

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

Departamento de Pediatría



**PROYECCIÓN ECOCARDIOGRÁFICA TRANSESTERNAL
EN LA EDAD PEDIÁTRICA**

Memoria para optar al grado de doctor presentada por:

Miguel Ángel Granados Ruiz

Bajo la dirección del Doctor:

Prof. D. Juan Ignacio Sánchez Díaz

Madrid, 2015

Trabajo de investigación presentado por

Miguel Ángel Granados Ruiz

para optar al grado de

Doctor en Medicina por la Universidad Complutense de Madrid

Trabajo dirigido por el

Dr. Juan Ignacio Sánchez Díaz

Profesor Asociado de Pediatría.

Facultad de Medicina.

Universidad Complutense de Madrid.

Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos.

Hospital “Doce de Octubre”. Madrid.

A Olga,

la persona que más y con quien más quiero.

A Alberto y Eduardo, nuestros hijos,

por el ejemplo que nos dan día a día con su actitud ante la vida.

A mis padres, que ya no están, y a mis hermanos,

porque gracias a su esfuerzo he llegado a ser lo que soy.

A Vicky, mi gran amiga,

por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Juan Ignacio Sánchez Díaz, director de esta tesis, por su dedicación, su sentido común y su capacidad crítica.
- A mis compañeros de trabajo, en especial al Dr. Alberto Mendoza Soto, compañero de residencia y amigo, por confiar siempre en mí.
- Al Dr. Juan Valentín Comas, que ya no está, por todo lo que nos ha dejado.
- A todos los médicos residentes de cardiología infantil que han rotado en estos años con nosotros, por su estímulo constante.
- A la Dra. Ana Caro Barri y a la Dra. Marta Flores Fernández, actuales médicos residentes de cardiología infantil, por compartir el entusiasmo por la proyección transesternal.
- A la empresa CAE Healthcare, por ceder sus imágenes para facilitar la comprensión del texto.
- A todos los niños y sus familias, porque devolverles la sonrisa es la mejor recompensa que podemos tener.

ÍNDICE

1. RESUMEN	15
2. SUMMARY	21
3. INTRODUCCIÓN	27
3.1. Anatomía normal en la edad pediátrica	30
3.1.1. Pared torácica anterior	30
3.1.2. Mediastino	35
3.1.3. Timo	37
3.1.4. Corazón	40
3.2. Principios básicos de ecografía	43
3.2.1. Características físicas del ultrasonido	43
3.2.2. Interacciones del ultrasonido con los tejidos	45
3.2.3. Instrumentación	49
3.3. El ecocardiograma normal en pediatría	51
3.3.1. Proyecciones ecocardiográficas habituales	52
3.3.2. Proyecciones ecocardiográficas complementarias	83
3.4. Ecografía torácica normal en pediatría	85
3.4.1. Proyecciones habituales	85
3.4.2. Anatomía ecográfica normal	87
4. JUSTIFICACIÓN DE LA LÍNEA DE INVESTACIÓN E HIPÓTESIS	91
4.1. Origen de la línea de investigación	92

4.2. Hipótesis	97
5. OBJETIVOS	99
5.1. Objetivo general	100
5.2. Objetivos específicos	100
6. MATERIAL Y MÉTODOS	101
6.1. Diseño	102
6.2. Población de estudio	102
6.3. Protocolo de estudio	102
6.4. Material	104
6.4. Variables del estudio	105
6.6. Aspectos éticos	108
6.7. Análisis estadístico	108
7. RESULTADOS	109
7.1. Proyección transesternal alta: eje corto de la válvula pulmonar	110
7.2. Proyección transesternal alta: visualización de otras estructuras	127
7.2.1. Bifurcación de la arteria pulmonar	127
7.2.2. Drenaje de las venas pulmonares	128
7.2.3. Arteria coronaria izquierda y bifurcación	130
7.2.4. Vena innominada y lateralidad del arco aórtico	130
7.2.5. Troncos supraaórticos	130
7.3. Proyección transesternal longitudinal	133

7.4. Transposición de grandes arterias.....	135
7.4.1. Evaluación preoperatoria	135
a) Proyección transesternal alta	135
b) Proyección transesternal longitudinal	136
7.4.2. Evaluación postoperatoria	136
a) Proyección transesternal alta	136
b) Proyección transesternal longitudinal	138
8. DISCUSIÓN	141
8.1. Proyección transesternal alta: eje corto de la válvula pulmonar	142
8.2. Proyección transesternal alta: visualización de otras estructuras	158
8.2.1. Bifurcación de la arteria pulmonar	159
8.2.2. Arteria coronaria izquierda y bifurcación	160
8.3. Proyección transesternal longitudinal	161
8.4. Transposición de grandes arterias.....	162
8.4.1. Evaluación preoperatoria	162
8.4.2. Evaluación postoperatoria	163
8.5. Limitaciones	164
8.6. Conflictos de intereses	165
9. CONCLUSIONES	167
10. BIBLIOGRAFÍA	171
11. ANEXOS.....	185

1. RESUMEN

Proyección ecocardiográfica transesternal en la edad pediátrica.

Introducción

En ecocardiografía transtorácica el ultrasonido penetra en el organismo a través de la pared torácica anterolateral hasta llegar al mediastino medio, lugar en el que se ubica el corazón. Las características de las estructuras anatómicas que debe atravesar condicionan la calidad con que se visualizan las distintas estructuras cardiovasculares. En la edad pediátrica se dan unas circunstancias especiales que permiten ventanas ultrasónicas excelentes. Sin embargo, las ventanas que se emplean en ecocardiografía pediátrica son básicamente las mismas que en la edad adulta.

La válvula pulmonar se visualiza habitualmente en ecocardiografía transtorácica bidimensional en su eje longitudinal, proyección que no permite definir con precisión su morfología. El eje corto o transversal de la válvula pulmonar nos proporcionaría una imagen similar a la que se obtiene de la válvula aórtica a cualquier edad desde la proyección paraesternal eje corto, pero la posición anatómica de la válvula pulmonar respecto a las proyecciones habituales hace que sea difícil conseguirlo en condiciones normales.

Dado que en neonatos y lactantes el esternón y las costillas son estructuras predominantemente cartilaginosas que transmiten bien el ultrasonido, habitualmente se puede acceder al corazón desde una proyección transesternal. Además, el timo, localizado en el mediastino anterosuperior, facilita la visualización de las estructuras cardiovasculares.

Origen de la línea de investigación

En nuestro laboratorio de ecocardiografía hemos constatado de forma casual que la proyección transesternal alta es muy útil para la obtención del eje corto de la válvula pulmonar en neonatos y lactantes. Además, hemos observado que en este grupo de edad esta proyección permite una excelente visualización de otras estructuras (ramas pulmonares, venas pulmonares, arteria coronaria izquierda, vena innominada, lateralidad del arco aórtico y troncos supraaórticos) y que los pacientes con cardiopatía congénita también se pueden beneficiar de este abordaje, especialmente aquellos con transposición de grandes arterias.

Objetivos

Determinar la eficacia de la proyección ecocardiográfica transesternal en neonatos y lactantes y la información que aporta con respecto a los planos convencionales.

Material y métodos

Estudio prospectivo observacional para determinar la eficacia y reproducibilidad de la proyección transesternal alta en la visualización del eje corto de la válvula pulmonar. Se incluyeron neonatos y lactantes (hasta dos años) de ambos sexos estudiados por primera vez en nuestro centro entre enero y junio de 2015 en distintos escenarios clínicos (consulta externa, plantas de hospitalización y unidades de cuidados intensivos neonatal y pediátrica).

En todos los pacientes se realizó un estudio de ecocardiografía-doppler completo según las recomendaciones de la Sociedad Americana de

Ecocardiografía. Antes de colocar al paciente en la habitualmente molesta posición de hiperextensión para obtener las proyecciones supraesternales, se obtuvo la proyección transesternal alta según un protocolo definido de estudio. Se registraron las siguientes variables: edad y peso; motivo de estudio; edad gestacional (en caso de prematuridad); enfermedad de base; asistencia respiratoria; equipo de ecocardiografía; médico que realiza la exploración; calidad de ventana paraesternal; diagnóstico ecocardiográfico final; visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta; morfología de la válvula pulmonar.

Para valorar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la variable “visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” y las demás variables, se realizó la prueba no paramétrica del test de Wilcoxon para las características cuantitativas y el test de Fisher para variables cualitativas.

Resultados

Fueron incluidos 210 pacientes, con una edad media de 2,26 meses y un peso medio de 4,3 kg. El 51,9 % tenía menos de un mes de edad y 34 pacientes (16,83 %) pesaban menos de 2,5 kg. Se incluyeron en el estudio 39 pacientes prematuros (18,57 %), de todas las edades gestacionales. En 39 pacientes (18,57 %) se registró la presencia de algún tipo de enfermedad respiratoria que podría interferir con la ventana ultrasónica. Del total de la serie, 9 pacientes (4,29 %) recibían ventilación mecánica y 18 pacientes (8,57 %) algún sistema de presión positiva continua no invasiva. Los estudios fueron realizados indistintamente por médicos adjuntos (56,19 %) y residentes (43,81

%) y los equipos de ecocardiografía empleados fueron los asignados a cada unidad. La mayoría de pacientes tenía una buena ventana ultrasónica (91,43 %).

Aplicando el protocolo de estudio descrito, se consiguió visualizar el eje corto de la válvula pulmonar e identificar su morfología en el 97,62 % (205 de 210 pacientes). En 10 pacientes (4,76 %) el diagnóstico ecocardiográfico final fue estenosis valvular pulmonar. En 9 de estos 10 pacientes (90 %), gracias a la proyección transesternal alta, se consiguió visualizar la válvula pulmonar en eje corto y definir con precisión su morfología, hecho que con las proyecciones habituales no se consigue. La mayoría (8 pacientes) presentaba una válvula pulmonar trivalva con fusión comisural y 1 paciente tenía una válvula pulmonar bicúspide.

No se logró visualizar con precisión el eje corto de la válvula pulmonar en 5 pacientes (2,38 %). En relación con la calidad de la ventana paraesternal, estos pacientes se distribuían de la siguiente manera: del grupo de pacientes que tenían buena ventana (192 pacientes), sólo en 1 (0,52 %) no fue posible obtener el eje corto de la válvula pulmonar, mientras que del grupo de 18 pacientes que no tenían buena ventana, esto sucedió en 4 (22,22 %; $p < 0,001$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la comparación con el resto de variables.

La proyección transesternal alta también nos ha permitido visualizar con precisión la bifurcación de la arteria pulmonar; el drenaje de las venas pulmonares; la arteria coronaria izquierda y su bifurcación; la vena innominada; la lateralidad del arco y los troncos supraaórticos.

En pacientes con transposición de grandes arterias es un excelente abordaje para visualizar la bifurcación de las ramas pulmonares.

Conclusiones

Es posible obtener el eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta e identificar adecuadamente su morfología en prácticamente todos los neonatos y lactantes pequeños, hecho que no se consigue desde las proyecciones habituales.

El factor que puede condicionar la visualización de la proyección transesternal es la calidad de la ventana paraesternal.

Además, la proyección transesternal aporta información adicional sobre otras estructuras y constituye un abordaje muy útil en la visualización de la bifurcación de las arterias pulmonares en neonatos y lactantes con transposición de grandes arterias.

El estudio del corazón desde la proyección transesternal puede reducir el tiempo de exploración desde la habitualmente molesta proyección supraesternal.

La proyección transesternal debería incluirse en el estudio ecocardiográfico sistemático en la edad pediátrica.

2. SUMMARY

Transsternal echocardiographic view in pediatrics

Introduction

Transthoracic echocardiographic ultrasound equipment transmits waveform into the body through the anterolateral thoracic wall till it reaches the medium mediastinum, place where the heart is located. The characteristics of the anatomic structures that the ultrasounds needs to go through determine the quality with which the different vascular structures are visualized. In the pediatric age there are several special circumstances that allow an excellent ultrasound window. Some of these are no more present when the child becomes older. However, the transthoracic views used in pediatric echocardiography are basically the same as in adults.

The pulmonary valve is visualized normally in the bidimensional transthoracic echocardiography in its longitudinal axis, projection that does not allow to define with accuracy its morphology and functionality. The short or transversal axis view of the pulmonary valve would provide us with a similar image than the one of the aortic valve at any age from the parasternal short axis view. However, the anatomical position of the pulmonary valve compared with the usual projections makes it difficult to achieve under normal conditions.

The sternum and the ribs in newborns and infants are mainly formed by cartilage, which transmits perfectly well the ultrasound, and you can usually access the heart from a transsternal projection. Besides, the thymus, located in the anterosuperior mediastinum, facilitates the visualization of cardiovascular structures.

Origin of the investigation pathway

In our echocardiography laboratory, we have realized that the high transsternal projection is very useful to obtain the short axis view of the pulmonary valve in newborns and infants. Besides, we have seen that this projection provides an excellent view of other structures (pulmonary arteries, pulmonary veins, left coronary artery, innominate vein, side of the aortic arch, supraaortic trunks) and that the patients with congenital heart disease can also benefit from this view, especially in the case of patients with transposition of great arteries.

Objectives

To determine the efficacy of the transsternal view in the echocardiographic assessment in newborns and infants and to compare with the information provided by conventional views.

Material and methods

We conducted a prospective observational study to determine the efficacy and feasibility of the high transsternal view in the visualization of the short axis view of the pulmonary valve. Newborns and infants (up to 2 years of age) of both sexes were included, all of them studied in our centre between January and June 2015 in different clinical scenarios (outpatient clinics, inpatient ward and neonatal and pediatric intensive care units).

In all the patients a complete 2-dimesional and Doppler echocardiography study was performed according to the American Echocardiographic Society recommendations. Before placing the patient in the usually uncomfortable hyperextended position to obtain the suprasternal views,

a high transsternal view was done according to a previously defined protocol of study. The following variables were recorded: age and weight, study purpose, gestational age (in case of preterm babies), underlying condition or disease, respiratory support, echocardiography equipment, doctor who performs the examination, quality of the parasternal view, final echocardiographic diagnosis, correct visualization of the short axis view of the pulmonary valve from the high transsternal projection and morphology of the pulmonary valve.

To evaluate the presence of statistically significant differences between the variable of “correct visualization of the short axis view of the pulmonary valve from the high transsternal projection” and the other variables, a non-parametric test of the Wilcoxon test for the quantitative parameters and Fisher test for the qualitative ones were used.

Results

Two hundred and ten patients were included, with a median age of 2,26 months and a average weight of 4,3 kilograms. The 51.9 % was aged less than one month and 34 patients (16.83 %) weighted less than 2.5 kilograms. Thirty nine preterm babies were included (18.57 %). In 39 patients (18.57 %) the presence of some respiratory condition that could interfere with the ultrasound window was registered. Among the totality of the series, 9 patients (4.29 %) were ventilated and 18 patients (8.57 %) had some type of continuous positive pressure non-invasive ventilation. The studies were done by consultant doctors (56.19 %) and trainee doctors (43.81 %) and the equipment of echocardiography used were the ones assigned to each unit. The majority of patients had a very good ultrasound acoustic window (91.43 %).

The defined protocol allowed us to easily visualize the pulmonary valve short axis and define the valve anatomy in 205 patients (97.62 %). In 10 patients (4.76 %), the final diagnosis was pulmonary valve stenosis. In 9 of them (90 %) the pulmonary valve was managed to be visualized in short axis view from the transsternal view and also morphology was defined precisely, fact that with the usual projections was not achieved. The majority (8 patients) had a tri-leaflet pulmonary valve with commissural fusion and one patient had a bicuspid valve.

In 5 patients (2.38 %) the short axis view of the pulmonary valve was not visualized from the transsternal projection. These 5 patients were distributed as follows concerning the quality of the window: among the 192 patients that had good parasternal window, only in one it was not possible to identify the morphology of the pulmonary valve from the high transsternal view (0.52 %); however in the group of 18 patients who did not have a good parasternal window, this happened in 4 patients (22.22 %; $p < 0.001$). Statistically significant differences were not found compared with the other variables.

The high parasternal projection also has allowed us to visualize accurately the bifurcation of the pulmonary artery, the pulmonary veins, the right coronary artery and its bifurcation, the innominate vein, the side of the aortic arch and the supraaortic trunks.

In patients with transposition of great arteries it is an excellent approach to visualize the bifurcation of the pulmonary arteries.

Conclusions

It is possible to get the short axis view of the pulmonary valve from the high transsternal view and to identify adequately its morphology nearly in every newborn and infant, fact that it is not achieved from the usual projections.

The factor that can determine the visualization is the quality of the ultrasound window.

Besides, the transsternal view provides with additional information about other structures and constitutes a very useful approach in the visualization of the bifurcation of the pulmonary arteries in patients with transposition of great arteries.

The systematic study of the heart from the transsternal view can reduce the scan time from the usually uncomfortable suprasternal view.

The transsternal view should be included as part of the routine protocols for echocardiographic examinations performed in newborns and infants.

3. INTRODUCCIÓN

La ecocardiografía utiliza como método físico de exploración la emisión de ultrasonidos en dirección al corazón. Denominamos proyecciones ecocardiográficas o ventanas ultrasónicas a los sitios anatómicos del cuerpo que mejor permiten el paso del ultrasonido. En ecocardiografía transtorácica el ultrasonido penetra en el organismo a través de la pared torácica anterior hasta llegar al mediastino medio, lugar en el que se ubica el corazón. Las características de las estructuras anatómicas que debe atravesar condicionan la calidad con que se visualizan las distintas estructuras cardiovasculares. Es conocido que en la edad pediátrica se dan unas circunstancias especiales que permiten ventanas ultrasónicas excelentes y la obtención de imágenes de una calidad impensable en etapas posteriores de la vida. Sin embargo, las ventanas que se emplean en ecocardiografía pediátrica son básicamente las mismas que en la edad adulta. Sorprendentemente, la ventana transesternal, una ventana habitualmente empleada por los radiólogos infantiles para el estudio de las estructuras mediastínicas, no aparece desarrollada en los tratados de ecocardiografía pediátrica.

En nuestro laboratorio de ecocardiografía utilizamos la proyección transesternal de forma rutinaria en el estudio sistemático del corazón en neonatos y lactantes y ello nos ha permitido estudiar con detalle la morfología de la válvula pulmonar en eje corto en prácticamente todos los pacientes, imagen que no se puede obtener desde las proyecciones habituales, así como complementar el estudio de otras estructuras en pacientes normales y pacientes con cardiopatía congénita.

Para conocer las características del abordaje ecocardiográfico transesternal en la edad pediátrica, se describe a continuación la anatomía

normal de las distintas estructuras que encuentra a su paso el ultrasonido hasta alcanzar el corazón así como los cambios más importantes desde el punto de vista de la ventana ecográfica que se producen en las mismas a lo largo del desarrollo. Posteriormente, se describen los aspectos más destacados de la anatomía cardíaca normal, fundamentales para entender la anatomía ecocardiográfica y, finalmente, la introducción se completa con una breve explicación sobre los principios básicos del ultrasonido y una descripción de los hallazgos habituales en ecografía torácica.

3.1. ANATOMÍA NORMAL

3.1.1. PARED TORÁCICA ANTERIOR

La pared esternocostal cierra anterolateralmente la cavidad torácica y comprende los planos cutáneo y musculoesquelético que se extienden desde el cuello al abdomen. El esqueleto de la pared anterior está formado por el esternón y los cartílagos costales (figura 1).

El esternón es un hueso largo y plano dispuesto en el centro de la pared torácica anterior con su eje mayor vertical. En los niños, consta de tres piezas independientes unidas entre sí por medio de articulaciones cartilaginosas primarias semimóviles (anfiartrosis): la superior, más ancha y con forma trapezoidal se denomina mango o manubrio; la larga pieza intermedia es el cuerpo; finalmente, la extremidad inferior o apéndice xifoides (del griego “xiphos”, que significa “espada corta de doble filo”). El manubrio y el cuerpo están en distinto plano y dan lugar a un ángulo fácilmente palpable, el ángulo esternal o ángulo de Louis (1)(2)(3).

Los cartílagos costales son prolongaciones fibrocartilaginosas de las costillas. Los primeros siete cartílagos alcanzan las escotaduras costales del borde lateral del esternón: el 2º, a nivel del ángulo de Louis; del 3º al 6º, con el cuerpo del esternón y el 7º con la unión del cuerpo con el apéndice xifoides. Los cartílagos 8º, 9º y 10º tienen un recorrido ascendente de lateral a medial que les hace unirse con el borde inferior del cartílago superior dando lugar a un reborde costal cartilaginoso continuo (1)(2)(3).

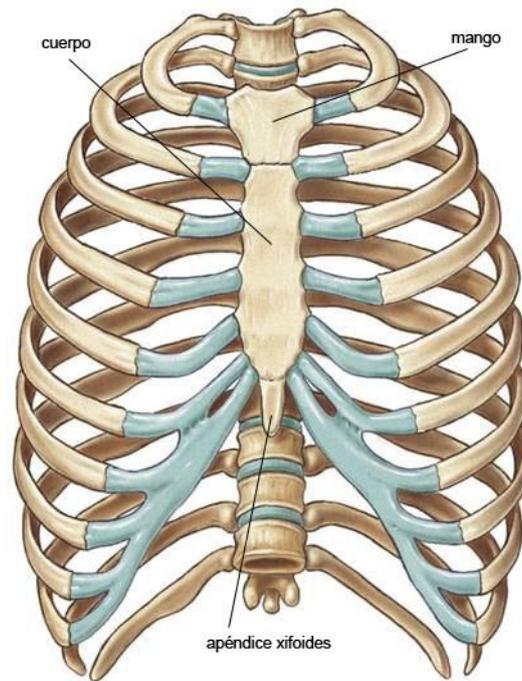


Figura 1. Caja torácica de adolescente y adulto joven. La calcificación de los cartílagos costales no suele tener lugar antes de la tercera década de la vida. Modificada de (3).

El desarrollo completo de esternón humano abarca un período extenso de tiempo que comienza en la sexta semana de edad gestacional, varía de unos sujetos a otros y no se completa hasta la vida adulta (figura 2). Empieza con la migración ventrolateral de dos bandas de mesénquima derivadas del mesodermo lateral. Durante la séptima semana las bandas empiezan a fusionarse en su extremo craneal. La fusión continúa en sentido caudal hasta completarse sobre la décima semana. El extremo craneal también se fusiona con el preesternón, una condensación de mesénquima que dará lugar al manubrio. Después de la fusión, el esternón se segmenta en los lugares de unión de los cartílagos costales. Posteriormente, la fusión de algunos de los segmentos resulta en la estructura típica tripartita: manubrio, cuerpo y apéndice xifoides.

Los núcleos de osificación aparecen inicialmente en el manubrio y en la parte craneal del cuerpo del esternón sobre el sexto mes de gestación. En los siguientes meses irán apareciendo en sentido caudal otros núcleos de manera que al nacer el esternón suele contar con cuatro núcleos de osificación identificables radiológicamente, uno en el manubrio y tres a lo largo del cuerpo. El proceso de osificación en el apéndice xifoides no suele comenzar antes de los 3-6 años (figuras 2-5).

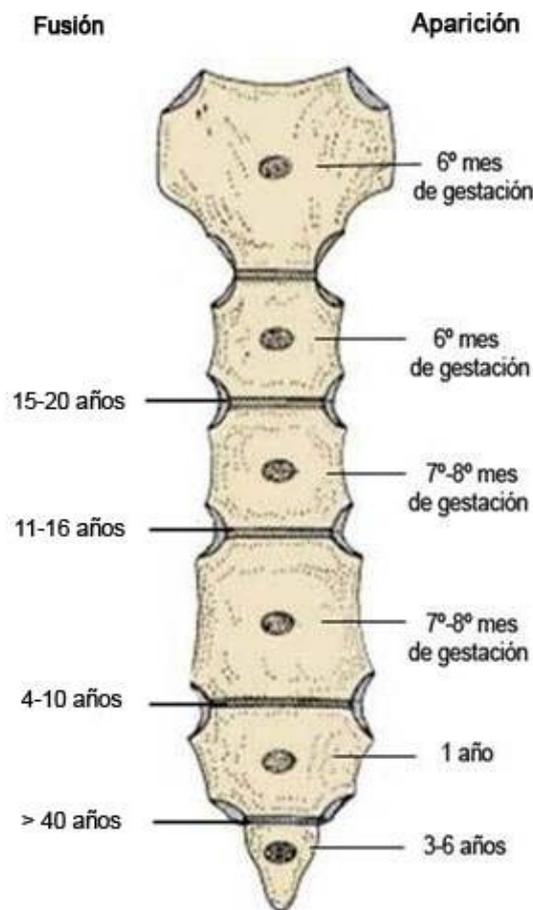


Figura 2. Desarrollo del esternón humano. Tiempo de aparición de los centros de osificación y fusión de los distintos segmentos. Modificada de (2).

Cada centro de osificación está rodeado por un cartílago de crecimiento o fisis esférica que contribuye a la expansión tridimensional y es histológicamente similar a un centro de osificación epifisaria (figuras 3-4). La coalescencia de estos centros de osificación es un proceso variable que no se completa hasta después de la pubertad (4).

Figura 3. Corte histológico de un esternón humano. El esternón al nacer suele contener un único núcleo de osificación en el manubrio y cuatro centros de osificación en el cuerpo. En la imagen puede apreciarse que el primer cartílago costal tiene continuidad con el manubrio (sincondrosis) y que existe una interfase fibrosa entre el manubrio y el cuerpo esternal. El apéndice xifoides es una continuación del extremo caudal del cuerpo del esternón. Modificada de (4).

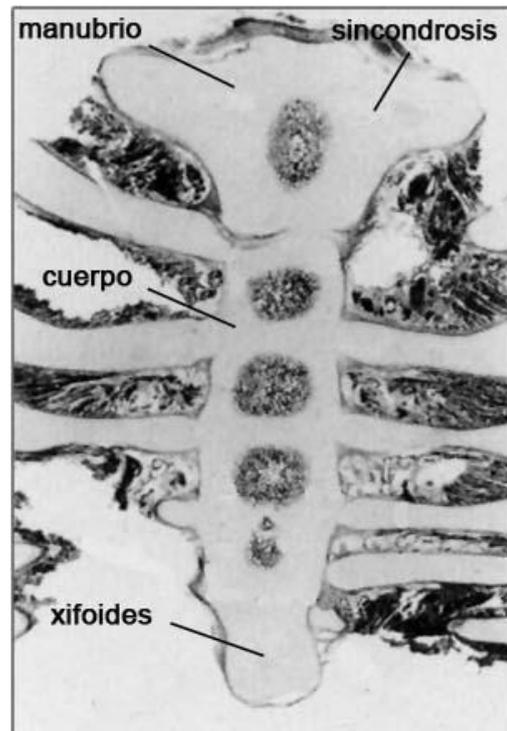
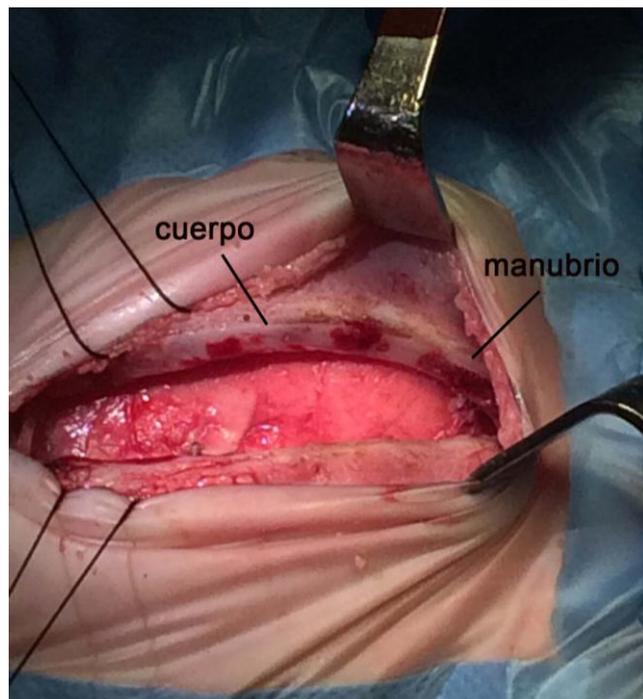


Figura 4. Esternotomía media en recién nacido de 13 días con transposición de grandes arterias. Los núcleos de osificación en el esternón se identifican por la presencia de médula ósea. Se puede observar el núcleo de osificación del manubrio y dos en el cuerpo. Entre núcleo y núcleo, el esternón está constituido por cartílago.



Se ha referido que los pacientes con cardiopatía congénita pueden presentar en la radiografía lateral un retraso en la osificación esternal (5). Sin embargo, diferentes estudios han demostrado que existe una variabilidad radiográfica inherente al proceso de osificación esternal en los primeros años de la vida que debe ser tomada en cuenta en la valoración clínica de los pacientes y que no necesariamente se traduce en la existencia de patología subyacente (6). Esta variabilidad en el proceso de osificación esternal determina que existan diferencias en el acceso del ultrasonido a las estructuras mediastínicas de unos sujetos a otros.

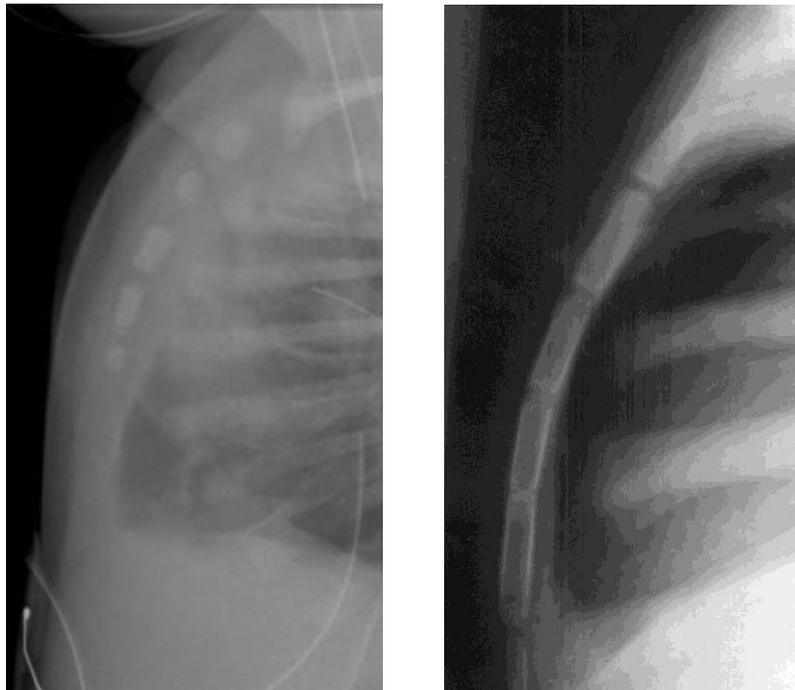


Figura 5. Detalle de la radiografía lateral de tórax en un recién nacido (izquierda) y en un adolescente (derecha). En el recién nacido, se observa el patrón de osificación habitual: un núcleo en el manubrio y cuatro núcleos a lo largo del cuerpo. Entre núcleo y núcleo se interponen zonas de cartílago. En el adolescente, el proceso de osificación está ya prácticamente completado y la fusión entre las distintas partes del esternón está ya muy avanzada.

En los recién nacidos el primer cartílago costal aparece ya fusionado al manubrio (figura 3) sin evidencia alguna de articulación (sincondrosis), mientras

que el resto de las articulaciones sinoviales condroesternales son reconocibles en todos los niveles. Los cartílagos costales se mantienen sin osificar durante toda la edad pediátrica y la calcificación no suele tener lugar antes de la tercera década de la vida (figura 1) (2).

3.1.2. MEDIASTINO

La cavidad torácica se divide en las regiones pleuropulmonares derecha e izquierda y el mediastino. El mediastino es el compartimento central de la cavidad torácica, contiene la mayoría de los órganos torácicos y actúa como lugar de tránsito para las estructuras que atraviesan el tórax. La mayoría de los tratados de anatomía y cirugía asume la división clásica del mediastino en cuatro compartimentos (figura 6) (6). Según esta clasificación, el mediastino se divide inicialmente en dos partes mediante un plano transversal imaginario, el plano transverso torácico, trazado desde el ángulo esternal hasta el disco intervertebral entre T4 y T5, plano en el que se produce la bifurcación traqueal.

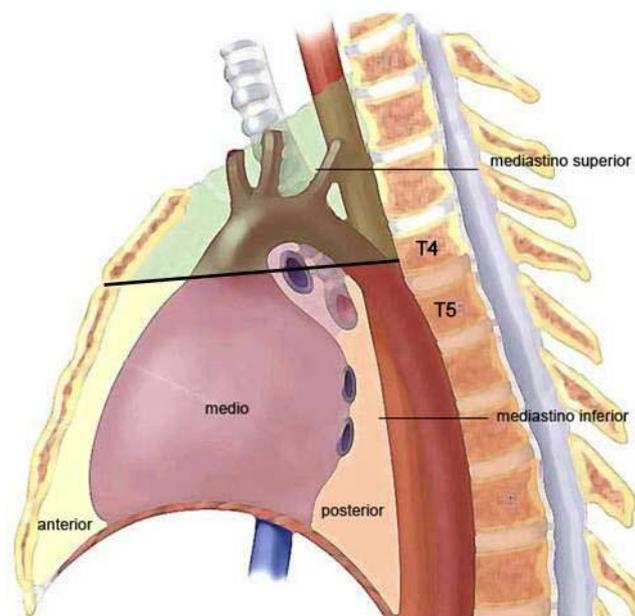


Figura 6. Mediastino. Compartimentos. Modificada de fastbleep.com

El mediastino superior es el espacio que se localiza detrás del manubrio del esternón y contiene la parte superior del timo, el arco aórtico y la parte inicial de los troncos supraaórticos, los troncos venosos braquiocefálicos y la vena cava superior, el conducto torácico, la parte superior del esófago torácico, la porción torácica de la tráquea, el nervio vago, el nervio recurrente laríngeo izquierdo y el nervio frénico.

El mediastino inferior se divide en:

1.- El mediastino anterior (anteroinferior), situado entre el esternón y el saco pericárdico, que contiene el cuerpo del timo, grasa, ganglios linfáticos y los vasos mamarios internos.

2.- El mediastino medio, el compartimento más amplio del espacio interpleural, en el que se sitúan el saco pericárdico y su contenido, la aorta ascendente, el extremo proximal de la vena cava superior con el cayado de la vena ácigos, la carina y los dos bronquios principales, la bifurcación de la arteria pulmonar, las venas pulmonares derechas e izquierdas y el nervio frénico.

3.- El mediastino posterior (posteroinferior), entre la cara posterior del pericardio y la columna vertebral, que contiene la aorta descendente torácica, el sistema de las venas ácigos y hemiácigos, el conducto torácico, el esófago, el plexo esofágico, el nervio vago y los nervios esplácnicos y los troncos simpáticos torácicos o cadena ganglionar laterovertebral torácica (8).

3.1.3. TIMO

El timo es el órgano linfoide primario esencial para el desarrollo de los linfocitos T. Se trata de un órgano impar situado en la base del cuello y en la parte anterior del mediastino superior e inferior. En el cuello se localiza por detrás de la fascia pretraqueal y los músculos esternohiideo y esternotiroideo y en el mediastino, por detrás del esternón (manubrio y parte superior del cuerpo). La cara posterior se relaciona en el cuello con la tráquea, que lo moldea, y más abajo queda separado de la misma por el arco aórtico, el tronco braquiocefálico derecho y la arteria carótida izquierda. Más anterior, se localiza la vena innominada. Es frecuente observar que la vena innominada cruza y moldea el timo marcando el límite entre sus porciones cervical y torácica. Ya en el mediastino, la pared posterior del timo se relaciona con la cara anterior del pericardio parietal. La cara posterior también está en relación con el plexo cardiaco y con los nervios frénicos, sobretudo con el izquierdo, que recorren su porción posterolateral. La cápsula fibrosa que envuelve al timo se fija por arriba con el polo inferior del tiroides mediante el ligamento timotiroideo. Por detrás, se adhiere íntimamente al pericardio fibroso mientras que por delante se une al esternón sólo por una delgada capa de tejido conjuntivo laxo (figura 7) (9).

Está constituido por dos lóbulos asimétricos unidos por su parte media. Ambos lóbulos están envueltos por una cápsula de tejido conjuntivo de la que nacen unas trabéculas fibrosas que dividen de forma incompleta el parénquima en múltiples lobulillos, la mayoría de los cuales presenta una zona periférica más oscura y rica en células, la corteza, y otra central más clara, menos celular y muy vascularizada, la médula. Las áreas medulares de todos los lobulillos están en contacto, aunque se observen separadas en los cortes

histológicos. Los septos de tejido conjuntivo que separan lobulillos adyacentes contienen vasos sanguíneos, nervios y eferentes linfáticos (figura 8).

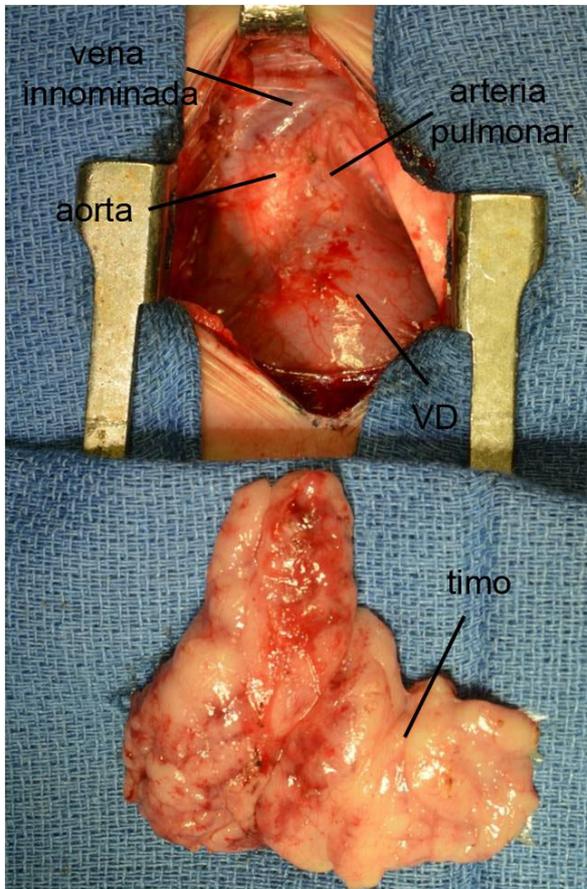


Figura 7. Esternotomía media en lactante de 3 meses de vida intervenido por tumor valvular. El timo ha sido extirpado completamente. El pericardio permanece cerrado. Se puede observar el tamaño del timo respecto al tamaño del corazón.

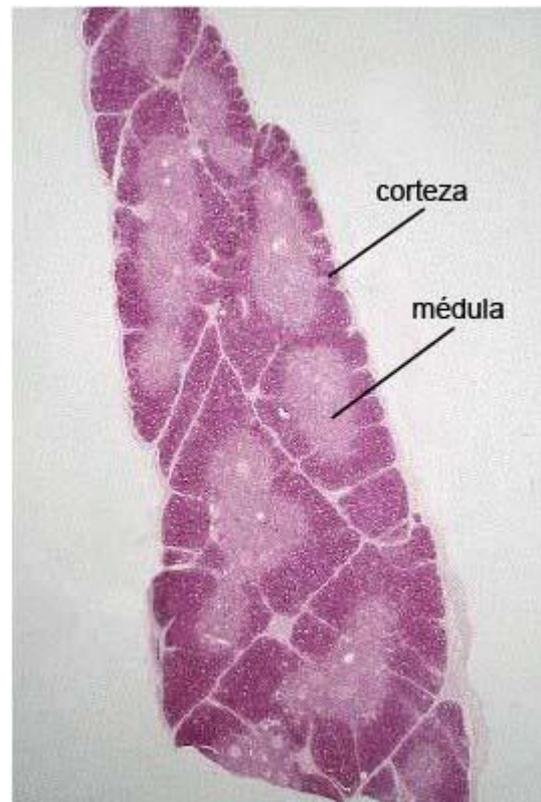


Figura 8. Corte histológico a pocos aumentos de muestra de timo de un recién nacido humano. Tinción con hematoxilina-eosina. El timo está parcialmente dividido en lobulillos por septos de tejido conectivo derivados de la cápsula. En cada lobulillo puede identificarse una corteza y una médula. Existe continuidad entre las áreas medulares de todos los lobulillos.

El timo empieza a desarrollarse en la 6ª semana de edad gestacional a partir del endodermo de la porción ventral de la tercera bolsa faríngea de cada lado. El componente conectivo de la glándula deriva del mesodermo circundante. Los dos esbozos se desplazan progresivamente hacia la línea media y entran en contacto sin llegar a fusionarse. A partir de la semana 8ª pierden su conexión con la faringe y descienden desde el cuello hasta su

localización definitiva en el mediastino anterior. Hacia el final de semana 9ª el timo es capaz de atraer células madre linfoides y proporcionar el microambiente necesario para que se conviertan en células T maduras.

A finales del tercer mes la corteza y la médula del timo ya están bien definidas. Los lobulillos son estructuras intensamente dinámicas donde se producen de forma continua linfocitos en la zona cortical que, tras un proceso de maduración, se van desplazando hacia la médula donde alcanzan el torrente circulatorio (10). Sólo un pequeño porcentaje de estos linfocitos se convierte en células T maduras. De hecho, la mayoría (al menos el 95 %) no se selecciona para la maduración y entra en la vía apoptótica para su eliminación (11).

