

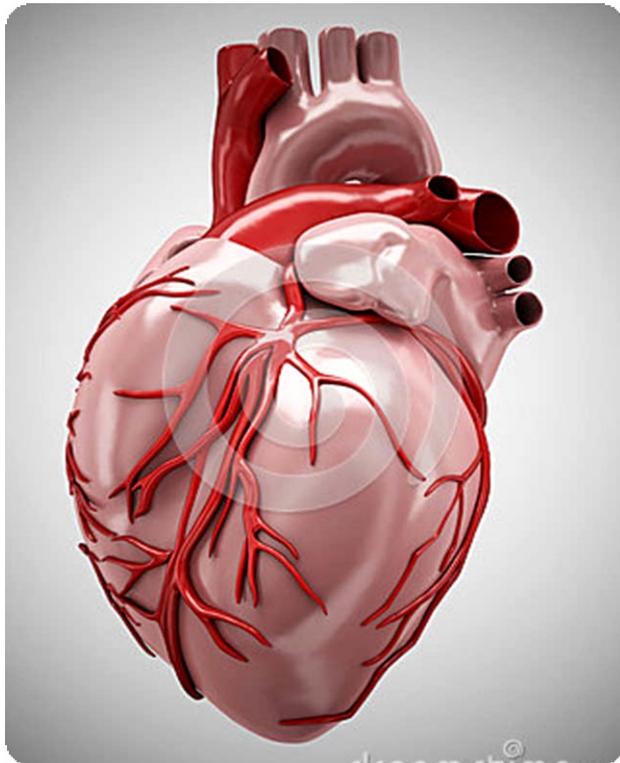


**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

**"SCREENING PRENATAL DE LAS CARDIOPATÍAS
CONGÉNITAS: LA TECNOLOGÍA STIC".**

*"PRENATAL DETECTION OF CONGENITAL HEART
DISEASE: THE STIC TECHNOLOGY"*



Autor:

ÁLVAREZ MARTÍNEZ, ALICIA

Tutor:

DR. ARTURO VERA GIL

*"Departamento de Anatomía y
Embriología Humanas"*

Facultad de Medicina de Zaragoza

2015-2016



**Universidad
Zaragoza**

ÍNDICE

RESUMEN / ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	4
- Las cardiopatías congénitas: epidemiología y factores de riesgo.....	5
- Ecocardiografía fetal: Screening prenatal y evolución.....	7
- Embriología del corazón y grandes vasos.....	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
RESULTADOS.....	16
- Introducción a la tecnología Cardio-STIC (Spatio Temporal Image Correlation).....	16
- ¿Cómo se obtiene el volumen cardíaco?.....	18
- Métodos de Post-procesamiento.....	18
o Análisis multiplanar.....	18
o Modos de renderización.....	20
o Tomographic ultrasound imaging (TUI).....	21
o B-Flow.....	22
o Modo inversión.....	23
o Modo Doppler-color.....	23
o Modo M y función cardíaca fetal.....	24
o STIC y las nuevas tecnologías: Tele-STIC.....	25
- Diagnóstico prenatal de las principales cardiopatías congénitas, mediante la técnica 4D-STIC.....	25
o Atresia pulmonar y Defecto del Septo Interventricular.....	25
o Defectos del Septo Atrio-Ventricular.....	27
o Aneurisma Ventricular Izquierdo.....	28
o Defectos Cono-Trunciales.....	30
o Transposición de Grandes Vasos.....	31
o La coartación de Aorta.....	32
o Conexión venosa anómala.....	34
CONCLUSIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	39



RESUMEN

Introducción: las cardiopatías congénitas son las malformaciones congénitas severas más frecuentes en nuestro medio y aparecen en la mayoría de los casos, en pacientes sin antecedentes o factores de riesgo. Por ello, el screening ecográfico prenatal es fundamental para su diagnóstico precoz, pudiendo así realizar un seguimiento exhaustivo durante el embarazo, un control del parto y una planificación del tratamiento tras este.

Objetivo: investigación sobre nueva tecnología STIC en el screening prenatal de cardiopatías congénitas, cómo funciona y sus principales ventajas e inconvenientes con los métodos ecocardiográficos actuales.

Material y métodos: se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos, buscados en las bases de datos Pubmed, Jourland of Ultrasound in Medicine, Wiley Online Library, Academic Google y en varios libros.

Resultados: la modalidad 4D-STIC es una nueva tecnología que permite la adquisición del volumen del corazón fetal y de sus conexiones, durante un ciclo cardíaco completo, permitiendo reconstruir y analizar la anatomía cardíaca en movimiento. Gracias a ello, tenemos una menor dependencia del operador, menor tiempo de examen, se puede analizar sin la presencia del paciente, y puede ser compartido vía Internet. Además, proporciona una visión anatómica más precisa, pudiendo visualizar mejor las patologías de pequeños vasos (coronarias), las anomalías del arco aórtico y cono-truncales, las conexiones venosas pulmonares, hipocinesias musculares y patologías septales.

Peso a ello, debemos tener en cuenta que ofrece otras desventajas, que se esperan ser superadas con un mayor desarrollo de esta nueva tecnología, como el alto coste de los equipos utilizados, la necesidad de realización de cursos para su nuevo aprendizaje, la reducción de la precisión por los movimientos fetales y los cambios espacio-temporales del corazón fetal a lo largo de su desarrollo.

Conclusiones: debido a la gran importancia de un diagnóstico prenatal de las cardiopatías congénitas para reducir la morbimortalidad fetal, han surgido nuevas tecnologías para mejorar la precisión diagnóstica: la modalidad 4D-STIC. Ésta nueva tecnología, que aún no se utiliza en la práctica clínica diaria, ofrece grandes ventajas sobre las tecnologías anteriores.

Palabras claves: “STIC congenital cardiopathy”, “Heart Disease”, “Spatiotemporal Correlation”, “Rendering Stic”, “STIC-TUI”, “Ecocardiografía Fetal”, “Factores De Riesgo Cardiopatías Congénitas”, “STIC heart congenital”, “Four Dimensional Fetal Echocardiography”, “STIC fetal echocardiography”.



ABSTRACT

Introduction: congenital heart defects are the most common severe congenital malformations in our environment and are in most cases in patients with no history or risk factors. Therefore, prenatal ultrasound screening is essential for early diagnosis and can accurately track during pregnancy, delivery and control treatment planning behind this.

Objective: STIC research on new technology in prenatal screening for congenital heart disease, how it works and its main advantages and disadvantages with current echocardiographic methods.

Material and Methods: We performed a literature review of scientific papers, searched in PubMed databases, Jourland of Ultrasound in Medicine, Wiley Online Library, Academic Google and books.

Results: 4D-STIC mode is a new technology that allows the acquisition of fetal heart volume and its connections during a complete cardiac cycle, allowing reconstruct and analyze the cardiac anatomy in motion. As a result, we have less dependence on operator, shorter examination, can be analyzed without the presence of the patient, and can be shared via the Internet. It also provides a more accurate anatomical vision and can better visualize the pathologies of small vessels (coronary), anomalies of the aortic arch and cone-truncal, pulmonary venous connections, and septal hypokinesia muscle pathologies.

Weight to it, we must consider offering other disadvantages, which are expected to be overcome with further development of this new technology, such as the high cost of equipment used, the need for conducting courses for new learning, reducing accuracy by fetal movements and fetal heart changes throughout its development spatiotemporal.

Conclusions: Due to the great importance of prenatal diagnosis of congenital heart disease to reduce fetal morbidity and mortality, there are new technologies to improve diagnostic accuracy: 4D-STIC mode. This new technology not yet used in daily clinical practice, offers great advantages over previous technologies.

Key words: "STIC congenital cardiopathy", "Heart Disease", "Spatiotemporal Correlation", "Rendering Stic", "STIC-TUI", "Echocardiography Fetal", "Risk Factors Congenital Heart Disease" "STIC congenital heart", "Four Dimensional Echocardiography fetal", "STIC fetal echocardiography."



INTRODUCCIÓN

Las cardiopatías congénitas: epidemiología y factores de riesgo

Las cardiopatías congénitas (CC) constituyen las malformaciones congénitas severas más frecuentes. Afectan aproximadamente al 0.8-1% de los recién nacidos y en la mitad de los casos corresponden a defectos severos. La mortalidad global ante una CC diagnosticada en vida fetal se sitúa entre el 25-35% y en la actualidad, el 15% de los niños nacidos con una CC no llegarán a la adolescencia.

La prevalencia de anomalías cromosómicas y síndromes genéticos asociados a las CC fetales es también alta, sobretodo si se asocian otras malformaciones. Ante el diagnóstico de una CC fetal:

- El riesgo de anomalía cromosómica se estima en un 15-25% dependiendo del tipo de CC.
- El riesgo de malformación extracardíaca se sitúa en un 25-40%. La presencia de una CC incrementa 10 veces el riesgo de presentar otra malformación. ⁽¹¹⁾

La mayoría (>90%) de CC aparecerán en fetos procedentes de la población general, es decir sin antecedentes o factores de riesgo conocidos.

Por ello, el papel de la ecografía prenatal de screening es fundamental para su diagnóstico. La sospecha de CC en la ecografía de screening, constituye en la actualidad la herramienta principal para el diagnóstico de las CC fetales.

Está actualmente aceptado que el diagnóstico prenatal de las CC, tiene un efecto claramente beneficioso sobre el pronóstico de las mismas: por un lado, permite realizar una correcta evaluación pronóstica y por otro, permite adecuar el control de la gestación y planificar el parto, lo que tiene un impacto positivo en el pronóstico postnatal de gran parte de las CC, especialmente en aquellas ductus dependientes. ⁽²⁰⁾

Con los equipos de ultrasonidos de alta resolución actualmente es posible visualizar y examinar el corazón en las fases de crecimiento fetal en pacientes con riesgo de alguna cardiopatía congénita. El conocimiento anatómico de las estructuras cardiacas y la correcta interpretación de las imágenes ecocardiográficas durante el desarrollo fetal permiten el diagnóstico precoz de ciertas afecciones congénitas con importantes implicaciones fisiopatológicas.

Cuando hay una alteración de la anatomía fetal, hay que tener presente que la probabilidad de que esta anomalía se asocie a una cardiopatía congénita es de alrededor del 26%.⁽¹⁷⁾

En la mayoría de los casos, no hay una causa identificable para el defecto cardíaco y se considera generalmente que es causada por herencia multifactorial.

Los principales factores de riesgo prenatales relacionados con la aparición de las cardiopatías congénitas son:⁽²⁶⁾

- La **edad materna** avanzada (35 y más) constituye un factor de riesgo para las CC por la mayor frecuencia de defectos cromosómicos en estos grupos etarios.
- Los **antecedentes** de CC en progenitores, hermanos y otros familiares se reportan en la literatura como factor de riesgo para la aparición de las CC y puede aumentar de 1 % a 4 %.

Si la madre tiene una CC, el riesgo de tener un niño con esta enfermedad oscila entre 2,5 % y 18 % con un riesgo promedio de 6,7 %, este riesgo aumenta cuando un hermano nació con una CC.⁽⁹⁾

- La descompensación, así como el manejo inadecuado de las **enfermedades crónicas** de la madre durante la gestación, constituyen factores de riesgo que ponen en peligro el bienestar materno fetal. Se reportan como posibles causas de CC, la diabetes mellitus, la fenilcetonuria o la epilepsia. Cabe destacar a la diabetes mellitus, de la cual se ha encontrado asociación con las cardiopatías troncoconales como la Tetralogía de Fallot, la Transposición de grandes vasos y el Tronco común.
- La aparición de **enfermedades infecciosas** durante la primera etapa del embarazo.
- En cuando a la **ingestión de bebidas alcohólicas** durante la gestación, es claramente preocupante, aunque no ha sido demostrado su relación con las CC, si está desmostrado du efecto como inductor de muerte celular.

