schluter y Hemrath quienes mostraron su utilidad clínica^{17,21,22}. No pasó mucho tiempo para que los cardiólogos pediatras reconocieran la utilidad de esta técnica, la cual los llevo a que escribieran excelentes textos acerca de la misma. En la década de los años 90, se introdujeron los traductores omniplanares y biplanares con capacidad Doppler con flujo en color¹⁷.

En las últimas 3 décadas la ecocardiografía estrés ha evolucionado de manera importante hasta volverse una de las herramientas diagnósticas más importantes en los pacientes con diagnóstico o sospecha de enfermedad coronaria aguda. Al principio, la técnica fue muy criticada por ser "operador dependiente", pero su precisión ha aumentado considerablemente gracias a los avances de la tecnología. Entre las ventajas de esta prueba se incluyen: la gran cantidad de máquinas existentes y el bajo costo de las mismas, la no exposición a radiación ionizante y las múltiples opciones para causar estrés miocárdico. La desventaja es la menor sensibilidad en comparación a las pruebas de perfusión miocárdica^{19,23}.

En los últimos años, ha surgido gran interés por el potencial que tiene la ecocardiografía estrés para evaluar las enfermedades valvulares. Tradicionalmente, estos pacientes han sido evaluados mediante la ecocardiografía en reposo, a pesar de que sus síntomas se manifiestan durante el ejercicio. La ecocardiografía durante el ejercicio puede ser utilizada para estratificar a los pacientes asintomáticos con estenosis aórtica y evaluar a los pacientes con estenosis mitral que presentan síntomas desproporcionados en relación con el grado de estenosis. La ecocardiografía estrés también puede ser utilizada en pacientes con cardiomiopatía hipertrófica para demostrar la obstrucción dinámica del tracto de salida del ventrículo izquierdo y, además, mediante la determinación de la reserva contractil miocárdica, esta técnica puede identificar los pacientes que experimentarían remodelación reversa del ventrículo izquierdo después de la terapia de resincronización^{19,24}.

A pesar de que los primeros ecocardiogramas en 3D fueron reportados en el año 1974, la idea del ultrasonido con imágenes en 3D surgió y se empezó a desarrollar en la década de los años 60, cuando un grupo de investigadores logró reconstruir imágenes en 3D de la órbita para poder detectar lesiones tumorales²⁵. Los primeros ecocardiogramas en 3D se obtuvieron mediante técnicas de reconstrucción. Con el tiempo, se fueron desarrollando transductores transtorácicos más complejos capaces de obtener datos en 3D de las dimensiones del corazón en tiempo real. Esta técnica tuvo rápida acogida en la evaluación de las cardiopatías congénitas debido a que mostraba en forma real las estructuras del corazón con gran detalle. Además, el uso de ecocardiografía 3D de contraste ha mostrado grandes ventajas en la cuantificación de los volúmenes del ventrículo izquierdo²⁶.

Las aplicaciones clínicas de la ecocardiografía en 3D están expandiéndose rápidamente, pero las indicaciones más comunes para el uso de esta técnica son: la cuantificación de los volúmenes del ventrículo izquierdo, las anomalías contractiles de las paredes ventriculares, las enfermedades valvulares y la evaluación de la asincronía

ventricular. Las ventajas de esta técnica sobre la ecocardiografía 2D incluyen: mejoras en la visualización de las formas y las relaciones entre las estructuras cardíacas, el cálculo de volúmenes cardíacos, la masa y la función, la imaginación de los campos de flujo Doppler color y la evaluación de anomalías valvulares y disfunciones complejas²⁶.