El timo es el tejido linfopoyético más activo durante la vida fetal y al final de la gestación está completamente desarrollado. Al nacimiento pesa de 10 a 35 gramos y su tamaño sigue aumentando ligeramente hasta la pubertad, momento en el que alcanza su peso máximo (de 20 a 50 gramos). Entra en regresión a partir de la pubertad cuando los principales tejidos linfoides están plenamente desarrollados. A lo largo de la vida adulta se produce un progresivo reemplazamiento de los espacios perivasculares por tejido fibroadiposo de forma que sobre los 50 años más del 80 % del volumen del timo es grasa (12). El timo también puede involucionar en situaciones de intenso estrés (infecciones graves, insuficiencia cardíaca,...) por efecto de la respuesta inflamatoria aguda sistémica (13). A diferencia de la involución crónica asociada a la edad, la atrofia inducida por el estrés puede resolverse con el tiempo una vez que la causa ha desaparecido (14).

3.1.4. CORAZÓN

1. Generalidades:

En condiciones normales, el corazón ocupa la región centrotorácica, dentro del mediastino medio. Se localiza en el segmento comprendido entre la 4ª y 8ª vértebras torácicas (vértebras cardíacas). Tiene forma de cono o pirámide dispuesto en posición oblicua, con 2/3 a la izquierda de la línea media y con el vértice ó ápex cardíaco dirigido la izquierda, en sentido anterior e inferior, y se encuentra parcialmente cubierto por el timo y las regiones anteriores de ambos pulmones (figura 9).

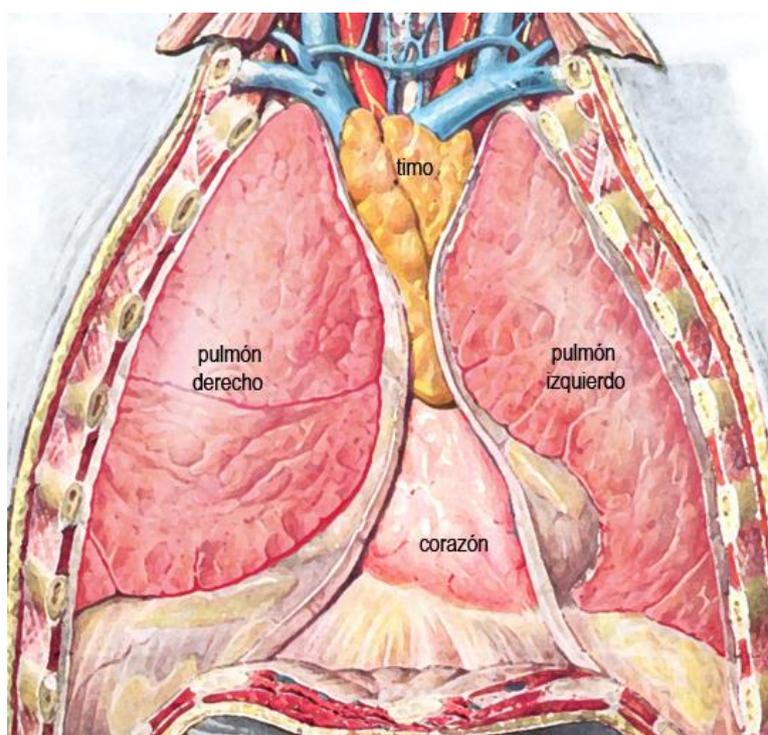


Figura 9. Vísceras torácicas *in situ* de un adulto joven después de retirar la pared anterior del tórax y abrir la pleura parietal de ambos lados. El corazón se encuentra parcialmente cubierto por el timo y ambos pulmones. Modificada de (3).

En el recién nacido y en el lactante pequeño, la forma del corazón y su relación con el resto de estructuras torácicas difieren de las del niño mayor y el

adulto (figura 10). Esta diferencia viene determinada fundamentalmente por las características de la circulación fetal (15). El ventrículo derecho se convierte en el último trimestre de la gestación en el ventrículo dominante por varios motivos: 1) la presión es la misma en ambos ventrículos; 2) el ventrículo derecho maneja más de la mitad del gasto ventricular combinado (55 % frente a 45 %); 3) las resistencias vasculares pulmonares se mantienen elevadas como consecuencia del estado de vasoconstricción de las arteriolas y de la hipertrofia de su capa muscular, de manera que los pulmones reciben sólo el 15 % del gasto ventricular combinado. Además, la morfología característica de la caja torácica con las costillas horizontalizadas y el aplanamiento del diafragma determinan una posición del corazón más horizontalizada en neonatos y lactantes pequeños (16).

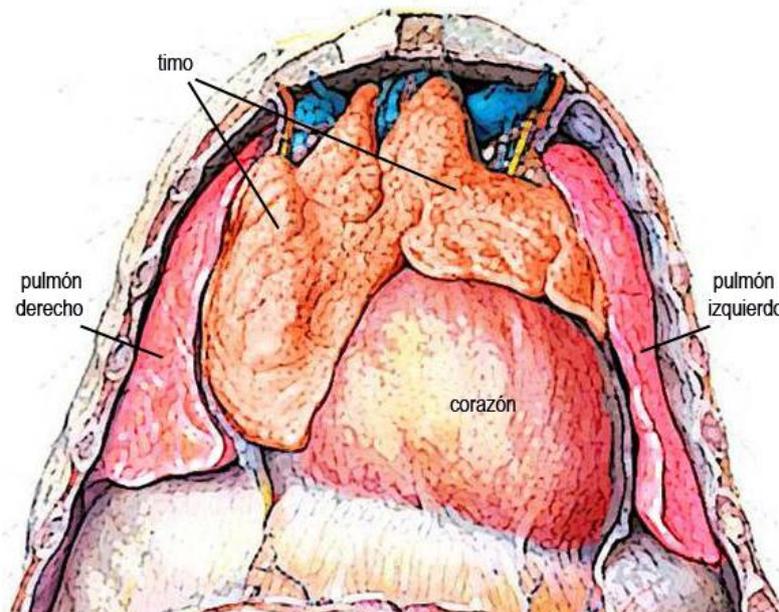


Figura 10. Vísceras torácicas *in situ* de recién nacido después de retirar la pared anterior del tórax y abrir la pleura parietal de ambos lados. El ventrículo derecho ocupa la cara anterior del corazón. El timo en esta etapa de la vida tiene su mayor tamaño relativo y cubre las estructuras de la base del corazón. Los pulmones habitualmente no se interponen entre el corazón y la pared anterior del tórax. Modificada de (3).

2. Esqueleto fibroso:

El músculo cardíaco requiere una estructura que al mismo tiempo proporcione aislamiento eléctrico entre aurículas y ventrículos, sirva de anclaje del aparato valvular, soporte las presiones del trabajo cardíaco y posea la flexibilidad suficiente como para adaptarse a los movimientos durante el ciclo cardíaco. Esta estructura recibe el nombre de esqueleto fibroso del corazón y consiste en un complejo entramado tridimensional de tejido colágeno denso localizado en la base del corazón, en la encrucijada que forman, por un lado, las válvulas aórtica, mitral y tricúspide y, por otro, la unión de la base del tabique interauricular con la porción membranosa del tabique interventricular. La válvula pulmonar se encuentra en un plano distinto, casi perpendicular al anillo aórtico, ligeramente más craneal, anterior e izquierdo, pero unida a éste a través del ligamento infundibular o del cono (figura 11).

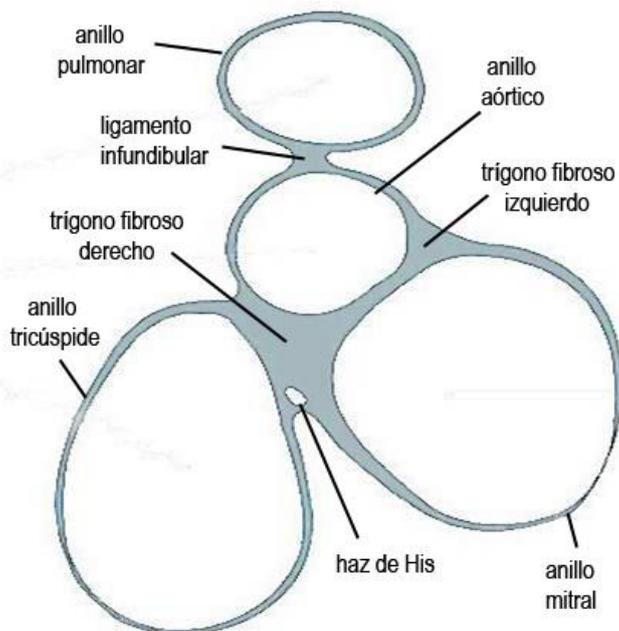


Figura 11. Esqueleto fibroso del corazón. La válvula pulmonar se encuentra en un plano distinto, casi perpendicular al anillo aórtico, en una posición más craneal, anterior e izquierda. Modificada de www.imaios.com.

3.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE ECOGRAFÍA

La ecografía es una técnica de diagnóstico por imagen basada en la utilización de ultrasonidos. El conocimiento de los principios básicos en los que se fundamenta permite una correcta utilización e interpretación y explica el hecho diferencial que tiene lugar en las primeras etapas de la vida y que determina que sea posible estudiar las estructuras localizadas en el mediastino a través de una pared torácica en desarrollo (17)(18).

El sonido se puede definir como una energía transmitida a lo largo de un medio elástico por la oscilación de sus partículas a una determinada frecuencia (19). El oído humano tiene capacidad para detectar sonidos con una frecuencia máxima de 20.000 ciclos/segundos (20 KHz). Los sonidos con una frecuencia superior se denominan ultrasonidos y no son detectados por el hombre, aunque sí por otros animales (delfín y murciélago: hasta 200 KHz). La frecuencia utilizada para la obtención de imágenes ecográficas está en el rango de 1 a 10 millones de ciclos/segundo (1-15 MHz).

3.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ULTRASONIDO

1. Frecuencia:

La frecuencia de una onda de ultrasonido es el número de ciclos o cambios de presión que ocurren en un segundo. El hercio o *hertz* (símbolo Hz) es la unidad de frecuencia del sistema internacional de unidades y equivale a 1 ciclo/segundo. La frecuencia está determinada por la fuente emisora del sonido y por el medio a través del cual está viajando.

2. Velocidad de propagación:

Es la velocidad a la que puede viajar el sonido a través de un medio. El promedio de velocidad de propagación en tejidos blandos es de 1.540 m/s, (330 m/s a través del aire). La propagación del sonido supone un transporte de energía en forma de ondas mecánicas sin transporte de materia, por lo que la velocidad de propagación está determinada por las características del medio, especialmente la densidad y la compresibilidad. La velocidad es inversamente proporcional a la compresibilidad: las moléculas en los tejidos más compresibles están muy separadas por lo que transmiten el sonido más lentamente. En general, el sonido viaja a mayor velocidad en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos mayor que en los gases. En el aire la velocidad de propagación es tan lenta que las estructuras que lo contienen no pueden ser evaluadas por ultrasonido.

3. Amplitud:

La amplitud es la altura máxima que alcanza una onda. Hace referencia a la intensidad del sonido y se mide en decibelios (dB).

4. Longitud de onda:

Se define como la distancia entre el inicio y el fin de un ciclo. La unidad de medida es el milímetro (mm). La longitud de onda se obtiene dividiendo la velocidad entre la frecuencia.

3.2.2. INTERACCIONES DEL ULTRASONIDO CON LOS TEJIDOS

1. Reflexión:

Se denomina interfase al límite o zona de contacto entre dos medios que transmiten el sonido a distinta velocidad. Cuando el haz de ultrasonidos llega a una interfase experimenta un fenómeno de reflexión: una parte del haz vuelve a la fuente emisora (“eco”) y el resto continúa propagándose hasta la siguiente interfase (figura 12). La producción y detección de ecos constituye la base del diagnóstico ecográfico.

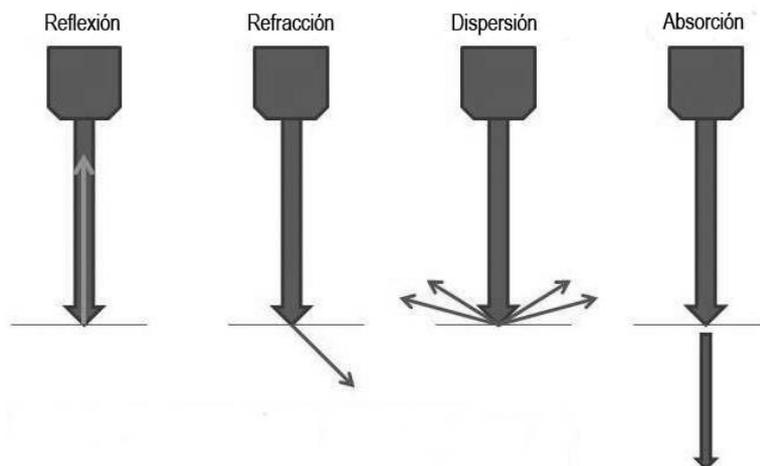


Figura 12. Interacciones del ultrasonido con los tejidos. En la atenuación participa el resto de interacciones. Modificada de ecografiabovina.com.

La impedancia acústica es la resistencia que oponen los tejidos al paso del ultrasonido y es igual al producto de la densidad del medio por la velocidad de propagación del sonido en dicho medio (tablas 1 y 2). Si dos materiales tienen la misma impedancia acústica, su límite no produce eco. Si la diferencia es pequeña, se producirá un eco débil y la mayor parte del haz seguirá viajando a través del segundo medio. Si la diferencia es grande, se producirá

un eco intenso. Si la diferencia es muy grande, todo el haz de ultrasonido será reflejado y el eco será máximo. Típicamente, en los tejidos blandos la amplitud del eco que se produce en su interfase es baja. Sin embargo, las áreas que contienen hueso o aire no permiten que el ultrasonido pase más allá de la interfase y producen unos ecos muy intensos. El operador debe evitar este tipo de zonas y utilizar ventanas ultrasónicas específicas que le permitan explorar estructuras más profundas. Por el mismo motivo, los transductores deben ser acoplados directamente sobre la superficie de la piel o empleando gel, con lo que se evita así el contacto con el aire.

La intensidad de la reflexión se expresa en escala de grises, de manera que los ecos más intensos se representan en tono blanco (hiperecoico), los más débiles en diversos tonos de gris (hipoecoico) y cuando no hay reflexión, en negro (anecoico).

Las estructuras del cuerpo están formadas por diferentes tejidos, lo que da lugar a múltiples interfases. El elemento que mejor transmite los ultrasonidos es el agua por lo que ésta produce una imagen anecoica (negra). En general, los tejidos muy celulares son hipoecoicos, dado su alto contenido en agua, mientras que los tejidos fibrosos son hiperecoicos debido al mayor número de interfases presentes en ellos.

Tabla 1. Valores de densidad y velocidad de propagación del sonido		
Tejido	Velocidad (m/s)	Densidad (g/cm³)
Grasa	1.470	0,97
Músculo	1.568	1,04
Hígado	1.540	1,05
Cerebro	1.530	1,02
Hueso cortical	3.600	1,73
Agua	1.492	0,99
Aire	332	0,01

Tabla 2. Intensidad de reflexión	
Interfase	reflexión
tejido blando / tejido blando	1%
tejido blando / hueso	46-70 %
tejido blando / aire	99 %

2. Refracción:

La intensidad con la que un haz de ultrasonido se refleja depende también del ángulo de incidencia. La reflexión es máxima cuando la onda incide de forma perpendicular a la interfase entre dos tejidos. Si el haz incide de forma oblicua, la interacción es más compleja. El eco se refleja en parte con un ángulo igual al ángulo de incidencia. El haz que se transmite se desvía de la línea recta en una proporción que depende de la diferencia de impedancias de los tejidos que componen la interfase y del ángulo de incidencia del haz sobre dicha interfase. Este proceso se conoce como refracción y es directamente proporcional a la diferencia de impedancias (a mayor diferencia de impedancias, mayor refracción) e inversamente proporcional a ángulo de incidencia (a mayor ángulo de incidencia, esto es, cuanto más se aproxime a 90° , menor refracción) (figura 12).

A diferencia de la reflexión, que es la base para toda la instrumentación diagnóstica, la refracción añade complejidad a la interpretación de los ecos ya que el objeto analizado no se encuentra en la dirección original del haz de ultrasonidos.

3. Atenuación:

La intensidad del haz de ultrasonidos va disminuyendo progresivamente a medida que incide en estructuras más profundas como consecuencia de un fenómeno conocido como atenuación. En la atenuación interviene el resto de interacciones: reflexión, refracción, dispersión y absorción (figura 12). La dispersión es la reflexión de los ecos en múltiples direcciones cuando las ondas chocan con una superficie pequeña e irregular. El ultrasonido también pierde

intensidad porque parte de la energía es absorbida por los tejidos y transformada en calor.

La cantidad de atenuación varía con la frecuencia del ultrasonido. Un haz de alta frecuencia se atenúa más que uno con baja frecuencia. Ello quiere decir que para estudiar estructuras localizadas profundamente es necesario emplear transductores de baja frecuencia. Las frecuencias altas, por el contrario, penetran poco pero permiten obtener imágenes con una resolución mayor. El resultado es que los ecos que se originan en los tejidos más profundos tienen menor amplitud que los que se originan en zonas superficiales.

Los líquidos son considerados como no atenuadores; el hueso es un importante atenuador, fundamentalmente mediante absorción y dispersión de la energía, mientras que el aire absorbe de forma potente y dispersa la energía en todas las direcciones.

3.2.3. INSTRUMENTACIÓN

Los ultrasonidos se generan en un dispositivo llamado transductor, el cual contiene uno o más cristales con propiedades piezoeléctricas. Estos cristales, al ser sometidos a una corriente eléctrica alterna, vibran y emiten ultrasonidos de una frecuencia característica. Las ondas reflejadas en los tejidos vuelven al transductor donde interactúan con los cristales produciendo una señal eléctrica que será analizada y transformada por el equipo. Esta capacidad de los cristales de transformar la energía eléctrica en mecánica y viceversa es lo que conocemos como efecto piezoeléctrico. Los ultrasonidos no

reflejados continuarán avanzando a través de los tejidos para seguir enviando información de estructuras más profundas.

Existen varios tipos de transductores que difieren en la manera en que están dispuestos sus componentes y en el tipo de imagen que ofrecen. Los transductores lineales presentan cristales en línea que emiten haces paralelos de ultrasonido por lo que se obtiene una imagen rectangular. Necesitan una amplia superficie de contacto y ofrecen una imagen amplia del campo cercano por lo que son ideales para pequeñas estructuras. Una variante de transductor lineal es el convexo, que se adapta mejor a la superficie corporal y permite un amplio campo a distancia. Los transductores sectoriales tienen una ventana pequeña y emiten haces divergentes de ultrasonido con los que se obtiene una imagen en abanico, muy estrecha en las proximidades del transductor y que se va haciendo más ancha a medida que aumenta la profundidad. La ventaja de este tipo de transductores es que con una superficie de contacto pequeña se consigue un ángulo de escaneo ancho. Son de gran utilidad en ecocardiografía transtorácica ya que se puede dirigir el ultrasonido hacia el corazón a través de los espacios intercostales. En cardiología, se emplean transductores sectoriales con frecuencias comprendidas entre 1 y 3,5 MHz para adultos y entre 4 y 12 MHz en niños.

3.3. EL ECOCARDIOGRAMA NORMAL EN PEDIATRÍA

El estudio ecocardiográfico del corazón se basa en el examen bidimensional en tiempo real a través de múltiples planos obtenidos desde las ventanas acústicas habituales (20). El estudio básico se complementa con la información que se obtiene a través del modo M, del rastreo con doppler color y de los cálculos hemodinámicos que se pueden realizar con doppler pulsado y continuo (21). En cardiología pediátrica, el ecocardiograma transtorácico tiene unas características específicas derivadas de la singularidad de la edad pediátrica. Por ejemplo, determinadas proyecciones (subcostal, supraesternal, paraesternal derecha) son fundamentales en los estudios pediátricos. Además, la amplia gama de cardiopatías congénitas complejas con que se puede enfrentar el explorador hace recomendable la visualización de las mismas en posición anatómica (22). Afortunadamente, la mayoría de pacientes pediátricos tiene una ventana acústica excelente desde las proyecciones habituales, lo que permite obtener en la mayoría de ocasiones información detallada de la anatomía, fisiología y hemodinámica del corazón.

La precisión diagnóstica del examen va a depender en gran medida de la calidad de la imagen que se obtenga. El paciente suele colocarse inicialmente en posición de decúbito supino. En niños mayores, y especialmente en caso de mala ventana paraesternal, puede ser preciso utilizar la posición de decúbito lateral izquierdo, con la finalidad de conseguir una aproximación del corazón a la pared anterior del tórax. A cualquier edad, la posición de decúbito supino con la cabeza girada a la izquierda consigue un

ligero decúbito lateral izquierdo y es la posición que empleamos de entrada en nuestro laboratorio en todas las edades.

Se debe seleccionar el transductor adecuado a la edad y tamaño del paciente. En neonatos y lactantes se emplean transductores sectoriales de alta frecuencia (5-9 MHz), que permiten una adecuada resolución a la profundidad habitual de estudio. En niños mayores y adolescentes se necesitan transductores sectoriales de baja frecuencia (1-4 MHz) que experimentan menor atenuación y con lo que se puede obtener una buena resolución a la profundidad habitual.

3.3.1. PROYECCIONES ECOCARDIOGRÁFICAS HABITUALES

Los estudios ecocardiográficos que se realizan de forma rutinaria en cardiología infantil incluyen las cinco proyecciones estándar recomendadas por la Sociedad Americana de Ecocardiografía: subxifoidea (subcostal), paraesternal izquierda, apical, supraesternal y paraesternal derecha (figura 13) (22) (23). Las imágenes obtenidas se identifican por la localización del transductor (subxifoidea, paraesternal, apical, supraesternal y paraesternal derecha) y por el plano de corte con relación al corazón (eje largo, eje corto, cuatro cámaras, dos cámaras). Además, las imágenes pueden describirse desde el punto de vista de los planos anatómicos habituales (sagital, parasagital, transversal, coronal).

El objetivo es lograr que el ultrasonido acceda al corazón desde las distintas ventanas acústicas que ofrece el tórax. Los transductores sectoriales que se emplean en ecocardiografía transtorácica tienen una superficie de

contacto pequeña y emiten haces divergentes de ultrasonido con los que se obtiene una imagen muy estrecha en las proximidades del transductor pero que se va haciendo más ancha a medida que aumenta la profundidad. La ventaja de este tipo de transductores es que, a pesar de la superficie de contacto pequeña, se obtiene un ángulo de escaneo ancho.

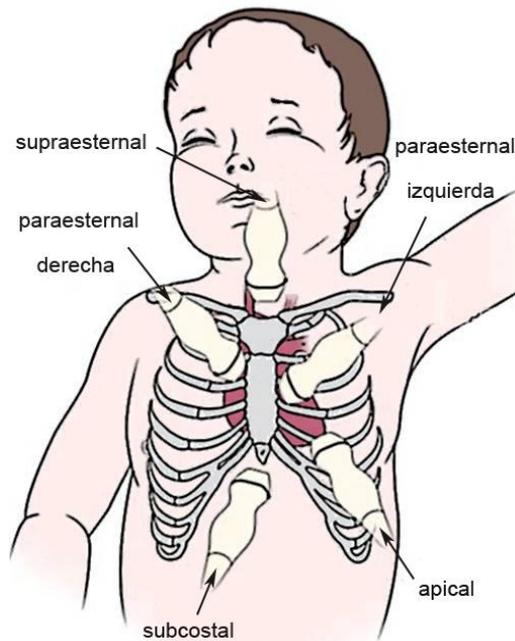


Figura 13. Proyecciones ecocardiográficas habituales en cardiología pediátrica. Las proyecciones evitan las estructuras óseas y las zonas donde se puede interponer parénquima pulmonar. Modificada de (22)

Las proyecciones habituales evitan las interfases tejido blando-hueso (estructuras óseas, fundamentalmente el esternón) y las interfases tejido blando-aire (pulmón). De esta manera, las proyecciones subxifoideas utilizan el hígado para llegar al corazón; las proyecciones paraesternales y apicales lo hacen a través de los espacios intercostales y de los cartílagos costales y las supraesternales a través de las estructuras del mediastino superior.

En la mayoría de laboratorios de ecocardiografía pediátrica los estudios sistemáticos comienzan desde la proyección subxifoidea o subcostal. La proyección que se suele realizar en último lugar es la supraesternal porque requiere colocar al paciente con el cuello en hiperextensión, una posición habitualmente molesta, sobretodo para los más pequeños.

La válvula pulmonar se visualiza en su eje largo desde distintas proyecciones (subxifoidea, paraesternal, apical). Sin embargo, toda la literatura reconoce que un eje corto de la válvula pulmonar, a diferencia de lo que sucede con la válvula aórtica, no se consigue obtener de forma sistemática desde ninguna de las proyecciones ecocardiográficas habituales.

A continuación se describen las proyecciones ecocardiográficas habituales empleadas en ecocardiografía pediátrica, haciendo especial hincapié en la forma de obtener las imágenes y en la visualización de la válvula pulmonar desde las distintas proyecciones.

1. **Proyecciones subxifoideas (subcostales):**

Para la obtención de las **proyecciones subxifoideas (subcostales) eje largo, o transversas**, el transductor se coloca inicialmente perpendicular al plano de la piel, por debajo del apéndice xifoides, apoyado en el hígado y con el marcador de posición orientado a la izquierda del paciente (posición a las “tres en punto”) (figura 14). La imagen de partida es una sección transversal del abdomen (22) (24). Con la finalidad de obtener las imágenes en posición anatómica, en cardiología infantil se suele invertir el ápex del sector con el control de “inversión A/A” (arriba/abajo), de manera que las estructuras más posteriores se muestran en la parte superior de la pantalla y las más anteriores en la parte inferior.

El estudio sistemático empieza con la determinación del situs visceral abdominal. La estructura que siempre se encuentra en su lugar es la columna vertebral y se utiliza como referencia. El calcio de los cuerpos vertebrales da lugar a una superficie hiperecogénica detrás de la cual se produce una sombra anecoica. En situs solitus, el hígado se localiza a la derecha y el estómago a la izquierda. El bazo tiene una ecogenicidad similar al hígado y se visualiza detrás del estómago. A la izquierda de la columna y ligeramente anterior se localiza la aorta descendente. La vena cava inferior asciende a la derecha de la columna y a la altura del hígado se incurva hacia adelante para hacerse intrahepática y recoger el flujo de las venas suprahepáticas antes de entrar en la aurícula derecha. Desde esta proyección subxifoidea transversa, el segmento hepático de la vena cava inferior se visualiza a la derecha de la columna, intrahepático y anterior a la aorta descendente. La presencia de una vena del sistema ácigos dilatada, a un lado u otro de la columna vertebral (a la derecha: vena ácigos;

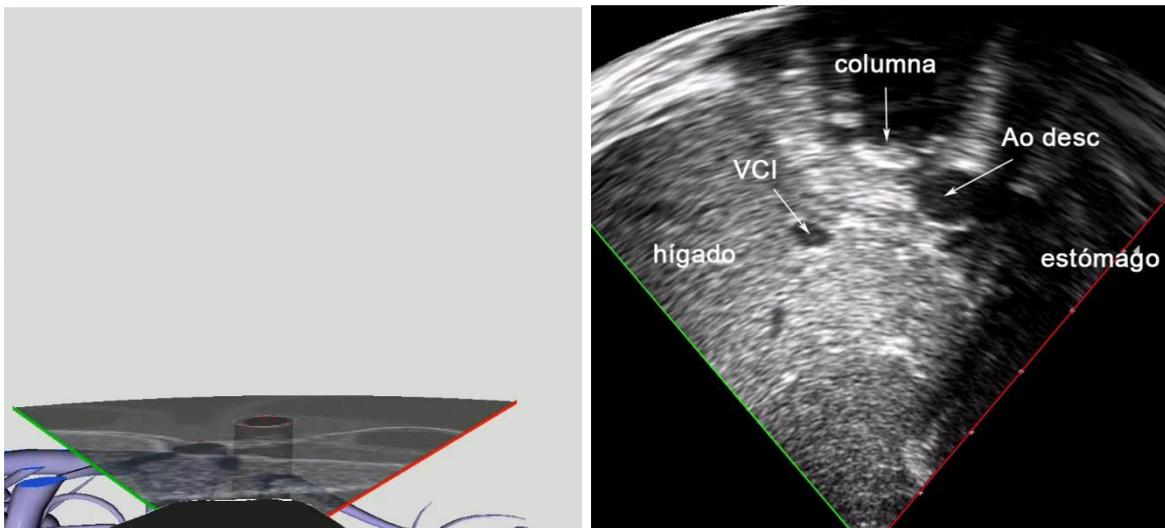
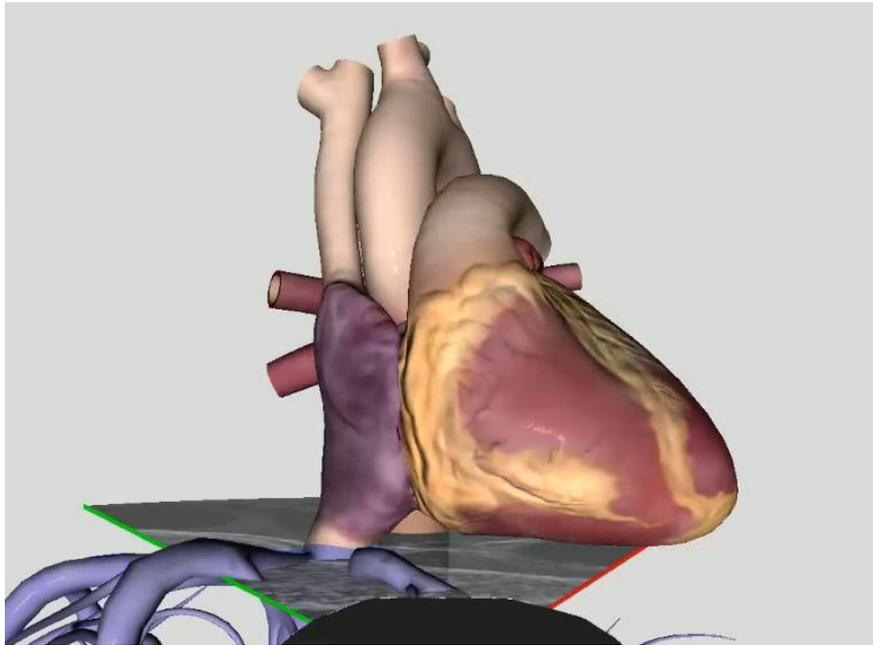


Figura 14. Proyección subcostal eje largo. Sección transversal del abdomen para la identificación del situs visceral. Para visualizar las imágenes en posición anatómica, el vértice del sector se ha invertido, de manera que las estructuras más posteriores se muestran en la parte superior de la pantalla y las más anteriores, en la parte inferior.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCI: vena cava inferior; Ao desc: aorta descendente.

a la izquierda: vena hemiacigos) debe hacer sospechar la presencia de una interrupción de la vena cava inferior (ausencia de segmento hepático).

Una vez determinado el situs visceral, el haz de ultrasonido debe dirigirse lentamente hacia arriba, desde abdomen hasta el tórax, “dejando caer la cola del transductor” hacia los pies del paciente (figuras 15-17). El hígado transmite muy bien el ultrasonido y permite la obtención de las proyecciones subxifoideas en eje largo (coronal). A medida que el plano de corte asciende, se visualiza el drenaje de las venas suprahepáticas en la vena cava inferior y la conexión de ésta con la aurícula derecha. Cuando el plano alcanza la cara inferior/posterior del corazón, se puede identificar el seno coronario, que discurre a lo largo del surco auriculoventricular izquierdo posterior, por debajo de la aurícula izquierda, para drenar en la aurícula derecha. En el centro y en la posición más posterior se encuentra la estructura más posterior del corazón, la aurícula izquierda. La aurícula derecha se sitúa a la derecha de la aurícula izquierda y en posición más anterior. Esta proyección es óptima para la visualización del tabique interauricular dado que el haz de ultrasonido incide casi perpendicularmente sobre el mismo (25). Además, se pueden identificar también venas pulmonares drenando en la aurícula izquierda. El ventrículo que se empieza a visualizar es el ventrículo más posterior, el ventrículo izquierdo.

Continuando el desplazamiento del plano de corte hacia arriba, van apareciendo de forma progresiva las distintas proyecciones subxifoideas eje largo: 1º) subxifoidea cuatro cámaras, en la cual se pueden visualizar simultáneamente las cuatro cavidades (figura 15); 2º) subxifoidea coronal de ventrículo izquierdo, en la que se identifica el tracto de salida del ventrículo izquierdo y la aorta ascendente (figura 16); 3º) subxifoidea coronal de

ventrículo derecho, que permite visualizar todo el tracto de salida del ventrículo derecho y la válvula pulmonar en un corte longitudinal (figura 17). En neonatos y lactantes es muy fácil obtener todas las proyecciones subxifoideas a través del hígado y son de gran utilidad para el estudio de la anatomía morfológica (identificación de las estructuras por sus características anatómicas) y el análisis segmentario del corazón (identificación de las conexiones auriculoventriculares y ventriculoarteriales) (26) (27) (28).

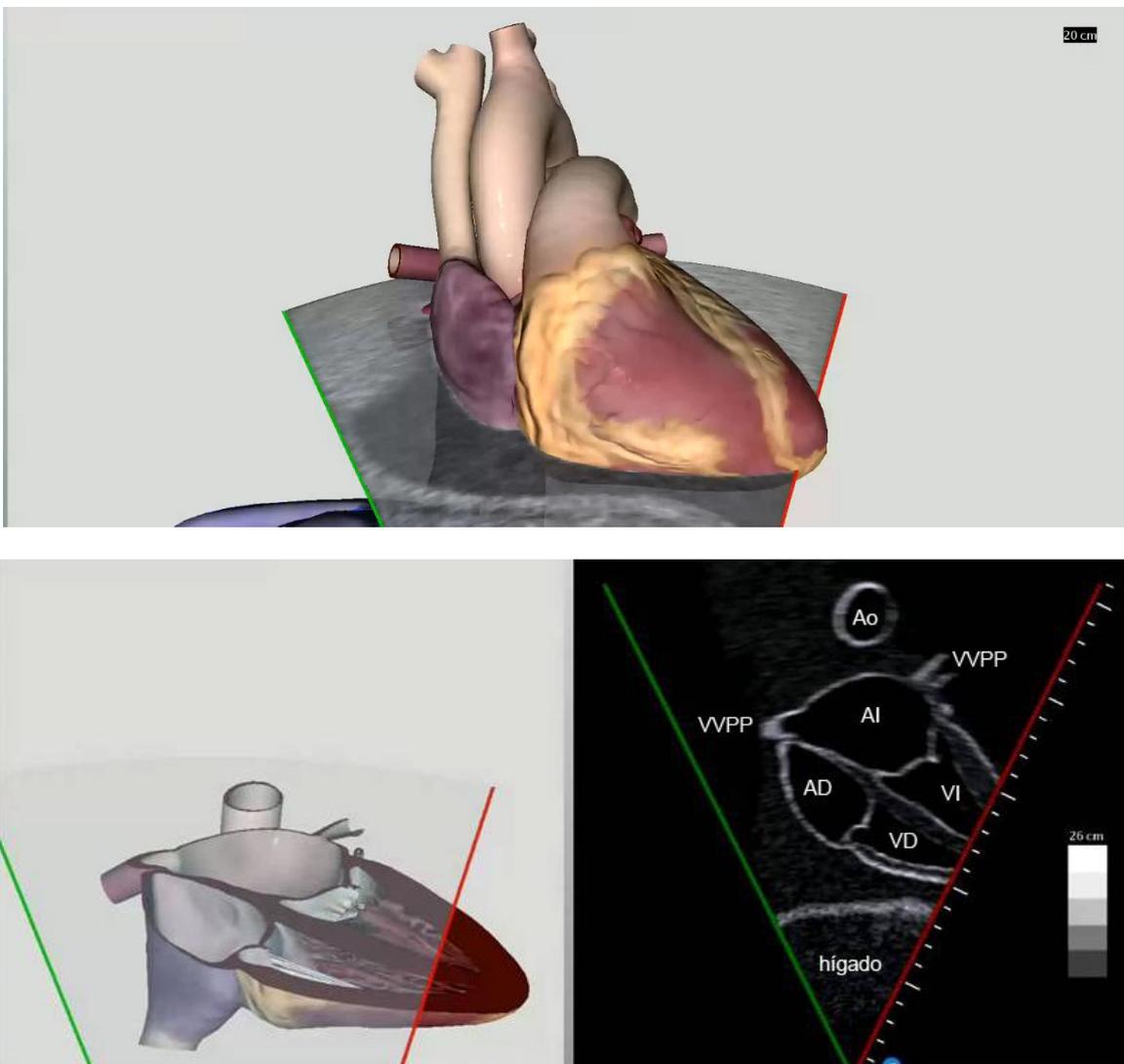


Figura 15. Proyección subcostal eje largo. Cuatro cámaras. El plano de corte se ha desplazado ligeramente hacia arriba desde la posición de partida (“dejando caer la cola del transductor” hacia los pies del paciente).

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

AD: aurícula derecha; VD: ventrículo derecho; VVPP: venas pulmonares; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; Ao: aorta.

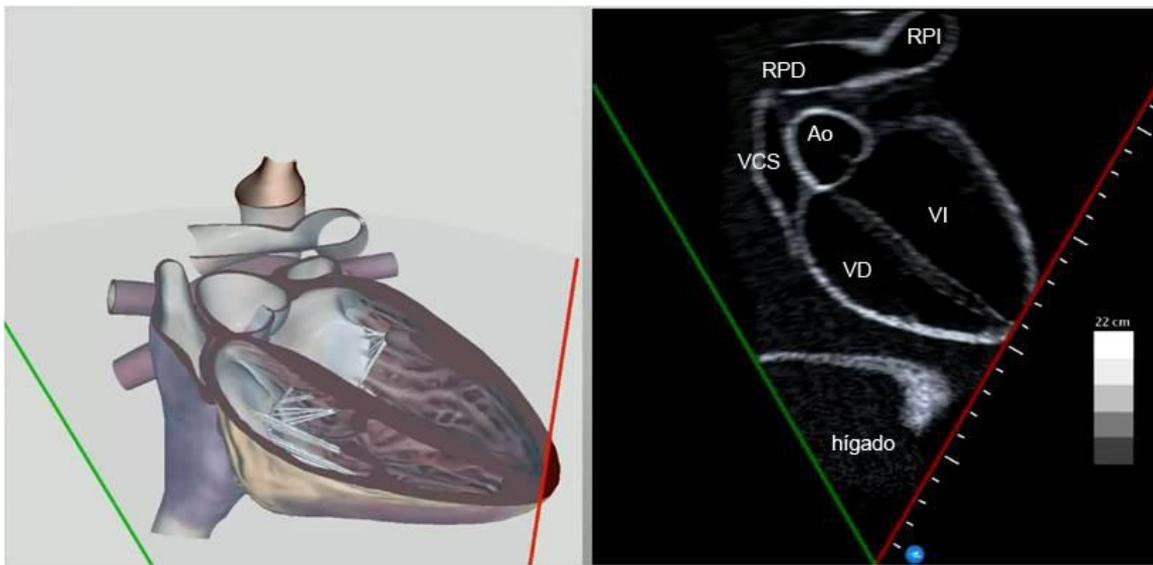
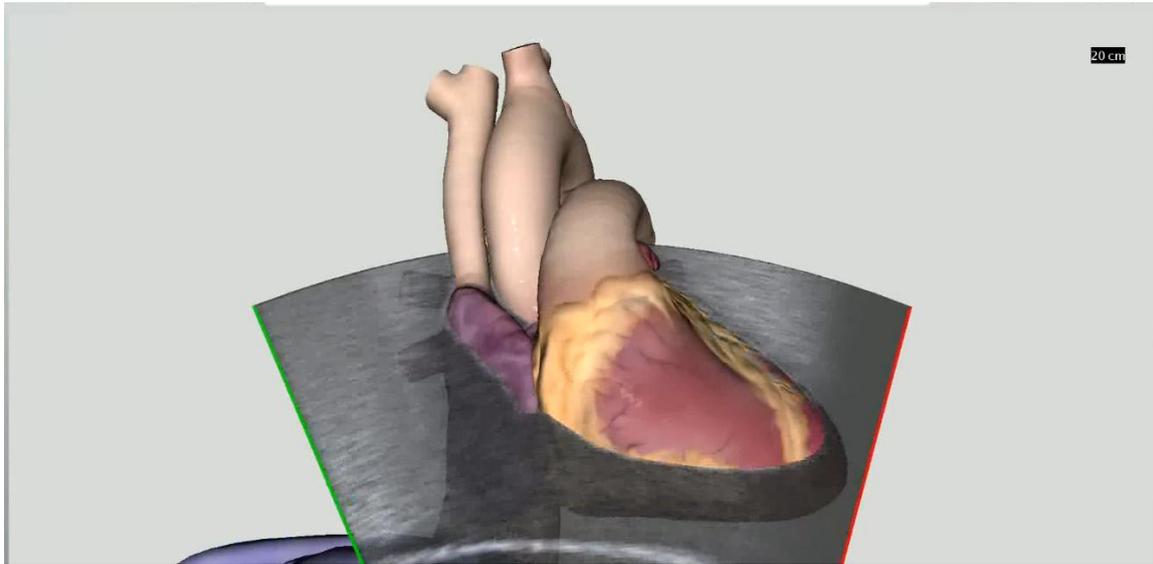


Figura 16. Proyección subcostal eje largo. Tracto de salida de ventrículo izquierdo. El plano de corte se ha desplazado ligeramente hacia arriba desde la proyección anterior (“dejando caer la cola del transductor” hacia los pies del paciente).