Por otra parte siempre debemos tener en cuenta que la declaración de las gestantes sobre la ingestión de alcohol puede estar sesgada, ya que muchas niegan este hecho para no ser criticadas por las demás personas y las señalen como alcohólicas.

- La **ingestión de medicamentos teratogénicos**, cuyos madres tienen 3 veces más probabilidades de tener hijos con CC que las gestantes que no



tomaron dichos medicamentos. Ejemplo de ello son los esteroides, los anticonvulsivos, la talidomida y la isotretinoína.⁽²⁹⁾

- La administración periconcepcional de **suplementos polivitamínicos** con **ácido fólico** puede reducir el riesgo de CC en el recién nacido, de un modo similar a la conocida reducción del riesgo para los defectos del tubo neural que se ha observado con el ácido fólico.⁽²⁶⁾

Ecocardiografía Fetal: Screening Prenatal Y Evolución

Desde el nacimiento de la ecocardiografía fetal, a finales de 1970, mediante la evaluación del movimiento cardíaco fetal en modo A y en modo M, han ido surgiendo nuevas técnicas y aplicaciones, configurando un campo cuya situación actual y perspectivas de futuro son bien distintas a las de su origen.⁽³⁰⁾

Aparentemente a causa de su compleja geometría, el corazón del feto ha sido durante mucho tiempo el talón de Aquiles de los ecografistas fetales. Aunque la enfermedad cardíaca congénita (ECC) es más frecuente que cualquier otra anomalía congénita mayor, la tasa de la detección se ha mantenido decepcionantemente baja.

Esta debilidad en la ecografía de cribado fetal representa un problema real, ya que es responsable de la mayoría de la mortalidad neonatal por malformaciones congénitas. Por lo tanto, la detección prenatal podría suponer una gran diferencia.

Como resultado, durante años, se ha intentado mejorar la detección prenatal de las enfermedades del corazón.⁽³⁶⁾

En primer lugar se utilizó el **modo M**, que aunque actualmente está como considerado de segunda línea, sigue teniendo una gran utilidad en la evaluación y diagnóstico de las arritmias fetales; así como para el estudio biométrico fetal.

Después surgió la **ecografía bidimensional (2D)**, la cual sigue siendo actualmente el "gold standard" para la valoración del corazón fetal.⁽³⁰⁾

Gracias a esta modalidad, se propuso la vista de las 4 cámaras como un método eficaz para la detección de CC fetales. A día de hoy; de hecho, la vista de las 4 cámaras sigue siendo el estándar para la evaluación ecografía fetal en el cribado de embarazos de bajo riesgo.

Por desgracia, en la práctica, la vista de 4 cámaras ha dado lugar a bajas tasas de detección de cardiopatías congénitas.⁽³⁶⁾



Para mejorar su detección, surgieron otras modalidades realizadas en conjunto con la visualización de las 4 cámaras (**el Doppler espectral, el Doppler color, el Power Doppler y el Doppler tisular**), pero esta técnica requiere experiencia y equipo especializado.⁽³⁰⁾

Más recientemente, ha habido un gran impulso hacia el intento de incluir la visualización de los tractos de salida junto con el de 4 cámaras, porque muchos defectos (tales como una doble salida del ventrículo derecho, tetralogía de Fallot, transposición de las grandes arterias, y el tronco arterioso) pueden parecer normales en la vista de 4 cámaras.

Este examen de detección extendido, no se ha convertido en un estándar de atención, debido en gran parte a la dificultad para los ecografistas de adquirir las imágenes de los tractos de salida; ya que a diferencia de la de 4 cámaras, los tractos de salida no se encuentran en un mismo plano.

Recientemente, surgieron las imágenes en **3 dimensiones**, en el que los volúmenes pueden ser adquiridos en cuestión de segundos y después ser revisados de forma interactiva, lo que permite la visualización de prácticamente cualquier plano. Por desgracia, la resolución de imagen con imágenes en 3 dimensiones sigue siendo baja, y se necesita una considerable experiencia para evaluar los conjuntos de datos de volumen, a pesar de la existencia de nuevos algoritmos y técnicas de visualización para facilitar su análisis.

El diagnóstico prenatal de cardiopatías congénitas sigue siendo problemático e imperfecto, a pesar de estos avances loables, y el problema no es la compleja geometría del corazón fetal.

Gran porcentaje de los casos de cardiopatías congénitas con anomalías en las cámaras cardíacas continúan perdiéndose, además de aquellos defectos que implican principalmente los tractos de salida.

El hecho, es que la principal diferencia entre el corazón fetal y las estructuras evaluadas durante el control de rutina de la ecografía fetal es que el corazón se mueve.

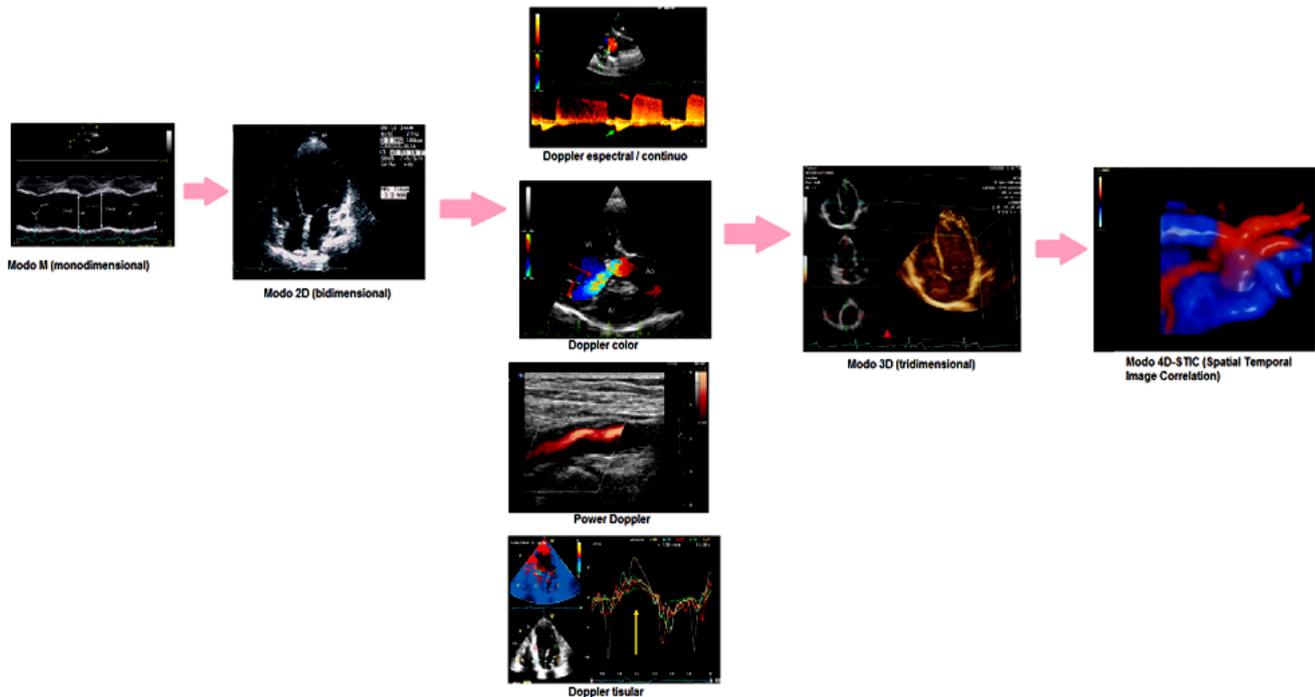
Sin embargo, mientras que el ecografista durante la exploración, ve el latido del corazón del feto, el médico; durante la revisión, por lo general no ve más que 1 o más fotogramas estáticos.

Por ello se introdujo la tecnología **4D-STIC**, que nos permite ver el corazón fetal y sus conexiones vasculares en todas las etapas del ciclo cardíaco.

Se abre así una prometedora perspectiva en el campo del diagnóstico prenatal, el cual estudiamos en este artículo, para desentrañar los beneficios y avances



que supone esta nueva tecnología en el diagnóstico prenatal de cardiopatías congénitas, con respecto a las técnicas anteriores.⁽³⁶⁾

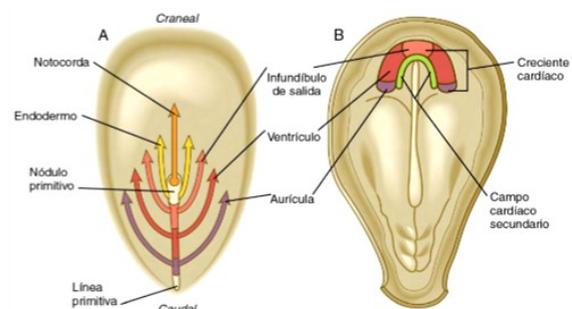


Embriología Del Corazón y Grandes Vasos

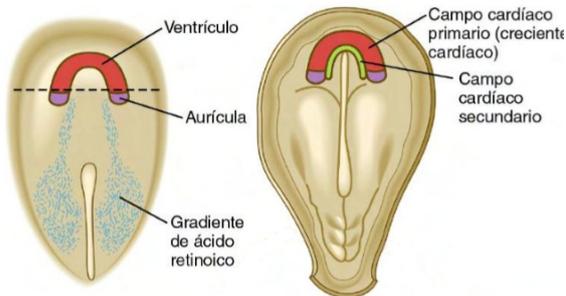
A medida que el embrión crece durante la 3S, alcanza un tamaño en el cual, el mecanismo de difusión simple placentario no es capaz de satisfacer las demandas de distribución nutricionales y de eliminación de sustancias de desecho. Por ello, el corazón y el sistema circulatorio surgen como una adaptación embrionaria, permitiéndole crecer rápidamente y distribuir los nutrientes a todas las células fetales.⁽³¹⁾

El Corazón

El desarrollo s. circulatorio se inicia con la migración cráneo-caudal de las células pre-cardíacas, originadas en el epiblasto: las más centrales formaran el infundíbulo de salida, las del medio los ventrículos y las externas las aurículas. Así se produce una formación en U de mesodermo cardiogénico: “Creciente cardíaco”.



La exposición de las células más posteriores a un gradiente de **ác. Retinoico** hace que adopten la identidad auricular, mientras que las más anteriores no expuestas al ac. Retinoico, adoptan la identidad ventricular.



Más tarde, de células multipotenciales del mesodermo faríngeo surge una formación “el campo cardíaco secundario”, que formará el VD, el tracto de salida y el pro-epicardio.

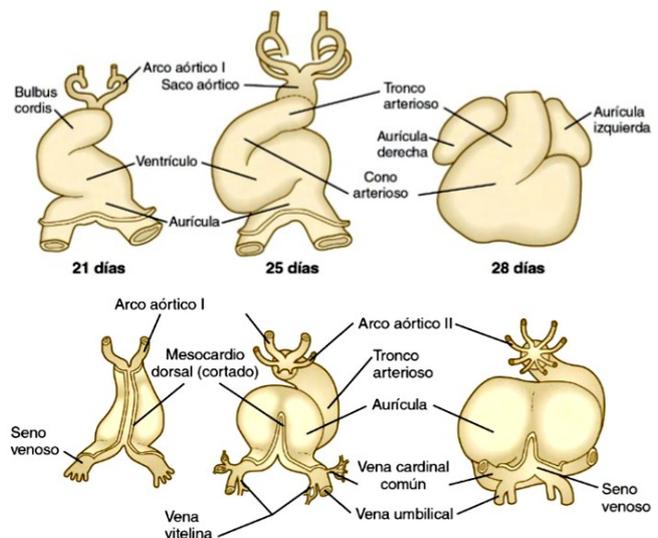
La diferenciación de estas c. multipotenciales del mesodermo faríngeo en músculo cardíaco o esquelético, y dentro del músculo cardíaco, en sus diferentes estructuras, se lleva a cabo por una serie de moléculas “**red nuclear reguladora**” (NKX2, MEF-2, GATA, Hand, Tbx), cuya activación contracorriente es específica de cada uno de los campos cardíacos.