Conclusión

Hoy en día, los transductores de red en fase son los instrumentos que mayor impacto tienen en el diagnóstico cardiológico^{7,27}; la ecocardiografía en modo M sigue siendo una de las más importantes técnicas para examinar el corazón por su gran resolución temporal, lo que permite un análisis más preciso de las estructuras en movimiento^{7,8}; los grandes avances que se han realizado en el campo de la ecocardiografía, como por ejemplo: el ultrasonido intravascular, la ecocardiografía en 3D, la ecocardiografía intracardiaca, la ecocardiografía con estrés farmacológico y la ecocardiografía portátil ("estetoscopio virtual"), han hecho de esta técnica de imágenes diagnósticas no invasiva la más usada en todo el mundo. Para una gran cantidad de enfermedades cardiovasculares, la ecocardiografía es la prueba de elección^{6,28}.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Berg RE. The Physics of Sound. *Am J Phys.* 1982;50:953.
- Segura-Grau A, Sáez-Fernández A, Rodríguez-Lorenzo A, Díaz-Rodríguez N. [Abdominal ultrasound course an introduction to the ultrasound technique. Physical basis. *Ultrasound language*]. *Semer/Soc Española Med Rural y Gen.* 2014;40:42-6.
- Martin G, Rojas LM, Ramírez Y, McNeil R. The eyes of oilbirds (*Steatornis caripensis*): pushing at the limits of sensitivity. *Naturwissenschaften.* 2004;91:26-9.
- Brinklov S, Fenton MB, Ratcliffe JM. Echolocation in oilbirds and swiftlets. *Front Physiol.* 2013;4:1-12.
- Harris CM. Manual de Medidas Acústicas y control del Ruido. 1995:1326.
- Van der Wall EE. CroMogollon, Fabian Dávila wn years for non-invasive cardiovascular imaging (part IV): 30 years of cardiac computed tomography. *Netherlands Hear J.* 2013;21:315-8.
- Roelandt J. Seeing the Invisible: A Short History of Cardiac Ultrasound. *Eur J Echocardiogr.* 2000;1:8-11.
- Coman IMPB. Shigeo Satomura: 60 years of Doppler ultrasound in medicine. *Cardiovasc Ultrasound.* 2015;13:48.
- Cheng TO, Cheng TO. The Development of Echocardiography in China: the Pioneering Role of Xin-fang Wang. 2012:51-6.
- Webster J, Watson RT. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Q.* 2002;26:xiii-xiii.
- Kapoth-Joslin KA, Nicola R, Dogra VS. The History of US: From Bats and Boats to the Bedside and Beyond: RSNA Centennial Article. *Radiographics.* Jan;35(3):960-70.
- Baker JP. The history of sonographers. *J ultrasound Med.* 2005;24:1-14.
- Piñero DJ, Labarta MHB. Ecocardiografía: para la toma de decisiones clínicas. Ed. Médica Panamericana; 2005. p. 1290.
- Armstrong WF, Ryan T. Feigenbaum's Echocardiography. Lippincott Williams & Wilkins; 2012. p. 816.
- Gofeld M. Advanced Ultrasound Imaging in Pain Medicine. *PAIN Med.* 2011. February:1-8.
- Muigge A, Daniel WG, Haverich A, Lichtlen PR. Diagnosis of Noninfective Cardiac Mass Lesions by Two-Dimensional Echocardiography Comparison of the Transthoracic and. *Circulation.* 1991;83:70-8.
- Meyer RA. History of ultrasound in cardiology. *J Ultrasound Med.* 2004;23:1-11.
- Tanaka M. Historical Perspective of the Development of Diagnostic Ultrasound in Cardiology. *Adv Technol Humanit.* 2002:1-22.
- Marwick TH. Echocardiography in the Era of Multimodality Imaging. *Hear Lung Circ.* 2010;19:175-84.
- SK. The role of advanced cardiac imaging methods in coronary artery disease. *Anadolu Kardiyol Derg.* 2008; 8 Suppl 1:1-4.
- Moppett I, Moppett I, Shajar M, Shajar M. Transoesophageal echocardiography. *Contin Educ Anaesthesia, Crit Care Pain.* 2001;1:72-5.
- Yoshikawa J. [History of cardiology in the last 100 years: Echocardiography]. *Nihon Naika Gakkai Zasshi.* 2002 Mar;91:817-22.
- Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, Friedman JD, Hayes SW, Thomson LE, Fieno DS, Germano G, Slomka P, Wong ND, Kang XRA. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease. *J Nucl Med.* 2006;47:74-82.
- Aguilar-Torres R, Gómez de Diego JJ, Forteza-Albert JFV-DR. Update on cardiac imaging techniques: echocardiography, cardiac magnetic resonance and computed tomography. *Rev Esp Cardiol.* 2010; 63 Suppl 1:116-31.
- Hung J, Lang R, Flachskampf F, Shernan SK, McCulloch ML, Adams DB, et al. 3D Echocardiography: A Review of the Current Status and Future Directions. *J Am Soc Echocardiogr.* 2007;20:213-33.
- Maleki M, Esmaeilzadeh M. The evolutionary development of echocardiography. *Iran J Med Sci.* 2012 Dec;37:222-32.
- Mohamed AA, Arifi AAOA. The basics of echocardiography. *J Saudi Hear Assoc.* 2010;22:71-6.
- Todiére GMM. Role of cardiac imaging in heart failure. *Minerva Cardioangiol.* 2012;60:347-62.