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; VD: ventrículo derecho; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; VI: ventrículo izquierdo; Ao: aorta.

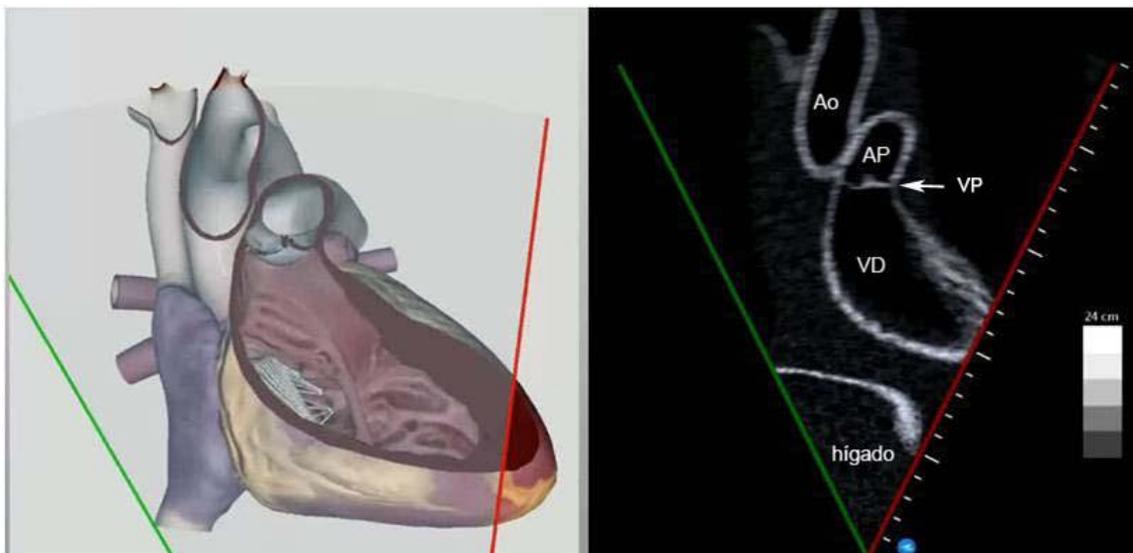
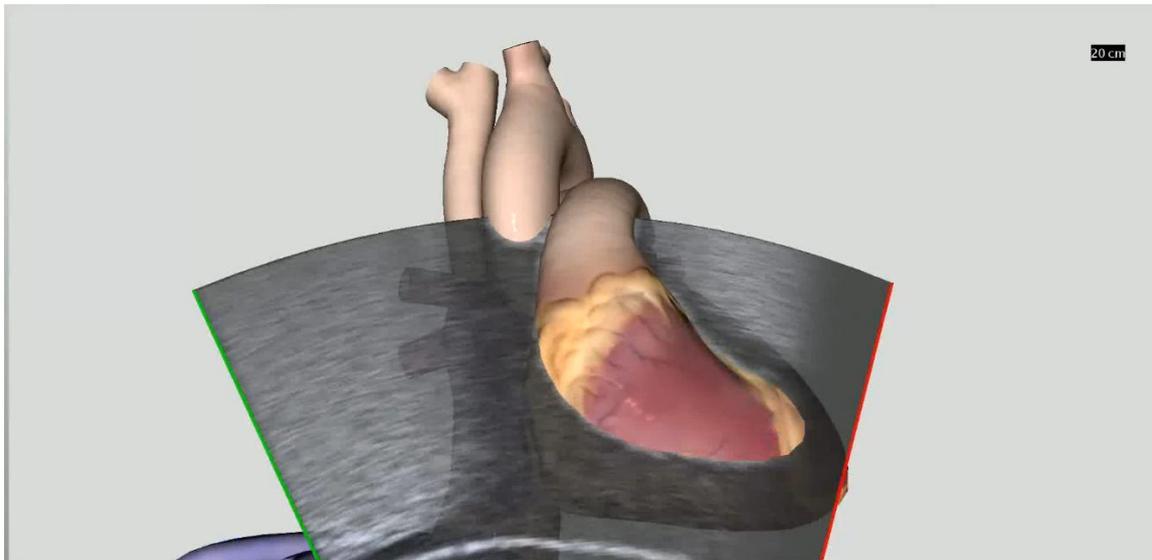


Figura 17. Proyección subcostal eje largo. Sección coronal de ventrículo derecho y de la válvula pulmonar. El plano de corte se ha desplazado ligeramente hacia arriba desde la proyección anterior (“dejando caer la cola del transductor” hacia los pies del paciente). La válvula pulmonar aparece seccionada en su eje longitudinal.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VD: ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; AP: arteria pulmonar; Ao: aorta.

Las **proyecciones subxifoideas eje corto, o sagitales**, se obtienen girando el transductor 90° en sentido horario desde la proyección subxifoidea transversa. De esta manera, la señal de posición queda orientada hacia abajo (posición a las “seis en punto”) (22) (figura 18). La proyección subxifoidea sagital de referencia se obtiene orientando ligeramente el plano de corte hacia la derecha del paciente (hacia el hombro derecho) para visualizar la entrada de las venas cavas en la aurícula derecha (también denominada “eje de cavas”). En esta proyección se identifica la aurícula izquierda en posición posterior, la aurícula derecha más anterior y el tabique interauricular entre ambas. La arteria pulmonar derecha es seccionada transversalmente y se puede ver por detrás de la vena cava superior, encima del techo de la aurícula izquierda. Con frecuencia se puede identificar el cayado de la vena ácigos sobre la arteria pulmonar derecha para drenar en la vena cava superior. Dentro de la aurícula derecha, se suele visualizar la válvula de Eustaquio como una extensión de la pared anterior de la vena cava inferior. Desde esta posición, se obtienen las distintas proyecciones subxifoideas eje corto desplazando el transductor progresivamente de derecha a izquierda (orientando inicialmente hacia el hombro derecho y acabando hacia el izquierdo), siempre con la señal de posición a las “seis en punto”. De esta manera, van apareciendo de forma progresiva (figura 18): 1º) porción trabecular de ventrículo derecho; tracto de salida de ventrículo izquierdo y raíz aórtica; continuidad mitroaórtica; 2º) tracto de salida de ventrículo derecho y válvula pulmonar (eje largo); ventrículo izquierdo y válvula mitral; 3º) ambos ventrículos hasta la región apical.

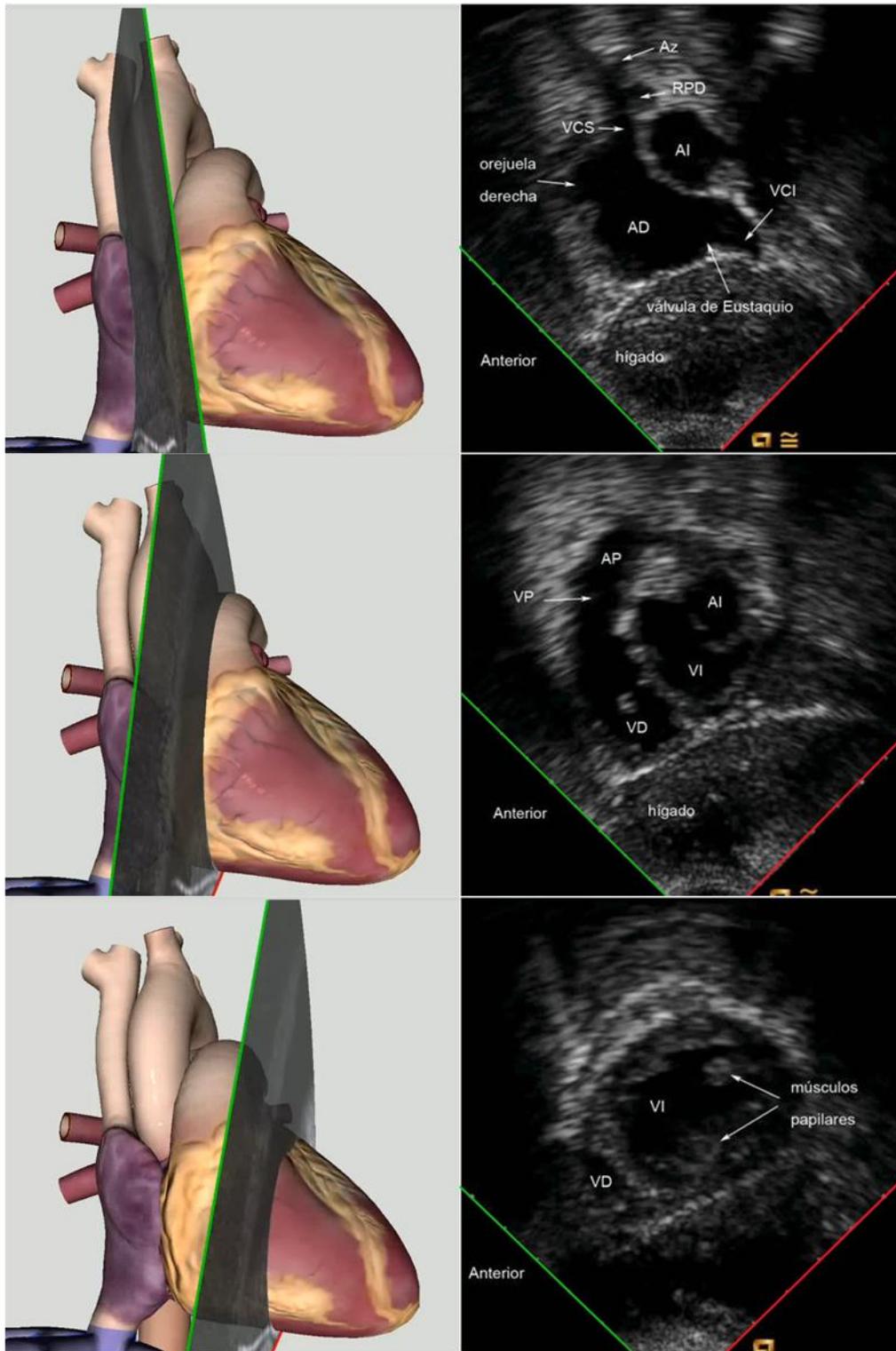


Figura 18. Proyección subcostal eje corto.
 De arriba a abajo: eje de cavas; tracto de salida de ventrículo derecho; eje corto de ventrículo izquierdo. La válvula pulmonar aparece seccionada en su eje longitudinal.
 © CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
 Az: vena ácigos; VCS: vena cava superior; VCI: vena cava inferior; AD: aurícula derecha; VD: ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo.

2. Proyecciones paraesternales (paraesternales izquierdas):

Antes de empezar a obtener el resto de proyecciones transtorácicas, se restablece la posición del ápex del sector con el control de “inversión A/A” (arriba/abajo), de manera que las estructuras más posteriores aparecen en la parte inferior de la pantalla y las más anteriores en la parte superior.

Con el paciente en decúbito supino (neonatos y lactantes) o en decúbito lateral izquierdo (niños mayores), la **proyección paraesternal eje largo** de referencia se obtiene con el transductor colocado sobre el tracto de salida del ventrículo izquierdo (29). Para ello, el transductor se sitúa en el borde esternal izquierdo, ligeramente por encima de la línea intermamilar, con la señal de posición dirigida hacia el hombro derecho (posición a las “diez en punto”) (22) (figura 19).

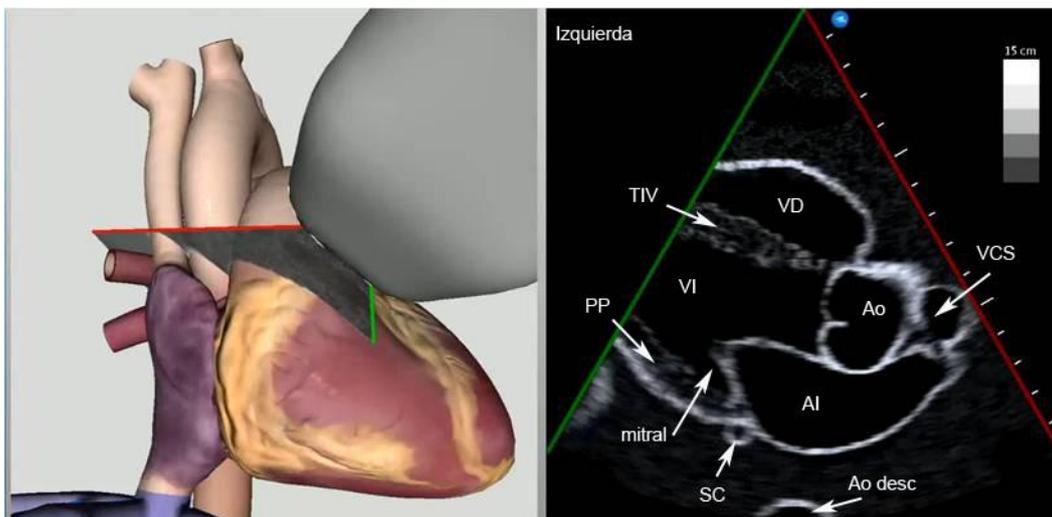


Figura 19. Proyección paraesternal eje largo. La válvula aórtica aparece seccionada en su eje longitudinal.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; SC: seno coronario; VD: ventrículo derecho; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; TIV: tabique interventricular; PP: pared posterior; Ao: aorta; Ao desc: aorta descendente.

Dada la ausencia de cono subaórtico, esta proyección permite visualizar los tractos de entrada y de salida del ventrículo izquierdo simultáneamente, así como la continuidad fibrosa entre el velo anterior de la válvula mitral y la válvula aórtica. El ápex del ventrículo izquierdo generalmente no se visualiza porque el plano es ligeramente medial al mismo y porque el sector de 90° no puede incluir completamente el ventrículo izquierdo.

Inclinando ligeramente el plano de corte hacia la cadera derecha (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hacia el hombro izquierdo) aparecen la válvula tricúspide y el tracto de entrada del ventrículo derecho (figura 20). Si la inclinación del plano del corte se realiza hacia el hombro izquierdo (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hacia la cadera derecha), las estructuras que se visualizan son el tracto de salida del ventrículo derecho, la válvula pulmonar en un corte longitudinal y el tronco pulmonar (figura 21).

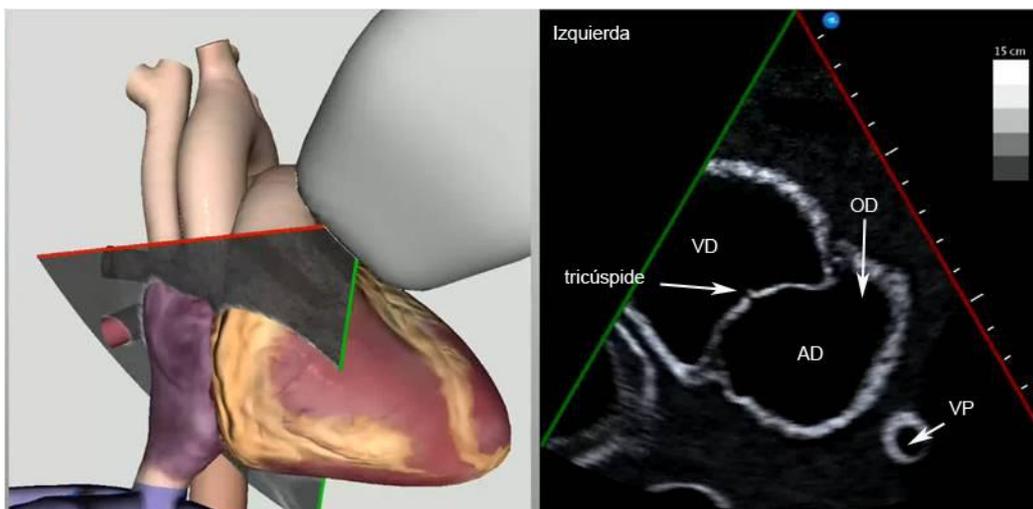


Figura 20. Proyección paraesternal eje largo. Incluyendo hacia abajo.
© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
AD: aurícula derecha; OD: orejuela derecha; VD: ventrículo derecho; VP: vena pulmonar.

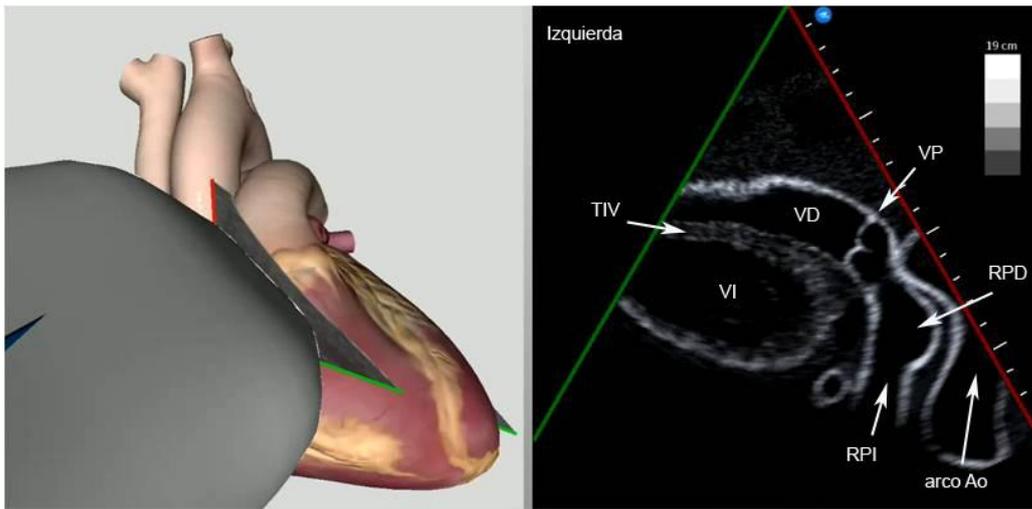


Figura 21. Proyección paraesternal eje largo. Inclinando hacia arriba. La válvula pulmonar aparece seccionada en su eje longitudinal.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VD: ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; VI: ventrículo izquierdo; TIV: tabique interventricular; arco Ao: arco aórtico.

La **proyección paraesternal eje corto** se obtiene rotando el transductor 90° en sentido horario desde la proyección paraesternal eje largo, de manera que la señal de posición queda orientada hacia el hombro izquierdo (posición a las “dos en punto”) (22) (30) (figura 22). La proyección paraesternal eje de corto de referencia debe incluir: la válvula aórtica cortada transversalmente en el centro del corazón (el eje corto de la válvula aórtica); el tracto de salida del ventrículo derecho cruzando de derecha a izquierda por delante de la aorta; la válvula tricúspide a la derecha de la aorta; la válvula pulmonar cortada en su eje longitudinal a la izquierda de la válvula aórtica; las dos aurículas y el tabique interauricular detrás de la aorta. En diástole, los tres velos de la válvula aórtica cerrada dan lugar a una imagen de “Y” o “símbolo de Mercedes” (31). La comisura posterior, entre el velo no coronario y el coronario izquierdo, suele quedar en paralelo a la incidencia del haz de ultrasonido por lo que en ocasiones es difícil visualizarla. El velo coronario derecho es anterior, situado

entre el velo septal de la válvula tricúspide y la válvula pulmonar. El velo coronario izquierdo se localiza entre la válvula pulmonar y la aurícula izquierda. El velo no coronario o posterior es totalmente perpendicular al tabique interauricular. En ocasiones, se puede identificar la orejuela izquierda a la izquierda de la raíz aórtica.

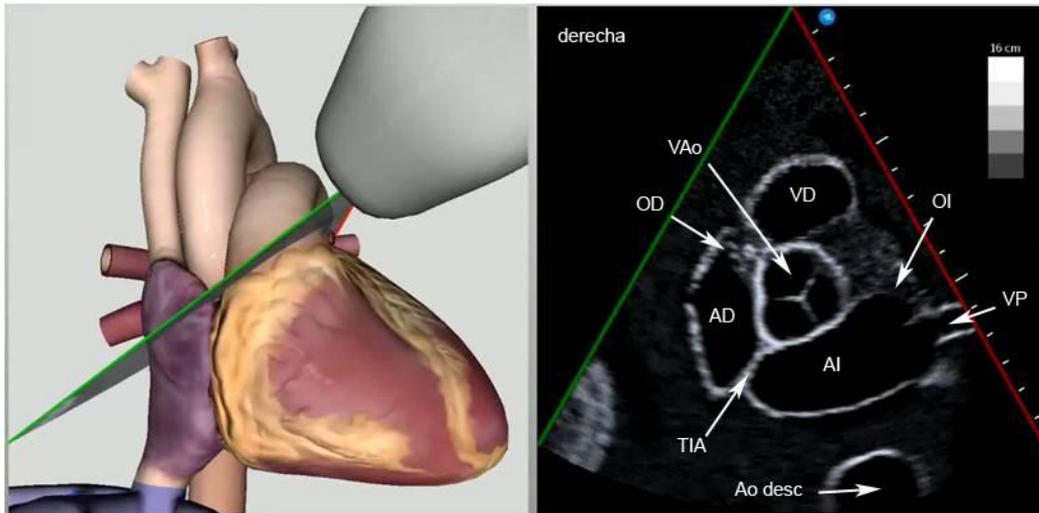


Figura 22. Proyección paraesternal eje corto. La válvula aórtica aparece seccionada en su eje corto.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

AD: aurícula derecha; OD: orejuela derecha; VD: ventrículo derecho; VP: vena pulmonar; AI: aurícula izquierda; OI: orejuela izquierda; TIA: tabique interauricular; Ao desc: aorta descendente.

Inclinando el plano de corte ligeramente hacia el hombro derecho (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hacia la cadera izquierda) desde la proyección paraesternal eje corto de referencia, se visualiza la válvula pulmonar en su eje longitudinal, el tronco pulmonar y su bifurcación en las dos ramas principales (figura 23). La rama pulmonar izquierda constituye prácticamente una extensión del tronco pulmonar y sólo se identifica una pequeña porción proximal dado que muy pronto se hace inferior al plano de

corte. La rama pulmonar derecha, sin embargo, nace del tronco pulmonar con una marcada angulación y se dirige a la derecha por detrás de la aorta ascendente y por encima de la aurícula izquierda, recorrido que puede visualizarse en su totalidad en este plano.

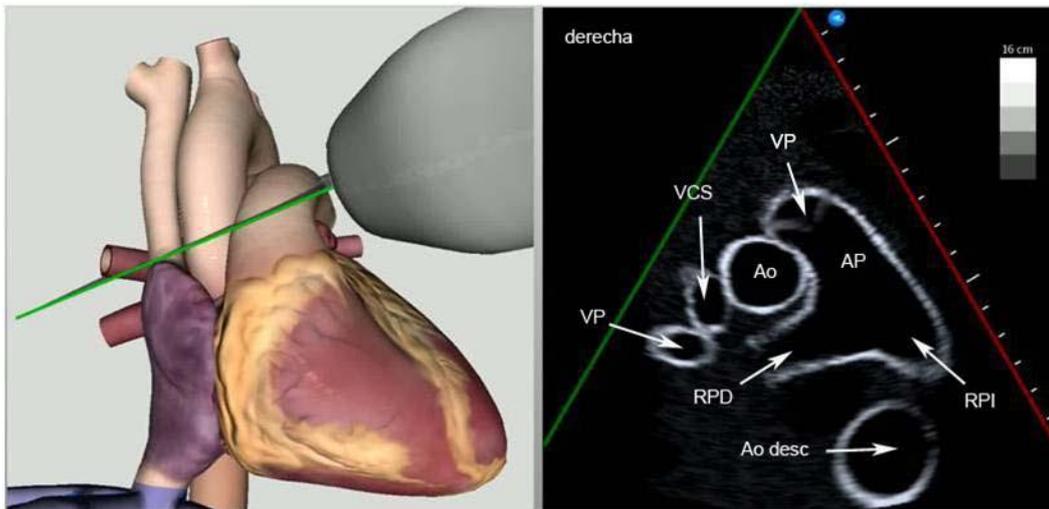


Figura 23. Proyección paraesternal eje corto. Inclinando hacia arriba. La válvula pulmonar aparece seccionada en su eje largo.
© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
VCS: vena cava superior; VP: válvula pulmonar; AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; VP: vena pulmonar. Ao: aorta; Ao desc: aorta descendente.

Las arterias coronarias pueden identificarse desde la proyección paraesternal eje corto con ligeros cambios en la posición del plano de corte. En algunos pacientes es posible visualizar las dos coronarias simultáneamente. Sin embargo, es más fácil hacerlo separadamente. Para visualizar la arteria coronaria derecha, es necesario rotar el transductor ligeramente en sentido horario de manera que se dejen de ver los velos de la válvula tricúspide. Si se continúa girando en sentido horario, aparece la arteria coronaria izquierda en el surco auriculoventricular izquierdo bifurcándose en descendente anterior y circunfleja (21).

Si se desplaza el plano de corte desde la proyección paraesternal eje corto de referencia en la base del corazón hasta el ápex (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hacia el hombro derecho), van apareciendo de forma progresiva el resto de estructuras que se puede visualizar en eje corto paraesternal: 1º) el tracto de salida de ventrículo izquierdo, limitado por delante por el septo interventricular y por detrás por la valva anterior de la válvula mitral; el septo interventricular, que incluye el septo membranoso, que se localiza a la derecha y debajo del velo septal de la válvula tricúspide, y el septo muscular de salida, anterior y que se extiende hasta el anillo pulmonar; 2º) la válvula mitral, con sus velos anterior y posterior conformando en movimiento la llamada “boca de pez”; 3º) los músculos papilares, el anterolateral a las “tres-cuatro en punto” y el posteromedial a las “siete-ocho en punto” (figura 24); 4º) el ápex del ventrículo izquierdo. En todas estas proyecciones, el ventrículo izquierdo debe tener forma circular, abrazado por el ventrículo derecho (que en esta proyección tiene forma de “croissant”), con el tabique interventricular abombando de izquierda a derecha.

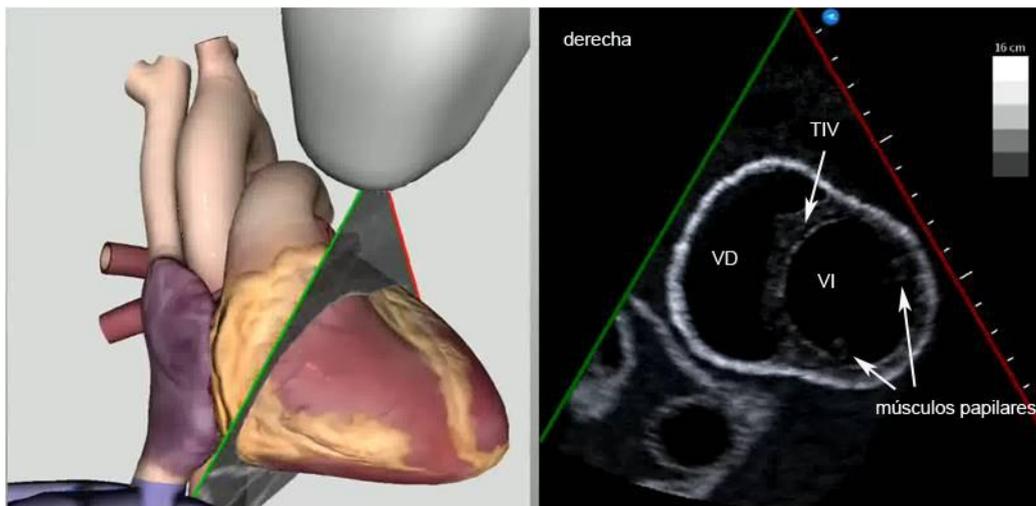


Figura 24. Proyección paraesternal eje corto. Inclinando hacia abajo.
 © CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
 VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; TIV: tabique interventricular.

La **proyección paraesternal izquierda alta o plano ductal** se obtiene colocando el transductor en el ángulo formado por el borde esternal izquierdo superior y la articulación esternoclavicular, con la señal de posición orientada hacia arriba (posición a las “doce en punto”) (22) (figura 25). Esta posición permite visualizar alineados el tronco pulmonar, el ductus y la aorta descendente. En el mismo plano, también se pueden visualizar el arco distal, el istmo y la porción proximal de la rama pulmonar izquierda.

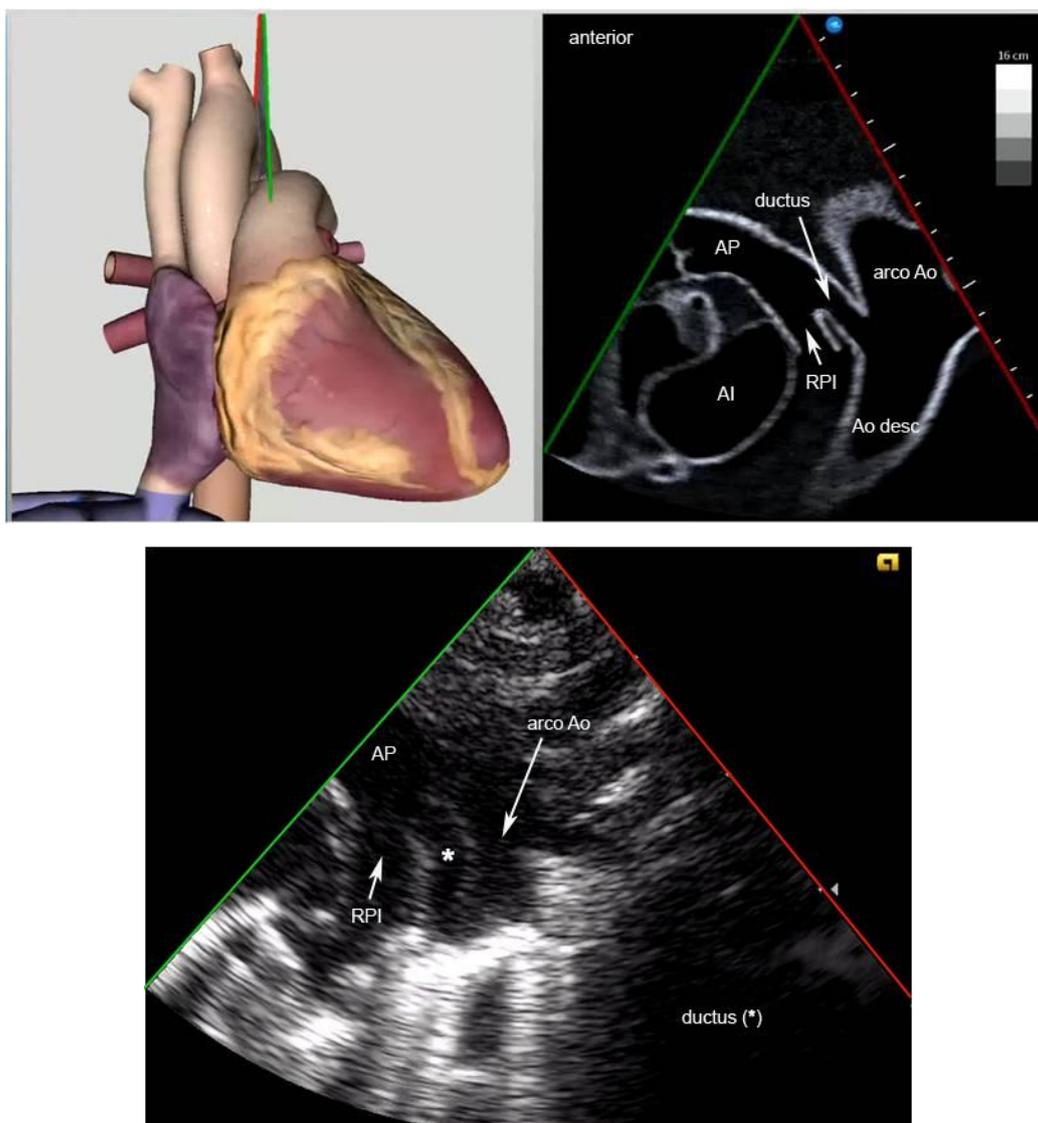


Figura 25. Proyección paraesternal izquierda alta o plano ductal.
© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
AP: arteria pulmonar; RPI: rama pulmonar izquierda; AI: aurícula izquierda; arco Ao: arco aórtico; Ao desc: aorta descendente.

3. Proyecciones apicales:

Las proyecciones apicales se obtienen desde el lugar donde se palpa el impulso apical (32). La postura en neonatos y lactantes sigue siendo, de entrada, decúbito supino. Sin embargo, en niños mayores estas proyecciones se consiguen mejor en posición de decúbito lateral izquierdo.

La proyección apical de referencia es la **proyección apical cuatro cámaras** y se obtiene colocando el transductor en el lugar donde se palpa el ápex del ventrículo izquierdo, con la señal de posición hacia la axila izquierda (posición a las “dos o tres en punto”) (22) (29) y el plano de corte orientado hacia el hombro derecho (figura 26). Es, sin duda, la proyección más difícil de obtener en el proceso de aprendizaje. Si el transductor está correctamente posicionado y alineado, el ápex del ventrículo izquierdo coincide con el ápex del sector y el tabique interventricular, con la bisectriz del sector.

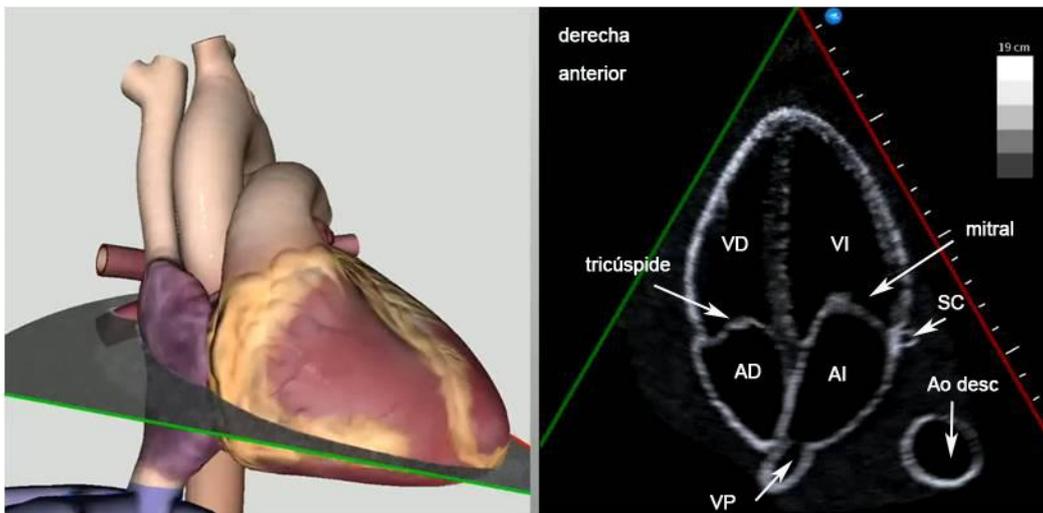


Figura 26. Proyección apical cuatro cámaras.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

SC: seno coronario; AD: aurícula derecha; VD: ventrículo derecho; VP: vena pulmonar; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; Ao desc: aorta descendente.

Esta proyección permite visualizar simultáneamente las cuatro cámaras, las válvulas auriculoventriculares, el tabique interauricular y el tabique interventricular, por lo que es especialmente útil para definir el situs atrial y las conexiones auriculoventriculares. Desde la proyección apical cuatro cámaras, además, pueden determinarse habitualmente las características de su superficie septal que definen la anatomía morfológica de cada cámara. En este sentido, la aurícula derecha morfológica se caracteriza porque contiene la superficie del tabique interauricular que recibe la inserción de la válvula de Eustaquio en el limbo de la fosa oval. Esta válvula se suele ver en la proyección apical cuatro cámaras como una membrana fina que cruza oblicuamente el cuerpo de la aurícula derecha y se inserta en la región inferior del tabique interauricular.

La aurícula izquierda morfológica se caracteriza por contener la membrana que cubre el foramen oval en la superficie del tabique interauricular. En muchos recién nacidos, esta membrana puede verse batiendo en el área del foramen oval. Sin embargo, una vez que se produce el sellado fibroso entre la membrana y el limbo de la fosa oval, resulta imposible reconocer esta estructura.

La superficie septal del ventrículo derecho morfológico se caracteriza por ser muy trabeculada, poseer bandas musculares que se dirigen desde el septo hasta la pared libre (bandas septoparietales), la más prominente de las cuales suele ser la banda moderadora, y recibir inserciones tendinosas de la válvula auriculoventricular. Además, el ventrículo derecho se caracteriza porque su válvula auriculoventricular se implanta ligeramente más cerca del ápex que la

válvula mitral. La pared del ventrículo derecho que se visualiza en la proyección cuatro cámaras es la pared anterior.

La superficie septal del ventrículo izquierdo morfológico es lisa, no tiene bandas musculares septoparietales y no recibe cuerdas tendinosas de la válvula mitral. Además, el ventrículo izquierdo contiene una válvula auriculoventricular, la válvula mitral, que se implanta ligeramente más lejos del ápex que la válvula tricúspide.

Desde la proyección apical cuatro cámaras, se puede visualizar una gran proporción de los tabiques interauricular e interventricular. El tercio inferior del tabique interauricular, en relación con el plano de las válvulas auriculoventriculares, es el área donde se localizan las comunicaciones interauriculares tipo ostium primum. La porción media está ocupada por la fosa oval y es el área donde aparecen las comunicaciones tipo ostium secundum. Esta zona es muy fina y el haz de ultrasonido incide sobre ella en paralelo por lo que es frecuente visualizar falsos defectos del tabique interauricular. La porción posterior y superior del tabique interauricular es el área en la que se localizan las comunicaciones interauriculares tipo seno venoso superior.

Los dos tercios inferiores del tabique interventricular corresponden con la porción media del tabique muscular trabecular. El tercio superior, localizado entre las dos válvulas auriculoventriculares, es el tabique muscular de entrada. La porción del tabique interventricular situado por encima del velo septal de la válvula tricúspide y por debajo del velo anterior de la válvula mitral es la porción supratricuspídea del septo membranoso.

Desde la proyección apical de referencia, si se inclina el plano de corte hacia abajo (esto es, “levantando la cola del transductor”), se puede identificar el seno coronario en el surco auriculoventricular izquierdo drenando en la aurícula izquierda, la entrada de la vena cava inferior en la aurícula derecha y la aorta descendente torácica por detrás de la aurícula izquierda (29). Si, por el contrario, el plano se desplaza ligeramente hacia arriba (esto es, “dejando caer la cola del transductor”), va desapareciendo la válvula tricúspide y la porción de entrada el ventrículo derecho y empieza a aparecer el tracto de salida del ventrículo izquierdo, la válvula aórtica y una porción de la aorta ascendente, obteniéndose el plano conocido como **proyección apical cinco cámaras** (29) (figura 27). Es frecuente visualizar aquí las porciones proximales de las arterias coronarias derecha, izquierda y circunfleja. La orejuela izquierda también puede aparecer en esta proyección a lo largo del borde lateral izquierdo del corazón.

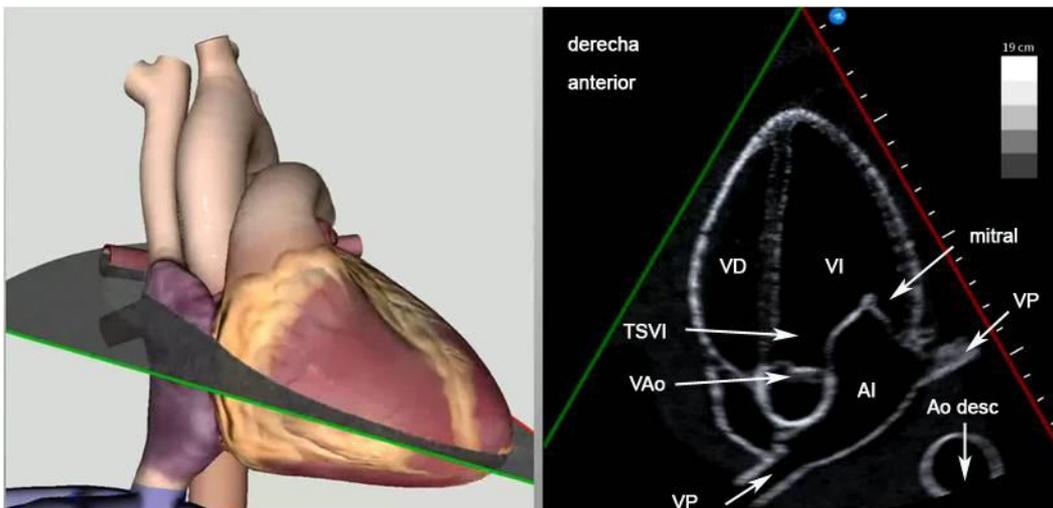


Figura 27. Proyección apical cinco cámaras.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VD: ventrículo derecho; VP: vena pulmonar; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; VAo: válvula aórtica; Ao desc: aorta descendente.

En neonatos y lactantes es posible desplazar todavía más hacia arriba el plano de corte (o, lo que es lo mismo, anteriorizar todavía más) sin perder el contacto con la piel y visualizar el tracto de salida del ventrículo derecho, la válvula pulmonar cortada en su eje longitudinal y el tronco pulmonar (figura 28). Esta posición es óptima para alinear el flujo en el tracto salida del ventrículo derecho.