La diferenciación de estas c. multipotenciales del mesodermo

Dentro de la diferenciación en c. muscular cardíaca, existen diversas líneas celulares. En el mesodermo cardiogénico, las células que expresen **N-Cadherina** formarán miocitos auriculares/ventriculares, mientras que las que no lo expresen, formarán el revestimiento endocárdico y; posteriormente, los cojinetes endocárdicos. Las células del sistema de conducción se formarán a partir de miocitos auriculares-ventriculares modificados.

El tubo cardíaco se forma a finales de la 3S y está formado principalmente por el campo cardíaco primario, aunque durante su desarrollo incorpora células del campo cardíaco secundario. A continuación sufre un plegamiento a la derecha, determinado por algunos genes (Nkx-2.5, MEF-2, Hand-1, Hand-2), y su superficie ventral se convierte en el margen externo, y la dorsal, en el margen interno. Al final se forma un corazón con forma de S (cranial a caudal): tracto de salida, ventricular (D más cranial, I más caudal), aurícula común, tracto de entrada (seno venoso).

Con el plegamiento la parte caudal de entrada de flujo (Aurícula) pasa a una posición dorsal al tracto de salida y comienza a crearse un tabique de separación (**Septum primum**), produciéndose una división que hace que esta estructura protruya a cada lado del tracto de salida (**AD y AI**).



La parte distal, entra directamente en el sistema de arcos aórticos, formándose el **tronco arterioso**.

El septum primum crece hacia los cojinetes endocárdicos fusionados (septum intermedio) y la comunicación persistente bajo él, entre ambos atrios, recibe el nombre de **ostium primum**. Finalmente, hacia el final de la sexta semana, el ostium primum desaparece al fusionarse el septum primum con los cojinetes endocárdicos. Antes de que ello ocurra, sin embargo, se desarrolla un proceso de apoptosis en la región superior del septum primum, lo que da por resultado la formación de un nuevo foramen, el **ostium secundum**.

Así, a medida que se cierra el ostium primum, se forma el ostium secundum, manteniéndose una comunicación entre atrio derecho e izquierdo, permitiendo el flujo sanguíneo en ese sentido.

Mientras ocurre el crecimiento del septum primum un segundo pliegue, el **septum secundum**, se proyecta desde el techo del atrio derecho. El septum secundum es un pliegue grueso y muscular, que crece hacia abajo y hacia atrás, pero que nunca llega a fundirse con el septum intermedio (cojinetes endocárdicos fusionados). A medida que crece el septum secundum, absorbe al septum primum y a la valva izquierda de la válvula venosa; elementos que se incorporan a la superficie derecha del septum secundum.

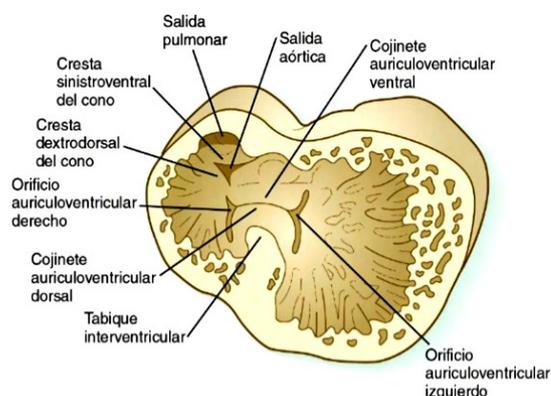
El espacio que queda entre el septum secundum y el septum intermedio corresponde al **foramen oval**.

El tracto de entrada (**seno venoso**) se desplaza completamente hacia la AD. El cuerno derecho se va incorporando a la pared AD y el cuerno izquierdo más pequeño (**seno coronario**) se abre directamente a la AD.

El tracto de salida (bulbus cordis) se dirige al interior del saco aórtico y al incipiente sistema de arcos aórticos.

La aurícula se separa del ventrículo gracias a la formación de unos gruesos cojinetes auriculo-ventriculares, que se comportarán como válvulas primitivas. Además aparece un engrosamiento parecido, aunque menor, en la unión entre el tracto de salida y el ventrículo.

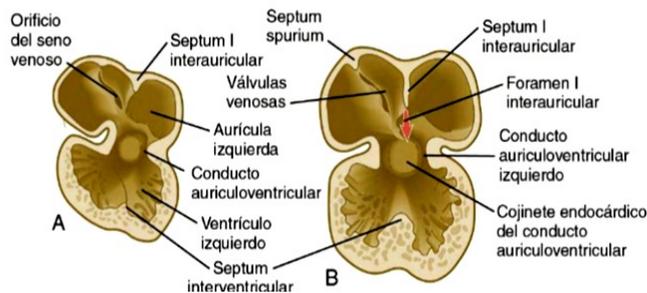
Estos **cojinetes endocárdicos** se transforman en tejido conjuntivo denso y forman las paredes dorsal y ventral del conducto AV. Conforme crecen en este canal, los dos cojinetes se encuentran y separan el canal AV en los conductos D e I.



Las hojas valvulares definitivas se originan de una invaginación de los tejidos superficiales derivados del epicardio del surco AV.

La válvula que protege el canal AV D desarrolla 3 valvas (**V. Tricúspide**), mientras que la del canal I desarrolla sólo 2 valvas (**V. Mitral**).

Mientras se empiezan a desarrollar los tabiques inter-auriculares, comienza la formación de un **tabique interventricular muscular**, desde el vértice del asa ventricular, hacia los cojinetes endocárdicos AV. Aunque al inicio existe un agujero interventricular, al final se oblitera mediante un crecimiento adicional de



este tabique ventricular muscular, una contribución de la cresta tronco-conal y un componente membranoso del tejido conjuntivo de los cojinetes endocárdicos. ⁽⁹⁾

Arterias Coronarias

Las arterias coronarias se originan en el mismo primordio celular que el futuro epicardio (mesodermo puro), y más tarde penetran en pared del corazón que ya está latiendo, cuando la capa del epicardio envuelve al miocardio. Tras formarse in situ, las a. coronarias desembocan de forma secundaria en la a. aorta. ⁽³¹⁾

Tronco Arterial Aórtico-Pulmonar

El mesodermo espláncnico extraembrionario del saco vitelino es estimulado por el endodermo del saco vitelino por la molécula "*Indian hedgehog*", lo que hace que el mesodermo produzca BMP-4, que auto-estimula al propio mesodermo. Así aparecen numerosos islotes sanguíneos pequeños, constituidos por hemagioblastos.

Las células centrales se convierten en hemocitoblastos (formadores de sangre) y las de la parte externa en células de revestimiento endotelial (paredes internas de los vasos).

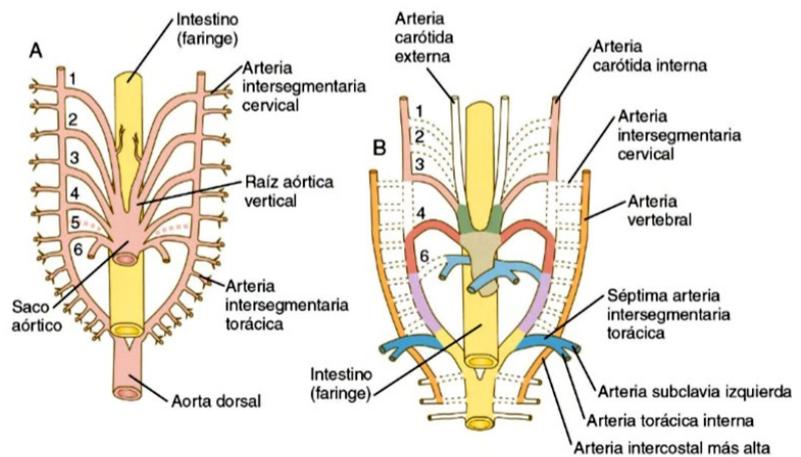
Estos islotes sanguíneos ya formados, se van fusionando formando canales vasculares primitivos, que se extienden hacia el cuerpo del embrión.

En el extremo caudal del corazón inicial, los tubos endocárdicos se extienden hacia la parte posterior del cuerpo, donde forman el infundíbulo venoso de entrada al corazón.

El tubo endotelial que sale del corazón en su extremo craneal, da unos arcos vasculares que rodean a la faringe y formaran el sistema arterial de salida del corazón.

De esta manera se produce la vasculogénesis de la aorta dorsal, cuya parte craneal inicialmente es doble, situándose ambos vasos a los lados de la línea media. En la 4S se forma la aorta ventral.

La sangre saldrá del ventrículo cardíaco común, hacia la raíz aórtica ventral, desde la cual se distribuye a través de arcos braquiales mediante pares de arcos aórticos, y de éstos, la sangre se vacía en las aortas dorsales pares, por las que la sangre entra a la circulación sistémica.



El desarrollo continuo de las regiones craneal y cervical, hace que los componentes de los 3 primeros arcos aórticos se remodelen en el sistema de la **a. carótida**.

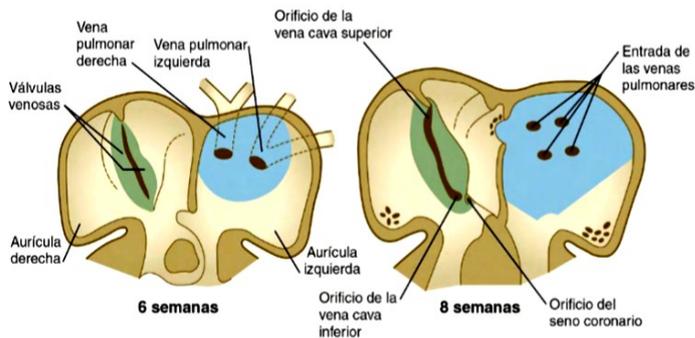
Al remodelarse el tubo cardíaco y producirse la división interna del tracto de salida en los componentes pulmonar y aórtico, los arcos cuartos se adaptan a dicha asimetría: el izquierdo formará el **cajado de la aorta** y, el derecho; se incorporará a la **a. subclavia derecha**.

El quinto arco aórtico no forma conductos vasculares definidos. El sexto arco aórtico, forma un plexo capilar asociado a la tráquea y a las yemas pulmonares primitivas.

La parte proximal del lado izquierdo formará la **a. pulmonar izquierda**. La parte distal del lado izquierdo formará el **ductus arterioso**, que pasará la sangre desde la **a. pulmonar izquierda**, hasta la **a. aorta**. El lado derecho, la parte distal degenera y la proximal formará la base de la **a. pulmonar derecha**.
(9)

Venas Pulmonares

De cada pulmón, los conductos de drenaje venosos convergen hasta forman una única v. pulmonar común de gran calibre, que vacía su contenido en la AI. A medida que se expande la AI, la v. pulmonar común se incorpora a su pared.



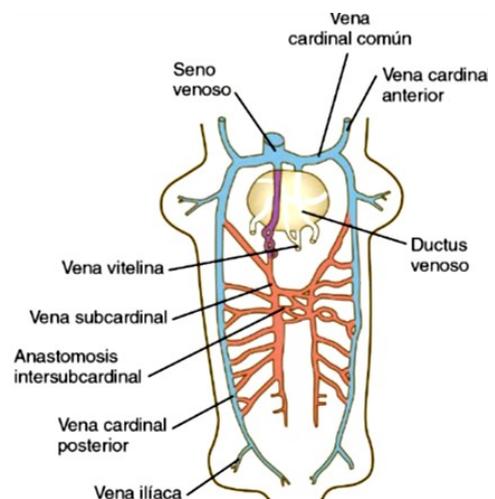
Por último, la incorporación supera los puntos de ramificación primero y segundo de las v. pulmonares originales, de forma que al final en la AI entran **4 venas pulmonares** independientes.⁽³¹⁾

Vena Cava Superior y Vena Cava Inferior

Las venas cardinales son la base de su formación, las cuales aparecen en distintas localizaciones y en momentos diferentes. Algunos segmentos involucionan y otros persisten. Primero se forma la v. cardinal anterior y posterior pares, que drenan la sangre hacia otro par de v. cardinales comunes, las cuales lo vacían en el seno venoso del corazón primitivo.