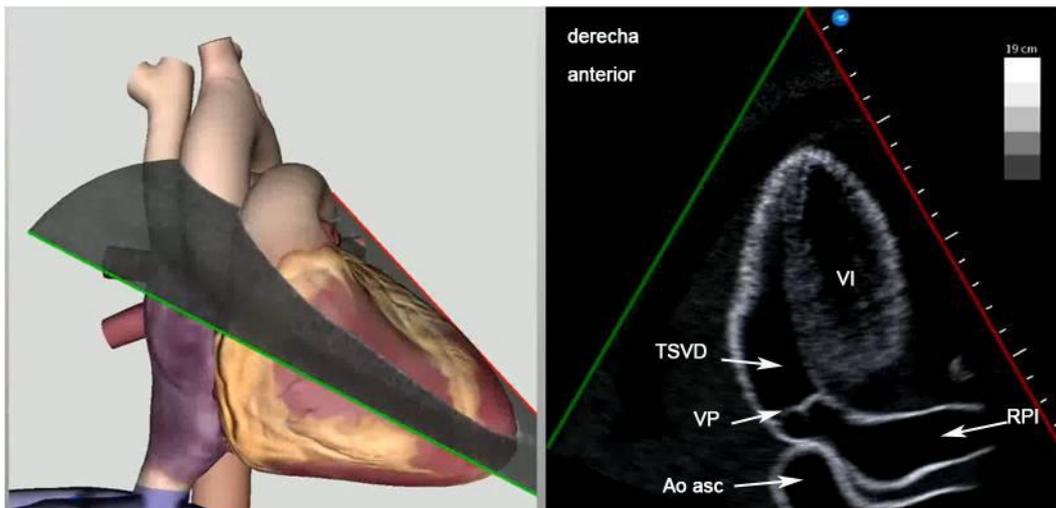


Figura 28. Proyección apical. Tracto de salida de ventrículo derecho. La válvula pulmonar aparece cortada en su eje longitudinal.
© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
TSVD: tracto de salida de ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; RPI: rama pulmonar izquierda; VI: ventrículo izquierdo; Ao asc: aorta ascendente.

La **proyección apical eje largo o tres cámaras** se obtiene rotando el transductor en sentido horario aproximadamente 60° desde la proyección apical cuatro cámaras, con la señal de posición a las “cuatro en punto” (22) (29) (figura 29). Desde esta proyección, se visualiza simultáneamente el tracto en entrada y de salida del ventrículo izquierdo en una imagen similar a la obtenida en la proyección paraesternal eje largo. La visualización del tracto de salida del ventrículo izquierdo desde el ápex permite identificar las estructuras que pueden producir obstrucción subaórtica con la máxima resolución (incidencia

del haz en perpendicular) e interrogar con doppler todo el tracto de salida del de forma óptima (33).

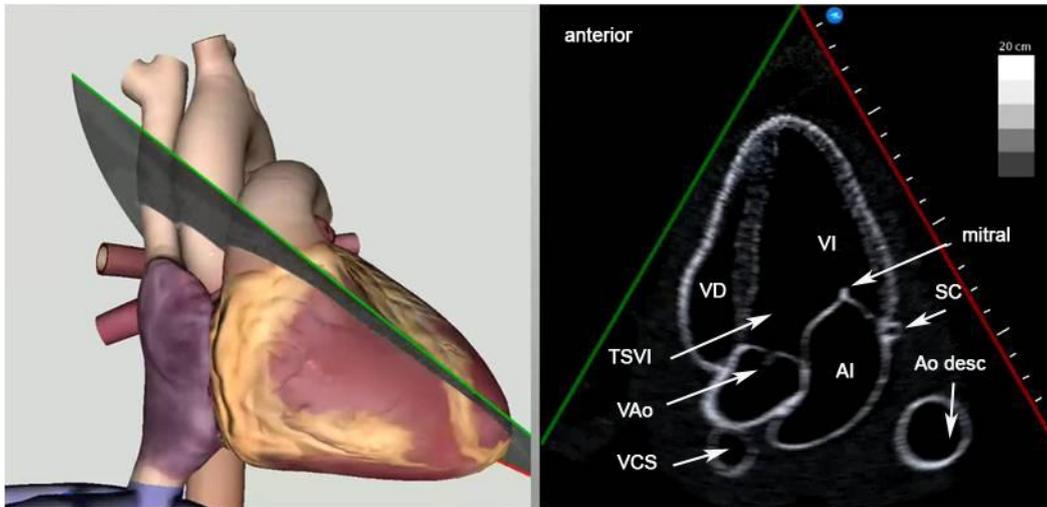


Figura 29. Proyección apical tres cámaras.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; SC: seno coronario; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; TSVI: tracto de salida de ventrículo izquierdo; VAo: válvula aórtica; Ao desc: aorta descendente.

La **proyección apical dos cámaras** se emplea fundamentalmente para el análisis de la contractilidad global y segmentaria del ventrículo izquierdo (34) y no se realiza de rutina en todos los laboratorios de ecocardiografía pediátrica. Se obtiene desde la proyección apical cuatro cámaras de referencia rotando el transductor en sentido antihorario entre 60 y 90°, con la señal de posición a las “doce-una en punto” (22) (figura 30). La cara inferior del ventrículo izquierdo aparece a la izquierda de la pantalla y la cara anterior a la derecha.

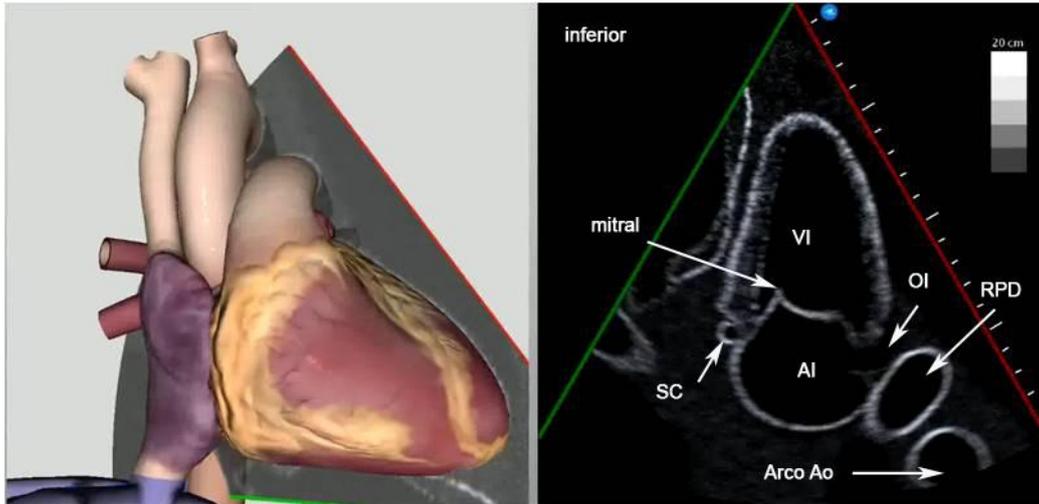


Figura 30. Proyección apical dos cámaras.
 © CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
 SC: seno coronario; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; Arco Ao: arco aórtico.

4. Proyecciones supraesternales:

Para poder acceder de forma óptima al hueco supraesternal, es necesario colocar al paciente en decúbito supino con el cuello hiperextendido, habitualmente con la ayuda de una toalla enrollada o una pequeña almohada colocada por debajo de los hombros. La cabeza del paciente debe estar girada, preferentemente al lado izquierdo, para evitar que el mentón dificulte la colocación del transductor en el hueco supraesternal (figura 31).



Figura 31. Posición para la obtención de las proyecciones supraesternales. Para acceder al hueco supraesternal, es necesario hiperextender el cuello con la cabeza girada a la izquierda. Esta posición puede resultar molesta para el paciente por lo estas proyecciones se realizan habitualmente al final del estudio.

La **proyección supraesternal eje largo** se obtiene con el transductor posicionado en el hueco supraesternal y el plano de corte orientado entre la mamila derecha y la punta de la escápula izquierda, con la señal de posición a las “una-dos en punto” (22) (35) (figura 32). Este plano permite visualizar la aorta ascendente, el arco aórtico y la aorta torácica descendente. El primer tronco que se origina del arco es el de mayor tamaño y corresponde con el tronco braquiocefálico derecho, que se bifurca en la arteria subclavia derecha y la arteria carótida derecha. El segundo y el tercer tronco que nacen del arco son la arteria carótida común izquierda y la arteria subclavia izquierda, respectivamente. Anterior al tronco braquiocefálico derecho y por encima del arco cruza la vena innominada izquierda en dirección a la vena cava superior. Debajo del arco aórtico, se identifica la rama pulmonar derecha y el bronquio principal derecho cortados de través. El bronquio derecho está situado por encima de la rama pulmonar derecha (epiarterial) y, al estar lleno de aire, aparece muy refringente.

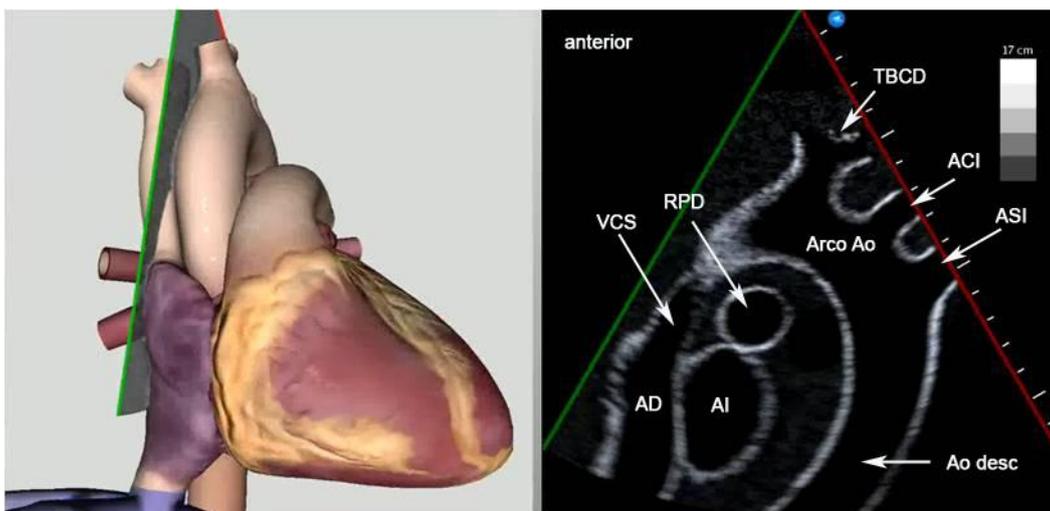


Figura 32. Proyección supraesternal eje largo.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; AD: aurícula derecha; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda; Arco Ao: arco aórtico; Ao desc: aorta descendente; TBCD: tronco braquiocefálico derecho; ACI: arteria carótida izquierda; ASI: arteria subclavia izquierda.

Si se inclina el plano del transductor ligeramente a la izquierda del paciente (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hacia el hombro derecho), la rama pulmonar derecha se deja de ver y aparecen el tronco pulmonar y la rama pulmonar izquierda. La rama pulmonar izquierda continúa su recorrido por delante de la aorta torácica descendente. Dado que el bronquio principal izquierdo es una estructura hipoarterial, no se visualiza aire entre la rama pulmonar izquierda y la aorta descendente.

Para visualizar la **proyección supraesternal eje corto**, el transductor debe colocarse sobre el hueco supraesternal y el plano de corte debe estar alineado en paralelo con el plano del esternón, con la señal de posición orientada a las “tres en punto” (22) (35) (figura 33). Desde esta posición, inclinando el transductor en sentido antero-posterior, se pueden obtener distintas proyecciones supraesternales eje corto.

En la proyección supraesternal eje corto de referencia, el arco aórtico aparece seccionado de través. Por encima del arco, se puede ver la vena innominada en un corte longitudinal cruzando de izquierda a derecha para drenar en la vena cava superior. Por debajo del arco, la rama pulmonar derecha cruza de izquierda a derecha, desde su origen hasta su ramificación en el hilio pulmonar derecho, y aparece en la imagen cortada longitudinalmente por encima de la aurícula izquierda.

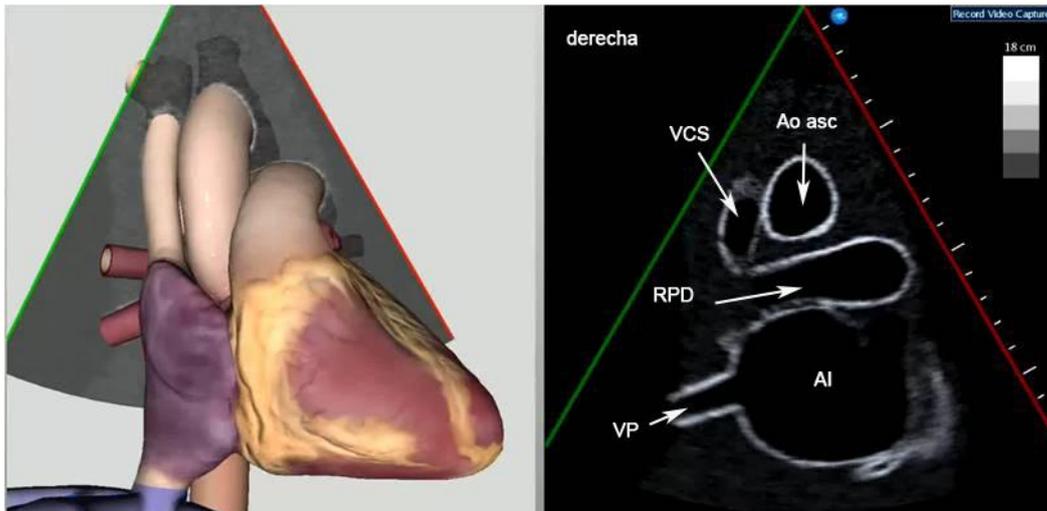


Figura 33. Proyección supraesternal eje corto.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; RPD: rama pulmonar derecha; VP: vena pulmonar; AI: aurícula izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

En neonatos y lactantes, inclinando el plano de corte ligeramente hacia posterior (esto es, “levantado la cola del transductor” respecto al cuello del paciente), se puede identificar el drenaje de las cuatro venas pulmonares en la aurícula izquierda (“proyección del cangrejo” o “crab view”) (22) (figura 34).

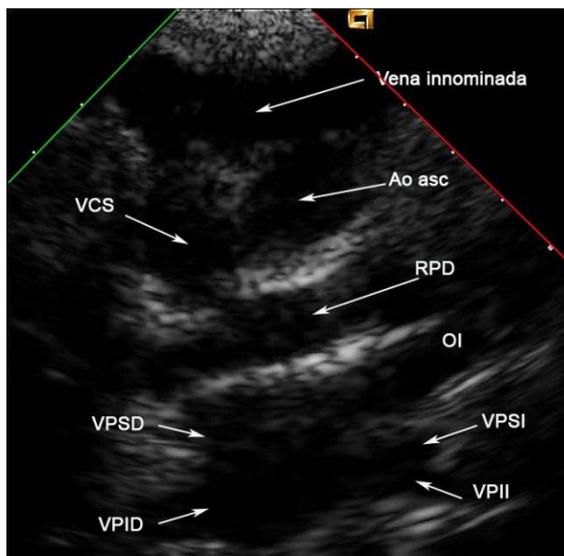


Figura 34. Proyección supraesternal eje corto. Venas pulmonares.

VCS: vena cava superior; RPD: rama pulmonar derecha; VPSD: vena pulmonar superior derecha; VPID: vena pulmonar inferior derecha; VPSI: vena pulmonar superior izquierda; VPII: vena pulmonar inferior izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

Si el plano de corte se desplaza ligeramente más anterior (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hasta contactar con el cuello del paciente), es posible obtener un corte longitudinal de la aorta ascendente, desde el plano valvular hasta el origen de los troncos supraaórticos. A la izquierda de la aorta aparece el tronco pulmonar cortado de través y a la derecha la vena cava superior drenando en la aurícula derecha (figura 35).

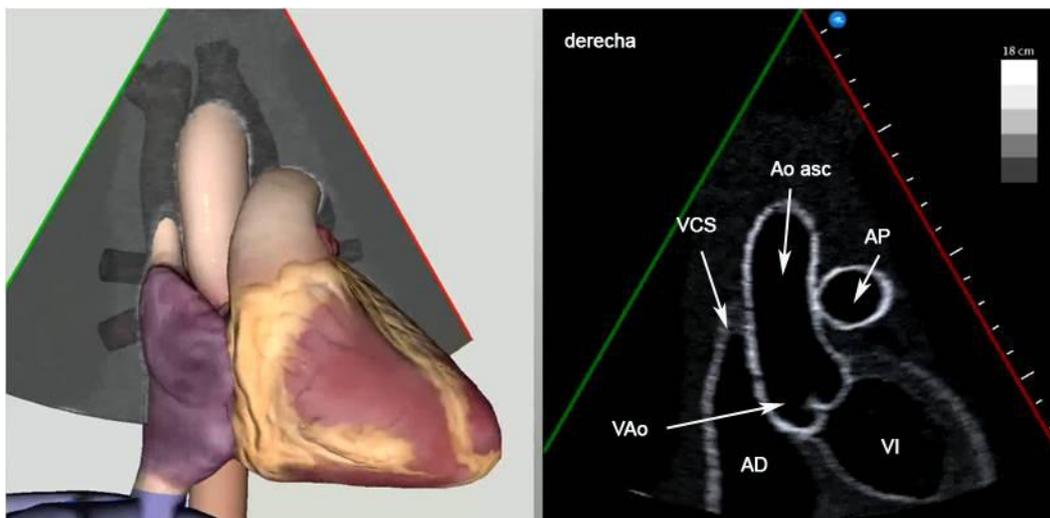


Figura 35. Proyección supraesternal eje corto. Aorta ascendente.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; AD: aurícula derecha; AP: arteria pulmonar; VI: ventrículo izquierdo; Ao asc: aorta ascendente.

En el arco aórtico izquierdo normal, el primer tronco que se origina en el arco es el tronco braquiocefálico derecho, que se dirige a la derecha para bifurcarse en arteria subclavia derecha y arteria carótida común derecha. El origen del primer tronco y su trayecto (esto es, la lateralidad del arco aórtico) se suelen determinar fácilmente desde la proyección supraesternal eje corto inclinando el plano de corte en sentido anteroposterior. Si el primer tronco que nace del arco aórtico se dirige a la izquierda, el arco aórtico es derecho.

5. Proyecciones paraesternales derechas:

Las estructuras y flujos situados a la derecha del esternón pueden estudiarse desde las proyecciones paraesternales derechas. Estas proyecciones se utilizan para visualizar de forma dirigida determinadas estructuras y no suelen formar parte del estudio sistemático. Para obtenerlas es preferible colocar al paciente en decúbito lateral derecho. La proyección de referencia es la **proyección paraesternal derecha eje largo**. Se obtiene posicionando el transductor en la línea paraesternal derecha, a la altura del tercio superior del esternón, con la señal de posición a las “doce en punto” (22) (figura 36). La imagen que se consigue es similar a la que se visualiza desde la proyección subxifoidea eje corto en eje de cavas, con la ventaja de enfrentar perpendicularmente el tabique interauricular al haz de ultrasonido.

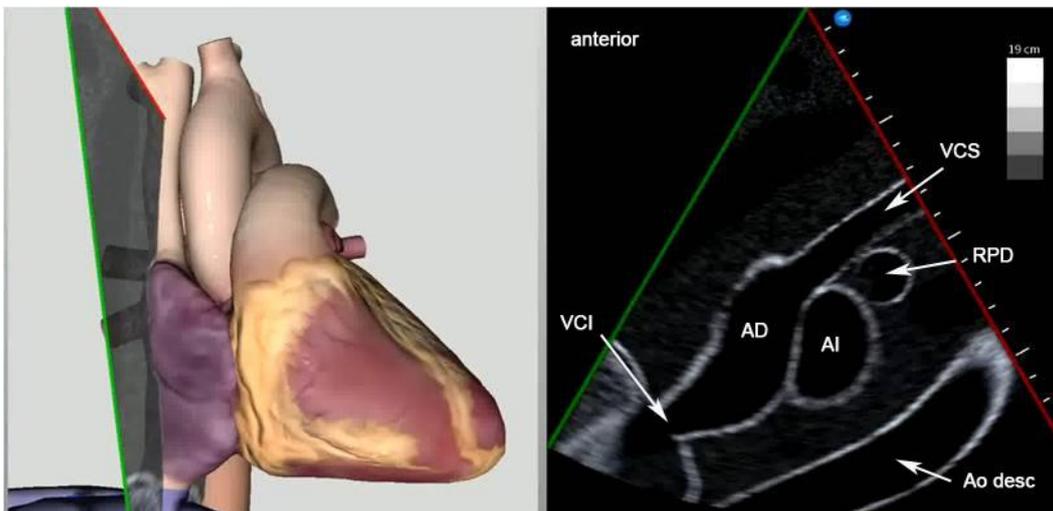


Figura 36. Proyección paraesternal derecha.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; VCI: vena cava inferior; AD: aurícula derecha; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda; Ao desc: aorta descendente.

Desde la posición anterior, rotando el transductor aproximadamente 60° en sentido horario, con la señal de posición a las “dos en punto” e inclinando el plano de corte hacia anterior (esto es, “dejando caer la cola del transductor” hacia el hombro derecho), se puede alinear adecuadamente el flujo en la aorta ascendente (figura 37). Esta proyección se suele utilizar en la valoración de la gravedad de la estenosis valvular aórtica porque desde ella se puede alinear con precisión el jet (36).

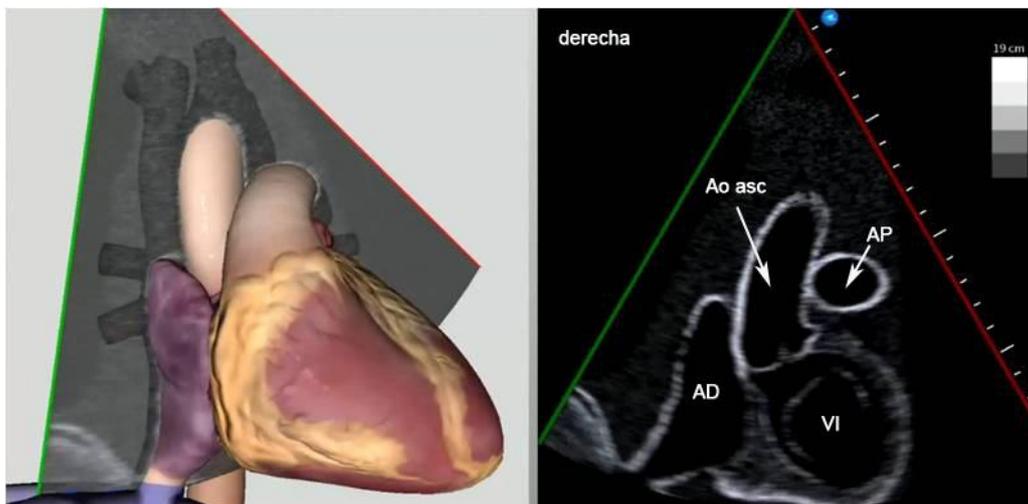


Figura 37. Proyección paraesternal derecha. Aorta ascendente.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; VCI: vena cava inferior; AD: aurícula derecha; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda; Ao desc: aorta descendente.

3.3.2. PROYECCIONES ECOCARDIOGRÁFICAS COMPLEMENTARIAS

Un examen ecocardiográfico completo puede requerir la utilización de planos “intermedios” para estudiar con detalle determinadas estructuras. Hay dos proyecciones intermedias que son equivalentes a las imágenes angiográficas oblicua anterior derecha y oblicua anterior izquierda utilizadas en hemodinámica y que se realizan de forma habitual en algunos laboratorios de ecocardiografía (22).

1. Proyección oblicua anterior derecha:

La proyección oblicua anterior derecha se obtiene desde la proyección subxifoidea eje largo rotando el transductor unos 45° en sentido antihorario, con la señal de posición localizada a las “una-dos en punto” (figura 38). Esta proyección permite explorar simultáneamente la porción de entrada y la porción de salida del ventrículo derecho, la válvula pulmonar en su eje longitudinal, el tronco pulmonar y su bifurcación (37).

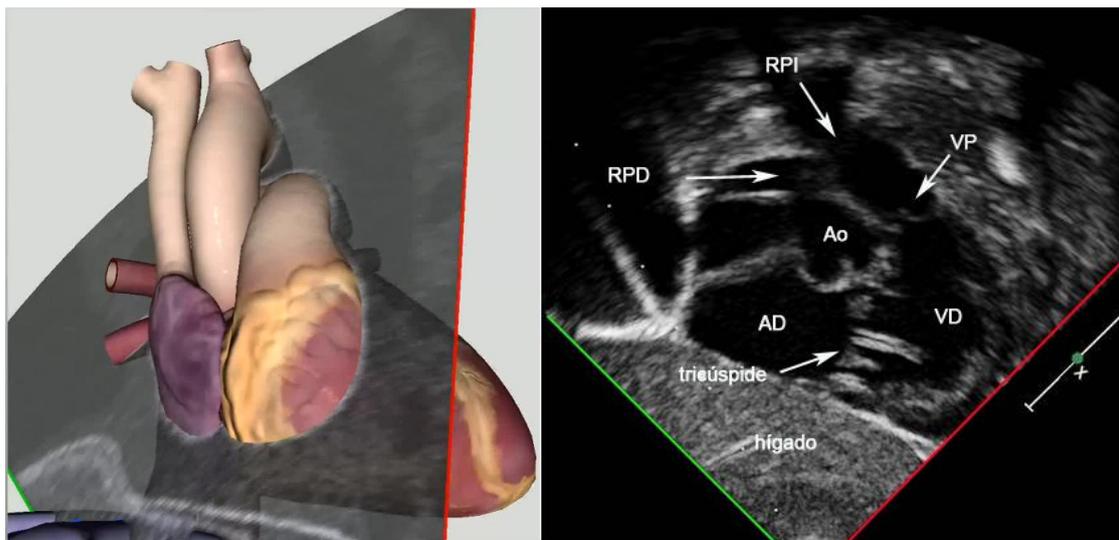


Figura 38. Proyección oblicua anterior derecha. La válvula pulmonar aparece seccionada en su eje longitudinal.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

AD: aurícula derecha; VD: ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; Ao: aorta

2. Proyección oblicua anterior izquierda

La proyección oblicua anterior izquierda se obtiene también a partir de la proyección subxifoidea eje largo, rotando el plano de corte unos 30-45° en sentido horario, con la señal de posición localizada a las “cuatro-cinco en punto” (figura 39). Desde esta proyección se corta transversalmente el plano de las válvulas auriculoventriculares y se pueden estudiar con detalle la morfología y el área de las válvulas auriculoventriculares en los defectos del septo auriculoventricular y las anomalías en el aparato subvalvular (38).



Figura 39. Proyección subcostal oblicua anterior izquierda.
© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.
VAo: válvula aórtica.

3.4. ECOGRAFÍA TORÁCICA NORMAL EN PEDIATRÍA

En radiología infantil, la ecografía torácica ha tenido tradicionalmente un papel secundario en el estudio de las enfermedades torácicas, prácticamente limitado a la valoración del tórax opacificado, caracterizando y localizando las colecciones, y a la demostración de la posición e integridad del diafragma (39). De hecho, la ecografía ha sido infrautilizada o, incluso, ignorada como herramienta diagnóstica en el estudio del tórax, especialmente en la patología respiratoria, debido a que el aire y el hueso se han considerado tradicionalmente un obstáculo para la transmisión del ultrasonido (40) (41). Sin embargo, el desarrollo tecnológico ha permitido mejorar la resolución espacial, la penetración y la caracterización tisular, de manera que en los últimos años se ha ampliado su uso, especialmente en el estudio del tórax pediátrico, siendo considerada en el momento actual como la herramienta diagnóstica de primera elección en la evaluación de algunas patologías específicas (lesiones superficiales de la pared torácica, estudio del movimiento diafragmático, caracterización de derrames pleurales y estudio de estructuras y masas mediastínicas) (42). Además, la ecografía tiene la ventaja de ser una técnica accesible, que no radia, que se puede realizar a la cabecera del paciente y que habitualmente no requiere sedación (43).

3.4.1. PROYECCIONES HABITUALES EN ECOGRAFÍA TORÁCICA

A diferencia de los niños mayores y los adultos, los neonatos y lactantes disponen de una ventana acústica excepcional para la ecografía torácica. En este grupo de edad, el esternón y las costillas son estructuras fundamentalmente cartilaginosas que transmiten adecuadamente el

ultrasonido. Además, la presencia de un timo relativamente grande y con una ecogenicidad característica facilita la visualización de las estructuras mediastínicas (40)(44)(45).

Las ventanas acústicas habitualmente empleadas en ecografía torácica en pediatría son: 1) supraclavicular; 2) supraesternal; 3) transesternal; 4) paraesternal; 5) intercostal; 6) subxifoidea; 7) transdiafragmática (figura 40).

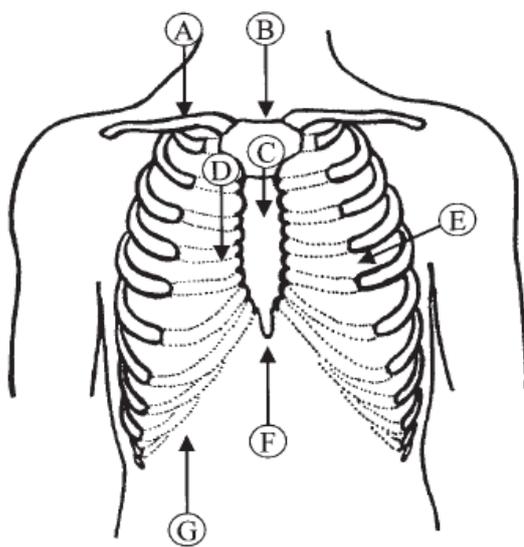


Figura 40.

Proyecciones habitualmente utilizadas en ecografía torácica pediátrica (41):

- A. Supraclavicular.
- B. Supraesternal.
- C. Transesternal.**
- D. Paraesternal.
- E. Intercostal.
- F. Subxifoidea.
- G. Transdiafragmática.

El transductor y la frecuencia empleados varían con el tamaño del paciente y la estructura en estudio. En recién nacidos y lactantes pequeños se utilizan transductores lineales de alta frecuencia. Los niños mayores y adolescentes precisan habitualmente transductores de baja frecuencia. Los transductores sectoriales tienen una superficie de contacto pequeña que permite explorar entre las costillas o en el hueco supraesternal. Los transductores lineales son muy útiles para estudiar las lesiones de la pared torácica y la interfase pulmón-pleura (45).

3.4.2. ANATOMÍA ECOGRÁFICA NORMAL

1. Pared torácica anterior:

El esternón no osificado y los cartílagos costales aparecen en la imagen de ultrasonido como estructuras hipoeogénicas. Con la edad, la coalescencia progresiva de los centros de osificación del esternón hace que el acceso acústico sea más complicado (figura 41). Los cartílagos costales, sin embargo, se mantienen sin osificar durante toda la edad pediátrica (43).

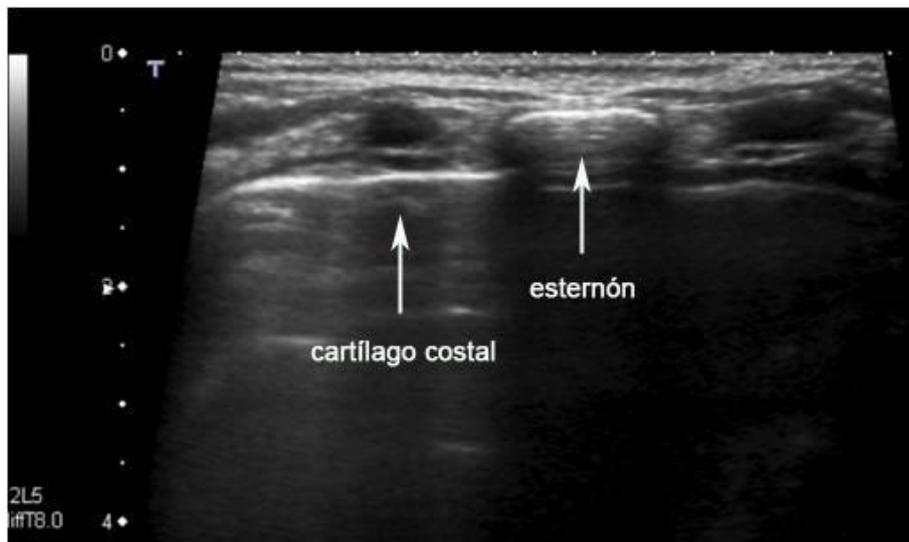


Figura 41. Corte transversal de la pared torácica anterior a nivel del manubrio del esternón en paciente de 16 meses. Transductor lineal. El proceso de osificación del manubrio del esternón se encuentra ya avanzado lo que hace que se produzca una marcada atenuación del ultrasonido y una sombra acústica posterior. Los cartílagos costales aparecen hipoeogénicos.

2. Timo:

El timo está localizado habitualmente en la base del cuello y en la parte anterior del mediastino superior e inferior, por detrás del esternón y anterior a los grandes vasos. En neonatos y lactantes se identifica fácilmente desde las

proyecciones supraesternal, transesternal o paraesternal. En esta edad el timo pesa de 10 a 35 gramos pero su tamaño es máximo con relación al tamaño de tórax. Sigue aumentando ligeramente hasta la pubertad, momento en el que alcanza su peso máximo (de 20 a 50 gramos), para posteriormente entrar en regresión (12). El timo normal generalmente tiene bordes lisos y puede identificarse en las radiografías de tórax hasta los dos primeros años de vida. Se hace progresivamente menos evidente entre los 2 y los 8 años de vida, edad a partir de la cual no se suele visualizar en la radiografía frontal de tórax (46). Se trata de una estructura bilobulada. Cada lóbulo está rodeado por una cápsula fibrosa bien definida y no comprime a las estructuras adyacentes. Tiene unas características ecográficas específicas que permiten diferenciarlo del tejido patológico: forma trapezoidal en el plano transversal; cápsula fibrosa hiperecogénica; bordes lisos y bien definidos; moldeado por las estructuras adyacentes; ligeramente hipoecogénico en relación con el hígado, el bazo y el tiroides; ecotextura homogénea y finamente granular, con líneas y puntos ecogénicos; las líneas ecogénicas corresponden a septos con vasos sanguíneos en su interior; no se puede distinguir médula y corteza; con doppler color el timo aparece como una estructura poco vascularizada (47) (48) (49) (figura 42).

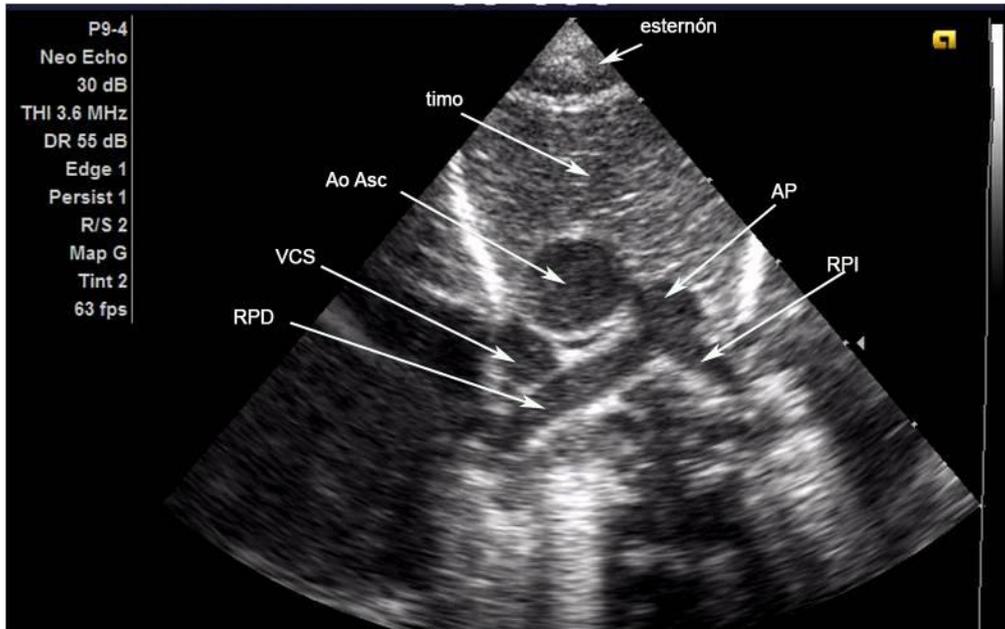


Figura 42. Corte transversal del tímo a nivel del manubrio de esternón en recién nacido de 3 días de vida. El tímo presenta una morfología trapezoidal y está rodeado por una cápsula fibrosa hiperecogénica. Tiene una ecogenicidad característica: homogénea y finamente granular. Se localiza en el espacio prevascular y facilita la visualización de las estructuras cardiovasculares. El manubrio del esternón contiene un núcleo de osificación levemente hiperecogénico.
VCS: vena cava superior; AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI rama pulmonar izquierda; Ao Asc: aorta ascendente.

4. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

4.1. ORIGEN DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Los cardiólogos infantiles con formación académica reglada en laboratorios de ecocardiografía infantil aprenden a hacer las exploraciones siguiendo las recomendaciones de las guías de práctica clínica, habitualmente adaptadas de la medicina del adulto. Sin embargo, es conocido que los niños tienen una ventana ecográfica transtorácica excepcional y que en distintas situaciones clínicas todos los cardiólogos infantiles con experiencia obtienen planos ecocardiográficos alternativos.

En nuestro laboratorio de ecocardiografía, durante la práctica clínica habitual, hemos descubierto de forma casual la utilidad del uso de la proyección transesternal alta en el estudio sistemático de la morfología de la válvula pulmonar en eje corto en neonatos y lactantes. Los textos de ecocardiografía transtorácica describen que la válvula pulmonar se visualiza habitualmente sólo en su eje longitudinal desde distintas proyecciones (subcostal, paraesternal, apical) (figura 43). Desde estos abordajes se pueden valorar detalles anatómicos y funcionales de la válvula pulmonar (tamaño del anillo, morfología y grado de apertura de los velos, gradiente a través de la válvula, grado de insuficiencia,...) pero no es posible definir con precisión su anatomía. Un corte transversal o eje corto de la válvula pulmonar permitiría describir su morfología y caracterizarla como normal (trivalva con velos simétricos y bordes libres no engrosados), displásica, monocúspide, bicúspide o cuatricúspide, como se hace habitualmente y a cualquier edad con la válvula aórtica desde la proyección paraesternal eje corto.

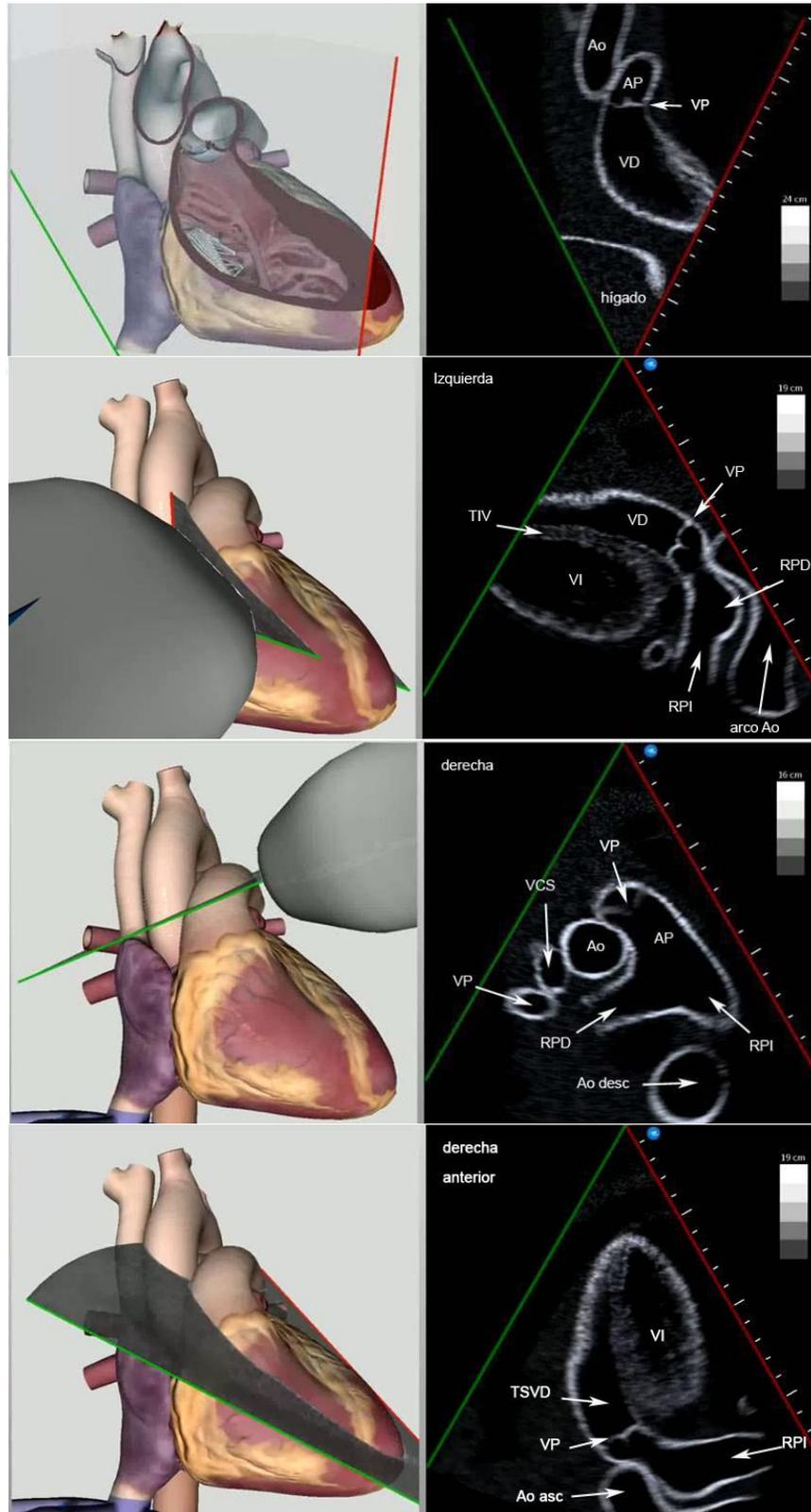


Figura 43. Visualización de la válvula pulmonar desde las proyecciones ecocardiográficas habituales. De arriba abajo: subcostal eje largo, paraesternal eje largo, paraesternal eje corto y apical. La válvula pulmonar sólo se puede obtener un corte longitudinal.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; VD: ventrículo derecho; TSVD: tracto de salida de VD; VP: válvula pulmonar; AP: arteria pulmonar. RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; VI: ventrículo izquierdo; TIV: tabique interventricular.