La vena cardinal anterior derecha formará la v. **cava superior**, que drenará en la AD. La parte proximal de la v. cardinal común izquierda formará el **seno coronario**, que será la vía de drenaje final para muchas v. coronarias, hacia la AD.

La **vena cava inferior** se formará como un único vaso asimétrico que discurre paralelo y a la derecha de la a. aorta.⁽³¹⁾



Función Cardíaca

Desde el día 21-22, las células musculares cardíacas están suficientemente diferenciadas como para permitir que el corazón comience a latir. El latido es lento (<40 lpm) y la actividad marcapasos comienza cercano a la región de entrada de flujo, extendiéndose hacia el tracto de salida. Para la formación del sistema de conducción especializado del adulto, se necesita la coordinación de los latidos de las cámaras cardíacas en expansión, lo que se inicia en la región auricular, sumándose luego un sistema de conducción nuevo procedes de del miocardio ventricular.⁽⁹⁾

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este artículo de revisión bibliográfica, se ha investigado online en las principales bases de datos.

En la base de datos **Pubmed**, se pusieron las siguientes “key words”:

- “STIC congenital cardiopathy”, con los filtros: publication dates 10 years, human specie, free full text. Se obtuvieron un resultado de 30 publicaciones, de las cuales se han recogido 12 publicaciones.
- “Heart Disease Spatiotemporal Correlation”, con los filtros: Publication dates 10 years, human specie, free full text. Se obtuvo un resultado de 25 publicaciones, de las cuales se han recogido 8 publicaciones
- “Rendering Stic”, con los filtros: Publication dates 10 years, human specie, free full text. Se obtuvo un resultado de 7 publicaciones, de las cuales se han recogido 2 publicaciones.
- “STIC-TUI”, con los filtros: Publication dates 10 years, human specie, free full text. Se obtuvo un resultado de 7 publicaciones, de las cuales se han recogido 1 publicación.

En la base de datos de “**Academic Google**”, se pusieron las palabras clave “Ecocardiografía Fetal”, “Factores De Riesgo Cardiopatías Congénitas”, con los filtros: desde 2013, buscar en al Web. Se obtuvo un resultado de 4860 publicaciones. Se ordenó según relevancia y se escogieron 2 publicaciones.

En la base de datos “**Wiley Online Library**” se pusieron las palabras clave “STIC heart congenital”, con los filtros: Journals. Se obtuvo un resultado de 704 publicaciones, de las cuales se escogieron 3 publicaciones.

En la revista “**Jourland of Ultrasound in Medicine**” se pusieron las palabras clave: “Four Dimensional Fetal Echocardiography”, “STIC fetal echocardiography”. Se obtuvieron. Se obtuvo un resultado de 2438 publicaciones. Se ordenaron según relevancia, y se escogieron 7 publicaciones.

Entre los artículos anteriores se encuentran artículos de revisión, estudios comparativos, meta-análisis y casos clínicos.

Además; se buscó también información en varios **libros**: “Embriología humana y biología del desarrollo” de Bruce M. Carlson, “Embriología clínica” de Moore KL. y “Ecografía total en Obstetricia y Ginecología” de Mercé LT.



RESULTADOS

Intrducción a la tecnología Cardio-Stic (Spatio Temporal Image Correlation)

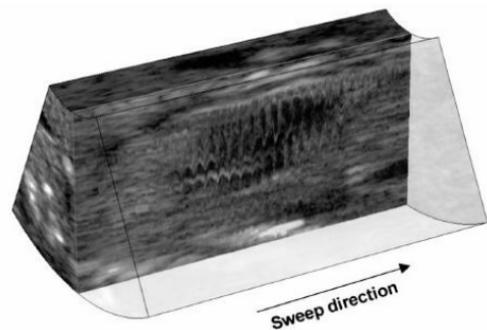
Las cardiopatía congénitas severas se encuentran en 6 de cada 1.000 nacidos vivos y es la causa principal de muerte entre los niños con anomalías congénitas. Si se incluyen defectos de poca significación clínica, tales como pequeños defectos septales ventriculares (VSD), la incidencia puede ser tan alta como 75 / 1.000 nacidos vivos.

El diagnóstico prenatal de las cardiopatías congénitas se asocia con una disminución de la morbilidad y mortalidad neonatal.

El diagnóstico prenatal de las cardiopatías congénitas por Ecocardiografía 2D, depende de las habilidades del operador, lo que limita la mejora de las tasas de detección para las cardiopatías congénitas. Por ello varios investigadores han explorado el uso de la Ecografía 3D y 4D-STIC para el examen del corazón fetal.⁽²¹⁾

La modalidad 4D-STIC es una nueva tecnología que permite la adquisición del volumen del corazón fetal y de sus conexiones, durante un ciclo cardíaco completo. Gracias a ello, se puede reconstruir y analizar la anatomía cardiaca en movimiento.⁽³⁰⁾

La adquisición automatizada del volumen es posible gracias al transductor, el cual realiza un barrido lento, almacenándose todos los datos en un volumen 3D. Este volumen está formado por la sucesión de fotogramas en 2D, uno detrás de otro. Los datos de volúmenes se adquieren en 7,5 a 15 segundos, con un ángulo de barrido de 20 a 40 grados, y una tasa de 150 fotogramas por segundo. En 10 segundos, un ángulo de barrido de 25°, puede contener 1500 imágenes en modo B (2D).⁽⁴¹⁾



A mayor ángulo, mayor volumen y más tiempo de adquisición. A menor velocidad ó número de secuencias por segundo, mayor calidad de la imagen.⁽⁴¹⁾

Esta serie de datos se almacenan y se ordenan siguiendo criterios espaciales y temporales, a través de la detección automática de los picos sistólicos, que definen al ciclo cardíaco. Con esto se forma una imagen 3D de un ciclo cardíaco completo, formado por aproximadamente 1.500 imágenes ó 40 volúmenes consecutivos.⁽¹⁾

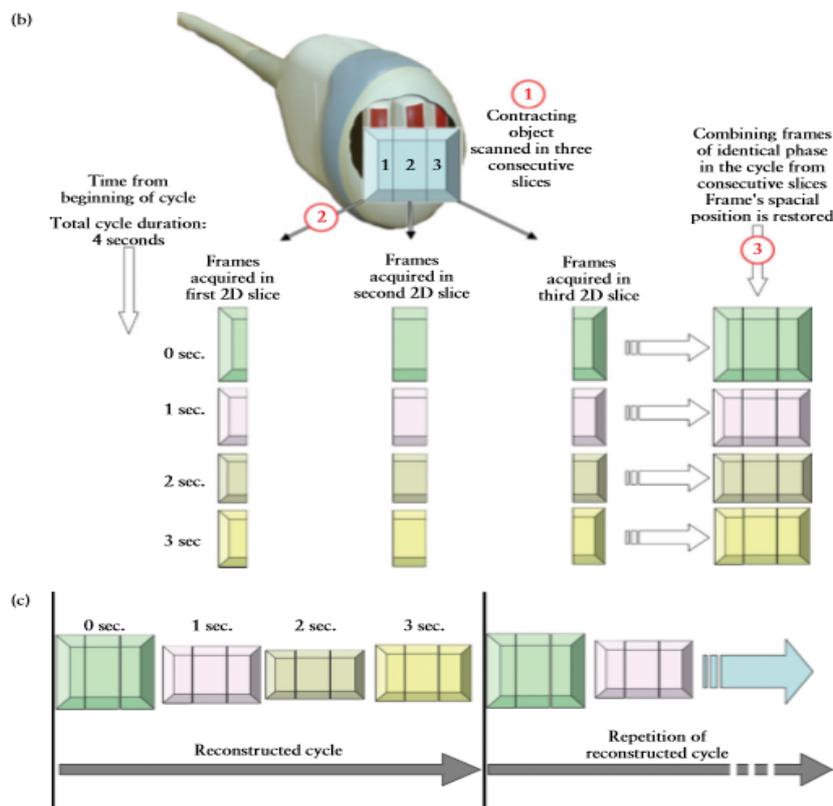
El operador puede navegar dentro del conjunto de datos guardado tanto espacial como temporalmente, usando las herramientas de post-procesamiento. Desde el interior de este volumen guardado el operador puede obtener la región diana de interés en cualquier etapa del ciclo cardíaco.⁽¹⁹⁾

Esta reconstrucción se lleva a cabo inmediatamente después de la exploración en cuestión de segundos y puede ser revisada con el paciente todavía está presente, repetirla si es necesario, y guardarla en el escaner o en una red.

Los conjuntos de volúmenes 3D / 4D obtenidos son un "bloque" de la información, que es generalmente una parte en forma de cuña del área de orientación del transductor. Para analizar esto de manera efectiva, el operador muestra 3 planos 2D. Cada uno de ellos representa los planos ortogonales del volumen.

El punto de referencia guía al operador en la navegación dentro del volumen, ya que está anclado en el punto de intersección de los tres planos. Moviendo dicho punto de referencia, el operador puede manipular el volumen para ver cualquier plano del espacio; y cada plano se puede visualizar en cualquier etapa del ciclo de escaneado.

Para una buena exploración, el operador puede desplazarse por el volumen adquirido para obtener secuencialmente diferentes planos del corazón fetal y cualquier plano se puede ver en cualquier momento del ciclo cardíaco reconstruido.⁽⁴¹⁾



¿Cómo se obtiene el volumen cardíaco?

El barrido se puede hacer ya sea a través del abdomen o de la vía endovaginal (este último es para la etapa inicial de la gestación o para las mujeres embarazadas obesas).⁽⁵⁾

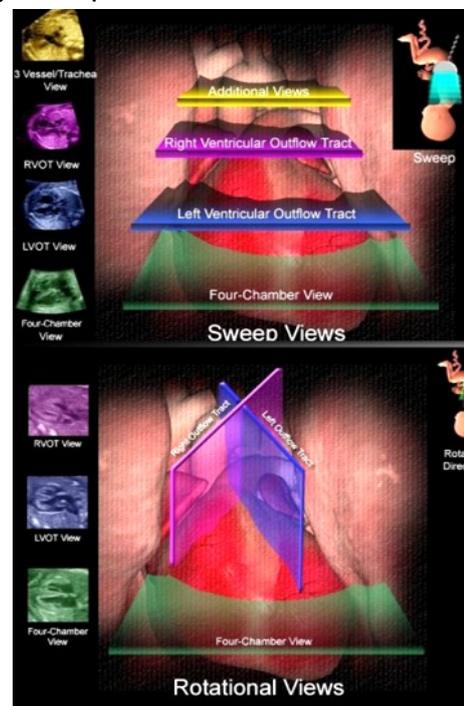
Se realizan barridos transversales y sagitales.

Para barridos transversales, se deben realizar con la punta del corazón orientado hacia delante, con un ángulo de 10 a 45 grados entre el tabique interventricular y haz de ultrasonidos. Este enfoque se utiliza para proporcionar la mejor exposición simultánea posible de las válvulas auriculoventriculares y el tabique interventricular al haz de ultrasonidos.⁽²²⁾ Además, la columna vertebral del feto debe estar posicionada a las 6 horas, y siempre tratando de evitar las secciones donde la columna vertebral se encuentra a las 11h y a la 1h, debido a las sombras acústicas

Los barridos sagitales favorecen las evaluaciones de los arcos aórticos y ductales y las conexiones venosas del corazón.⁽²²⁾

Siempre que sea posible, los volúmenes deben ser adquiridos en ausencia de movimientos fetales. Además se debe pedir a la madre que suspenda momentáneamente la respiración.⁽²²⁾

Todos los datos de volumen de corazón debe almacenarse de acuerdo con la normas actuales, es decir, en la presentación cefálica.⁽⁵⁾



Metodos de Post-procesamiento:

Después de la captura de datos de volumen, se requiere un post-procesamiento de la imagen, en el que los planos cardíacos y vasculares se construyen. La calidad de este post-procesamiento depende de si la adquisición de datos de volumen era de buena calidad, y del conocimiento de los técnicos.⁽⁵⁾

- Análisis de corte multiplanar:

Representa el modo básico de exploración y navegación en el volumen tridimensional. Con este modo, el corazón fetal puede ser estudiado

minuciosamente y es posible obtener todos los planos ecocardiográficos necesarios para un estudio completo del corazón fetal off-line.⁽³⁰⁾

Después de la obtención del volumen cardíaco, el dispositivo proporciona automáticamente las imágenes de los tres planos ortogonales: axial, sagital y coronal.

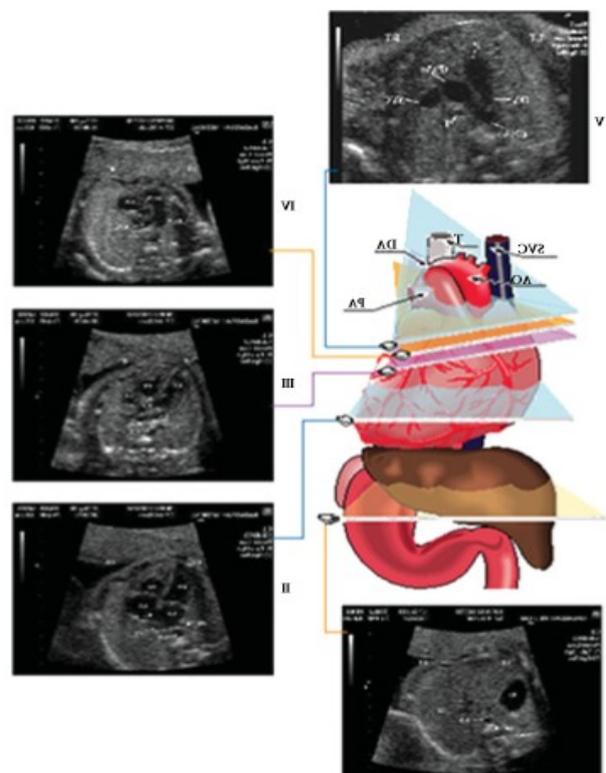
El plano axial (plano A) suministra el corte específico de las cuatro cámaras, mientras que los otros cortes cardiacos se ven en el plano sagital (plano B) y en el plano coronal (plano C).

Cada plano ortogonal puede manipularse alrededor de los ejes x-, y-, y z; y además, existe la posibilidad de mover el plano en la dirección craneocaudal.⁽¹⁹⁾ Con ello conseguimos una vista de las cuatro cámaras, tractos de salida, arco aórtico, y el arco ductal.⁽²²⁾

Para estandarizar el proceso de evaluación cardíaca fetal, en 2002 Yagel et al propuso un simple método de examen, mediante la evaluación de cinco planos transversales:

- la vista transversal de la parte superior del abdomen
- la vista de cuatro cámaras
- la vista de cinco cámaras
- la vista de tres vasos
- la vista de tres vasos y vista tráquea.

Este método simplifica el examen del corazón fetal, aunque puede ser difícil de obtener debido a una posición fetal desfavorable o la falta de experiencia del operador.



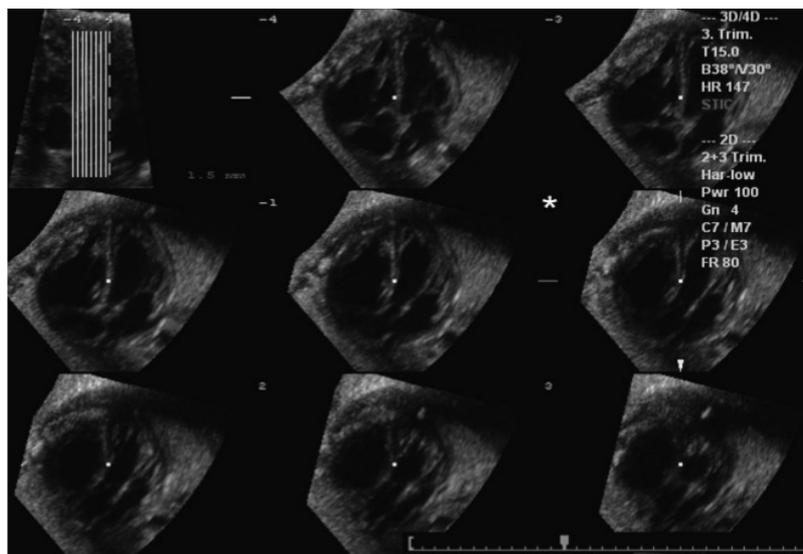
Posteriormente, Chaoui y McEwing propusieron que la evaluación de tres planos transversales con Doppler color (la vista de cuatro cámaras, la vista de cinco cámaras y la vista de tres vasos) serían suficientes para identificar la mayoría de los casos de cardiopatía congénita.

Para aclarar cuál de los dos métodos es mejor para protocolizar el examen cardíaco fetal mediante 4D-STIC, en 2006 se hizo un estudio de dichos métodos en 195 mujeres embarazadas, examinadas desde 1-12-2003 y el 31-12-2004, entre las semanas 14 y 41 de gestación. Los 2 métodos permitieron

visualizar los datos de volumen de forma automática con TUI. El Color Doppler proporcionó información adicional de diagnóstico en el 10% de la vista de tres vasos, el 12% en la vista de cuatro cámaras, y el 14% en la vista de cinco cámaras. Esta la información adicional proporcionada por el Doppler color ayudó a establecer un diagnóstico correcto en el 31% de los fetos con anomalías cardíacas. En ambos casos coincidieron con el diagnóstico postnatal en el 73,3% de los fetos, con buena sensibilidad, especificidad, valores positiva y negativa predictivos para el diagnóstico de cardiopatía congénita.

Con esto se concluyó, que el método más sencillo, específico y sensible para el diagnóstico de cardiopatías congénitas, era el propuesto por Cahoui y McEwing (evaluación de 3 planos transversales con Doppler color).⁽²¹⁾

Del modo multiplanar, hay que destacar la facilidad con la que, incluso los principiantes, navegan a través del volumen cardíaco y grandes vasos, lo que contribuye significativamente a un mejor entendimiento de la tridimensionalidad de las estructuras cardiovasculares.⁽³⁰⁾



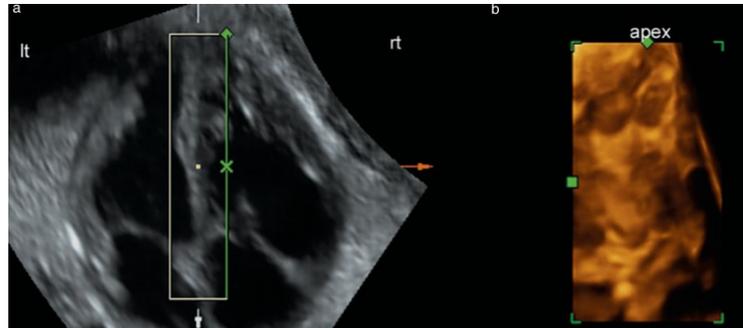
- Modos de renderización

Los volúmenes STIC también pueden ser utilizados para reconstruir imágenes renderizadas. Su objetivo, es poder mostrar más apropiadamente los diferentes detalles anatómicos y, aumentar la calidad de imagen de las diferentes estructuras cardíacas.⁽³⁰⁾

Sobretudo, es ideal para el estudio de estructuras específicas difíciles de identificar y analizar, tales como las válvulas auriculoventriculares, septo ventricular, tractos de salida, arco aórtico, arco ductal, y el retorno venoso al corazón.⁽²²⁾

Este modo de renderización, utiliza una fuente de luz virtual fija que calcula la propagación de la luz a través de la piel y del tejido. Los operadores pueden seleccionar libremente la fuente de luz en cualquier ángulo en relación con el volumen, para mejorar los detalles anatómicos.

Para su realización, el operario coloca una “caja” en la región de interés dentro del volumen (después de llegar al plano y tiempo deseado), para mostrar una parte del ese volumen, cuya profundidad reflejara el espesor del corte.



A continuación, se llevan a cabo ajustes de la luz, se crean efectos de profundidad por medio de la iluminación y se realiza un adecuado sombreado de las imágenes.⁽⁶⁾

Las imágenes realistas proporcionadas por este algoritmo abren nuevas perspectivas a la cardiología fetal no invasiva, permitiendo estudiar en detalle las válvulas cardíacas, el tabique interventricular y las conexiones venosas y arteriales.⁽⁴²⁾

- Tomographic ultrasound imaging (TUI)

TUI es una nueva aplicación que amplía las capacidades de los modos de renderización y multiplanar.⁽⁴¹⁾

Esta modalidad de proyección de la imagen permite mostrar en un único panel un número variable de secciones bidimensionales reconstruidas, como en la tomografía computarizada o resonancia magnética.⁽³²⁾

En la parte superior izquierda de la pantalla, se muestra la posición de cada plano dentro de la región de interés, con respecto al plano de referencia. Esta aplicación tiene la ventaja de mostrar planos paralelos secuenciales al mismo tiempo, dando una imagen más completa del corazón del feto.⁽⁴¹⁾

Con ello se permite la visualización simultánea de hasta ocho planos anatómicos paralelos, que son ortogonales al plano de adquisición, cuya distancia puede ser ajustada para una mejor visualización de los planos anatómicos.

El usuario puede ajustar el número y posición de las rebanadas con controles específicos del software.⁽¹³⁾

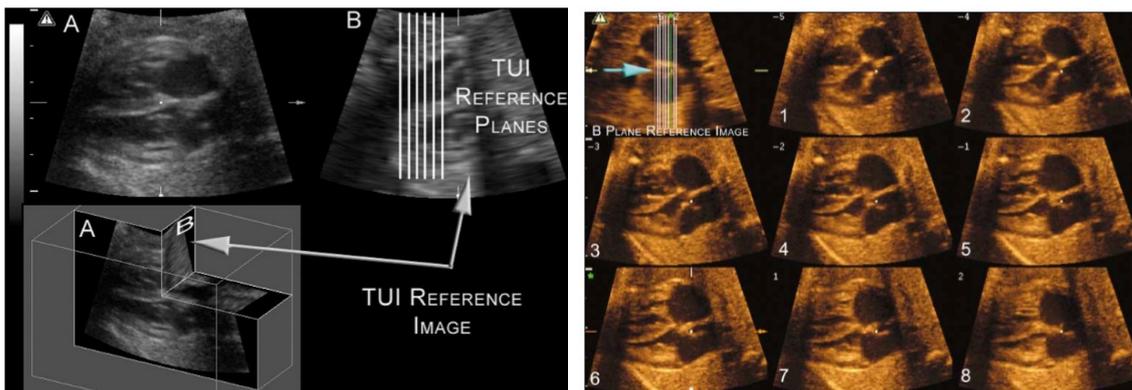
Si la adquisición del volumen se realiza ortogonal al cuerpo fetal (por ejemplo, empezando desde un corte de las cuatro cámaras apical o transverso), y si el volumen es lo suficientemente grande, todos los cortes consecutivos, desde el plano abdominal transverso hasta el mediastino alto, incluyendo los arcos aórtico y del ductus se representarán simultánea y automáticamente.

Visualizando todas las vistas en un mismo panel, mejoramos la habilidad para determinar si un corazón es normal o ayudar en la comprensión del corazón anormal.

TUI-STIC puede ser combinado también con Doppler-color, el cual nos proporciona información funcional.

La mayor limitación de la tecnología TUI-STIC es que necesita imágenes de grandes volúmenes para obtener planos de todo el corazón fetal (4-8 megabytes 1T / 20-30 megabytes 3T).