La válvula aórtica, a diferencia de la válvula pulmonar, puede visualizarse en eje corto porque está situada en una posición paraesternal izquierda media y habitualmente no se interpone parénquima pulmonar entre el transductor y el corazón (figura 44).

La válvula pulmonar se encuentra en un plano casi perpendicular al anillo aórtico, ligeramente más craneal, anterior e izquierda. Además, en el niño mayor y en el adulto, el lóbulo anterior del pulmón izquierdo cubre parcialmente las estructuras del borde cardiaco superior izquierdo. Estas circunstancias determinan que, en condiciones normales, no sea posible obtener un corte transversal de la válvula pulmonar desde las proyecciones ecocardiográficas habituales (figura 44).

En la literatura se refiere que, en casos seleccionados (cuando existe patología del lado derecho que condiciona que la válvula pulmonar se coloque más cerca de la línea paraesternal), se puede visualizar la válvula pulmonar en eje corto desde una proyección no habitual, la proyección paraesternal izquierda alta.

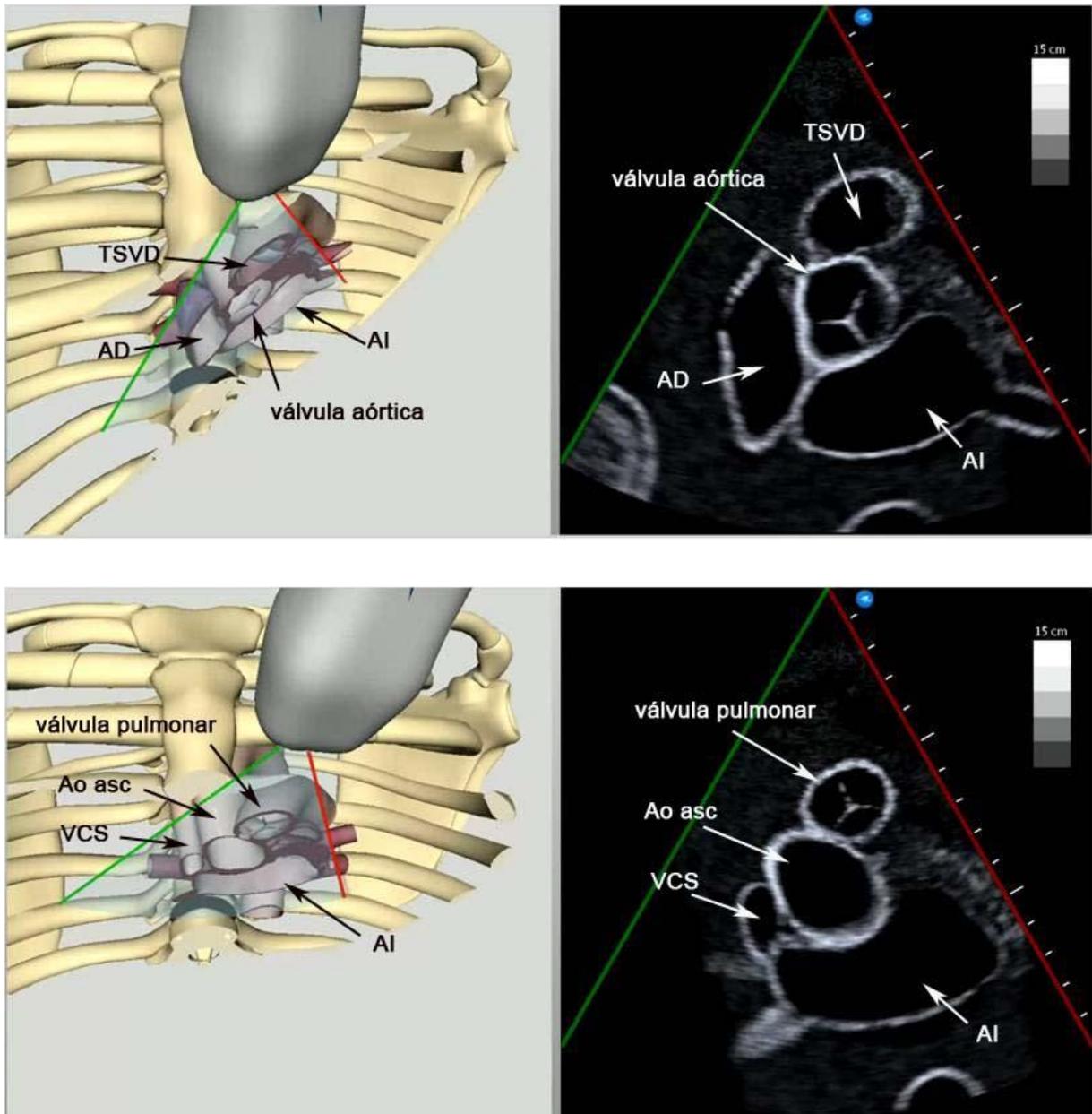


Figura 44. Eje corto de las válvulas aórtica y pulmonar.

Arriba: Corte de la válvula aórtica en su eje transversal o eje corto. La válvula aórtica está situada en una posición paraesternal izquierda media y habitualmente no se interpone pulmón por delante del corazón a este nivel. La válvula aórtica normal es trivalva, con velos simétricos y bordes libres no engrosados.

Abajo: Corte de la válvula pulmonar en su eje transversal o eje corto (equivalente a proyección paraesternal izquierda alta). La válvula pulmonar se encuentra en un plano casi perpendicular al anillo aórtico, en posición más craneal, anterior e izquierda. El lóbulo anterior del pulmón izquierdo cubre habitualmente las estructuras del borde cardiaco superior izquierdo. La válvula pulmonar normal es trivalva, con velos simétricos y bordes libres no engrosados.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VSC: vena cava superior; AD: aurícula derecha; TSVD: tracto de salida de ventrículo derecho; AI: aurícula izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

Sin embargo, los neonatos y lactantes presentan unas características anatómicas especiales que permiten obtener el eje corto de la válvula pulmonar desde una proyección ecocardiográfica transesternal (transductor posicionado en el manubrio del esternón). En nuestro laboratorio de ecocardiografía, en este grupo de edad, hemos podido visualizar adecuadamente la válvula pulmonar en eje corto desde esta proyección en prácticamente todos los pacientes (figura 45), por lo que hemos incorporado el plano en el estudio sistemático del corazón de nuestros pacientes.

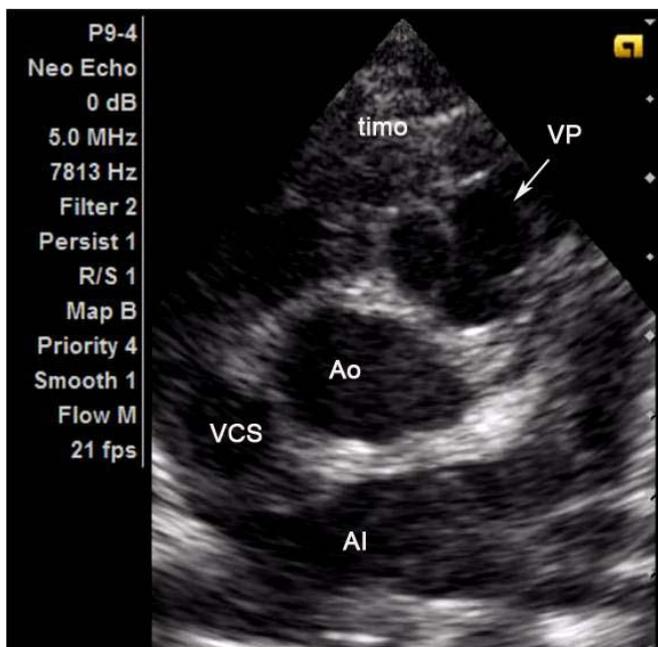


Figura 45. Proyección transesternal alta. Corte de la válvula pulmonar en su eje transversal o eje corto. La válvula pulmonar normal es trivalva, con velos simétricos y bordes libres no engrosados. VSC: vena cava superior. VP: válvula pulmonar; AI: aurícula izquierda; Ao: aorta.

Revisada la literatura, hemos confirmado que los temas dedicados a ecocardiografía en el paciente normal no hacen referencia a la proyección transesternal alta como ventana ultrasónica óptima para la obtención del eje corto de la válvula pulmonar de forma rutinaria en pacientes de corta edad. Tampoco la hemos encontrado descrita en la valoración de pacientes en este grupo de edad con patología específica de la válvula pulmonar (estenosis

valvular pulmonar, tetralogía de Fallot,...), donde el interés por conocer la anatomía precisa de la válvula es todavía mayor.

En esta situación nos parecía oportuno comunicar a la comunidad científica la observación clínica (anexo 1) y poner en marcha una recogida de datos para confirmar que el plano era reproducible en manos de cualquier operador entrenado y en cualquiera de los contextos clínicos habituales. Además, nos pareció interesante describir la aportación del plano en el estudio de otras estructuras distintas a la válvula pulmonar (ramas pulmonares, drenaje de las venas pulmonares, arteria coronaria izquierda, vena innominada, lateralidad del arco aórtico y troncos supraaórticos) y en la valoración del paciente con cardiopatía congénita, antes y después de la cirugía.

4.2. HIPÓTESIS

El estudio del corazón en neonatos y lactantes desde la proyección transesternal es factible y eficaz y aporta detalles anatómicos de algunas estructuras que pueden complementar la información obtenida desde las proyecciones ecocardiográficas habituales.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficacia del abordaje transesternal en ecocardiografía pediátrica en neonatos y lactantes y la información que aporta con respecto a los planos convencionales en el estudio de los pacientes con corazón estructuralmente normal y en los pacientes con cardiopatía congénita.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la eficacia de la proyección transesternal alta para visualizar el eje corto de la válvula pulmonar en neonatos y lactantes en distintos escenarios clínicos.
2. Determinar la aportación de la proyección transesternal alta en la evaluación de otras estructuras (ramas pulmonares, drenaje de las venas pulmonares, arteria coronaria izquierda, vena innominada, lateralidad arco aórtico y troncos supraaórticos).
3. Determinar la aportación de la proyección transesternal en el estudio de los pacientes con cardiopatía congénita.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. DISEÑO

Se diseñó un estudio prospectivo observacional para determinar la reproducibilidad y eficacia de la proyección transesternal alta en la visualización del eje corto de la válvula pulmonar.

6.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

En el estudio se incluyeron neonatos y lactantes (hasta dos años) de ambos sexos estudiados por primera vez entre enero y junio de 2015 en las distintas áreas asistenciales del Instituto Pediátrico del Corazón del Hospital Universitario “12 de octubre” de Madrid (consulta externa de cardiología infantil, servicio de neonatología, unidad de cuidados intensivos pediátricos y plantas de hospitalización pediátrica).

6.3. PROTOCOLO DE ESTUDIO

En todos los pacientes se realizó un estudio de ecocardiografía-doppler completo que incluyó las cinco proyecciones ecocardiográficas recomendadas por la Sociedad Americana de Ecocardiografía en cardiología infantil (subxifoidea, paraesternal izquierda y derecha, apical y supraesternal).

Antes de colocar al paciente con el cuello en hiperextensión para obtener las proyecciones supraesternales desde el hueco supraesternal y sin que supusiera una molestia adicional, se obtuvo la **proyección transesternal alta** en todos los sujetos incluidos en el estudio según el siguiente protocolo:

- Paciente en decúbito supino, preferiblemente con la cabeza girada hacia la izquierda para conseguir un ligero decúbito lateral izquierdo.

- Transductor sobre el manubrio del esternón (figura 46), con su eje mayor paralelo a la línea intermamilar y la señal de posición orientada hacia la izquierda del paciente (posición a las “tres en punto”).
- La estructura cardiovascular que se identifica inicialmente es la bifurcación de la arteria pulmonar y se toma como referencia.
- Posteriormente, desde esta posición, se inclina ligeramente el plano de corte hacia inferior (“se deja caer la cola del transductor” hacia la cabeza del paciente) hasta visualizar el corte transversal o eje corto de la válvula pulmonar.



Figura 46. Proyección transesternal alta.

Izquierda: Posición del transductor sobre el manubrio del esternón.

Derecha: Proyección subcostal eje corto en la que se visualiza el tracto de salida de ventrículo derecho. El plano de corte (línea blanca) atraviesa el plano valvular pulmonar (corte transversal o eje corto de la válvula pulmonar).

VD: ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; RPI: rama pulmonar izquierda; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo.

Todo el personal médico de nuestro servicio (médicos adjuntos y médicos residentes de cardiología infantil) que ha participado en la recogida de datos dominaba la ecocardiografía pediátrica y había realizado la proyección de forma habitual o, en su defecto, fue adiestrado en la obtención de este plano.

Las imágenes obtenidas fueron almacenadas en formato digital y analizadas por uno de los médicos adjuntos del servicio con amplia experiencia en la adquisición e interpretación de la proyección transesternal alta y que desconocía los datos clínicos de los pacientes. De forma similar a lo que ocurre con la válvula aórtica en la edad pediátrica, el hecho de que la válvula pulmonar no esté afectada por el proceso de fibrosis y calcificación asociado a la edad, determina que el diagnóstico ecocardiográfico, cuando es factible, sea altamente preciso (50).

De forma simultánea, se describió la aportación de la nueva proyección con respecto a las proyecciones habituales en la visualización del resto de estructuras accesibles desde la misma (**proyección de referencia**: ramas pulmonares; **inclinando hacia abajo**: drenaje de las venas pulmonares y arteria coronaria izquierda; **inclinando hacia arriba**: vena innominada, lateralidad del arco aórtico, origen de troncos supraaórticos y bifurcación del primer tronco).

Por último, se describió la aportación de la **proyección transesternal alta** y de otras proyecciones transesternales alternativas (**proyección transesternal longitudinal**) en el estudio de los pacientes con cardiopatía congénita valorados en nuestra unidad durante el mismo período.

6.4. MATERIAL

Los estudios se realizaron con los equipos de ecocardiografía-doppler asignados a las distintas áreas asistenciales de nuestro centro y con transductores (sondas) multifrecuencia de alta resolución:

- Consulta externa de Cardiología Infantil y plantas de hospitalización:
 - Equipo de alta gama Philips iE33 Ultrasound System (año de fabricación: 2009); sonda sectorial S8-3 (3-8 MHz).
 - Equipo de alta gama Acuson Sequoia C512 Ultrasound System (año de fabricación: 2004); sonda sectorial 7V3c (3-7 MHz).
 - Equipo básico Sonos 5500 Ultrasound System HP (año de fabricación: 1999); sonda sectorial S4 (3-8 MHz).
- Servicio de Neonatología (unidad de transición, cuidados intermedios y unidad de cuidados intensivos neonatales):
 - Equipo de gama media Acuson X-300 Ultrasound System (año de fabricación: 2011); sonda sectorial P8-4 (4-8 MHz).
- Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos:
 - Equipo de alta gama Philips iE33 Ultrasound System (año de fabricación: 2011); sonda sectorial S8-3 (3-8 MHz).
 - Equipo de gama media Acuson X-300 Ultrasound System (año de fabricación: 2011); sonda sectorial P9-4 (4-9 MHz).

6.5. VARIABLES DEL ESTUDIO

Las variables clínicas que se evaluaron fueron recogidas en una hoja específica para cada paciente (anexo 2) e incluyeron:

1. Datos de filiación, fecha de exploración y edad.
2. Datos antropométricos: peso y talla.
3. Datos clínicos:
 - a. Motivo de estudio (51).
 - b. Edad gestacional (en caso de prematuridad).

- c. Enfermedad de base:
 - Patología respiratoria (*).
 - Patología no respiratoria.
 - d. Asistencia respiratoria:
 - Ventilación mecánica.
 - CPAP (continuous positive airway pression) nasal / BIPAP (bilevel positive airway pressure) nasal.
 - e. Buena ventana paraesternal (*) (si / no).
 - f. Diagnóstico ecocardiográfico final.
4. Equipo de ecocardiografía (52):
- Alta gama (Philips iE33 y Acuson Sequoia C512).
 - Gama media (Acuson X-300).
 - Básico (Philips Sonos 5500).
5. Médico que realiza la exploración (médico adjunto / médico residente).
6. Visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta (*) (si / no).
7. Morfología de la válvula pulmonar (*) (normal / trivalva con fusión comisural / en cúpula / unicúspide / bicúspide / cuatricúspide / displásica).

(*) Definición de variables:

- Patología respiratoria: Se incluyó dentro de este grupo a los pacientes con enfermedad de membrana hialina, displasia broncopulmonar, patología de la vía aérea, asma y bronquiolitis, asumiendo que este tipo patología puede condicionar una peor ventana ultrasónica.

- Buena ventana paraesternal: Se consideró que un paciente tenía una buena ventana paraesternal cuando no existía interposición de parénquima pulmonar (interfase tejido blando-aire) por lo que fue posible visualizar sin dificultad las proyecciones ecocardiográficas paraesternales.
- Visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta: Siguiendo el protocolo descrito para la obtención de la nueva proyección, se consideró adecuada la visualización de la válvula pulmonar cuando se pudo identificar con claridad su morfología (número de velos y comisuras y/o rafes).
- Morfología de la válvula pulmonar (53):
 - Normal: tres velos simétricos y bordes libres no engrosados; apertura no limitada.
 - Trivalva con fusión comisural: tres velos, bordes libres engrosados y distinto grado de fusión comisural.
 - En cúpula: fusión o ausencia de comisuras; orificio central estenótico.
 - Unicúspide: un único velo y una sola comisura.
 - Bicúspide: dos velos y dos comisuras.
 - Cuatricúspide: cuatro velos y cuatro comisuras.
 - Displásica: anillo pequeño; tres velos muy engrosados (mixomatosos), distinto grado de fusión comisural.

6.6. ASPECTOS ÉTICOS

Para la elaboración de este estudio no se modificó el protocolo de atención a los pacientes. Toda la información se trató de forma confidencial y solo el investigador principal tenía acceso a los datos de identificación de los pacientes. Se consultó al Comité Ético de Investigación y, dado que no se modificaba el protocolo habitual, se acordó que no se precisaba la autorización del Comité para la realización del estudio. En todo momento se siguieron los principios éticos para investigación médica en seres humanos de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial.

6.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La codificación y el análisis de datos se realizaron mediante el programa estadístico SAS v9.3. Todos los análisis se llevaron a cabo con un nivel de significación de 5%. (p -valor $< 0,05$).

Se realizó un análisis descriptivo mediante media y desviación típica para variables continuas y el porcentaje absoluto y relativo para variables categóricas.

Para valorar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la variable “visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” y las demás variables, se realizó la prueba no paramétrica del test de Wilcoxon para las características cuantitativas y el test de Fisher para variables cualitativas.

7. RESULTADOS

7.1. EJE CORTO DE LA VÁLVULA PULMONAR

En los 6 meses que duró la recogida de datos, se incluyeron 210 pacientes en el estudio. La tabla 3 muestra las características de los mismos.

Tabla 3. Características de los pacientes (n: 210)	
Edad (meses): media (SD)	2,26 (3,72)
Peso (kg): media (SD)	4,30 (2,23)
< 2,5 kg: frecuencia; media (SD)	34; 1,72 (0,57)
> 2,5 kg: frecuencia; media (SD)	168; 4,82 (2,07)
Prematuridad: frecuencia (%)	39 (18,57)
Edad gestacional: media (SD)	31,67 (3,95)
Patología respiratoria: frecuencia (%)	39 (18,57)
Ventilación mecánica: frecuencia (%)	9 (4,29)
BIPAP/CPAP: frecuencia (%)	18 (8,57)
Buena ventana paraesternal: frecuencia (%)	192 (91,43)

La edad media del grupo fue de 2,26 meses (gráfico 1) y la media de peso fue de 4,30 kg (gráfico 2). El 51,9 % (109) del total de pacientes (tenía menos de un mes de edad y 34 pacientes (16,83 %) pesaban menos de 2,5 kg. Se incluyeron en el estudio 39 pacientes prematuros (18,57 %), de todas las edades gestacionales (rango: 24-36).

La mayoría de pacientes no padecía enfermedad de base (67,62 %) (tabla 4). En 39 pacientes (18,57 %) se registró la presencia de algún tipo de enfermedad respiratoria (enfermedad de membrana hialina, displasia broncopulmonar, patología de la vía aérea, asma, bronquiolitis) que podría interferir con la ventana ultrasónica. Del total de la serie, 9 pacientes (4,29 %) recibían ventilación mecánica y 18 (8,57 %), algún sistema de presión positiva continua no invasiva (BIPAP/CPAP). La mayoría (192 pacientes; 91,43 %) tenía una buena ventana ultrasónica.

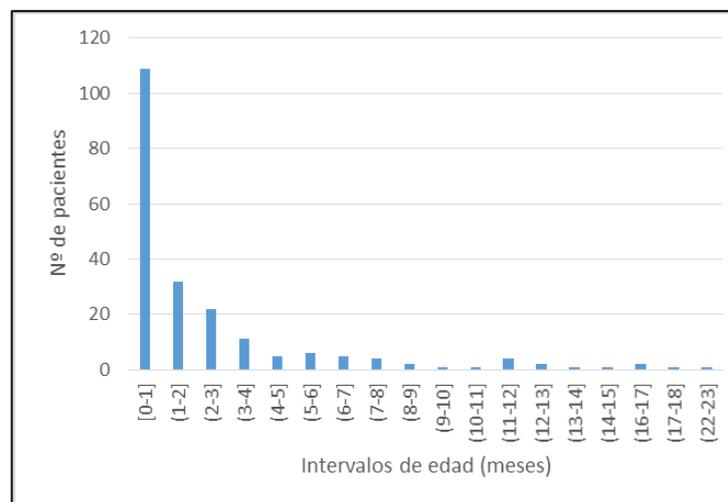


Gráfico 1: Distribución por edades.

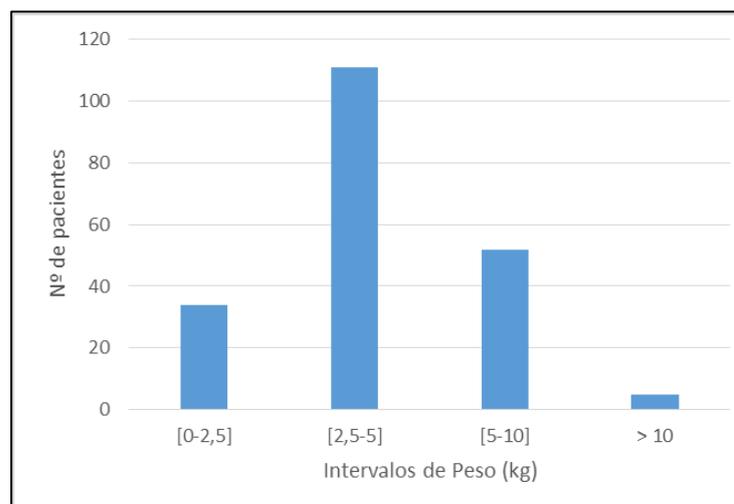


Gráfico 2: Distribución por peso.

Tabla 4. Enfermedad de base (n: 210)		
	Frecuencia	%
No enfermedad de base	142	67,62
Patología respiratoria	39	18,57
No patología respiratoria	29	13,81

El motivo de consulta principal fue el estudio de soplo (52,86 %) (tabla 5). Dado que nuestro centro es hospital de referencia nacional para el manejo de paciente con cardiopatía congénita, un porcentaje significativo de pacientes incluidos en el estudio (28 pacientes; 13,33 %) eran recién nacidos con diagnóstico prenatal de cardiopatía.

Tabla 5. Motivo de consulta (n: 210)		
	Frecuencia	%
Soplo	111	52,86
Descartar patología cardiaca asociada	30	14,29
Diagnóstico prenatal de cardiopatía congénita	28	13,33
Descartar ductus en recién nacido pretérmino	13	6,19
Dificultad respiratoria	12	5,71
Otros	16	7,62

Los estudios fueron realizados indistintamente por los médicos adjuntos (56,19 %) y residentes (43,81 %) encargados de la actividad asistencial (tabla 6) y los equipos de ecocardiografía empleados fueron los asignados a cada unidad (tabla 7).

Tabla 6. Médico que realiza la exploración (n: 210)		
	Frecuencia	%
Médico adjunto	118	56,19
Médico residente	92	43,81

Tabla 7. Equipo de ecocardiografía (n: 210)		
	Frecuencia	%
X-300 (Siemens) (gama media)	71	33,81
iE33 (Philips) (alta gama)	65	30,95
Sonos 5500 (Philips) (básico)	44	20,95
Sequoia (Siemens) (alta gama)	30	14,29

El análisis de las imágenes obtenidas por parte del revisor (médico adjunto con amplia experiencia en la adquisición e interpretación de la proyección transesternal alta) mostró una excelente correlación con las observaciones realizadas por cada uno de los miembros del equipo.

La mayoría de pacientes tenía un corazón estructuralmente normal (61,90 %) (tabla 8). En 10 pacientes (4,76 %) el diagnóstico final fue estenosis valvular pulmonar, incluyendo 2 pacientes diagnosticados de tetralogía de Fallot. El diagnóstico de estenosis valvular pulmonar se realizó en base a los criterios establecidos en las guías de ecocardiografía (36): morfología y movilidad de la válvula en su eje longitudinal desde las distintas proyecciones

ecocardiográficas y a la presencia de gradiente a través de la misma (gradiente pico \geq 20 mm Hg).

Tabla 8. Diagnóstico ecocardiográfico (n: 210)		
	Frecuencia	%
Corazón normal	130	61,90
Ductus permeable / persistente	28	13,33
Comunicación interventricular	14	6,67
Estenosis valvular pulmonar	10	4,76
Otros	28	14,29

Una imagen de la válvula pulmonar en eje corto no se obtiene de forma rutinaria desde las proyecciones ecocardiográficas habituales en el estudio sistemático del corazón en el paciente pediátrico. Sin embargo, aplicando el protocolo de estudio descrito, se consiguió visualizar adecuadamente el eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta en el 97,62 % de pacientes (205 de 210 pacientes) (tabla 9). La calidad de las imágenes obtenidas fue óptima, comparables a las que proporciona la proyección paraesternal eje corto para el estudio de la válvula aórtica, y permitió identificar con precisión su morfología en los 205 pacientes. De esta manera, la válvula pulmonar fue descrita como normal (tres velos simétricos y bordes libres no engrosados; apertura no limitada) en la mayoría de pacientes (196 de 205 pacientes; 95,6 %) (tabla 10) (figura 47).

Tabla 9. Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal (n: 210)		
	Frecuencia	%
Adecuada	205	97,62
No bien visualizada	5	2,38

Tabla 10. Morfología de la válvula pulmonar (n: 205)		
	Frecuencia	%
Normal	196	95,6
Trivalva, displásica	8	3,9
Bicúspide	1	0,5

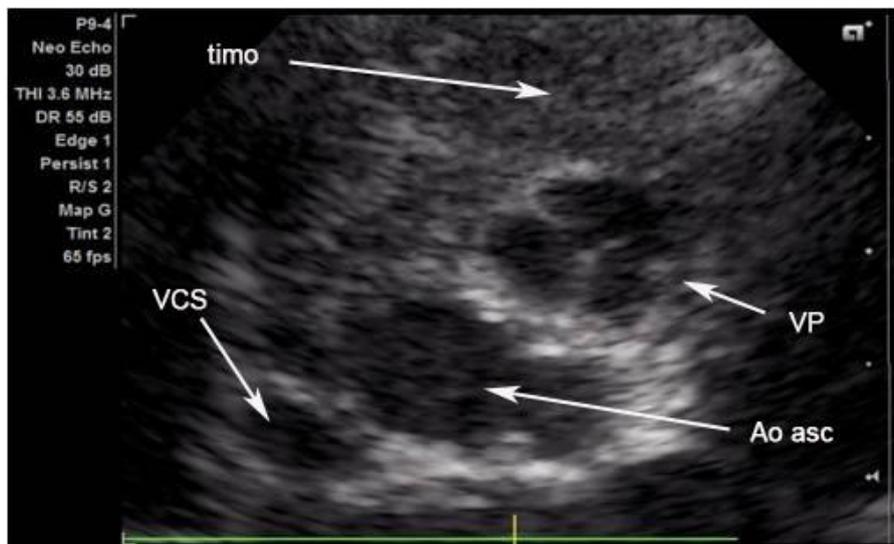


Figura 47. Proyección transesternal alta. Válvula pulmonar normal (tres velos simétricos y bordes libres no engrosados; apertura no limitada).
VCS: vena cava superior; VP: válvula pulmonar; Ao asc: aorta ascendente.

En el grupo de pacientes con estenosis pulmonar también fue posible visualizar el eje corto de la válvula con gran definición y describir con detalle su morfología: del total de 10 pacientes, fue posible definir la morfología de la válvula en 9 (90 %) (tabla 11). De hecho, si no se hubiera realizado la proyección transesternal alta, la válvula pulmonar no habría podido ser clasificada y el diagnóstico habría sido genérico (“estenosis valvular pulmonar”).

La mayoría de estos pacientes (8 de 9 pacientes) presentaba una válvula pulmonar trivalva con fusión comisural (tres velos, bordes libres engrosados y distinto grado de fusión comisural, desde estenosis leve hasta estenosis pulmonar crítica) (figura 48). La única válvula pulmonar bicúspide identificada (dos velos y dos comisuras) se objetivó en una recién nacida con diagnóstico prenatal de tetralogía de Fallot (figura 49). Esta paciente presentaba una estenosis subvalvular grave y precisó corrección quirúrgica urgente. La morfología valvular fue confirmada en quirófano. La otra paciente con tetralogía de Fallot presentaba una válvula trivalva con fusión comisural, hallazgo también confirmado durante la corrección quirúrgica.

Tabla 11. Diagnóstico final de estenosis pulmonar valvular (n: 10)	
Trivalva, displásica	8
Bicúspide	1
No visualizada	1

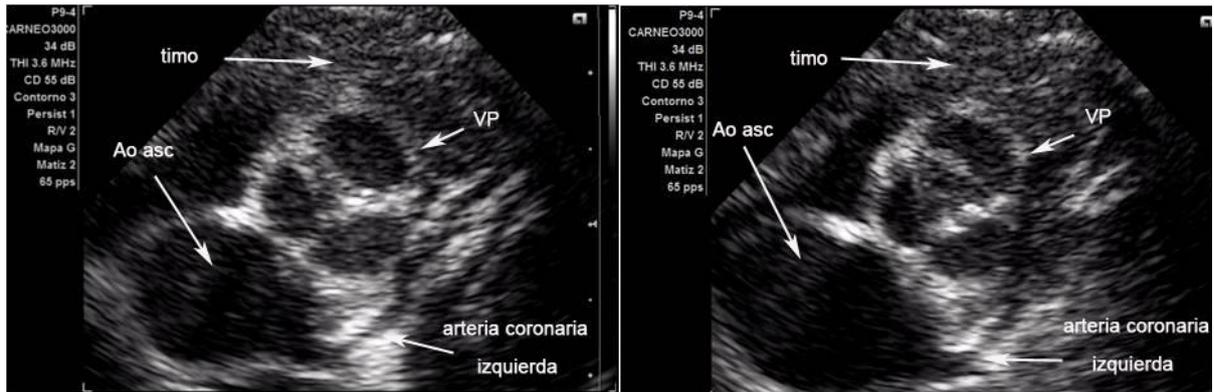


Figura 48. Proyección transesternal alta. Válvula pulmonar trivalva con fusión comisural (tres velos, bordes libres engrosados y fusión comisural).
Izquierda: Diástole: Válvula cerrada. Derecha: Sístole: Válvula con apertura limitada por la fusión comisural.

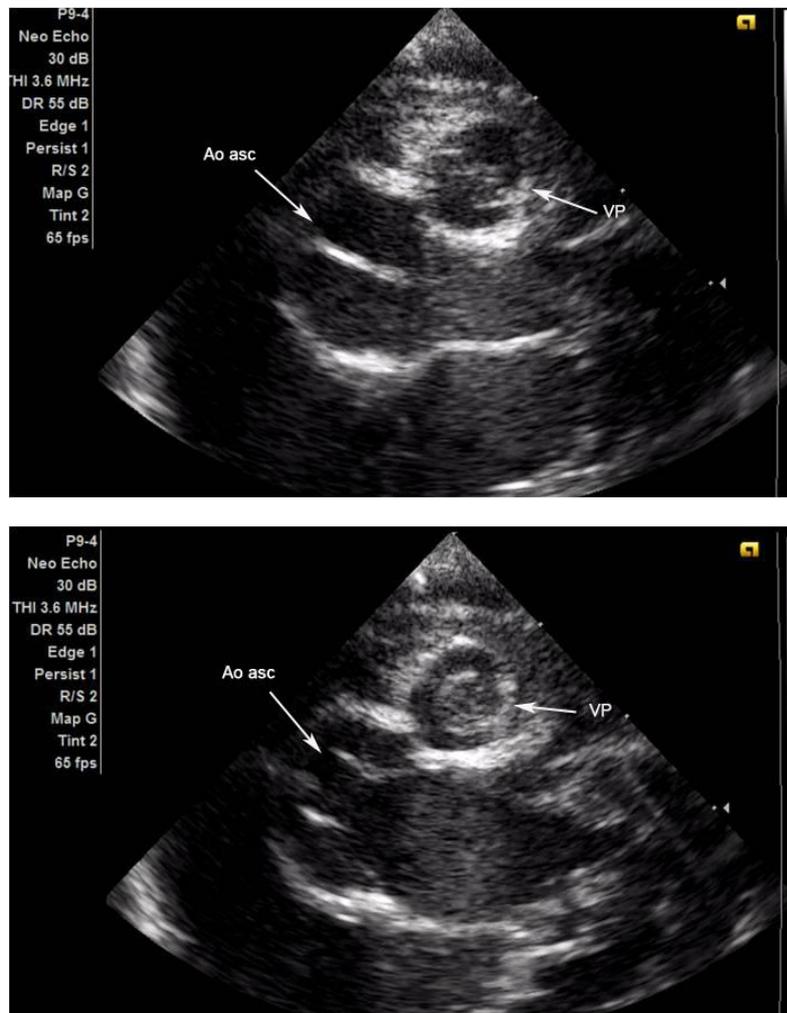


Figura 49. Proyección transesternal alta. Válvula pulmonar bicúspide (dos velos y dos comisuras; fusión de comisura anterior).
Arriba: Diástole. Válvula cerrada. Abajo: Sístole: Válvula con apertura limitada por fusión de la comisura anterior.
VP: válvula pulmonar; Ao asc: aorta ascendente.

No se logró visualizar un eje corto de la válvula pulmonar de calidad desde la proyección transesternal alta y, por tanto, no se pudo definir su morfología en 5 pacientes (2,38 %) del total del grupo (tabla 9). Uno de ellos era el paciente incluido en el grupo con diagnóstico final de estenosis pulmonar en el que la válvula pulmonar no pudo ser clasificada (tabla 11). Se trataba de una recién nacida prematura (36 semanas) con diagnóstico prenatal de ductus aneurismático y con un peso al nacimiento de 1.790 g. La exploración fue realizada por un adjunto con un equipo de alta gama (Philips iE33). Desde el inicio de la exploración (proyección subcostal) ya se objetivaba la presencia de una válvula pulmonar con apertura limitada y con un anillo implantado en una posición anormalmente baja (figura 50). El gradiente máximo instantáneo a través de la válvula era de 30 mm Hg (estenosis leve). La ventana paraesternal de esta paciente fue etiquetada como no buena.

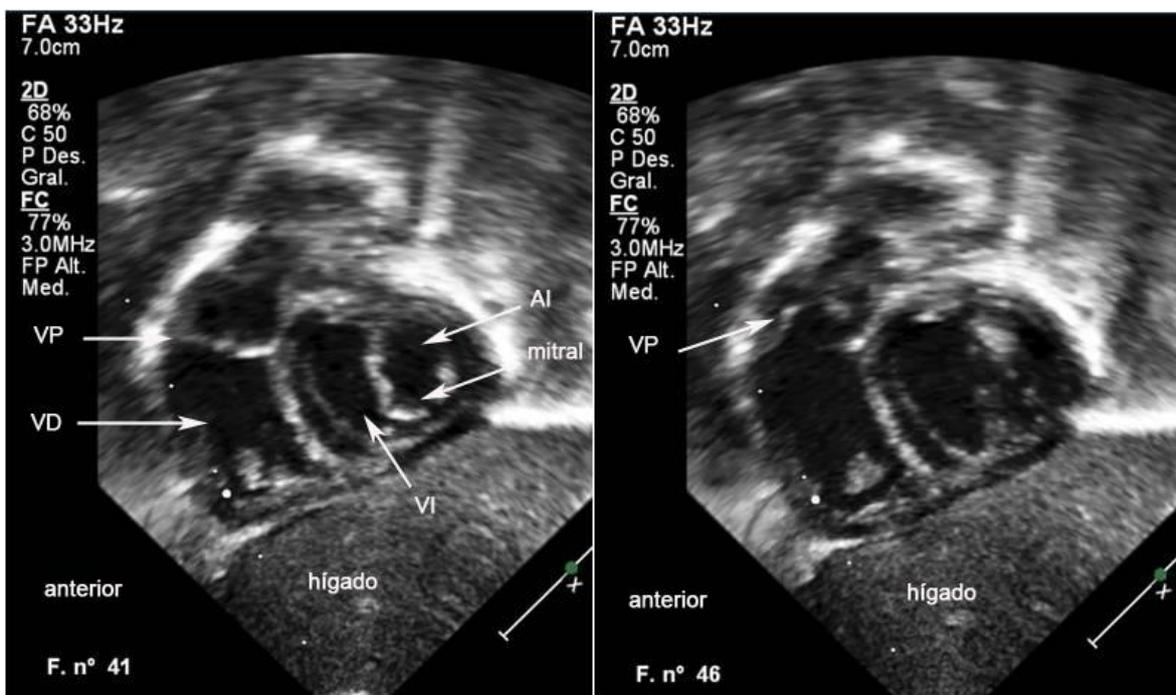


Figura 50. Proyección subcostal eje corto de recién nacida prematura (36 S) con diagnóstico de estenosis valvular pulmonar.
 Izquierda: Implantación anormalmente baja de válvula pulmonar.
 Derecha: Válvula pulmonar con apertura limitada.
 VD: ventrículo derecho; VP: válvula pulmonar; AI: aurícula izquierda; VI ventrículo izquierdo.

El estudio de los otros cuatro pacientes en que no se logró obtener el eje corto de la válvula pulmonar fue informado como normal, esto es, no hubo sospecha de patología valvular pulmonar desde el resto de las proyecciones y no se recogía flujo patológico a su través. Las características de estos cuatro pacientes se recogen en la tabla 12. Ninguno de ellos padecía enfermedad de base. Tres de ellos no tenían una buena ventana paraesternal. En tres de ellos el estudio se realizó con un equipo de alta gama y en uno con el equipo básico. Por último, tres de los estudios fueron realizados por un médico adjunto y uno por un médico residente.

Tabla 12. Pacientes en que no se consiguió un eje corto de la válvula pulmonar (n=4)						
	Edad	Peso (kg)	Buena ventana paraesternal	Diagnóstico	Equipo	Médico
Paciente 1	1 mes	4.030	No	Corazón normal	iE33	Residente
Paciente 2	3 meses	5,4	No	Corazón normal	iE33	Adjunto
Paciente 3	3 meses	5,150	No	Corazón normal	Sonos 5500	Adjunto
Paciente 4	5 meses	7,2	Si	Corazón normal	iE33	Adjunto

Ni la edad ni el peso de los pacientes jugaron un papel determinante en la visualización del eje corto de la válvula pulmonar (tablas 13 y 14). Analizada de forma independiente la variable “bajo peso”, no se encontró ninguna diferencia entre los grupos < 2,5 kg y > 2,5 kg (tabla 15).

Tabla 13. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función del “peso” (n: 202; miss: 8)

	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar	
Peso (kg)	Sí	No
Media	4,29	4,71
SD	2,24	1,99
IC	3,98-4,6	2,24-7,19
Total	197	5

p: 0,404943

Tabla 14. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “edad” (n: 210)

	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar	
Edad (meses)	Sí	No
Media	2,25	2,73
SD	3,75	2,07
IC	1,74-2,77	0,15-5,30
Total	205	5

p: 0,144472

En cuanto al resto de variables comparadas con la variable “visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” (“motivo de consulta”, “enfermedad de base”, “ventilación mecánica”, “CPAP/BIPAP”, “médico que realiza la exploración”, “equipo de ecocardiografía”, “buena ventana paraesternal” y “diagnóstico final”), sólo se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa en la calidad de la ventana paraesternal (tablas 15-24).