Otro problema es la aumentada mineralización ósea en fetos con gestaciones avanzadas, lo cual dificulta la adquisición de las secuencias de imágenes.⁽¹⁰⁾

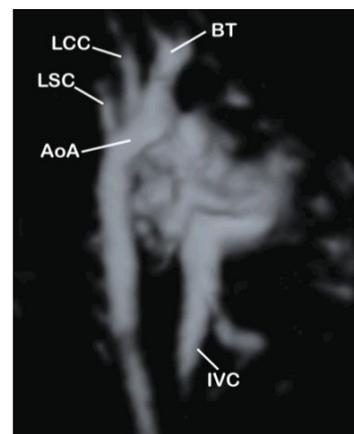


- B-flow

Se trata de un modo capaz de mostrar moldes de las estructuras cardiovasculares, a partir de la escala de grises, sin necesidad del Doppler.⁽³⁰⁾

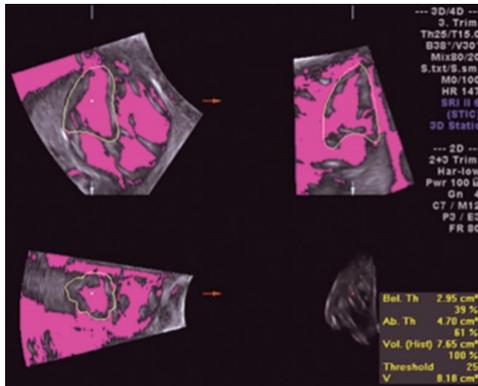
Su funcionalidad se basa en la mejora de las señales débiles reflejadas desde la sangre, y en la supresión de las señales fuertes de las estructuras que lo rodean.⁽⁴⁾

Esta técnica tiene una alta sensibilidad y no depende del ángulo (lo que difiere de Doppler color), haciendo posible la identificación de los vasos grandes y pequeños, incluyendo los de pequeño calibre y baja velocidad de flujo, tales como las venas pulmonares.



De esta manera, además de la detección de anomalías del retorno venoso pulmonar, puede mejorar la identificación de los reordenamientos vasculares presentes en las Cardiopatía congénitas.⁽⁵⁾

- Modo inversión



El modo de inversión es una técnica en la cual el análisis de las estructuras se lleva a cabo mediante la inversión de los voxels de la escala de grises. Por lo tanto, las estructuras anecoicas (cámaras del corazón, los vasos lúmenes, el estómago, la vejiga y pelvis renal) se convierten en ecogénico, mientras que las estructuras que normalmente son ecogénicas (huesos) se convierten en anecoicas.⁽⁵⁾

De esta manera, la técnica añade potencia a la identificación de anomalías cardíacas; especialmente conexiones vasculares, por lo que permite el análisis de las relaciones entre los vasos, calibres, y de posicionamiento, y permite la reconstrucción de las cámaras del corazón, arcos aórticos y ductales, y anomalías de conexiones venosas.⁽⁴⁾

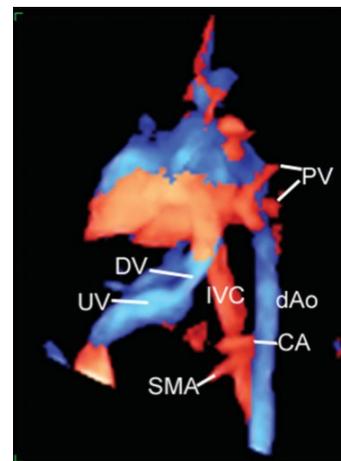
- Modo Doppler-color

El modo Doppler color, es una técnica mediante la cual es posible visualizar las ondas de velocidad del flujo que atraviesa las estructuras cardíacas y que son inaccesibles a la visión directa.

Con ello, se determina si el flujo se dirige hacia la sonda o si se aleja de ella, así como la velocidad de dicho flujo.

Mediante el cálculo de la variación en la frecuencia del volumen de una muestra en particular, se puede determinar y visualizar su velocidad y dirección.

Además, se asignan unidades de color, dependiendo de la velocidad y dirección del flujo sanguíneo. Por convención, se ha asignado el color rojo para el flujo hacia el transductor y el azul para aquel que se aleja.⁽³⁰⁾



Las aplicaciones del Doppler-color también están presentes en la tecnología 4D-STIC, que se utiliza para mejorar la evaluación de los tractos de salida ventriculares, arcos aórticos y ductales⁽¹⁰⁾, las relaciones espaciales entre los grandes vasos y los dos ventrículos, las diferencias en los tamaños de los

grandes vasos y las cámaras cardíacas y, ayudar en la localización de defectos septales.⁽²⁵⁾

- Modo M y función cardíaca fetal

La función cardíaca fetal se ha demostrado que es un marcador de la gravedad de la enfermedad en muchas condiciones, incluyendo la restricción del crecimiento intrauterino, defectos congénitos del corazón, el síndrome de transfusión feto-fetal, hidropesía idiopáticas, las arritmias fetales, y otros.⁽⁸⁾

La cuantificación de los volúmenes de los ventrículos durante sístole y la diástole nos permite calcular el volumen sistólico, gasto cardíaco, y fracción de eyección, marcadores principales de la función cardíaca fetal.⁽⁴⁾

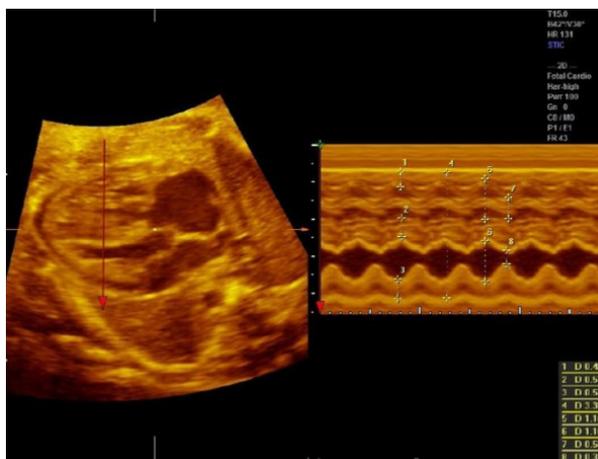
STIC también hace que sea posible evaluar la función cardíaca mediante la medición de los volúmenes ventriculares, el software de análisis asistido por el ordenador de órgano virtual, y a través del modo de movimiento (modo M).⁽⁵⁾

STIC en modo M se ha añadido recientemente a las herramientas de post-procesamiento disponibles con STIC.

El modo M es una técnica monodimensional en la que se detecta una estrecha porción del corazón. Con esta modalidad, se detecta en el eje del haz de los ultrasonidos, los movimientos paralelos a dicho haz.

La distancia o profundidad desde el transductor, se representa en el eje vertical, mientras que el tiempo se representa en el eje horizontal.

Este método se utiliza para estudiar las estructuras que se mueven con rapidez, tales como las válvulas cardíacas, ya que con esta modalidad, se pueden obtener hasta 1000 imágenes/seg. Además, este modo nos permite calcular la Fracción de acortamiento o el desplazamiento anular de las válvulas auriculoventriculares .



Gracias a la combinación de ambas, nos facilita realizar las mediciones en modo M, mediante la superación de las dificultades derivadas de la posición fetal, ya que el operador puede optimizar la imagen girando el volumen para obtener el plano deseado.⁽⁸⁾

- STIC y las nuevas tecnologías: Tele-STIC

Se trata de un nuevo modo que se basa en la transmisión mediante internet, de los datos obtenidos mediante la tecnología 4D-STIC, para que puedan ser evaluadas por distintos operadores, en lugares diferentes.⁽²⁾

En 2005 *Viñals et al*, realizaron un estudio para evaluar si la técnica (STIC) se puede enseñar a un obstetra general por e-mail; si se pueden transmitir a través de Internet; y si se pueden utilizar para confirmar o excluir defectos cardíacos congénitos.

Se realizó un estudio prospectivo que incluyó 50 mujeres embarazadas con edades gestacionales entre 20 y 36 semanas. Estos pacientes fueron seleccionados por dos obstetras generales que trabajan en áreas geográficamente remotas. Ambos obstetras carecían de habilidad en el examen cardíaco fetal mediante STIC. Se creó un servidor web para cargar los datos en volumen adquiridos mediante una conexión de banda ancha a Internet. El análisis online se llevó a cabo por un solo investigador con experiencia en ecocardiografía fetal (el administrador).

Se enviaron 77 datos de volumen al servidor web. Tele-STIC fue posible en todos los casos. Se logró un examen cardíaco completo en el 86% de los casos analizados por uno de los operadores y el 95% de los casos analizados por el otro operador.

Gracias a este estudio se concluyó, que los volúmenes STIC pueden ser obtenidos por operadores inexpertos en ecocardiografía fetal, transmitidos a través de Internet, y su análisis permite el reconocimiento de la mayor parte de las estructuras y vistas necesarias para evaluar la anatomía cardíaca fetal. Además, se pueden excluir y confirmar algunas cardiopatías congénitas, lo que permite hacer un manejo perinatal adaptado.^{(38) (2)}

Diagnóstico prenatal de las principales cardiopatías congénitas, mediante la técnica 4D-STIC:

Defectos del septo atrio-ventricular (AVSD)

Los defectos del septo atrio-ventricular, son defectos de la septación auricular y/o ventricular situados en la zona de tabique inmediatamente por encima o por debajo de las válvulas aurículo-ventriculares (AV) y que coexisten con diferentes grados de afectación de dichas válvulas.



El rasgo básico de la malformación es la presencia de una unión AV común, expresada en un anillo fibroso común y dos defectos septales adicionales: comunicación interventricular que involucra a las porciones perimembranosa y del septo de entrada y, en la gran mayoría de los casos, una comunicación interauricular del tipo ostium primum.

Además de las deficiencias en las estructuras septales del corazón, se agregan otras alteraciones en las válvulas atrioventriculares, la geometría ventricular, el esqueleto fibroso y el sistema de conducción ⁽³⁷⁾.

El DSAV es la cardiopatía más frecuente en pacientes con síndrome de Down; cuya frecuencia se estima hasta en un 50%.

Embriológicamente, este defecto septal AV es consecuencia de la falta de desarrollo y fusión de las almohadillas endocárdicas AV dorsal y ventral. En vez de formarse dos anillos fibrosos como ocurre en el corazón normal se constituye uno común, dentro de él se forman dos válvulas AV separadas o una válvula AV común, lo que ha servido de base para la clasificación de esta cardiopatía congénita. Ambas formas tienen las mismas características patológicas básicas.

La consecuencia es que la sangre va a pasar de los compartimentos izquierdos a los derechos y, de estos, hacia las arterias pulmonares. El exceso de sangre que se manda a las arterias pulmonares hace que el corazón y los pulmones trabajen más y los pulmones pueden congestionarse ⁽²⁷⁾.

En 2009, se realizó un estudio con 65 fetos: 60 fetos sanos y 5 fetos con un defecto completo de canal auriculoventricular. Los volúmenes fueron adquiridos en la vista apical o lateral de las cuatro cámaras cardíacas, con la tecnología STIC-rendering y STIC-UIS.

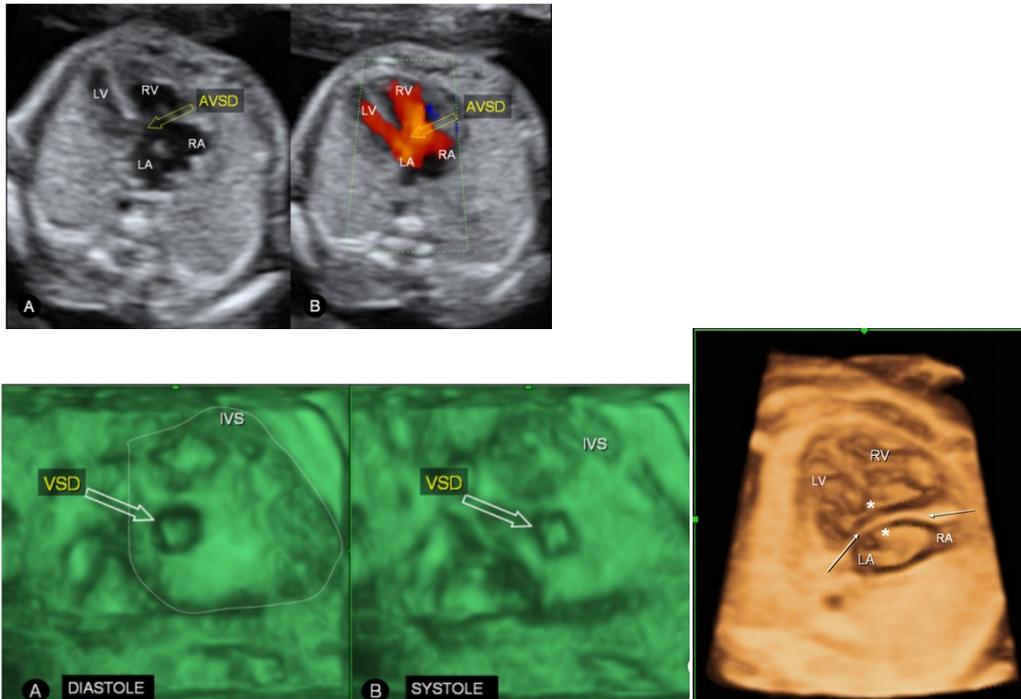
La adquisición del volumen cardíaco con STIC-rendering fue posible en 93,8% de los casos y con STIC-UIS en el 100%.

En los fetos normales, con la adquisición STIC-renderizado se pudo mostrar la posición del músculo papilar a nivel del Ventrículo Izquierdo y Derecho. Con STIC-US se pudo mostrar un análisis secuencial segmentario del corazón fetal, en todos los casos. En ambas modalidades, la visualización del plano AV y el diagnóstico de los defectos, fueron mejorados. Además mejora también la evaluación de los anillos AV en relación con los principales vasos.

Por ello se concluyó, que adquisición de volumen del plano auriculoventricular con STIC-rendering y STIC-UIS permite la visualización de las imágenes que no son de fácil acceso con ecografía 2D estándar, permitiendo una evaluación



rápida de la estructura cardíaca fetal normal y anormal, respecto a los AVSD.
(28)



Atresia Pulmonar Y Defecto Del Septo Interventricular

Se trata de una cardiopatía congénita poco frecuente, caracterizada por una ausencia de comunicación entre el Ventrículo Derecho y la Arteria Pulmonar. En algunos casos en tronco pulmonar puede estar ausente. Si el tronco pulmonar está, las a. pulmonares son más pequeñas y confluyen, formando el signo de la “gaviota volando”.⁽³⁹⁾



Su tamaño depende de qué palie ese defecto: ductus arterioso o de a. colaterales aorto-pulmonares.



El pronóstico depende de las anomalías extracardíacas, de la anatomía de las a. pulmonares y de las fuentes de suministro sanguíneo pulmonar, cuya apreciación nos ayuda a realizar un adecuado asesoramiento prenatal.⁽¹⁸⁾

El objetivo de este estudio era doble: en primer lugar, estimar la capacidad de 2D y Doppler color para evaluar el tamaño y la anatomía de las arterias pulmonares centrales e identificar las fuentes de la sangre pulmonar; y en segundo lugar, compararlo con la tecnología (STIC), para aclarar si añade información de diagnóstico para definir mejor el pronóstico de los fetos con PA-VSD.

Se realizó un estudio retrospectivo en embarazadas de 21-31 S, de todos los casos que habían sido diagnosticados con PA-VSD en su centro entre 1994-2003, disponiendo de la ecocardiografía posnatal y / o un informe de la autopsia. En todos los casos, se habían realizado una Ecografía -2D y Doppler color. Por otro lado, partir de enero de 2004, todos los casos diagnosticados como PA-VSD fueron examinados por una Ecografía -2D y Doppler color, y además, con la tecnología 4D-STIC.

En general, 2D y la ecocardiografía Doppler color fallaron para evaluar la anatomía de las arterias pulmonares centrales en el 33% de los casos de PA-VSD así como para evaluar la fuente del suministro de sangre pulmonar en el 25% de ellos. Por el contrario, STIC una apreciación correcta de la anatomía de las arterias pulmonares y la fuente del suministro de sangre pulmonar en los fetos con PA-VSD que examinó.⁽³⁹⁾

En conclusión, aunque limitado a un tamaño pequeño de la muestra, la tecnología 4D-STIC ha demostrado una mayor capacidad diagnóstica de PA-VSD, en comparación con el ultrasonido 2D, para visualizar correctamente los vasos muy pequeños y el flujo arterial pulmonar en fetos con dicha patología. Además, nos permite la visión interna del septo interventricular, potenciando significativamente la caracterización de esta cardiopatía congénita, mostrándonos dónde se encuentra el defecto interventricular y el tamaño del mismo, mucho más claramente que la ecografía 2D.⁽¹⁸⁾⁽³⁹⁾

Aneurisma Ventricular Izquierdo

El AV congénito es una entidad clínica infrecuente (el 0,4% de 750 necropsias cardíacas) que se diagnostica una vez descartadas otras causas etiológicas más prevalentes. Es importante distinguirlo del divertículo congénito de VI (DCVI), entidad con la que con frecuencia se confunde. Éste se caracteriza por presentar un cuello de comunicación con la cavidad ventricular estrecho, una pared compuesta por tres capas diferenciadas y una contracción sistólica sincrónica con el ventrículo.



Por el contrario, en los aneurismas, la zona de unión al VI es ancha, histológicamente carecen de capa muscular miocárdica y presentan una única de tejido fibroelástico, en ocasiones calcificada; asimismo, muestran durante la sístole una expansión paradójica. Además, mientras los AV se presentan como defectos congénitos aislados, el 70% de los DCVI se asocian con defectos congénitos de la línea media toracoabdominal y malformaciones cardíacas congénitas.

La severidad de las manifestaciones clínicas de los AV congénitos varía ampliamente de unos pacientes a otros³, incluidas las arritmias supraventriculares y ventriculares, la insuficiencia cardíaca, los embolismos periféricos, la endocarditis, la rotura o el taponamiento cardíaco⁴, o incluso la muerte súbita.

La resección quirúrgica está indicada en casi todos los pacientes para prevenir estas complicaciones, aunque algunos grupos defienden una actitud conservadora en los pacientes asintomáticos con medidas destinadas a la prevención de la endocarditis y los embolismos con antiagregación o anticoagulación oral.⁽³⁴⁾

Se realizó un estudio clínico de una mujer de 30 años, embarazada sin incidentes hasta las gestación 34 semanas, donde se detectó por ecocardiografía un agrandamiento del ventrículo izquierdo y adelgazamiento focal del miocardio en el ápice. Las otras estructuras cardíacas aparecían normales.

Para investigar las dimensiones ventriculares izquierdas durante todo el ciclo cardíaco, se utilizó la tecnología STIC en un ángulo de 15° y 30°, respectivamente. El modo de multicorte reveló un aneurisma ventricular izquierdo detrás del ventrículo derecho. El modo de inversión se aplicó para los compartimientos cardíacos.



La ventaja más importante de STIC es su capacidad para examinar con detalle la anatomía del corazón del feto en casi cualquier plano. El aneurisma ventricular de base amplia fue tapado por el ventrículo derecho con la ecocardiografía 2D, el cual si pudo ser identificado desde el ápex del ventrículo izquierdo utilizando la tecnología STIC. El modo de inversión se utilizó para hacer que el contorno geométrico de las cámaras cardíacas, lo que demostró el movimiento hipocinético de la lesión aneurismática.⁽¹⁰⁾

Defectos Cono-Truncales

El tracto de salida del corazón (región troncoconal) puede sufrir distintas malformaciones, que suponen entre un 20% y un 30% de todas las cardiopatías congénitas ⁽⁷⁾. Sin embargo, la relación espacial de la gran los vasos se define incorrectamente en aproximadamente 20% de estos casos ⁽¹⁴⁾.

Los estudios experimentales han demostrado una destacada contribución de las células de la cresta neural a esta región. Si se reseca la cresta neural cardíaca, las células ectodérmicas de la placoda nodosa pueblan el tracto de salida, pero no se produce su tabicación, lo que da lugar a un tronco arterioso persistente. Aunque todas las malformaciones de esta región no se pueden atribuir a un defecto en el desarrollo de la cresta neural, pruebas circunstanciales sugieren que éste puede ser un factor significativo.

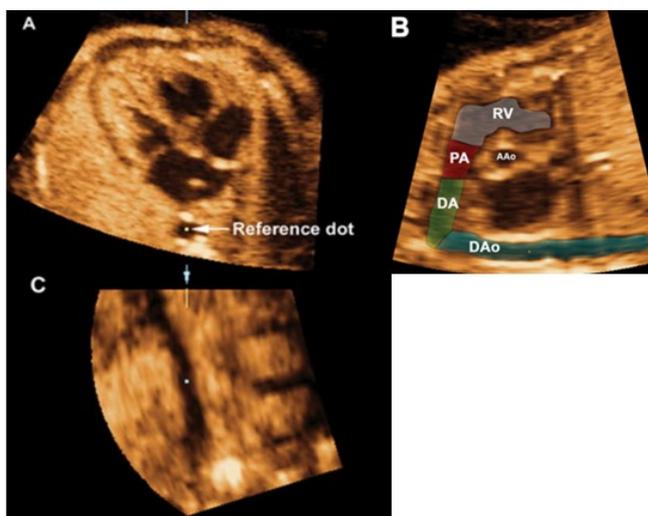
El tronco arterioso persistente se produce por la ausencia de división del tracto de salida mediante las crestas troncoconales. Dada la contribución de las crestas troncoconales a la parte membranosa del tabique interventricular, esta malformación casi siempre está acompañada de un defecto del tabique interventricular. Los individuos con tronco arterioso persistente muestran una cianosis grave. Sin tratamiento, un 60-70% de los bebés nacidos con esta malformación muere en 6 meses ⁽⁹⁾.

Debido a las dificultades para definir las relaciones espaciales de las grandes arterias, el diagnóstico prenatal de los defectos cono-truncales, todavía representa el área más desafiante en el campo de la Ecocardiografía fetal.

Se realizó un estudio en que se incluyeron a todas las embarazadas, desde agosto 2008 hasta octubre 2009. El volumen STIC fue satisfactoriamente obtenido en 302, entre los cuales 283 fueron fetos normales y 19 tenían patología.

Por lo tanto, STIC puede proporcionar visualizaciones estandarizadas de la anatomía cardíaca, lo que reduce la dependencia del operador en el diagnóstico de las enfermedades cardíacas congénitas, y puede también visualizar las relaciones, tamaños y los cursos de los tractos de salida.

El rango de referencia del ángulo



entre la aorta ascendente y la arteria pulmonar principal es clínicamente útil en el cribado prenatal de CTD ⁽⁴⁰⁾.

El modo multiplanar de la vista sagital del arco ductal permite la visualización simultánea de la vista 4-cámara del corazón y la vista sagital del arco ductal, que puede aumentar la precisión en el diagnóstico de anomalías conotruncuales específicas. La falta de visualización de la vista sagital del arco ductal debe elevar el índice de sospecha de anomalías conotruncuales. ⁽¹⁴⁾

Transposición De Grandes Vasos

En raras ocasiones las crestas troncoconales no toman su forma espiral para dividir el tracto de salida en dos conductos, lo que da lugar a dos arcos circulatorios completamente independientes, de forma que el ventrículo derecho se comunica con la aorta y el izquierdo con la arteria pulmonar. Si no se corrige este trastorno, el arco circulatorio izquierdo seguiría bombeando sangre oxigenada a través del lado izquierdo del corazón y los pulmones, mientras que la parte derecha del corazón bombearía sangre venosa hacia la aorta y la circulación sistémica, que después regresaría a la aurícula derecha.

Esta lesión, que es la causa más frecuente de cianosis en los recién nacidos, es compatible con la vida sólo si se asocia con un defecto de tabicación interauricular e interventricular y con un conducto arterioso persistente asociado.