Tabla 15. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “peso < 2,5 kg ó > 2,5 kg” (n: 34) (miss: 8)

Peso	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
< 2,5 kg	33 16,34 16,75 97,06	1 0,5 20,00 2,94	34 16,83
>2,5 kg	164 81,19 83,25 97,62	4 1,98 80,00 2,38	168 83,16
Total	197 97,52	5 2,48	202 100

p: 1,000000

Tabla 16. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “motivo de estudio” (n: 210)

Motivo de estudio	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
Soplo	110 52,38 53,66 99,10	1 0,48 20,00 0,90	111 52,86
Descartar ductus	13 6,19 6,34 100,00	0 0,00 0,00 0,00	13 6,19
Dificultad respiratoria	12 5,71 5,85 100,00	0 0,00 0,00 0,00	12 5,71
Diagnóstico prenatal de cardiopatía	26 12,38 12,68 92,86	2 0,95 40,00 7,14	28 13,33
Estudio de enfermedad / síndrome	28 13,33 13,66 93,33	2 0,95 40,00 6,67	30 14,29
Otros	16 7,62 7,80 100	0 0,00 0,00 0,00	16 7,62
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 0,177622

Tabla 17. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “enfermedad de base” (n: 210)

Enfermedad de base	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
No	139 66,19 67,80 97,89	3 1,43 60,00 2,11	142 67,62
Patología respiratoria	37 17,62 18,05 94,87	2 0,95 40,00 5,13	39 18,57
No patología respiratoria	29 13,81 14,15 100	0 0,00 0,00 0,00	29 13,81
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 0,358700

Tabla 18. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “ventilación mecánica” (n: 210)

Ventilación mecánica	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
Sí	9 4,29 4,39 100,00	0 0,00 0,00 0,00	9 4,29
No	196 93,33 95,61 97,51	5 2,38 100,00 2,49	201 95,71
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 1,000000

Tabla 19. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “CPAP/BIPAP” (n: 210)

CPAP/BIPAP	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
Sí	18 8,57 8,78 100,00	0 0,00 0,00 0,00	18 8,57
No	187 89,50 91,22 97,40	5 2,38 100,00 2,60	192 91,43
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 1,000000

Tabla 20. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “médico que realiza la exploración” (n: 210)

Médico	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
Adjunto	114 54,29 55,61 96,61	4 1,90 80,00 3,39	118 56,19
Residente	91 43,33 43,39 98,91	1 0,48 20,00 1,09	92 43,81
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 0,388357

Tabla 21. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “equipo de ecocardiografía” (n: 210)			
Equipo	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %	Sí	No	Total
iE33 (Philips) (alta gama)	61 29,05 29,76 93,85	4 1,90 80,00 6,15	65 30,95
Sequoia (Siemens) (alta gama)	30 14,29 14,63 100,00	0 0,00 0,00 0,00	39 14,29
Sonos 5500 (Philips) (básico)	43 20,48 20,98 97,73	1 0,48 20,00 2,27	44 20,95
X-300 (Siemens) (gama media)	71 33,81 34,63 100,00	0 0,00 0,00 0,00	71 33,81
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 0,117695

Tabla 22. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “ventana paraesternal” (n: 210)			
Ventana	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %	Sí	No	Total
Buena	191 90,95 93,17 99,48	1 0,48 20,00 0,52	192 91,43
No buena	14 6,67 6,83 77,78	4 1,90 80,00 22,22	18 8,57
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 0,000184

Tabla 23. “Visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” en función de “diagnóstico final” (n: 210)			
Diagnóstico final	Adecuada visualización del eje corto de la válvula pulmonar		
	Sí	No	Total
Frecuencia Porcentaje Fila % Columna %			
Corazón normal	127 60,48 61,95 97,69	3 1,43 60,00 2,31	130 61,90
Ductus permeable / persistente	28 13,33 13,66 100,00	0 0,00 0,00 0,00	28 13,33
Comunicación interventricular	14 6,67 6,83 100,00	0 0,00 0,00 0,00	14 6,67
Estenosis valvular pulmonar	7 3,33 3,41 87,50	1 0,48 20,00 12,50	8 3,81
Otros	29 13,81 14,15 96,67	1 0,48 20,00 3,33	30 14,29
Total	205 97,62	5 2,38	210 100

p: 0,117695

Como se puede apreciar en la tabla 22, de los 192 pacientes que tenían buena ventana, sólo en 1 (0,52 %) no fue posible obtener el eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta, mientras que del grupo de 18 pacientes que no tenían buena ventana, esto sucedió en 4 (22,22 %; $p < 0,001$).

En la tabla 24 se detallan las comparaciones realizadas y los valores de la pruebas de significación.

Tabla 24. Comparación de la variable “visualización del eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta” y resto de variables” (n: 210)	
	p-valor
Visualización / Peso	0,404943
Visualización / Edad	0,144472
Visualización / Motivo de consulta	0,177622
Visualización / Enfermedad de base	0,358700
Visualización / Ventilación mecánica	1,000000
Visualización / CPAP-BIPAP	1,000000
Visualización / Médico que realiza la exploración	0,388357
Visualización / Equipo	0,117695
Visualización / Ventana paraesternal buena	0,000184
Visualización / Diagnóstico final	0,268609

7.2. VISUALIZACIÓN DE OTRAS ESTRUCTURAS

Desde la proyección transesternal alta, siguiendo el protocolo diseñado (es decir, **inclinando el plano de corte hacia abajo**) y siempre antes de colocar al paciente con el cuello en hiperextensión para obtener las proyecciones supraesternales, además de la válvula pulmonar, se ha podido estudiar en nuestros pacientes: 1º) la bifurcación de la arteria pulmonar; 2º) el drenaje de las venas pulmonares; 3º) la arteria coronaria izquierda y su bifurcación en descendente anterior y circunfleja.

Explorando todas las posibilidades de la proyección transesternal alta, hemos observado que **inclinando el plano de corte hacia arriba**, desde la posición inicial referida en nuestro protocolo, pueden visualizarse con detalle otras estructuras que habitualmente sólo se podrían estudiar desde la incómoda proyección supraesternal, sin la necesidad de colocar al paciente en hiperextensión. Estas estructuras son: 1º) la vena innominada y la lateralidad del arco aórtico; 2º) el origen de los troncos supraaórticos; 3º) la bifurcación del primer tronco (en arteria carótida y arteria subclavia derechas en caso de arco aórtico izquierdo normal, descartando así la presencia de arteria subclavia derecha aberrante; en arteria carótida y arteria subclavia izquierdas en caso de arco aórtico derecho, descartando así la presencia de arteria subclavia izquierda aberrante).

7.2.1. BIFURCACIÓN DE LA ARTERIA PULMONAR

Al colocar el transductor en la posición de referencia inicial descrita en nuestro protocolo (sobre el manubrio del esternón con la señal de posición a

las “tres en punto”), la estructura que aparece en primer lugar, moldeando el timo, es la arteria pulmonar distal y su bifurcación (figura 51). A la derecha se sitúan la aorta ascendente y la vena cava superior. La estructura sobre la que se bifurca la arteria pulmonar es la aurícula izquierda.

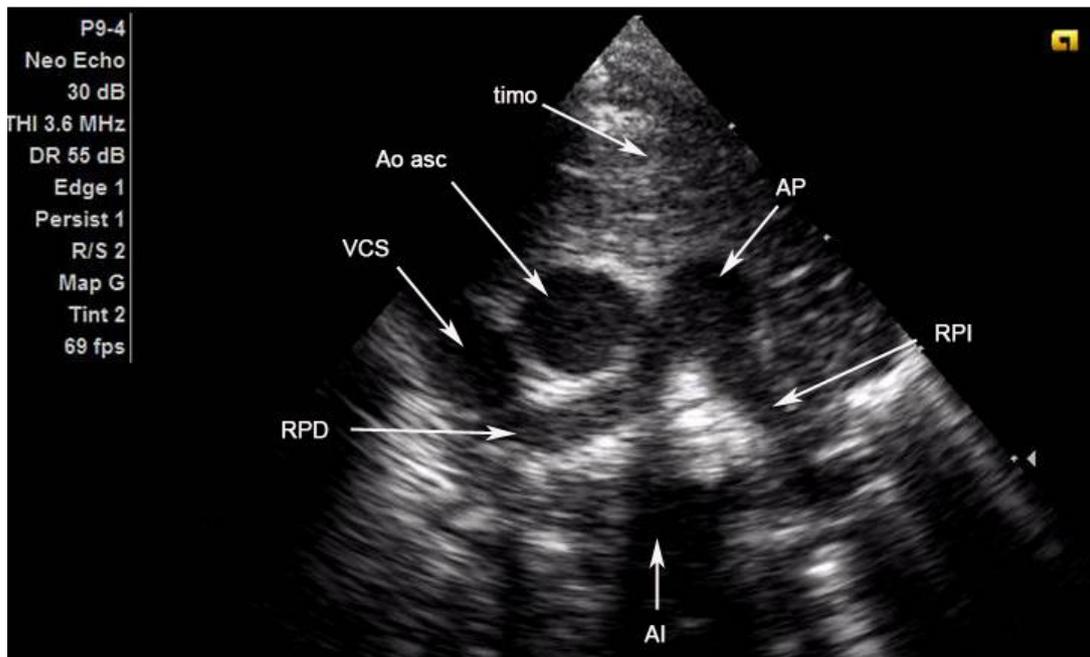


Figura 51. Proyección transesternal alta. Ramas pulmonares.

VCS: vena cava superior; AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; AI: aurícula izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

7.2.2. DRENAJE DE LAS VENAS PULMONARES

Inclinando el plano de corte hacia abajo y siguiendo el tronco pulmonar en sentido retrógrado, se dejan de ver las ramas pulmonares y se visualiza mejor la aurícula izquierda con las venas pulmonares drenando en la misma. Con doppler color y bajando la escala de velocidad del equipo para detectar flujos venosos, en condiciones normales deben identificarse las cuatro venas

drenando en la aurícula izquierda (figura 52), en una imagen muy similar a la que se obtiene desde la proyección supraesternal eje corto (figura 34).

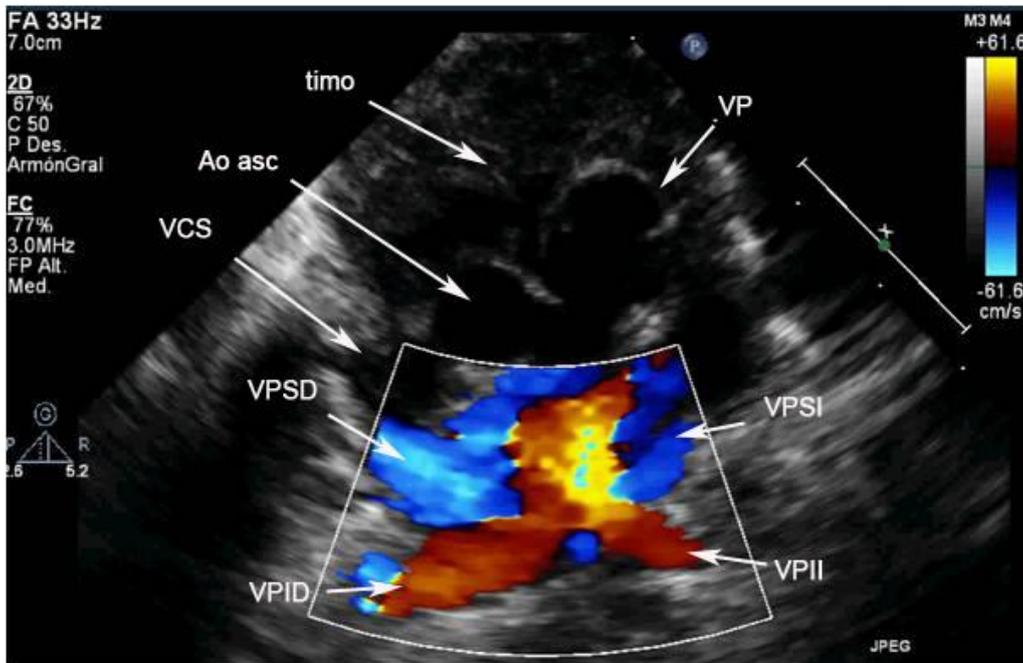


Figura 52. Proyección transesternal alta. Aurícula izquierda y venas pulmonares.
VCS: vena cava superior; VP: válvula pulmonar; VPSD: vena pulmonar superior derecha; VPID: vena pulmonar inferior derecha; VPSI: vena pulmonar superior izquierda; VPII: vena pulmonar inferior izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

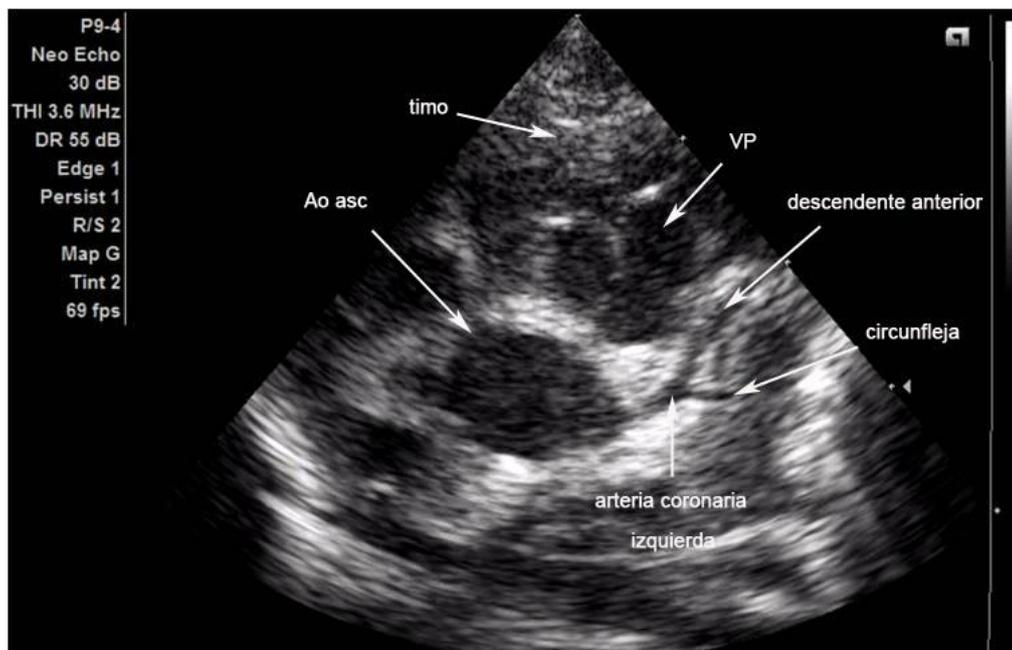


Figura 53. Proyección transesternal alta. Arteria coronaria izquierda y su bifurcación.
VCS: vena cava superior; VP: válvula pulmonar; Ao asc: aorta ascendente.

7.2.3. ARTERIA CORONARIA IZQUIERDA Y BIFURCACIÓN

Si se sigue inclinando ligeramente el transductor en sentido inferior, aparece el eje corto de la válvula pulmonar (figura 47). En esta posición, inmediatamente por debajo de la válvula pulmonar, se puede visualizar la arteria coronaria izquierda en todo su recorrido hasta su bifurcación en arteria descendente anterior y arteria circunfleja (figura 53), imagen que habitualmente no se obtiene desde la proyección paraesternal eje corto convencional. Sólo se consigue una imagen similar una proyección paraesternal eje corto modificada (esto es, girando el transductor en sentido horario) (21).

7.2.4. VENA INNOMINADA Y LATERALIDAD DEL ARCO AÓRTICO

Desde la posición de referencia inicial (transductor sobre el manubrio del esternón y la señal de posición a las “tres en punto”), tomando como punto de referencia la bifurcación de la arteria pulmonar, **si se inclina el plano de corte hacia arriba**, se puede obtener una imagen excelente del tronco venoso innominado izquierdo, similar a la que se obtiene desde la proyección supraesternal eje corto. En condiciones normales, a la izquierda de este tronco venoso, se puede identificar el arco aórtico dirigiéndose a la izquierda (arco aórtico izquierdo) (figura 54).

7.2.5. TRONCOS SUPRAAÓRTICOS

Si se continúa Inclinando en el mismo sentido, se visualizan los troncos supraaórticos cortados de través y puede seguirse el primer tronco hasta su bifurcación. En situación normal, el primer tronco se dirige a la derecha y se bifurca en arteria carótida y arteria subclavia derechas (figura 54).

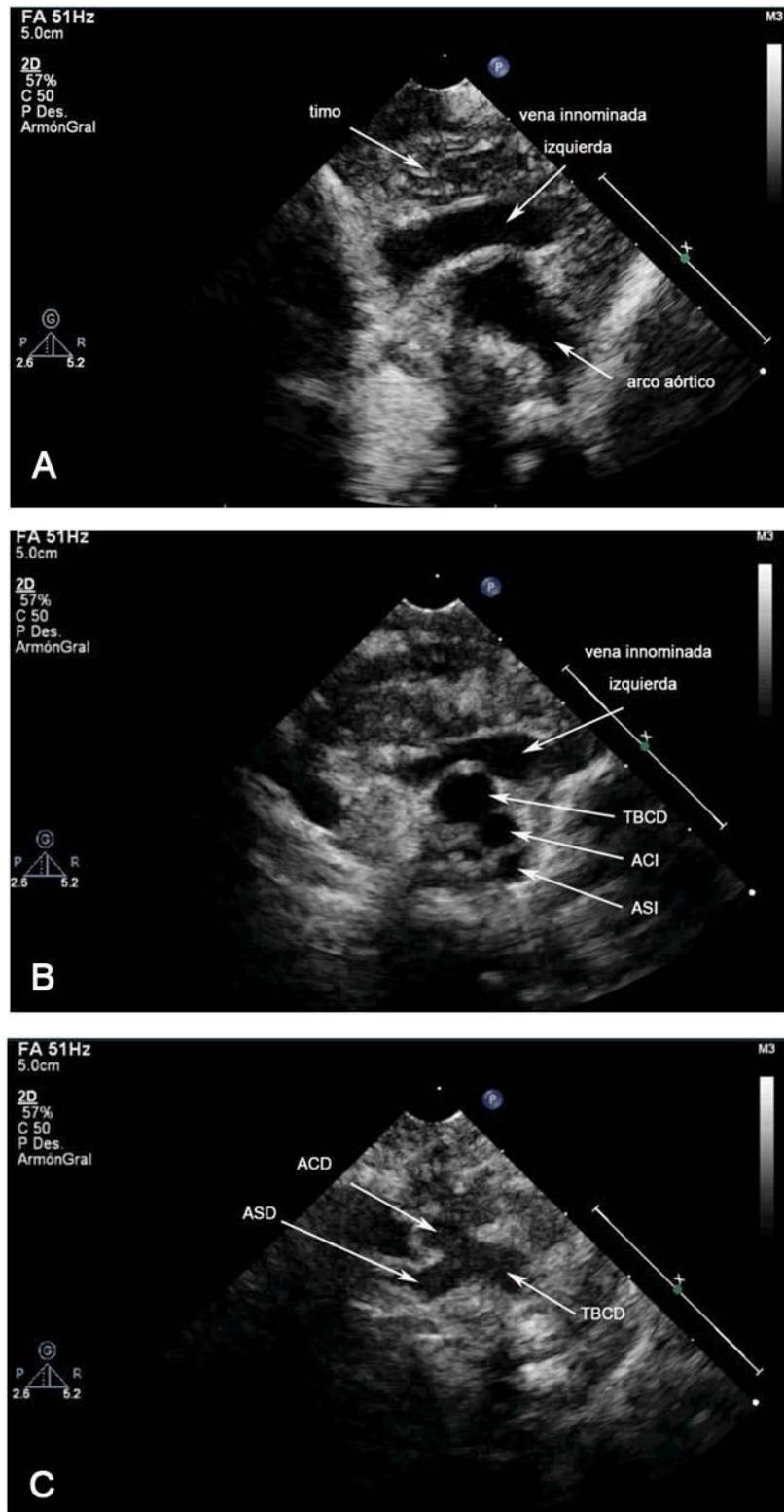


Figura 54. Proyección transesternal alta. **Inclinando hacia arriba.**

Inclinando el plano de corte hacia arriba desde la posición inicial se obtiene una imagen excelente de la vena innominada (o vena innominada izquierda) (A). A la izquierda de esta estructura puede identificarse el recorrido del arco aórtico (arco aórtico izquierdo). Si se continúa inclinando, aparecen los troncos supraaórticos cortados de través (B) y se puede seguir el primer tronco hasta su bifurcación (C). TBCD: tronco braquiocefálico derecho; ASD: arteria subclavia derecha; ACD: arteria carótida derecha; ACI: arteria carótida izquierda; ASI: arteria subclavia izquierda.

De esta manera, se han podido identificar anomalías en la lateralidad del arco (arco aórtico derecho) y anomalías vasculares (arteria subclavia izquierda aberrante) desde la proyección transesternal (figura 55), que se confirmaron posteriormente desde la proyección supraesternal.

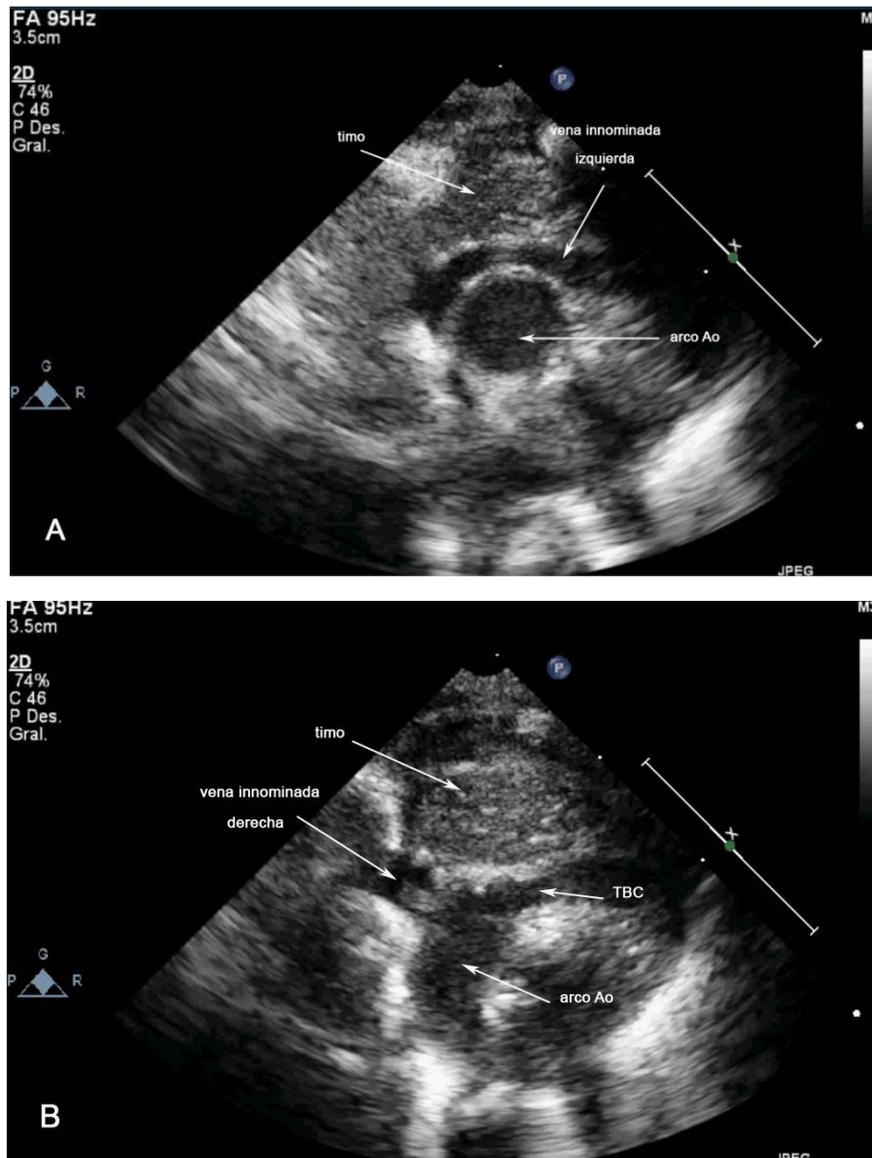


Figura 55. Proyección transesternal alta en una recién nacida de 4 días de vida con arco aórtico derecho y arteria subclavia izquierda aberrante. Inclinando hacia arriba desde la posición inicial se visualiza la vena innominada izquierda (A). A la izquierda de esta estructura se encuentra el arco aórtico y llama la atención que no se dirige a la izquierda. Si se continúa inclinando, se observa que el primer tronco supraaórtico se dirige a la izquierda y el arco aórtico a la derecha (B). Este primer tronco no se bifurca por lo que se trata de la arteria carótida izquierda. La arteria subclavia izquierda es aberrante. En la vena innominada derecha se observa el extremo de un catéter central.
arco Ao: arco aórtico; TBC: tronco braquiocefálico.

7.3. PROYECCIÓN TRANSESTERNAL LONGITUDINAL

La proyección transesternal de referencia es la proyección transesternal alta, que se obtiene, según el protocolo descrito, colocando el transductor sobre el manubrio del esternón, con su eje mayor paralelo a la línea intermamilar y la señal de posición orientada hacia la izquierda del paciente (posición a las “tres en punto”) (figura 46). Una proyección alternativa en pacientes en los que el esternón todavía no ha completado su proceso de osificación es la proyección transesternal longitudinal. Esta proyección se obtiene colocando el transductor sobre el esternón (manubrio o cuerpo) con la señal de posición a las “doce en punto” y permite realizar cortes sagitales del corazón, similares a los que se obtienen desde la proyección subcostal eje corto (figura 18).

En pacientes con mala ventana paraesternal, como recién nacidos prematuros con patología pulmonar y/o con algún tipo de asistencia respiratoria, la proyección transesternal longitudinal nos ha resultado de gran utilidad para obtener planos ecocardiográficos similares a los que se obtendrían desde las proyecciones paraesternales si no se hubiera interpuesto parénquima pulmonar. De esta manera, desde una posición alta, esto es, con el transductor sobre el manubrio del esternón, si se inclina el plano de corte hacia la izquierda (figura 56), se puede visualizar el plano del ductus arterioso en una imagen muy similar a la que habitualmente se obtiene desde una proyección paraesternal izquierda alta (figura 25). Si se inclina el plano de corte hacia la derecha (figura 57), la imagen que se obtiene es equivalente al eje de

cavas que se visualiza desde la proyección paraesternal derecha eje largo (figura 36).

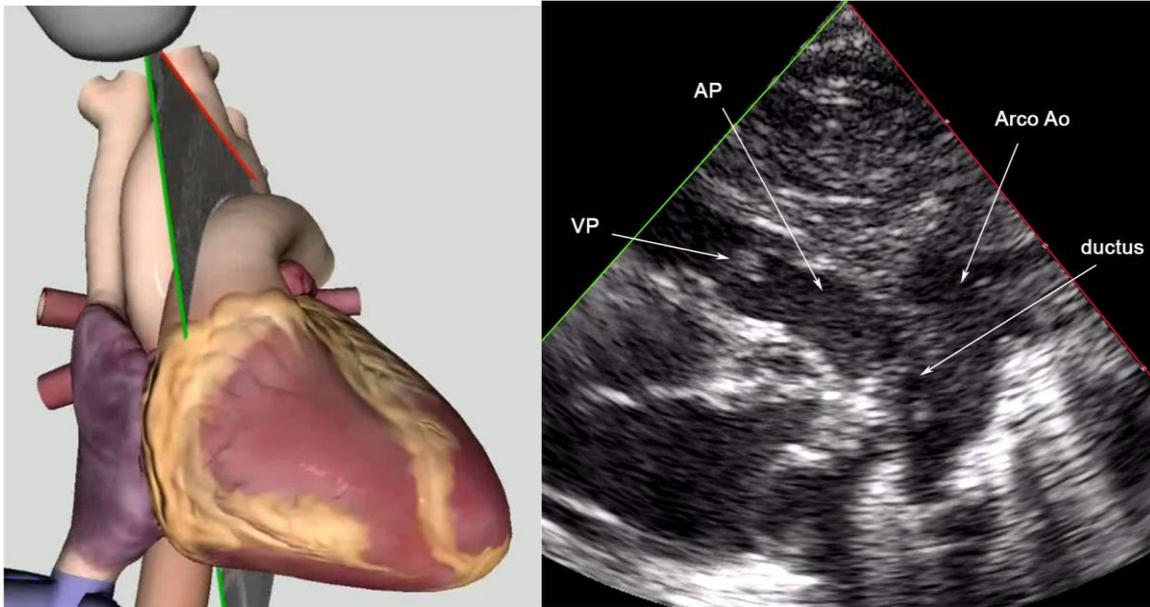


Figura 56. Proyección transesternal longitudinal en paciente de 2 meses, gran prematuro, con displasia broncopulmonar y mala y mala ventana paraesternal. Desde esta proyección se puede obtener el plano ductal inclinando el plano de corte hacia la izquierda. En la imagen se observa un ductus cerrado.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VP: válvula pulmonar; AP: arteria pulmonar; Arco Ao: arco aórtico.

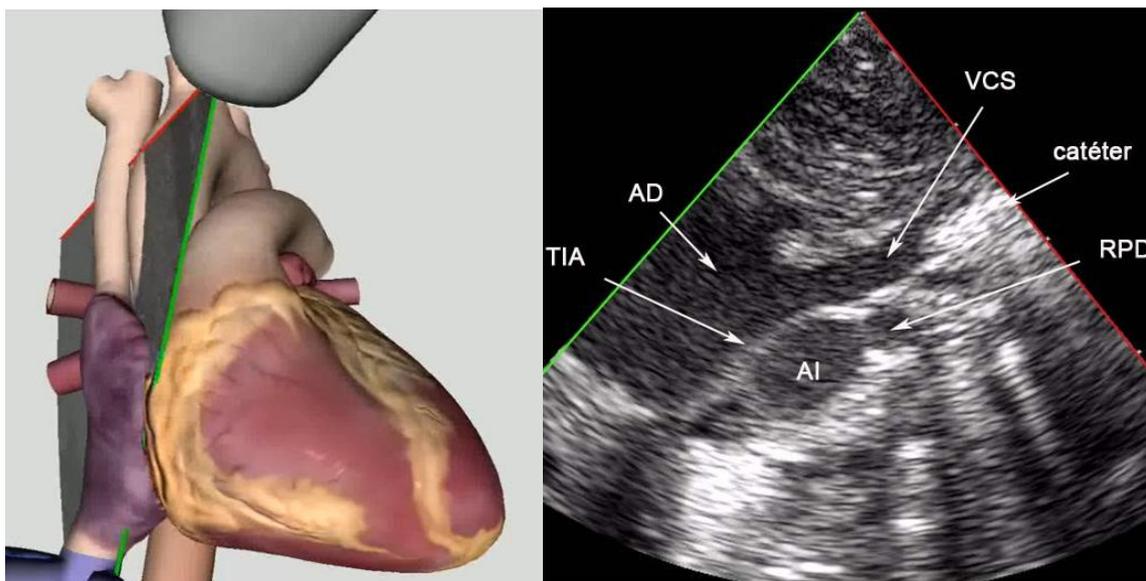


Figura 57. Proyección transesternal longitudinal en el mismo paciente. Inclinando el plano de corte hacia la derecha se obtiene un eje de cavas.

© CAE Healthcare 2015 / Medical Simulator.

VCS: vena cava superior; AD: aurícula derecha; TIA: tabique interauricular; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda.

7.4. TRANSPOSICIÓN DE GRANDES ARTERIAS

Se ha empleado de forma rutinaria la proyección transesternal en el estudio de pacientes con cardiopatía congénita y se ha observado que los pacientes que más se pueden beneficiar son los neonatos y lactantes con transposición de grandes arterias, sobretodo en la evaluación postoperatoria.

7.4.1. EVALUACIÓN PREOPERATORIA

a) Proyección transesternal alta:

En la transposición de grandes arterias, la posición ligeramente más superior de la válvula aórtica hace que muchas veces no se vean los dos anillos a la vez. En esta situación, la proyección transesternal alta ha servido para complementar la evaluación de la relación de los anillos valvulares que se realiza habitualmente desde la proyección paraesternal eje corto (figura 58).

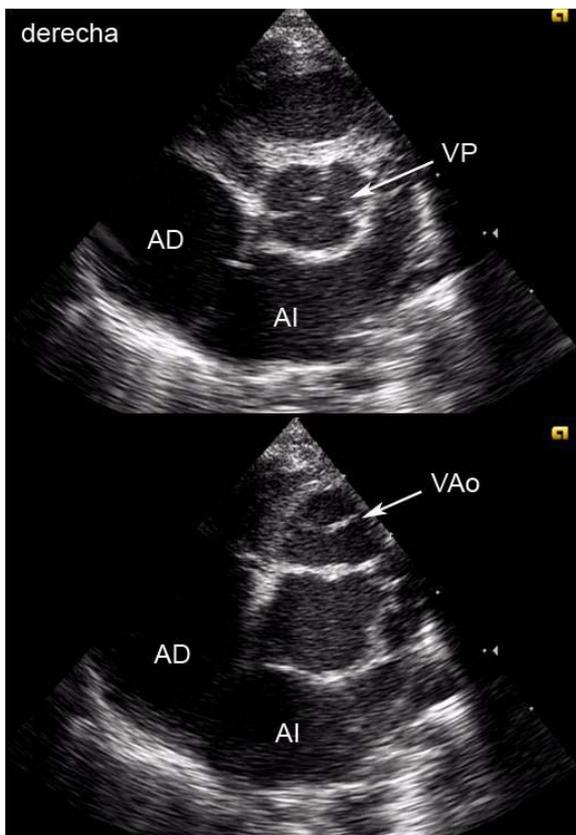


Figura 58. Proyección transesternal alta de un recién nacido con transposición de grandes arterias. Vasos en posición anteroposterior. Arriba: Visualización del anillo pulmonar en posición posterior y ligeramente más inferior. Abajo: Visualización del anillo aórtico en posición ligeramente más superior.

AD: aurícula derecha; VP: válvula pulmonar; AI: aurícula izquierda; VAo: válvula aórtica.

b) Proyección transesternal longitudinal:

En la transposición de grandes arterias, los vasos suelen tener una disposición anteroposterior, con la aorta anterior originándose del ventrículo derecho y la pulmonar, posterior, naciendo del ventrículo izquierdo. Desde su origen, los vasos ascienden en paralelo. La proyección transesternal longitudinal ha sido muy útil para visualizar la aorta y la arteria pulmonar simultáneamente y estudiar con detalle su relación y anatomía (figura 59).

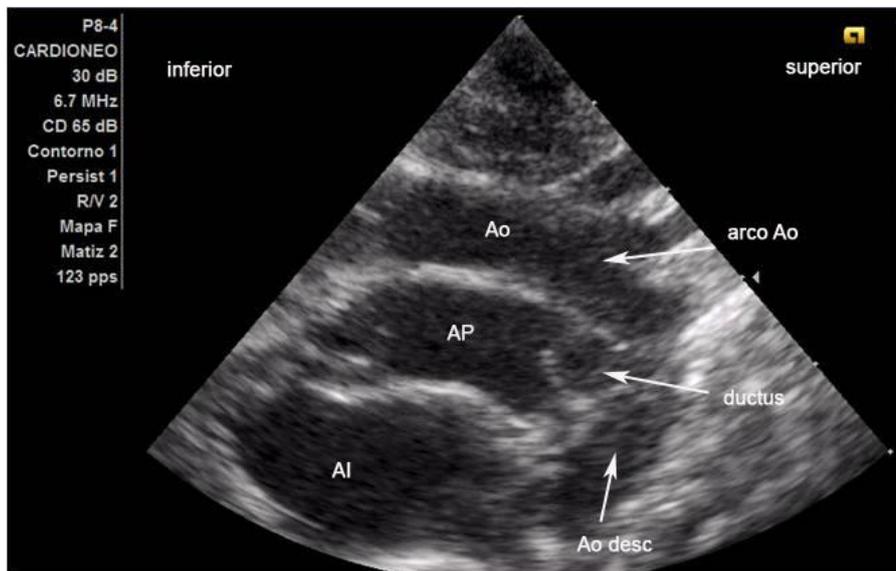


Figura 59. Proyección transesternal longitudinal. Transductor sobre el manubrio del esternón con la señal de posición a las “doce en punto”.
Ao: aorta; AP: arteria pulmonar; AI: aurícula izquierda; arco Ao: arco aórtico; Ao desc: aorta descendente.

7.4.2. EVALUACIÓN POSTOPERATORIA

a) Proyección transesternal alta:

La maniobra de Lecompte que se realiza durante la corrección completa anatómica (“switch arterial”) sitúa a la arteria pulmonar en posición anterior con

las ramas pulmonares “abrazando” a la aorta ascendente. Esta disposición se identifica muy bien en las imágenes de resonancia magnética cardíaca (figura 60), pero una imagen similar no se suele obtener desde las proyecciones ecocardiográficas habituales. Desde la proyección transesternal alta, con la señal de posición a las “tres en punto”, se puede obtener un corte transversal de la aorta ascendente y de ambas ramas a cada lado de la misma (figura 61). Esta proyección permite medir con precisión el tamaño de las ramas y estudiar su flujo con doppler (jet paralelo al haz de ultrasonido).

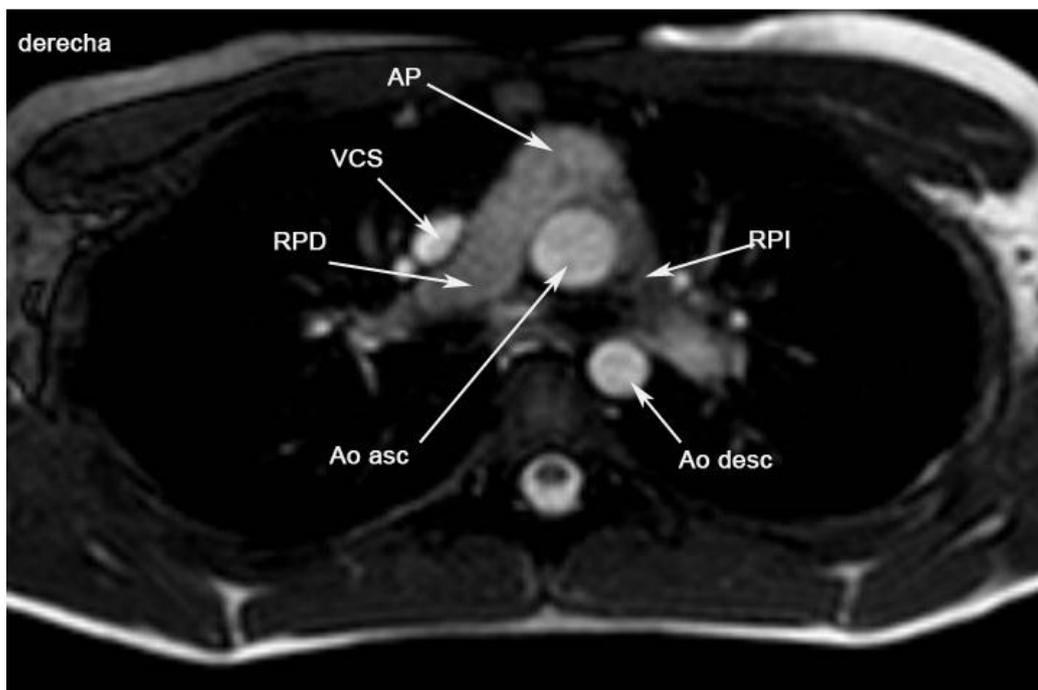


Figura 60. Imagen de resonancia magnética cardíaca de paciente con transposición de grandes arterias intervenida (secuencia axial potenciada en T2 con sangre blanca). La maniobra de Lecompte coloca la arteria pulmonar por delante de la aorta. Las ramas “abrazan” a la aorta ascendente. VCS: vena cava superior; AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; Ao asc: aorta ascendente; Ao desc: aorta descendente.

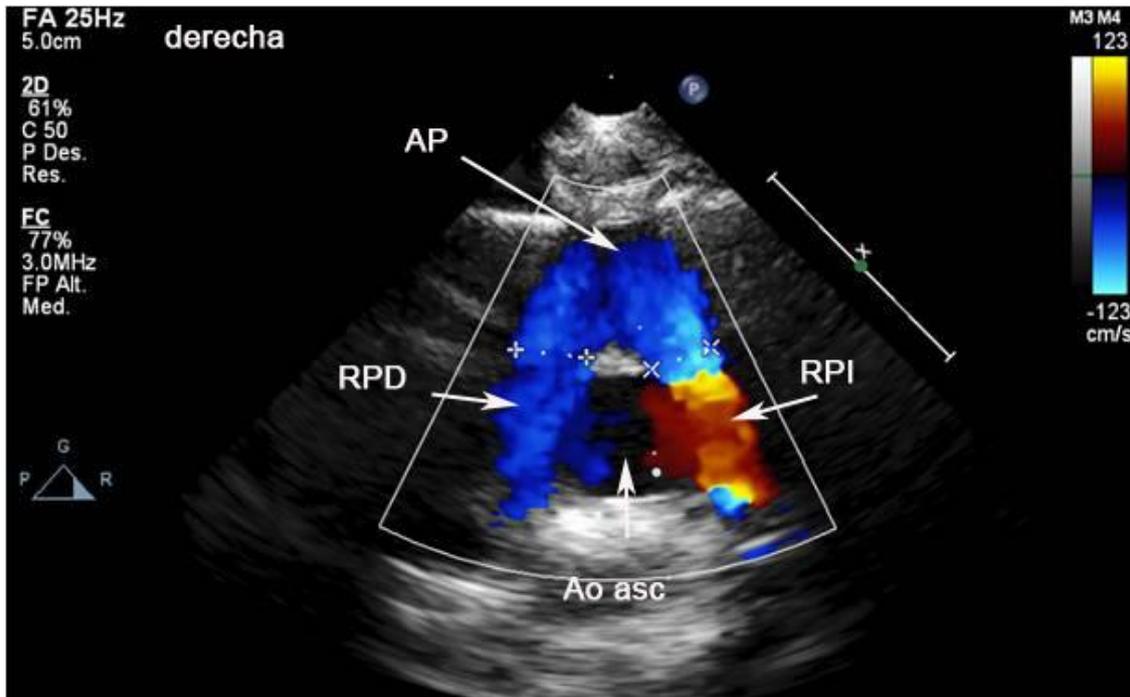


Figura 61. Proyección transesternal alta. Paciente con transposición de grandes arterias intervenida. Las ramas pulmonares “abrazan” a la aorta ascendente. Existe una aceleración de flujo en la rama pulmonar izquierda.
 AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; RPI: rama pulmonar izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

b) Proyección transesternal longitudinal:

Esta proyección ha permitido visualizar simultáneamente la arteria pulmonar y la aorta después de la corrección anatómica, de forma similar a la imagen que se obtiene mediante resonancia magnética cardiaca (figura 62). Esta imagen permite caracterizar la región supralvular pulmonar, habitualmente mal visualizada desde otras proyecciones. Para estudiar las ramas pulmonares es preciso inclinar el transductor desde la posición original (señal de posición a las “doce en punto”) hacia la izquierda (rama pulmonar izquierda) y hacia la derecha (rama pulmonar derecha) (figura 63). Una imagen parecida sólo podría obtenerse desde la proyección subcostal eje corto.

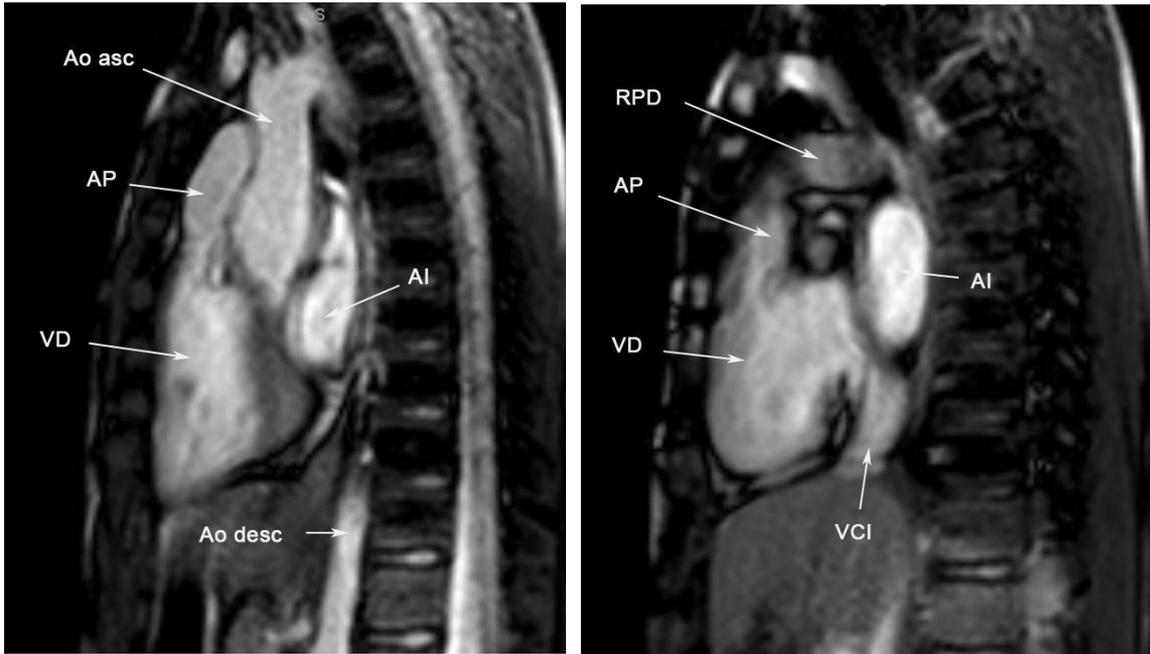


Figura 62. Imagen de resonancia magnética cardiaca de paciente con transposición de grandes arterias intervenida (secuencias sagitales potenciadas en T2 con sangre blanca). Izquierda: La arteria pulmonar es anterior a la aorta ascendente. La aorta ascendente tiene la habitual angulación en arco como resultado de la corrección quirúrgica. Derecha: Corte sagital ligeramente desplazado a la derecha. Se identifica la rama pulmonar derecha a un lado de aorta ascendente.

VCI: vena cava inferior; VD: ventrículo derecho; AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; AI: aurícula izquierda; Ao asc: aorta ascendente.

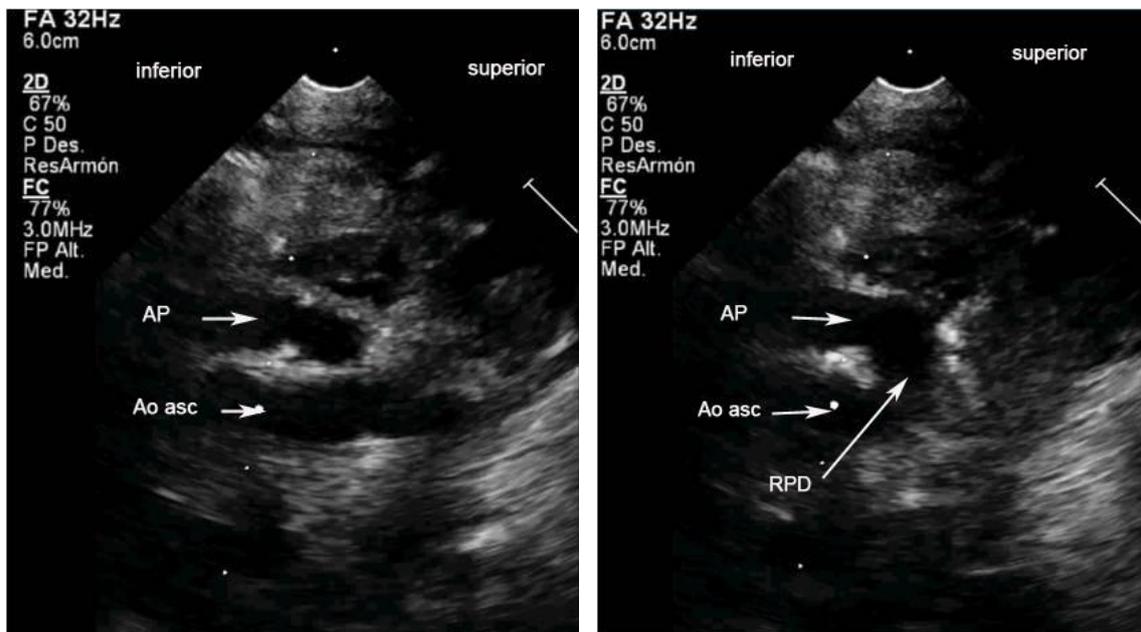


Figura 63. Proyección transternal longitudinal. Izquierda: La arteria pulmonar es anterior a la aorta ascendente. Derecha: Inclinando el plano de corte a la derecha, se identifica la rama pulmonar derecha.

AP: arteria pulmonar; RPD: rama pulmonar derecha; Ao asc: aorta ascendente.

8. DISCUSIÓN

8.1. EJE CORTO DE LA VÁLVULA PULMONAR

Los resultados del estudio demuestran que la proyección transesternal alta obtenida según el protocolo descrito es eficaz para visualizar el eje corto de la válvula pulmonar en neonatos y lactantes pequeños en distintos escenarios clínicos.

Se ha podido identificar la morfología de la válvula pulmonar gracias a esta proyección en el 97,62 % del total de pacientes (205 de 210 pacientes) y en el 90 % de aquellos con diagnóstico de estenosis valvular pulmonar (9 de 10 pacientes). Esta información no se habría obtenido empleando sólo los planos ecocardiográficos habituales. Además, si no se hubiera obtenido el eje corto de la válvula desde la proyección transesternal alta en los pacientes con estenosis valvular pulmonar, el diagnóstico final habría sido genérico (estenosis valvular pulmonar leve, moderada o grave), sin aportar la descripción completa de la morfología valvular (por ejemplo, “válvula pulmonar bicúspide con estenosis...”).

No se encontraron diferencias significativas a la hora de visualizar adecuadamente la morfología de la válvula pulmonar en relación con la mayoría de variables recogidas: peso, edad, motivo de consulta, presencia de enfermedad respiratoria de base, necesidad de algún tipo de asistencia respiratoria (ventilación mecánica; CPAP / BIPAP), médico que realiza la exploración (médico adjunto o médico residente), equipo de ecocardiografía-Doppler empleado (gama alta, gama media o básico) y diagnóstico ecocardiográfico final. Tampoco se encontraron diferencias cuando se analizó

la influencia del bajo peso (peso < 2,5 kg) en la visualización del eje corto de la válvula pulmonar ($p=1$).

La calidad de la ventana paraesternal fue la única variable que influyó en la obtención del eje corto de la válvula pulmonar, de manera que la imposibilidad para definir la morfología de la válvula (no visualización adecuada) fue significativamente más frecuente en el grupo que no tenía buena ventana paraesternal (0,52 % en el grupo con buena ventana frente a 22,22 % en el grupo con mala ventana; $p < 0,001$).

Las ventanas ecocardiográficas que se emplean habitualmente en adultos permiten el estudio anatómico y funcional detallado de prácticamente todas las estructuras del corazón. Sin embargo, la válvula pulmonar se visualiza habitualmente en ecocardiografía transtorácica bidimensional sólo en su eje longitudinal, proyección que no permite definir por completo su morfología. La visualización de la válvula pulmonar en una sección transversal (eje corto) nos proporcionaría una imagen similar a la que se obtiene de la válvula aórtica desde la proyección paraesternal eje corto, es decir, una imagen en la que se podría identificar el número de velos y comisuras que la componen. La posición anatómica habitual de la válvula pulmonar hace que sea difícil conseguirlo en condiciones normales (54).

La válvula pulmonar está situada por detrás y ligeramente a la izquierda del esternón, a nivel del tercer cartílago costal, orientada hacia arriba, hacia la izquierda y hacia posterior en dirección, hacia la región media de la escápula izquierda (figura 44) y habitualmente se encuentra cubierta por parénquima pulmonar (borde anterior del lóbulo superior izquierdo) (figura 9). En la literatura

se describen casos aislados en los que la patología del lado derecho condiciona una modificación significativa de la anatomía del ventrículo derecho y permite obtener un eje corto de la válvula pulmonar desde una ventana paraesternal (55). Sin duda, esta situación está cambiando como resultado de los rápidos avances tecnológicos en el campo de la imagen. La progresiva introducción en la práctica clínica de la ecocardiografía tridimensional, de la tomografía axial (cardioTAC) y de la resonancia magnética cardiaca en el estudio del paciente con cardiopatía está poniendo de manifiesto detalles anatómicos que hasta el momento actual no habían podido ser visualizados y, de hecho, cuando se consiguen visualizar, se publican como hallazgos excepcionales y temas de futuro desarrollo (figura 64) (56) (57) (58) (59) (60) (61).

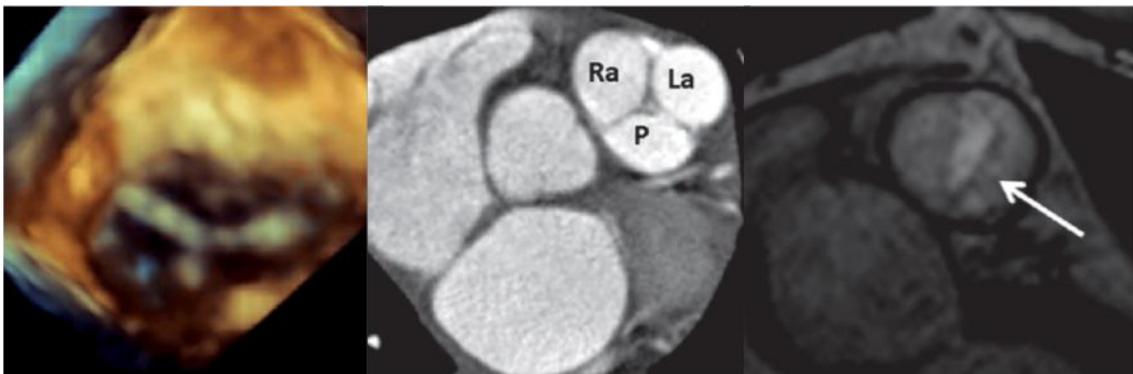


Figura 64. Visualización del eje corto de la válvula pulmonar. A. Ecocardiografía tridimensional. Válvula pulmonar trivalva (57). B. CardioTAC. Corte axial del corazón. Válvula pulmonar trivalva (61). C. Resonancia magnética cardiaca. Válvula pulmonar bicúspide (61).

Los pacientes pediátricos suelen tener una excelente ventana acústica que permite obtener la información anatómica y fisiológica suficiente para el diagnóstico y manejo de la mayor parte de cardiopatías congénitas. De hecho, en el momento actual, en la mayoría de ocasiones el tratamiento quirúrgico se

indica en base a los datos ecocardiográficos, en tanto que el cateterismo cardiaco diagnóstico se reserva para determinados pacientes con anatomía o fisiopatología compleja (62) (63). Sin embargo, el eje corto de la válvula pulmonar tampoco se obtiene de forma rutinaria en cardiología pediátrica (64) (65). De la misma manera que ha sucedido con los adultos, se ha comunicado que se puede conseguir un corte transversal de la válvula pulmonar, desde una proyección paraesternal izquierda alta en situaciones en las que existe patología derecha (66) (67). Se describe que la hipertrofia ventricular derecha empuja el anillo hacia arriba y hacia atrás, colocándolo más lejos de la región precordial y en una posición más vertical. Para obtener el eje corto de la válvula pulmonar, se aconseja obtener primero un eje corto de la válvula aórtica desde una posición paraesternal izquierda alta y, desde esta posición, rotando el transductor aproximadamente 10-20° en sentido horario aparecería el eje corto de la válvula pulmonar (figuras 44 y 65) (68) (69). Sin embargo, no se hace referencia a la posibilidad de obtener estas imágenes de forma sistemática en pacientes de corta edad desde una proyección transesternal.

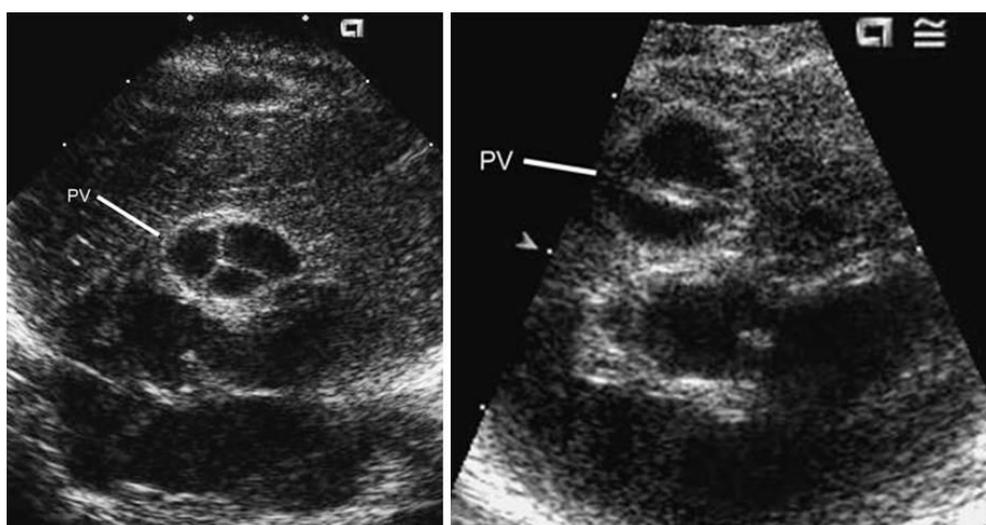


Figura 65. Proyección paraesternal izquierda alta (“high parasternal view”). Izquierda: Válvula pulmonar normal. Derecha: Válvula pulmonar bicúspide (68).
PV: pulmonary valve.

Muy recientemente, un artículo de revisión sobre ecocardiografía de la válvula pulmonar en niños continúa reconociendo que el eje corto de la válvula pulmonar es difícil de obtener y no menciona la posibilidad de obtener el eje corto de la válvula pulmonar en neonatos y lactantes desde un abordaje transesternal (65):

“In the short-axis view, it may be difficult to obtain an en face view of the pulmonary valve. In the normal heart, rotation of the transducer from the parasternal long-axis to short-axis view tends to foreshorten the images of the pulmonary valve. Conversely, in certain disease states such as pulmonary hypertension or dilatation of the right ventricle, the angle of the pulmonary valve is moved, and in such cases a clear en face view of the pulmonary valve leaflet can be obtained”.

En las edades tempranas de la vida se dan unas circunstancias únicas que hacen posible la obtención de proyecciones ecocardiográficas inaccesibles en otras etapas. En neonatos y lactantes, el esternón y las costillas son estructuras predominantemente cartilaginosas que transmiten muy bien el ultrasonido. Además, el timo, localizado en el mediastino anterosuperior y con densidad de tejido blando, en este grupo de edad es un órgano desproporcionadamente grande que impide que se interponga pulmón y facilita la visualización de las estructuras cardiovasculares (figura 7) (49) (70). Por otro lado, la hipertrofia ventricular derecha característica del recién nacido a término determina una conformación anatómica distinta del corazón y del anillo pulmonar. En el neonato normal, el corazón ocupa la región centrotorácica y el ventrículo derecho forma la mayor parte de la superficie anterior del corazón (figura 10). La arteria pulmonar sigue un trayecto directo hacia atrás, muy

horizontalizado, hasta la bifurcación, y coloca al anillo pulmonar en una posición más vertical (16). Por tanto, desde una posición transesternal alta, en este grupo de edad, el ultrasonido puede acceder sin dificultades al corazón y, orientando el plano de corte en busca del anillo pulmonar, se puede conseguir un eje corto de la válvula pulmonar en la mayor parte de neonatos y lactantes.

En nuestro laboratorio de ecocardiografía, durante la práctica clínica habitual, hemos evidenciado de forma casual la utilidad del uso de la proyección transesternal alta en el estudio de la morfología de la válvula pulmonar y de otras estructuras en neonatos y lactantes. En este grupo de edad, visualizamos habitualmente la válvula pulmonar en eje corto desde la proyección transesternal alta en prácticamente todos los pacientes, por lo que hemos incorporado el plano en el estudio sistemático del corazón de nuestros pacientes y así lo hemos notificado a la comunidad científica (71).

El plano transesternal alto se obtiene con el paciente en decúbito supino, preferiblemente con la cabeza girada hacia la izquierda porque con ello conseguimos un mínimo grado de decúbito lateral izquierdo y el corazón se aproxima a la pared anterior del tórax. El transductor debe posicionarse sobre el manubrio del esternón con su eje mayor paralelo a la línea intermamilar (señal de posición “a las tres en punto”). La estructura cardiovascular que se suele identificar inicialmente es la bifurcación de la arteria pulmonar y se toma como referencia. Posteriormente, desde esta posición, basta con inclinar el plano de corte ligeramente hacia inferior siguiendo el tronco pulmonar en sentido retrógrado hasta visualizar el corte transversal de la válvula pulmonar. De esta manera, se pueden obtener unas excelentes imágenes del eje corto de la válvula pulmonar y caracterizar la válvula según su morfología. Siguiendo

este protocolo, en nuestro laboratorio hemos podido identificar con precisión la mayoría de anomalías congénitas de la válvula pulmonar con que nos hemos enfrentado en los últimos años (figura 66) (71).

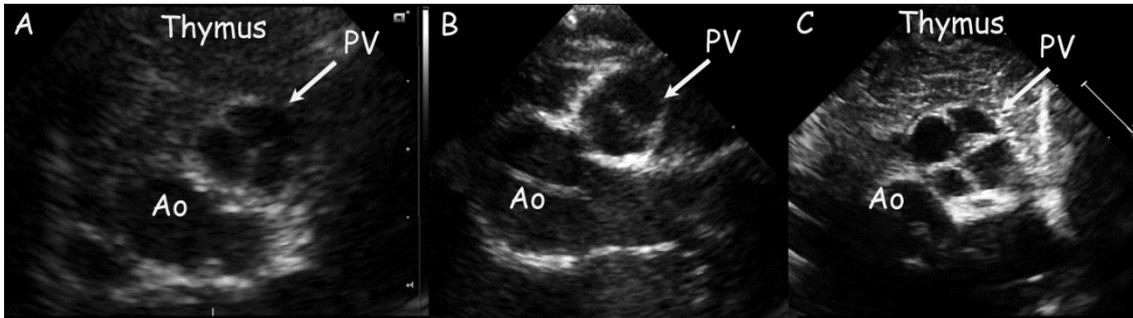


Figura 66. Proyección transesternal alta. A. Válvula pulmonar normal. B. Válvula pulmonar bicúspide normofuncionante. C. Válvula pulmonar cuatricúspide normofuncionante (71). PV: pulmonary valve; Ao: aorta.

En el momento actual, la proyección transesternal es utilizada de forma rutinaria por los radiólogos infantiles para estudiar las estructuras mediastínicas en neonatos y lactantes de corta edad (72). En sus exploraciones se describe la relación del timo con los vasos del mediastino anterosuperior pero, lógicamente, no se estudia con detalle la anatomía cardiaca (73) (figura 67).

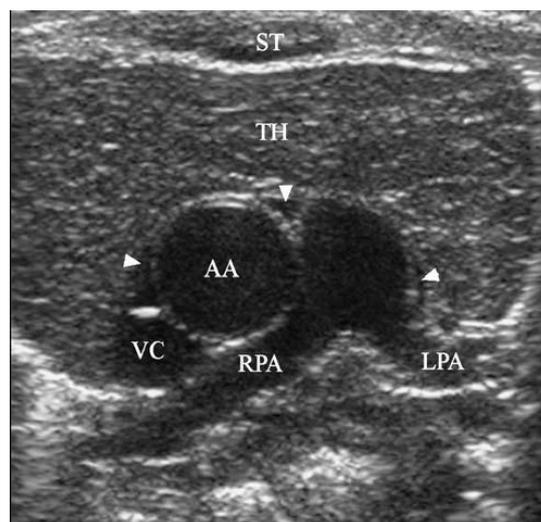


Figura 67. Corte transversal del mediastino anterior en un recién nacido. Transductor lineal (73). AA: ascending aorta; VC: vena cava; RPA; right pulmonary artery; LPA: left pulmonary artery; ST sternum, arrowheads superior pericardial recesses.

Revisados los textos específicos de ecocardiografía pediátrica, no hemos encontrado descrito el empleo de esta proyección en el estudio sistemático del corazón en neonatos y lactantes (21) (22) (74) (75). Se han realizado búsquedas bibliográficas con los términos echocardiog* y transstern*, combinando el lenguaje libre y el lenguaje controlado, en las bases de datos bibliográficas internacionales PubMed, Embase y Web of Science desde los últimos 20 años y no se han encontrado referencias a la proyección transesternal en ecocardiografía. Tampoco se ha encontrado mención alguna en las bases de datos Índice Médico Español e Índice Bibliográfico Español en Ciencias de la Salud,

Sólo se han localizado referencias puntuales a la posibilidad de visualizar algunas estructuras a través del esternón. En este sentido, se refiere en los tratados de ecocardiografía que en neonatos “a menudo es posible” visualizar el arco aórtico entero desde el manubrio del esternón (21), que la proyección supraesternal sagital o eje corto puede ser sustituida “ocasionalmente” por un “abordaje transmanubrial alto” (76) y que en la mayoría de neonatos con transposición de grandes arterias se pueden visualizar de forma simultánea las válvulas aórtica y pulmonar en eje corto desde una proyección paraesternal izquierda alta o “a través del manubrio del esternón” (77). Sin embargo, hasta el momento actual, no tenemos conocimiento de que se haya descrito con detalle y recomendado el empleo sistemático de la proyección transesternal en el estudio del corazón en cardiología pediátrica.

El interés por identificar la anatomía de la válvula reside en poder clasificar las anomalías de la misma, conocer su historia natural y la patología a

la que se puede asociar y orientar su manejo. En este sentido, la mayor aportación de la proyección transesternal alta consiste en la caracterización sistemática de estas anomalías en los neonatos y lactantes estudiados mediante ecocardiografía transtorácica bidimensional.

La estenosis valvular pulmonar congénita aislada es el cuarto defecto congénito más frecuente y se estima una incidencia de 53 (rango: 35-83) por 100.000 recién nacidos vivos (78). Sin embargo, la incidencia real puede estar infraestimada, dado que los casos leves pueden ser etiquetados como soplos funcionales y no ser remitidos nunca para estudio cardiológico. De hecho, un estudio realizado antes del empleo generalizado de la ecocardiografía reconoce que, en el diagnóstico diferencial del soplo funcional, la estenosis valvular pulmonar leve constituía la principal duda diagnóstica (79).

La estenosis valvular pulmonar puede presentar varios patrones morfológicos: válvula en forma de cúpula (“dome-shaped”), unicúspide, bicúspide, tricúspide y displásica (figura 68) (80) (81) (82) (53).

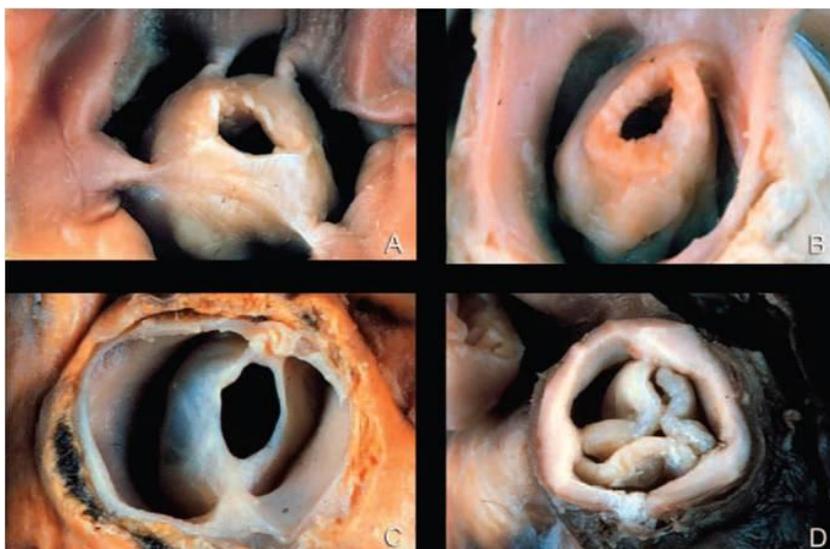


Figura 68. Válvula pulmonar anormal. A. En cúpula. B. Unicúspide. C. Bicúspide con fusión comisural. D. Displásica (53).

El patrón más frecuente es la válvula pulmonar en forma de cúpula. En este tipo de válvula la fusión o ausencia de comisuras resulta en un orificio central estenótico y generalmente se pueden identificar rafes (líneas prominentes de fusión). Cuando se ve desde el tronco pulmonar, la válvula se asemeja a un tronco de cono o una manga de viento. Las válvulas unicúspide (un solo velo y una sola comisura) y bicúspide (dos velos y dos comisuras) no suelen encontrarse en pacientes con estenosis valvular pulmonar aislada. Se describen habitualmente en el seno de patologías más complejas, como la tetralogía de Fallot. Finalmente, la forma displásica se caracteriza por la presencia de tres velos marcadamente engrosados, redundantes. La obstrucción se produce por el engrosamiento y la escasa movilidad de los mismos y por la presencia de un anillo pulmonar hipoplásico y estenosis supra valvular pulmonar. Los velos están formados por tejido mixomatoso desorganizado y generalmente tienen muy poca o ninguna fusión comisural. Este tipo de válvula se encuentra con frecuencia en pacientes con síndrome de Noonan (83).

La ecocardiografía constituye la herramienta fundamental para el manejo de los pacientes con estenosis valvular pulmonar y la descripción detallada de su morfología puede condicionar la actitud terapéutica. En el momento actual, la valvuloplastia percutánea con balón es el tratamiento de elección independientemente de la edad y de la morfología de la válvula, siempre que exista algún grado de fusión comisural (84). Sin embargo, en presencia de una válvula pulmonar displásica, la mayoría de los grupos comunican unos resultados subóptimos, por lo que algunos autores consideran que es una

contraindicación relativa para la dilatación con balón y abogan por el tratamiento quirúrgico de entrada (85) (86).

Si se estudiara, por tanto, la morfología de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta en todos los neonatos y lactantes con estenosis valvular pulmonar, se podrían identificar los distintos patrones morfológicos y orientar su manejo. En nuestra serie, desde la proyección transesternal alta, hemos podido definir con precisión la morfología de la válvula pulmonar en prácticamente todos los casos de estenosis pulmonar (9 de 10 pacientes). La excepción fue una recién nacida con mala ventana paraesternal y signos clínicos y ecocardiográficos de estenosis pulmonar valvular en la que la válvula pulmonar tenía una implantación anormalmente baja en el infundíbulo.

En pacientes con tetralogía de Fallot, el conocimiento de la morfología de la válvula pulmonar puede resultar de gran interés para el cirujano, especialmente cuando se plantea la posibilidad de ampliar el anillo (69). La tendencia quirúrgica actual es preservar siempre que sea posible la válvula para reducir al máximo la incidencia de insuficiencia pulmonar. La mayor parte de pacientes con tetralogía de Fallot presenta una válvula pulmonar bicúspide (87) (88). En esta situación, cuando el velo anterior se dispone en la cara anterior del anillo valvular, la ampliación del mismo conlleva la sección del velo. Si la válvula bicúspide tiene una disposición más anteroposterior, la comisura anterior es la estructura más anterior y la ampliación del anillo respeta los velos y puede favorecer una eventual reparación tardía de la válvula pulmonar nativa (89). La visualización de la morfología de la válvula pulmonar en eje corto permite establecer la estrategia quirúrgica. En los dos pacientes con diagnóstico de tetralogía de Fallot incluidos en nuestro estudio se pudo

identificar con precisión la morfología de la válvula pulmonar y planificar la estrategia quirúrgica. La morfología identificada en ambos casos fue confirmada en quirófano.

En la literatura se describen, además, casos aislados de anomalías congénitas de la válvula pulmonar clínicamente silentes y cuya incidencia real es desconocida en el momento actual. En este sentido, cada vez se comunican más casos de válvula pulmonar bicúspide aislada en pacientes estudiados mediante distintas técnicas de imagen (58) (59) (60) y en series de bancos de tejidos (90) (91) (figura 69). Algo similar sucede con la válvula pulmonar cuatricúspide, una anomalía probablemente de muy baja incidencia que no suele evolucionar a disfunción valvular significativa y en la que la mayoría de casos comunicados ha sido un diagnóstico accidental (55) (91) (92) (93) (figura 70).

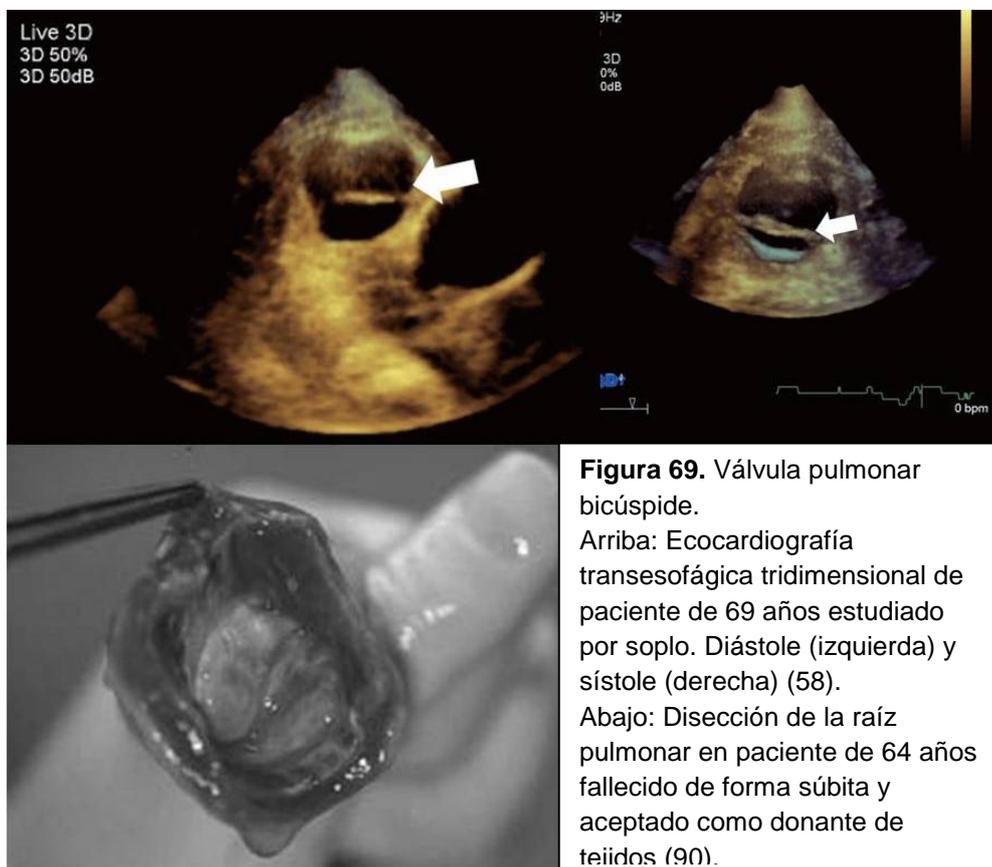


Figura 69. Válvula pulmonar bicúspide.
Arriba: Ecocardiografía transesofágica tridimensional de paciente de 69 años estudiado por soplo. Diástole (izquierda) y sístole (derecha) (58).
Abajo: Disección de la raíz pulmonar en paciente de 64 años fallecido de forma súbita y aceptado como donante de tejidos (90).

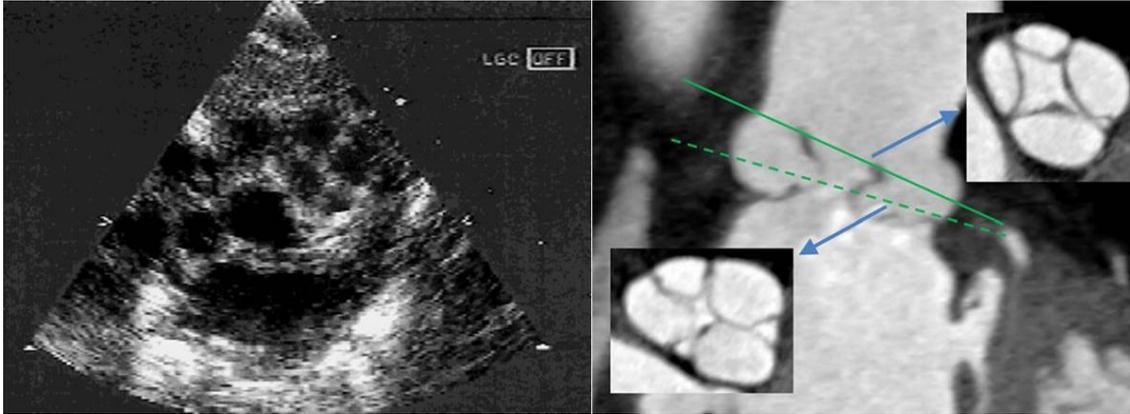


Figura 70. Válvula pulmonar cuatricúspide.

Izquierda: Proyección paraesternal eje corto de recién nacida de 6 horas de vida estudiada por soplo (“*Parasternal short-axis view of a quadricuspid pulmonary valve*”) (92).

Derecha: CardioTAC de paciente de 63 años estudiado por molestia torácica y palpitaciones. “*Previamente se habían realizado varias ecocardiografías transtorácicas, por las que se detectó una dilatación aneurismática del tronco de la arteria pulmonar*” (93).

La dilatación idiopática de la arteria pulmonar, también una entidad poco frecuente, es diagnosticada habitualmente de forma casual por el hallazgo de un cono pulmonar prominente en la radiografía de tórax. Se ha descrito la asociación de aneurisma de la arteria pulmonar con válvula pulmonar bicúspide sin evidencia de gradiente significativo a través de la misma (60) (94) (figura 71). La dilatación de la arteria pulmonar también se ha comunicado asociada a estenosis pulmonar valvular leve (95) (96) y a la presencia de una válvula pulmonar cuatricúspide (97) (98). La dilatación de la arteria pulmonar puede ser consecuencia del efecto de la turbulencia del flujo sanguíneo excéntrico sobre la pared del vaso a lo largo de la vida del paciente. Sin embargo, se ha llegado a sugerir, como sucede con la asociación de válvula aórtica bicúspide y la dilatación de la aorta ascendente (99), que se trata de una enfermedad congénita intrínseca de pared arterial y que no depende exclusivamente del grado de afectación valvular (96).

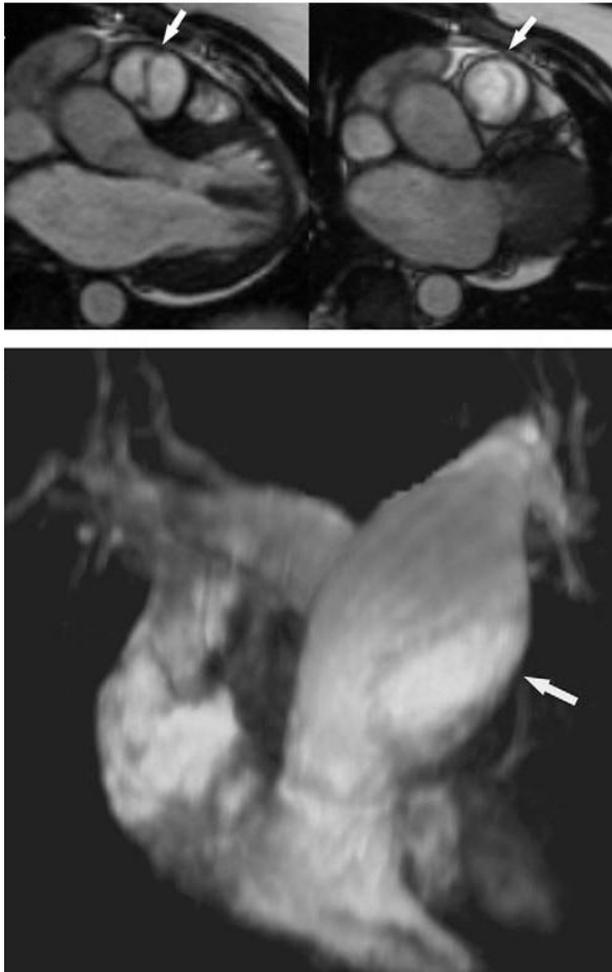


Figura 71. Válvula pulmonar bicúspide y dilatación de la arteria pulmonar. Resonancia magnética cardiaca de paciente de 53 años con linfoma de Hodgkin estudiado por hallazgo en CT torácico de dilatación del tronco de la arteria pulmonar (60).
Arriba: Válvula pulmonar bicúspide con comisuras en posición anteroposterior (izquierda) y apertura ligeramente restrictiva (derecha).
Abajo: Dilatación de tronco pulmonar.

Aunque estas malformaciones no suelen causar alteraciones clínicas significativas, la presencia de una anomalía congénita de la válvula pulmonar puede tener importancia en determinadas situaciones. Un ejemplo es el paciente pediátrico con lesión grave de la válvula aórtica en el que se indica una cirugía de Ross (100). Este procedimiento consiste en la sustitución de la válvula aórtica con la propia válvula pulmonar (autoinjerto pulmonar) y en la reconstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho habitualmente con homoinjerto pulmonar criopreservado (101). Dado que proporciona unas condiciones hemodinámicas óptimas, tiene capacidad de crecimiento y no precisa anticoagulación, se ha convertido en una alternativa real en el reemplazo valvular aórtico en la edad pediátrica, si bien es cierto que pueden

aparecer complicaciones a largo plazo derivadas del deterioro tanto del homoinjerto en posición pulmonar como del autoinjerto (dilatación de la raíz y disfunción valvular) (102). La válvula aórtica y la válvula pulmonar tienen una morfogénesis común y se ha descrito que se puede asociar la presencia de una válvula pulmonar cuatricúspide a anomalías de la válvula aórtica (103). El comportamiento hemodinámico de una válvula pulmonar cuatricúspide en posición aórtica es cuestionable y, en el momento actual, una contraindicación para la cirugía de Ross, por lo que el diagnóstico ecocardiográfico preciso antes de la cirugía puede ser determinante.

Finalmente, otra situación en la que las anomalías congénitas de la válvula pulmonar pueden plantear un dilema de manejo es en la donación de órganos o de tejidos (90) (figura 69). Como refieren los autores, de entrada, el hallazgo de una válvula pulmonar bicúspide aislada en un banco de tejidos debería ser una contraindicación para la preparación homoinjertos criopreservados. Sin embargo, se ha comunicado que la presencia de una válvula pulmonar bicúspide normofuncionante no constituye una contraindicación para la corrección completa anatómica (switch arterial) en período neonatal en pacientes con transposición de grandes arterias (104) (105). Teniendo en cuenta que no existe evidencia científica en ningún sentido y que un porcentaje significativo de trasplantes se realiza en situación de urgencia (40 % en el año 2014 en nuestro país según la memoria de la Organización Nacional de Trasplantes), en caso de hallazgo en el donante de una anomalía aislada de la válvula pulmonar sin evidencia de disfunción valvular significativa, el procedimiento podría llevarse a cabo (90).

Indudablemente, el estudio de la morfología de la válvula pulmonar mediante cualquiera de las técnicas de imagen descritas (ecocardiografía transtorácica tridimensional, ecocardiografía transesofágica tridimensional, tomografía axial, resonancia magnética) podrá ofrecer información acerca de la verdadera incidencia y significado de este tipo de anomalías y contribuir a resolver los dilemas de manejo que se planteen. En la práctica clínica habitual sólo la ecocardiografía transtorácica bidimensional está al alcance de todos los laboratorios y en todos los escenarios clínicos. Sin embargo, como hemos mencionado repetidamente en este trabajo, todos los autores reconocen que mediante esta técnica sólo es posible visualizar de forma sistemática la válvula pulmonar desde las proyecciones habituales en su eje largo. No existe ninguna referencia escrita a que en algún grupo de edad suceda algo distinto. La comunicación a la comunidad científica de la posibilidad de obtener de forma sistemática el eje corto de la válvula pulmonar desde la proyección transesternal alta en neonatos y lactantes puede cambiar esta situación, por lo que nuestra propuesta es que se incorpore esta proyección en el protocolo de estudio de todo neonato y lactante que sea valorado en un servicio de cardiología infantil (71).

8.2. VISUALIZACIÓN DE OTRAS ESTRUCTURAS

La principal aportación de la proyección transesternal alta consiste, sin duda, en la visualización del eje corto de la válvula pulmonar en neonatos y lactantes pequeños. Sin embargo, esta proyección permite también estudiar con detalle las siguientes estructuras:

- **Inclinando hacia abajo**, según el protocolo descrito:
 - 1º) la bifurcación de la arteria pulmonar;
 - 2º) el drenaje de las venas pulmonares;
 - 3º) la arteria coronaria izquierda y su bifurcación en descendente anterior y circunfleja.

- **Inclinando hacia arriba**:
 - 4º) el tronco venoso innominado;
 - 5º) la lateralidad del arco aórtico;
 - 6º) el origen de los troncos supraaórticos;
 - 7º) la bifurcación del primer tronco supraaórtico.

A diferencia del eje corto de la válvula pulmonar, todas estas estructuras se pueden estudiar desde las proyecciones habituales pero la proyección transesternal aporta alguna ventaja adicional.

Desde el punto de vista práctico, la incorporación de la proyección transesternal alta en el estudio ecocardiográfico sistemático en neonatos y lactantes permite visualizar estructuras que habitualmente sólo se estudian bien desde la proyección supraesternal (35). En todos los laboratorios de ecocardiografía pediátrica la proyección supraesternal es la última que se

realiza porque requiere colocar al paciente con el cuello en hiperextensión (figura 31). Esta posición suele ser incómoda para los pacientes más pequeños y muchos de ellos no la toleran bien. En nuestro laboratorio hemos incorporado en el protocolo de estudio la proyección transesternal alta antes de la proyección supraesternal. De esta manera, en la misma posición que ha mantenido el paciente durante toda la exploración (decúbito supino con la cabeza preferentemente girada a la izquierda), se exploran estructuras que hasta ahora sólo se estudiaban con detalle desde la proyección supraesternal: el drenaje de las cuatro venas pulmonares, el tronco venoso innominado, la lateralidad del arco aórtico, el origen de los troncos supraaórticos y la bifurcación del primer tronco braquiocefálico. Una vez valoradas todas estas estructuras desde la proyección alta, cambiamos de posición al paciente para obtener la proyección supraesternal y acabar estudio con la visualización del arco aórtico y la aorta descendente exclusivamente. Este cambio en el protocolo de estudio ha supuesto una significativa reducción del tiempo que el paciente tenía que permanecer con el cuello en hiperextensión y constituye otra aportación notable de la proyección transesternal, por lo que nuestra propuesta es que se incorpore en el protocolo de estudio de todo neonato y lactante inmediatamente antes de la proyección supraesternal.

8.2.1. BIFURCACIÓN DE LA ARTERIA PULMONAR

En ocasiones, la bifurcación de la arteria pulmonar y, sobretudo, la rama pulmonar izquierda, se visualizan con dificultad desde la proyección paraesternal eje corto. Esto sucede con cierta frecuencia en neonatos con atresia pulmonar (106). En estos pacientes el ductus suele ser de gran tamaño

y tener un trayecto tortuoso. El flujo pulmonar ductus-dependiente determina que las ramas tengan un flujo continuo, indistinguible del flujo del ductus. Desde la proyección paraesternal eje corto habitualmente sólo se visualiza la porción proximal de la rama pulmonar izquierda ya que se hace inferior al plano de corte muy pronto. En esta situación puede ser difícil identificar el origen y trayecto de la rama pulmonar izquierda. La proyección transesternal alta es de gran utilidad para caracterizar ambas ramas pulmonares.

8.2.2. ARTERIA CORONARIA IZQUIERDA Y BIFURCACIÓN

La arteria coronaria izquierda discurre inmediatamente por debajo del anillo pulmonar hasta su bifurcación. Habitualmente su trayecto proximal se identifica bien desde la proyección paraesternal eje corto (107) . Se describe que rotando el transductor desde esta posición hasta una posición “transversa” (señal de posición a las “tres en punto”), es posible visualizar un recorrido mayor de la misma, que incluiría la bifurcación y la región proximal de las arterias descendente anterior y circunfleja (22). Desde la proyección transesternal alta, en el mismo plano en que se obtiene el eje corto de la válvula pulmonar, se puede visualizar el recorrido de la arteria coronaria izquierda y su bifurcación. La incidencia del haz de ultrasonido es prácticamente perpendicular a ese trayecto por lo que las imágenes que se obtienen suelen ser óptimas. Esta proyección permitiría, por tanto, identificar con precisión alteraciones anatómicas de la arteria coronaria izquierda y su bifurcación (origen y trayecto anómalo, afectación coronaria en enfermedad de Kawasaki). Se ha recomendado un abordaje similar, la proyección “eje corto de la arteria pulmonar”, para identificar el origen y el trayecto de la arteria

coronaria izquierda en pacientes con origen anómalo de la misma en la arteria pulmonar (108). Para obtener esta proyección, los autores recomienda rotar el transductor en sentido horario desde la proyección paraesternal eje corto habitual hasta visualizar un corte transversal de la arteria pulmonar. Se trata, por tanto, de distintas aproximaciones al estudio de estas estructuras. La ventaja del abordaje transesternal alto para la visualización de la arteria coronaria izquierda y su bifurcación es que se trata de una proyección muy fácil de obtener y que forma parte de un protocolo de estudio sistemático.

8.3. PROYECCIÓN TRANSESTERNAL LONGITUDINAL

En determinadas circunstancias la ventana acústica en niños pequeños puede no ser óptima. Esto sucede, por ejemplo, en recién nacidos prematuros (109). La prevalencia de patología respiratoria en este grupo de pacientes es alta y con frecuencia precisan modalidades de asistencia respiratoria que interfieren con la ventana ultrasónica por la interposición de parénquima pulmonar (110). En las situaciones en que la ventana ultrasónica paraesternal es mala, puede resultar muy útil explorar determinadas estructuras desde la proyección transesternal longitudinal. Es relativamente frecuente encontrar pacientes prematuros con muy mala ventana paraesternal en los que es imposible acceder al plano ductal desde la proyección paraesternal izquierda alta. Una alternativa es explorar el ductus desde la proyección supraesternal (111), pero para ello es preciso colocar al paciente con el cuello en hiperextensión. Desde una proyección transesternal longitudinal, con el transductor sobre el manubrio del esternón, inclinando el plano de corte hacia la izquierda (figura 56), se puede visualizar una imagen muy similar al plano del

ductus. Del mismo modo, si se inclina el plano de corte hacia la derecha (figura 57), se obtiene una imagen del eje de cavas equivalente a la que se obtiene desde la proyección paraesternal derecha eje largo.

8.4. TRANSPOSICIÓN DE GRANDES ARTERIAS

Los pacientes con cardiopatía congénita que más se pueden beneficiar del uso sistemático de la proyección transesternal son los neonatos y lactantes con transposición de grandes arterias.

8.4.1. EVALUACIÓN PREOPERATORIA

En la evaluación preoperatoria, la visualización de las válvulas aórtica y pulmonar simultáneamente en un mismo plano es de gran importancia para conocer el grado de alineamiento de las comisuras. Esta imagen se suele obtener desde la proyección paraesternal eje corto en la mayoría de los casos pero, habitualmente, se puede optimizar desde una proyección paraesternal alta o a través del “manubrio del esternón” (77). Además, dada la habitual disposición en paralelo de las dos arterias, un plano que permita visualizar ambas arterias simultáneamente y definir con precisión los detalles anatómicos (tamaño relativo de las arterias) también es de gran interés para los cirujanos. Este plano se puede obtener habitualmente sin dificultad desde las proyecciones subcostal y supraesternal. Una proyección transesternal alternativa, la transesternal longitudinal, también permitiría visualizar ambas arterias simultáneamente y confirmar los hallazgos obtenidos.

8.4.2. EVALUACIÓN POSTOPERATORIA

Sin embargo, la mayor aportación del plano transesternal en los pacientes con transposición de grandes arterias tiene lugar en la evaluación postoperatoria. La maniobra de Lecompte sitúa la bifurcación de la arteria pulmonar en una posición inusual: “a horcajadas” sobre la aorta ascendente (112). Esta maniobra quirúrgica puede dar lugar a distorsión de las arterias pulmonares y a largos segmentos de estenosis (113). Además, puede desarrollarse estenosis supravalvular pulmonar como resultado de la distorsión o retracción de los parches de pericardio empleados para cubrir los defectos que quedan tras la extracción de los botones coronarios (114). En el momento actual, la estenosis supravalvular pulmonar y de ramas continúa siendo la complicación más frecuente y la principal causa de reintervención en pacientes intervenidos con “switch arterial”. La incidencia de estenosis supravalvular pulmonar y estenosis de ramas varía ampliamente, desde el 4 hasta el 40 %, dependiendo de la complejidad de los pacientes, de la definición de estenosis significativa (gradiente pico > 15 mm Hg o > 50 mm Hg), del método de cálculo del gradiente (ecocardiografía o cateterismo cardiaco) y de la duración del seguimiento. La visualización de las características morfológicas de la región supravalvular y de la bifurcación resulta complicada por su localización inmediatamente posterior al esternón, por lo que habitualmente se requieren múltiples proyecciones ecocardiográficas (115). En neonatos y lactantes pequeños, la proyección transesternal alta permite un estudio detallado de estas estructuras, claramente superior al que se puede realizar desde las proyecciones habituales. La imagen que se obtiene es similar a la de la resonancia magnética cardiaca y permite visualizar la bifurcación y el trayecto

inicial de ambas ramas, localizar zonas de estenosis y alinear adecuadamente el flujo para su estudio con técnicas doppler (figura 61). Además, desde la proyección transesternal longitudinal, se puede visualizar con precisión la región supraválvular pulmonar y definir su anatomía (figura 62). Desde esta proyección, inclinando el transductor hacia la izquierda y hacia la derecha, se puede identificar también cada una de las ramas y alinear adecuadamente su flujo (figura 63).

8.5. LIMITACIONES

Dadas las características del estudio (estudio observacional), no ha sido posible establecer comparaciones entre grupos, no se pueden extraer conclusiones sobre la incidencia de la enfermedad en la población porque la muestra no es representativa de la misma y hay que tener presente que el hecho de detectar un factor (calidad de la ventana paraesternal) que influya en la variable principal (visualización adecuada del eje corto de la válvula pulmonar) puede ser sólo una coincidencia.

En el estudio sólo se han incluido pacientes por debajo de los dos años y la muestra no es homogénea (más de la mitad de pacientes tenía menos de un mes de vida). Esta concentración de pacientes por debajo del mes de vida, aunque corresponde al perfil de pacientes estudiados en los hospitales terciarios en nuestro medio (51), limita la extensión de las conclusiones a todo el rango de edad.

Hasta los dos años de edad, el proceso de osificación del esternón todavía no está muy avanzado y el timo continúa siendo relativamente grande

con respecto a la caja torácica. Sin embargo, el patrón de coalescencia de los núcleos de osificación es variable y es posible que la ventana transesternal se pueda seguir empleando en niños mayores. Sería necesario, por tanto, poner en marcha estudios en niños mayores para determinar la validez de la proyección transesternal en el resto de etapas de la infancia.

A pesar de que existió una excelente correlación entre la morfología de la válvula pulmonar registrada por cada uno de los médicos participantes en el estudio y el diagnóstico final realizado por el revisor, el análisis de la concordancia de las observaciones (variabilidad intra e interobservador) habría consolidado la validez y fiabilidad del protocolo de estudio recomendado.

Las anomalías congénitas de la válvula pulmonar identificadas sólo fueron confirmadas en los dos casos con tetralogía de Fallot que precisaron cirugía.

8.6. CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no ha existido conflicto alguno de intereses en la elaboración de este trabajo de investigación.

9. CONCLUSIONES

1. La proyección transesternal alta constituye un abordaje eficaz para visualizar el eje corto de la válvula pulmonar en neonatos y lactantes pequeños en distintos escenarios clínicos, imagen que habitualmente no se obtiene con las proyecciones ecocardiográficas habituales y que aporta información de gran interés en el manejo de los pacientes con anomalías congénitas de la válvula pulmonar.
2. Como en el resto de proyecciones paraesternales, el factor que puede condicionar la visualización de la proyección transesternal alta es la calidad de la ventana ultrasónica.
3. Desde la proyección transesternal alta, además, se puede obtener información complementaria de otras estructuras: ramas pulmonares, drenaje de las venas pulmonares, arteria coronaria izquierda, vena innominada, lateralidad arco aórtico, origen de troncos supraaórticos y bifurcación del primer tronco.
4. El drenaje de las venas pulmonares, la morfología de la vena innominada, la lateralidad del arco aórtico y la anatomía de los troncos supraaórticos habitualmente se estudian desde las proyecciones supraesternales, con el paciente con el cuello en hiperextensión. La posibilidad de estudiar con detalle estas estructuras desde la proyección transesternal alta sin necesidad de cambiar al paciente de posición supone una ventaja adicional porque reduce el tiempo de estudio desde la incómoda proyección supraesternal.
5. La proyección transesternal longitudinal es una alternativa para obtener el plano ductal y el eje de cavas en pacientes con mala ventana paraesternal.

6. En pacientes con transposición de grandes arterias intervenida (corrección completa anatómica: “switch arterial”), desde la proyección transesternal alta se obtiene una imagen de la bifurcación de las ramas pulmonares similar a la que se visualiza en los estudios de resonancia magnética cardiaca y que habitualmente no se consigue desde las proyecciones ecocardiográficas habituales.
7. En pacientes con transposición de grandes arterias la proyección transesternal longitudinal complementa la valoración preoperatoria (visualización simultánea de aorta y arteria pulmonar) y, sobretodo, la valoración postoperatoria (visualización de región supravalvular pulmonar y ramas).
8. La proyección transesternal debería incluirse entre las proyecciones ecocardiográficas habituales que integran el protocolo de estudio sistemático del corazón en neonatos y lactantes.
9. Dada la variabilidad del proceso de osificación del esternón, sería interesante poner en marcha estudios para conocer el valor de la proyección transesternal en las distintas etapas de la edad pediátrica.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Latarjet M, Ruiz Liard A. Esqueleto del tórax. In: Latarjet M, Ruiz Liard A, editors. Anatomía humana. 4th ed. Buenos Aires: Panamericana; 2008. p. 881–7.
2. Scheuer L, Black S. The thorax. In: Scheuer L, Black S, editors. The juvenile skeleton. San Diego: Elsevier; 2004. p. 227–44.
3. Putz R, Pabst R, editors. Sobotta. Atlas de Anatomía Humana. 22nd ed. Buenos Aires: Panamericana; 2006.
4. O’Neal ML, Dwornik JJ, Ganey TM, Ogden JA. Postnatal development of the human sternum. *J Pediatr Orthop*. 1998 Jan;18(3):398–405. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9600571>
5. Kim OH, Gooding CA. Delayed sternal ossification in infants with congenital heart disease. *Pediatr Radiol*. 1981 Jan;10(4):219–23. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7254918>
6. Rush WJ, Donnelly LF, Brody AS, Anton CG, Poe SA. “Missing” sternal ossification center: potential mimicker of disease in young children. *Radiology*. 2002 Jul;224(1):120–3. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12091670>
7. Gray H, Williams PL, Bannister LH, editors. Gray’s Anatomy: The anatomical basis of medicine and surgery. 38th ed. New York: Churchill Livingstone; 1995.
8. Liu W, Deslauriers J. Mediastinal divisions and compartments. *Thorac Surg Clin*. 2011 May;21(2):183–90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21477768>
9. Latarjet M, Ruiz Liard A. Timo. In: Latarjet M, Ruiz Liard A, editors. Anatomía humana. Buenos Aires: Panamericana; 2008. p. 1689–91.
10. Lavini C, Moran C, Uliano M, Schoenhuber R. Embriology and anatomy of the thymus gland. In: Lavini C, Moran C, Uliano M, Schoenhuber R, editors. Thymus Gland Pathology: Clinical, Diagnostic and Therapeutic Features. Italia: Springer-Verlag; 2008. p. 13–8.
11. Domínguez-Gerpe L, Rey-Méndez M. Evolution of the thymus size in response to physiological and random events throughout life. *Microsc Res Tech*. 2003 Dec 15;62(6):464–76. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14635139>
12. Anastasiadis K, Ratnatunga C. Changes with aging. In: Anastasiadis K, Ratnatunga C, editors. The thymus gland: diagnosis and surgical management. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag; 2007. p. 9–12.
13. Glavina-Durdov M, Springer O, Capkun V, Saratlija-Novaković Z, Rozić D, Barle M. The grade of acute thymus involution in neonates correlates with

- the duration of acute illness and with the percentage of lymphocytes in peripheral blood smear. *Pathological study. Biol Neonate.* 2003 Jan; 83(4):229–34.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12743450>
14. Haeryfar SM, Berczi I. The thymus and the acute phase response. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2001 Feb;47(1):145–56.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11292249>
 15. Kiserud T. Physiology of the fetal circulation. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2005 Dec;10(6):493–503.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16236564>
 16. Walmsley R, Monkhouse WS. The heart of the newborn child: an anatomical study based upon transverse serial sections. *J Anat.* 1988 Aug;159:93–111.
Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1262012&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
 17. Kossoff G. Basic physics and imaging characteristics of ultrasound. *World J Surg.* 2000 Feb;24(2):134–42.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10633140>
 18. Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med.* 2007 May;35(5 Suppl):S131–7.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17446771>
 19. García Fernández M, Zamorano J. Conceptos generales de la ecocardiografía. El eco-doppler normal. In: García Fernández MA, Zamorano JL, García Robles JA, editors. *Manual de ecocardiografía: indicaciones e interpretación en la práctica clínica.* Madrid: Edimed; 2004. p. 1–26.
 20. Henry WL, DeMaria A, Gramiak R, King DL, Kisslo JA, Popp RL, et al. Report of the American Society of Echocardiography Committee on Nomenclature and Standards in Two-dimensional Echocardiography. *Circulation.* 1980 Aug;62(2):212–7.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7397962>
 21. Snider A, Serwer G, Ritter S, editors. The Normal Echocardiographic Examination. In: *Echocardiography In Pediatric Heart Disease.* 2nd ed. St. Louis, Missouri: Mosby; 1997. p. 1–75.
 22. Lai W, Ko H. The Normal Pediatric Echocardiogram. In: Lai W, Mertens L, Cohen M, Geva T, editors. *Echocardiography in Pediatric and Congenital Heart Disease: From Fetus to Adult.* Oxford: Wiley-Blackwell; 2009. p. 34–52.
Available from: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1405174013.html>

23. Lai WW, Geva T, Shirali GS, Frommelt PC, Humes RA, Brook MM, et al. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006 Dec; 19(12):1413–30.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17138024>

24. Lange LW, Sahn DJ, Allen HD, Goldberg SJ. Subxiphoid cross-sectional echocardiography in infants and children with congenital heart disease. *Circulation*. 1979 Mar;59(3):513–24.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/761331>

25. Bierman FZ, Williams RG. Subxiphoid two-dimensional imaging of the interatrial septum in infants and neonates with congenital heart disease. *Circulation*. 1979 Jul;60(1):80–90.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/445736>

26. Kearney D, Titus J. Cardiovascular anatomy. In: Garson AJ, Bricker J, Fisher D, Neish S, editors. *The Science and Practice of Pediatric Cardiology*. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1998. p. 127–53.

27. Edwards W. Cardiac anatomy and examination of cardiac specimens. In: Allen H, Driscoll D, Shaddy R, Feltes T, editors. *Moss and Adams' Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents: Including the Fetus and Young Adults*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. p. 2–33.

28. Ho S, Rigby M, Anderson R, editors. *The Normal Heart*. In: *Echocardiography in Congenital Heart Disease Made Simple*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2005. p. 1–16.
Available from: https://www.mendeley.com/research/echocardiography-congenital-heart-disease-made-simple/?utm_source=desktop&utm_medium=1.14&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B64ebad07-a9f7-4377-8b85-a9d7e59d242c%7D

29. Tajik AJ, Seward JB, Hagler DJ, Mair DD, Lie JT. Two-dimensional real-time ultrasonic imaging of the heart and great vessels. Technique, image orientation, structure identification, and validation. *Mayo Clin Proc*. 1978 May;53(5):271–303.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/642598>

30. Henry WL, Maron BJ, Griffith JM. Cross-sectional echocardiography in the diagnosis of congenital heart disease. Identification of the relation of the ventricles and great arteries. *Circulation*. 1977 Aug;56(2):267–73.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/872320>

31. Zema MJ, Caccavano M. Two dimensional echocardiographic assessment of aortic valve morphology: feasibility of bicuspid valve detection. Prospective study of 100 adult patients. *Br Heart J*. 1982 Nov;

- 48(5):428–33.
Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=482726&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
32. Silverman NH, Schiller NB. Apex echocardiography. A two-dimensional technique for evaluating congenital heart disease. *Circulation*. 1978 Mar; 57(3):503–11.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/564244>
33. DiSessa TG, Hagan AD, Isabel-Jones JB, Ti CC, Mercier JC, Friedman WF. Two-dimensional echocardiographic evaluation of discrete subaortic stenosis from the apical long axis view. *Am Heart J*. 1981 Jun; 101(6):774–82.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7195144>
34. Lopez L, Colan SD, Frommelt PC, Ensing GJ, Kendall K, Younoszai AK, et al. Recommendations for Quantification Methods During the Performance of a Pediatric Echocardiogram: A Report From the Pediatric Measurements Writing Group of the American Society of Echocardiography Pediatric and Congenital Heart Disease Council. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010 May;23(5):465–95.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20451803>
35. Snider AR, Silverman NH. Suprasternal notch echocardiography: a two-dimensional technique for evaluating congenital heart disease. *Circulation*. 1981 Jan 1;63(1):165–73.
Available from: <http://circ.ahajournals.org/content/63/1/165.abstract>
36. Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, Chambers JB, Evangelista A, Griffin BP, et al. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *J Am Soc Echocardiogr*. 2009 Jan; 22(1):1–23; quiz 101–2.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19130998>
37. Isaaq K, Cloez JL, Danchin N, Marçon F, Worms AM, Pernot C. Assessment of right ventricular outflow tract in children by two-dimensional echocardiography using a new subcostal view. Angiocardiographic and morphologic correlative study. *Am J Cardiol*. 1985 Sep 15;56(8):539–45.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4036841>
38. Cohen MS, Jacobs ML, Weinberg PM, Rychik J. Morphometric analysis of unbalanced common atrioventricular canal using two-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 1996 Oct;28(4):1017–23.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8837584>
39. Haller JO, Schneider M, Kassner EG, Friedman AP, Waldroup LD. Sonographic evaluation of the chest in infants and children. *AJR Am J*

- Roentgenol. 1980 May;134(5):1019–27.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6768240>
40. Ben-Ami TE, O'Donovan JC, Yousefzadeh DK. Sonography of the chest in children. *Radiol Clin North Am.* 1993 May;31(3):517–31.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8497588>
41. Kim OH, Kim WS, Kim MJ, Jung JY, Suh JH. US in the diagnosis of pediatric chest diseases. *Radiographics.* 2000 Jan;20(3):653–71.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10835119>
42. Trinavarat P, Riccabona M. Potential of ultrasound in the pediatric chest. *Eur J Radiol.* 2014 Sep;83(9):1507–18.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24844730>
43. Mong A, Epelman M, Darge K. Ultrasound of the pediatric chest. *Pediatr Radiol.* 2012 Nov;42(11):1287–97.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22526284>
44. Coley BD. Pediatric chest ultrasound. *Radiol Clin North Am.* 2005 Mar;43(2):405–18.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15737376>
45. Coley BD. Chest sonography in children: current indications, techniques, and imaging findings. *Radiol Clin North Am.* 2011 Oct;49(5):825–46.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21889011>
46. Arthur R. Interpretation of the paediatric chest X-ray. *Paediatr Respir Rev.* 2000 Mar;1(1):41–50.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16256720>
47. Lemaitre L, Marconi V, Avni F, Remy J. The sonographic evaluation of normal thymus in infants and children. *Eur J Radiol.* 1987 May;7(2):130–6.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3297700>
48. Han BK, Babcock DS, Oestreich AE. Normal thymus in infancy: sonographic characteristics. *Radiology.* 1989 Feb;170(2):471–4.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2643142>
49. Nasser F, Eftekhari F. Clinical and radiologic review of the normal and abnormal thymus: pearls and pitfalls. *Radiographics.* 2010 Mar;30(2):413–28.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20228326>
50. Basso C, Boschello M, Perrone C, Mecenero A, Cera A, Bicego D, et al. An echocardiographic survey of primary school children for bicuspid aortic valve. *Am J Cardiol.* 2004 Mar 1;93(5):661–3.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14996606>

51. Geggel RL. Conditions leading to pediatric cardiology consultation in a tertiary academic hospital. *Pediatrics*. 2004 Oct;114(4):e409–17.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15466065>
52. Tofield A. The use of pocket size imaging devices: a position statement by the European Association of Echocardiography. *Eur Heart J*. 2011 Feb;32(4):385–6.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21320907>
53. Bruce CJ, Connolly HM. Right-sided valve disease deserves a little more respect. *Circulation*. 2009 May 26;119(20):2726–34.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19470901>
54. Mulhern KM, Skorton DJ. Echocardiographic evaluation of isolated pulmonary valve disease in adolescents and adults. *Echocardiography*. 1993 Sep;10(5):533–43.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10146329>
55. Fernández-Armenta J, Villagómez D, Fernández-Vivancos C, Vázquez R, Pastor L. Quadricuspid pulmonary valve identified by transthoracic echocardiography. *Echocardiography*. 2009 Mar;26(3):288–90.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19017322>
56. Anwar AM, Soliman O, van den Bosch AE, McGhie JS, Geleijnse ML, ten Cate FJ, et al. Assessment of pulmonary valve and right ventricular outflow tract with real-time three-dimensional echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2007 Apr;23(2):167–75.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16960754>
57. Kelly NFA, Platts DG, Burstow DJ. Feasibility of pulmonary valve imaging using three-dimensional transthoracic echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010 Oct;23(10):1076–80.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20702063>
58. Cho SW, Kim BG, Kim DH, Kim BO, Goh CW, Rhee KJ, et al. Three-dimensional echocardiographic views of bicuspid pulmonic valve. *J Cardiovasc Ultrasound*. 2014 Sep;22(3):162–3.
Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4192419&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
59. Kemaloğlu Öz T, Karadeniz FÖ, Gundlapalli H, Erer B, Sharma RK, Ahmed M, et al. Coexisting Bicuspid Aortic and Pulmonary Valves with Normally Related Great Vessels Diagnosed by Live/Real Time Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography. *Echocardiography*. 2014 Feb 22;31(2):218–21.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24446750>

60. Vedanthan R, Sanz J, Halperin J. Bicuspid pulmonic valve. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Aug 18;54(8):e5.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19679243>
61. Saremi F, Gera A, Ho SY, Hijazi ZM, Sánchez-Quintana D. CT and MR imaging of the pulmonary valve. *Radiographics*. 2014 Jan;34(1):51–71.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24428282>
62. Tworetzky W, McElhinney DB, Brook MM, Mohan Reddy V, Hanley FL, Silverman NH. Echocardiographic diagnosis alone for the complete repair of major congenital heart defects. *J Am Coll Cardiol*. 1999 Jan;33(1):228–33.
Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073510979800518X>
63. Feltes TF, Bacha E, Beekman RH, Cheatham JP, Feinstein JA, Gomes AS, et al. Indications for cardiac catheterization and intervention in pediatric cardiac disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2011 Jun 7;123(22):2607–52.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21536996>
64. Martinez RM, Anderson RH. Echocardiographic features of the morphologically right ventriculo-arterial junction. *Cardiol Young*. 2005 Feb;15 Suppl 1:17–26.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15934688>
65. Kreeger J, Watson T, Mahle WT. Echocardiography of the tricuspid and pulmonary valve in children. *Cardiol Young*. 2014 Dec;24(6):1023–9.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25647376>
66. Kimball T, Michelfelder E. Echocardiography. In: Allen H, Driscoll D, Shaddy R, Feltes T, editors. *Moss and Adams' Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents: Including the Fetus and Young Adults*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. p. 95–163.
67. McAleer E, Kort S, Rosenzweig BP, Katz ES, Tunick PA, Phoon CK, et al. Unusual echocardiographic views of bicuspid and tricuspid pulmonic valves. *J Am Soc Echocardiogr*. 2001 Oct;14(10):1036–8.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11593211>
68. Lemler M, Ramaciotti C. Anomalies of the right ventricular outflow tract and pulmonary valve. In: Lai W, Mertens L, Cohen M, Geva T, editors. *Echocardiography in pediatric and congenital heart disease: from fetus to adult*. Oxford: Blackwell Publishing; 2009. p. 251–63.
69. Silverman NH. The essential echocardiographic features of tetralogy of Fallot. *Cardiol Young*. 2013 Dec;23(6):871–82.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24401261>

70. Supakul N, Karmazyn B. Ultrasound of the pediatric chest--the ins and outs. *Semin Ultrasound CT MR*. 2013 Jun;34(3):274–85.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23768893>
71. Granados MA, Albert L, Toral B. Echocardiographic two-dimensional view of the pulmonary valve in infants: the high transsternal view. *Cardiol Young*. 2015 Sep 8;1–3.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26346630>
72. Gassner I, Geley T. Ultrasound of the neonatal thorax. In: Donoghue V, editor. *Radiological imaging of the neonatal chest*. New York: Springer; 2008. p. 197–225.
73. Enriquez G, Garcia-Peña P, Lucaya J. Pitfalls in chest imaging. *Pediatr Radiol*. 2009 Jun;39 Suppl 3:356–68.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19440754>
74. Gillis E, Springer R, O’Leary P. Practical Issues Related to the Examination, Anatomic Image Orientation and Segmental Cardiovascular Analysis. In: Eidem B, Cetta F, O’Leary P, editors. *Echocardiography in Pediatric and Adult Congenital Heart Disease*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. p. 10–28.
75. Lester J, Lewin M. The Pediatric Transthoracic Echocardiogram. In: Lewin M, Stout K, editors. *Echocardiography in Congenital Heart Disease*. Philadelphia: Elsevier; 2012. p. 3–13.
76. Siverman N, editor. *Echocardiographic Anatomy*. In: *Pediatric Echocardiography*. Baltimore, Maryland: Williams & Wilkins; 1993. p. 1–34.
77. Mertens L, Otto Vogt M, Marek J, Cohen M. Transposition of the Great Arteries. In: Lai W, Mertens L, Cohen M, Geva T, editors. *Echocardiography in Pediatric and Congenital Heart Disease: From Fetus to Adult*. Oxford: Wiley-Blackwell; 2009. p. 398–416.
78. Hoffman JIE, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol*. 2002 Jun 19;39(12):1890–900.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12084585>
79. Hoffman JI, Christianson R. Congenital heart disease in a cohort of 19,502 births with long-term follow-up. *Am J Cardiol*. 1978 Oct ; 42(4):641–7.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/696646>
80. Gikonyo BM, Lucas R V, Edwards JE. Anatomic features of congenital pulmonary valvar stenosis. *Pediatr Cardiol*. 1987 Jan;8(2):109–16.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2957652>

81. Freedom R, Benson L. Congenital pulmonary stenosis and isolated congenital pulmonary insufficiency. In: Freedom R, Yoo S, Mikailian H, Williams W, editors. *The Natural and Modified History of Congenital Heart Disease*. New York: Blackwell Publishing; 2004. p. 107–18.
82. Bashore TM. Adult congenital heart disease: right ventricular outflow tract lesions. *Circulation*. 2007 Apr 10;115(14):1933–47.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17420363>
83. Romano AA, Allanson JE, Dahlgren J, Gelb BD, Hall B, Pierpont ME, et al. Noonan syndrome: clinical features, diagnosis, and management guidelines. *Pediatrics*. 2010 Oct;126(4):746–59.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20876176>
84. Rao PS. Percutaneous balloon pulmonary valvuloplasty: State of the art. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2007 Apr 1;69(5):747–63.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17330270>
85. Musewe NN, Robertson MA, Benson LN, Smallhorn JF, Burrows PE, Freedom RM, et al. The dysplastic pulmonary valve: echocardiographic features and results of balloon dilatation. *Heart*. 1987 Apr 1;57(4):364–70.
Available from: <http://heart.bmj.com/content/57/4/364>
86. McCrindle BW. Independent predictors of long-term results after balloon pulmonary valvuloplasty. *Valvuloplasty and Angioplasty of Congenital Anomalies (VACA) Registry Investigators*. *Circulation*. 1994 Apr; 89(4):1751–9.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8149541>
87. Rao BN, Anderson RC, Edwards JE. Anatomic variations in the tetralogy of Fallot. *Am Heart J*. 1971 Mar;81(3):361–71.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5547435>
88. Vida VL, Angelini A, Guariento A, Frescura C, Fedrigo M, Padalino M, et al. Preserving the pulmonary valve during early repair of tetralogy of Fallot: Anatomic substrates and surgical strategies. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015 May;149(5):1358–63.e1.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25983249>
89. Mainwaring RD, Pirolli T, Punn R, Hanley FL. Late repair of the native pulmonary valve in patients with pulmonary insufficiency after surgery for tetralogy of Fallot. *Ann Thorac Surg*. 2012 Feb;93(2):677–9.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22269747>
90. Orrit J, Mestres C-A, Agustí E, Pomar JL. Isolated bicuspid pulmonary valve: an unusual finding. *J Heart Valve Dis*. 2004 May;13(3):521–2.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15222301>
91. Jashari R, Van Hoeck B, Goffin Y, Vanderkelen A. The incidence of congenital bicuspid or bileaflet and quadricuspid or quadrileaflet arterial

- valves in 3,861 donor hearts in the European Homograft Bank. *J Heart Valve Dis.* 2009 May;18(3):337–44.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19557994>
92. Hedayat KM, Sharp E, Weinhouse E, Riggs TW. A Quadricuspid Pulmonic Valve Diagnosed in a Live Newborn by Two-Dimensional Echocardiography. *Pediatr Cardiol.* 2000 Apr;21(3):279–81.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10818195>
93. Yang JH, Park SW, Choe YH. Diagnóstico de válvula pulmonar tetracúspide mediante tomografía computarizada multidetector. *Rev Española Cardiol.* 2013 May 1;66(5):401.
Available from: <http://www.revespcardiol.org/es/diagnostico-valor-pulmonar-tetracuspide-mediante/articulo/90198749/>
94. Jamis-Dow CA, Barbier GH, Watkins MP, Lanza GM, Caruthers SD, Wickline SA. Bicuspid Pulmonic Valve and Pulmonary Artery Aneurysm. *Cardiol Res.* 2014 Apr;5(2):83–4.
Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4505617&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
95. Mohan JC, Jain P, Arora R. Aneurysm of the pulmonary trunk in association with minimal pulmonary stenosis. *Int J Cardiol.* 1989 May 5;23(2):253–5.
Available from:
<http://www.internationaljournalofcardiology.com/article/0167527389902556/fulltext>
96. Magnoni M, Turri C, Roghi A, Merlanti B, Maseri A. An inverted location of the bicuspid valve disease: a variant of a variant. *Circulation.* 2011 Nov 15;124(20):e513–5.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22083150>
97. Czekajska-Chehab E, Uhlig S, Staśkiewicz G, Widomska-Czekajska T, Drop A. Quadricuspid pulmonary valve complicated with aneurysm of pulmonary trunk diagnosed with ECG-gated computed tomography. *Folia Morphol (Warsz).* 2009 Nov;68(4):290–3.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19950082>
98. Olivares-Reyes A, Molina-Bello E, Espinola-Zavaleta N. Congenital quadricuspid pulmonary valve in an adult patient with double valvular lesions and poststenotic dilatation of the trunk and the left branch of the pulmonary artery: a case presentation and review of the literature. *Congenit Heart Dis.* 2012 Nov-Dec;7(6):E103–8.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22537098>
99. Carro A, Teixido-Tura G, Evangelista A. Dilatación aórtica en válvula aórtica bicúspide. *Rev Esp Cardiol;* 2012 Nov 1; 65(11):977–81.

Available from: <http://www.revespcardiol.org/es/dilatacion-aortica-valvula-aortica-bicuspide/articulo/90156792/>

100. Berdajs D, Lajos P, Zünd G, Turina M. The quadricuspid pulmonary valve: its importance in the Ross procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003 Jan 1;125(1):198–9.
Available from: <http://www.jtcvsonline.org/article/S002252230273362X/fulltext>
101. Ross DN. Replacement of aortic and mitral valves with a pulmonary autograft. *Lancet (London, England).* 1967 Nov 4;2(7523):956–8.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4167516>
102. Luciani GB, Lucchese G, Carotti A, Brancaccio G, Abbruzzese P, Caianiello G, et al. Two decades of experience with the Ross operation in neonates, infants and children from the Italian Paediatric Ross Registry. *Heart.* 2014 Dec;100(24):1954–9.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25056868>
103. Hirooka K, Hashimoto S, Tanaka N, Yamada N, Masuda Y, Hanatani A, et al. Combined abnormalities of semilunar valves: quadricuspid pulmonary and bicuspid aortic valves. *Circulation.* 2001 Jan 2;103(1):E7.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11136705>
104. Uemura H, Yagihara T, Kawashima Y, Yamamoto F, Nishigaki K, Matsuki O, et al. A bicuspid pulmonary valve is not a contraindication for the arterial switch operation. *Ann Thorac Surg.* 1995 Feb;59(2):473–6.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7847969>
105. Khan SM, Sallehuddin A Bin, Al-Bulbul ZR, Al-Halees ZY. Neoaortic bicuspid valve in arterial switch operation: mid-term follow-up. *Ann Thorac Surg.* 2008 Jan;85(1):179–84.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18154805>
106. Levine J. Pulmonary atresia with intact ventricular septum. In: Lai W, Mertens L, Cohen M, Geva T, editors. *Echocardiography in Pediatric and Adult Congenital Heart Disease.* Oxford: Wiley-Blackwell; 2009. p. 264–82.
107. Jureidini SB, Marino CJ, Waterman B, Rao PS, Balfour IC, Chen S, et al. Transthoracic Doppler Echocardiography of Normally Originating Coronary Arteries in Children. *J Am Soc Echocardiogr.* 1998 May; 11(5):409–20.
Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894731798700197>
108. Jiang G-P, Wang H-F, Gong F-Q, He J, Ye J-J, Wang W. Diagnostic value of parasternal pulmonary artery short-axis view for the anomalous origin of the left coronary artery from the pulmonary artery. *J Cardiol.* 2014 Jun;63(6):444–8.

Available from:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0914508713003249>

109. Dorfman AL, Levine JC, Colan SD, Geva T. Accuracy of echocardiography in low birth weight infants with congenital heart disease. *Pediatrics*. 2005 Jan;115(1):102–7.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15629988>
110. Mertens L, Seri I, Marek J, Arlettaz R, Barker P, McNamara P, et al. Targeted Neonatal Echocardiography in the Neonatal Intensive Care Unit: practice guidelines and recommendations for training. Writing Group of the American Society of Echocardiography (ASE) in collaboration with the European Association of Echocardiograph. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011 Oct;24(10):1057–78.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21933743>
111. Vick GW, Huhta JC, Gutgesell HP. Assessment of the ductus arteriosus in preterm infants utilizing suprasternal two-dimensional/Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol*. 1985 Apr;5(4):973–7.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3973300>
112. Lecompte Y, Zannini L, Hazan E, Jarreau MM, Bex JP, Tu T V, et al. Anatomic correction of transposition of the great arteries. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1981 Oct;82(4):629–31.
Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7278356>
113. Snider A, Serwer G, Ritter S, editors. Abnormalities of Ventriculoarterial Connection. In: *Echocardiography In Pediatric Heart Disease*. 2nd ed. St. Louis, Missouri: Mosby; 1997. p. 297–342.
114. Delmo Walter EM, Miera O, Nasser B, Huebler M, Alexi-Meskishvili V, Berger F, et al. Onset of pulmonary stenosis after arterial switch operation for transposition of great arteries with intact ventricular septum. *HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth*. 2011 Jan;3(3):177–87.
Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3484630&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
115. Gleason MM, Chin AJ, Andrews BA, Barber G, Gregg Helton J, Murphy JD, et al. Two-dimensional and doppler echocardiographic assessment of neonatal arterial repair for transposition of the great arteries. *J Am Coll Cardiol*. 1989 May;13(6):1320–8.
Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0735109789903082>

11. ANEXOS