A pesar de estas compensaciones anatómicas, la calidad de la sangre que llega al cuerpo es mala. Durante la vida fetal, el patrón de flujo de sangre es tal que la parte posterior del cuerpo recibe la sangre más oxigenada, mientras que la cabeza recibe la sangre menos oxigenada, que habría ido normalmente a la parte posterior del cuerpo. Como resultado, el cerebro se desarrolla bajo condiciones algo desfavorables y es con frecuencia de bajo peso al nacer. ⁽⁸⁾

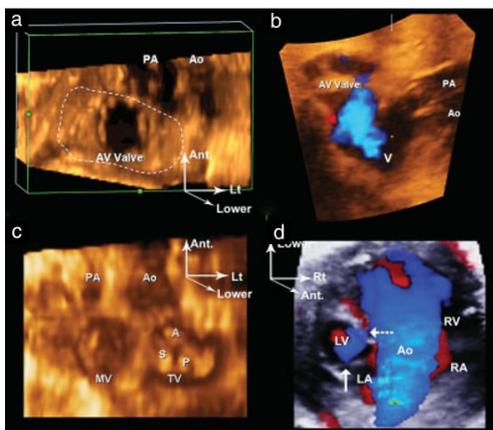
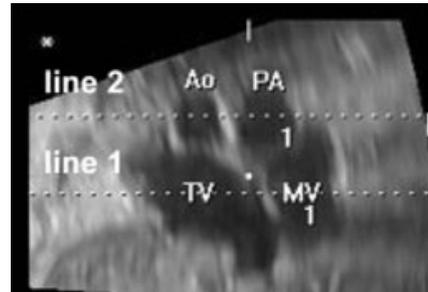
La presencia de TGA se asocia a menudo con otros defectos cardíacos menores o mayores y el diagnóstico de TGA puede ser problemático debido a una anatomía cardíaca distorsionada. Además su diagnóstico puede indicar un pronóstico y una estrategia quirúrgica diferente después del nacimiento. El asesoramiento adecuado puede darse sólo si se conocen todos los detalles anatómicos.

Se realizó un análisis retrospectivo de los volúmenes obtenidos mediante la tecnología STIC de 56 fetos con defectos congénitos y 30 sin defectos. Con este estudio se pretendía estudiar el valor de la visualización simultánea de las válvulas AV, AP y AO para identificar a los fetos con transposición de grandes vasos.



En la actualidad, la tasa de detección de TGA en poblaciones no seleccionadas es baja, del 0 a 27%.

Gracias a la tecnología STIC se identificó un signo patognomónico de esta patología: el signo de “los ojos de rana”, que consiste en la forma que adoptan las grandes arterias, cuando la línea trazada entre ellas, es paralela a la trazada entre las válvula AV. La tecnología STIC puede ayudarnos a superar las limitaciones de una posición fetal desfavorable y reducir la habilidad necesaria del ecografiasta para detectar las grandes arterias paralelas. Por lo tanto, el signo de los “ojos de rana” obtenido mediante STIC, es útil para apoyar el diagnóstico de TGA en casos difíciles.



Es cierto que hay problemas que hay que afrontar en la producción de imágenes 3D / 4D útiles para este propósito, tales como los movimientos fetales o la dificultad de obtención de imágenes por el cubrimiento del corazón fetal por las costillas. Sin embargo, la tecnología 4D STIC trae muchos beneficios para el diagnóstico de TGA, especialmente en presencia de cardiopatía coronaria compleja ⁽³⁵⁾.

La coartación de aorta

La coartación de la aorta es la enfermedad cardíaca de conductos más común, con una incidencia estimada de 1 por cada 2.500 nacimientos, lo que representa el 6% y el 8% de los nacidos vivos con enfermedad cardíaca congénita.⁽¹⁶⁾

La coartación de la aorta tiene dos variantes fundamentales.

La más frecuente es la coartación posductal, que consiste en un estrechamiento abrupto de la aorta descendente caudal a la entrada del ductus arterioso. La otra variante, denominada coartación preductal, se produce en localización proximal al ductus.

La embriogénesis de la coartación no está clara todavía. Varias causas de base pueden producir el mismo trastorno. En la coartación preductal de la aorta, el ductus arterioso persiste tras el nacimiento.

La sangre que irriga el tronco y los miembros alcanza a la aorta descendente a través del ductus, lo que puede causar una cianosis diferencial, de forma que la cabeza, la parte superior del tronco y los brazos tengan un color normal, mientras que la parte inferior del tronco y los miembros inferiores muestren cianosis, porque se produce un flujo de sangre venosa a través del ductus arterioso persistente hacia la aorta.

Los vasos deben compensar la coartación posductal de una forma distinta, ya que la localización de la estenosis en este caso divide de forma eficaz el flujo de sangre arterial hacia los brazos y la cabeza del correspondiente al tronco y las piernas. El cuerpo responde mediante la apertura de vasos colaterales y conexiones a través de arterias por lo general relativamente pequeñas, que van de la parte superior del cuerpo a la inferior.

A pesar de estas adaptaciones circulatorias compensatorias, la presión sanguínea de los pacientes con una coartación posductal es muy superior en los brazos que en las piernas.⁽⁹⁾

El principal signo ecográfico descrito en los recién nacidos con coartación de aorta es la "plataforma contraductal", la cual representa el tejido fibroso residual derivado del conducto arterioso.

Se estudió un caso clínico de una mujer 22 años de edad, a las 29 semanas de gestación con el diagnóstico de corazón izquierdo hipoplásico. ECO 2D demostró que la aorta era más pequeña que la arteria pulmonar y que había una invaginación de la pared posterior del arco aórtico, a nivel de la inserción ductal.

La tecnología 4D-STIC B-flujo demostró un arco aórtico tortuoso en el segmento aórtico donde se encontraba el repliegue posterior.

La invaginación posterior del arco aórtico (plataforma contraductal) coincidió con la sección tortuosa del arco aórtico visualizado por imágenes del flujo de B prenatal.

STIC es una nueva modalidad de visualización que permite la visualización simultánea de tres planos anatómicos ortogonales (transversal, sagital y coronal). Una herramienta de imagen, conocido como el "punto de referencia", se puede utilizar para identificar las estructuras anatómicas en estos planos ortogonales. La colocación del punto de referencia en la entrada del conducto arterioso en la aorta, permite la visualización de la plataforma contraductal en la vista sagital del arco aórtico.

Aunque la ecografía 2D se basa tradicionalmente en los planos anatómicos estándar para un examen completo del corazón del feto, 3D y 4D ecografía

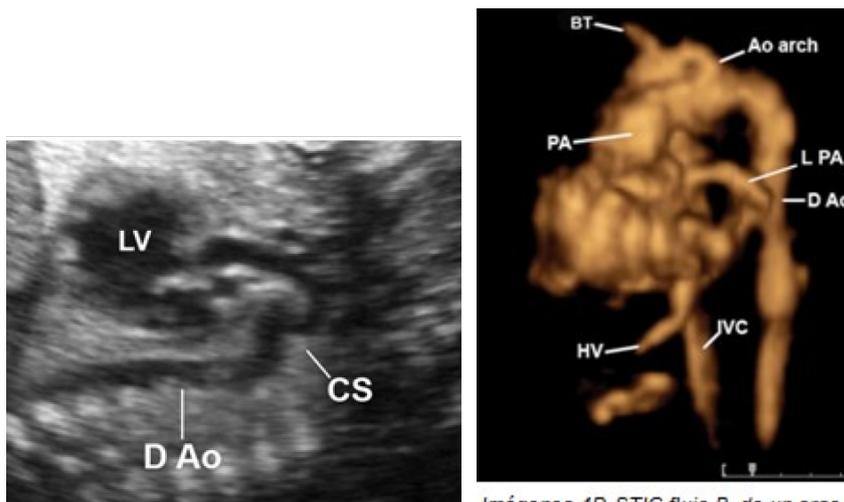


puede facilitar la visualización de estos planos, simplificar aún más el examen del corazón del feto, y potencialmente puede reducir la dependencia del operador que es característico de eco 2D fetal.

B-flujo es una nueva modalidad de visualización en 4D ultrasonido, mejora digitalmente las señales débiles de los reflectores sanguíneos de los vasos, suprime fuertes señales de los tejidos circundantes. Además, esta tecnología no se basa en métodos de Doppler para visualizar el flujo sanguíneo; por lo tanto, es independiente del ángulo y no interfiere con la velocidad de fotogramas.

Esta característica la hace potencialmente ventajoso sobre Doppler-color, para la evaluación de la vasculatura fetal.

Así se concluye que la tecnología 4D-STIC proporciona una importante información sobre la ubicación y naturaleza de las anomalías del arco en los fetos con coartación de la aorta. De hecho, B-flujo permitió una clara visualización de un arco aórtico delgado y tortuoso, así como sus relaciones espaciales con el corazón fetal y otras estructuras vasculares. ⁽¹⁶⁾



Invaginación posterior de la pared del arco aórtico a nivel de la inserción ductal

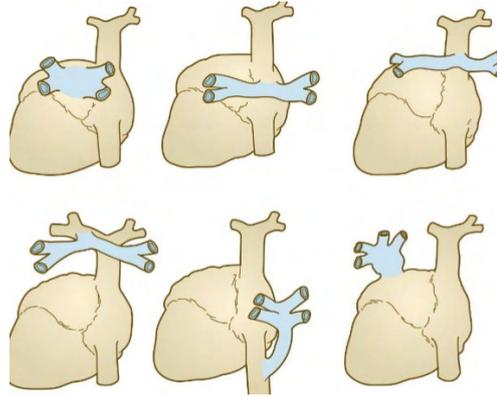
Imágenes 4D-STIC flujo B, de un arco aórtico estrecho y tortuoso y su relación con el corazón y otras estructuras

Conexión Venosa Anomala

Una conexión venosa pulmonar tipo de cardiopatía congénita poco frecuente, 4,9% de todas las cardiopatías congénitas; con una incidencia de 1 de cada 14.700 recién nacidos. ⁽³³⁾

Como el trayecto de las distintas venas pulmonares está unido y más tarde la parte distal del sistema venoso pulmonar se incorpora a la pared auricular izquierda, se pueden producir conexiones inadecuadas de las venas pulmonares con el corazón.

Una de las conexiones más frecuentes es que una o más ramas de la vena pulmonar entren en la aurícula derecha en lugar de en la izquierda. En otros casos (retorno pulmonar anómalo total) todas las venas pulmonares drenan en la aurícula derecha o en la vena cava superior. En estos casos debe existir un cortocircuito asociado (p. ej., comunicación interauricular) para que la sangre oxigenada llegue a la circulación sistémica.⁽⁹⁾



El pronóstico de una conexión venosa pulmonar anómala depende de la presencia de malformaciones cardíacas y extracardíacas, y de la exactitud del diagnóstico prenatal. Si la reparación quirúrgica no puede realizarse urgentemente, el pronóstico es malo.

El pronóstico a largo plazo se optimiza mediante el diagnóstico prenatal exacto y la reparación quirúrgica temprana. Por lo tanto, se espera que el diagnóstico prenatal eficaz mejore las perspectivas de los fetos afectados.

Se realizó un estudio de 10 casos que fueron inicialmente sospechosos de tener conexiones venosas pulmonares anómalas totales o parciales por ecocardiografía 2D prenatal entre enero de 2008 y abril de 2011.

Los 10 casos fueron examinados y analizados mediante ecografía 4D con STIC-UIS. Los resultados de las conexiones venoso pulmonar anómalo se encontraron en 5 casos, y una conexión parcial fue diagnosticado en 1 feto después del nacimiento.

Los 4 casos restantes se confirmó que las conexiones venosas pulmonares normales.

Las señales directas de una conexión venosa pulmonar anómala son los siguientes: los 4 venas pulmonares no se conectan a la aurícula izquierda; va hacia arriba a la vena cava inferior (tipo supracardíaco) o hacia abajo para el sistema de la vena porta (tipo infracardiaco); o las venas pulmonares drenan directamente en la aurícula derecha o a través del seno coronario a la aurícula derecha (tipo cardíaco).

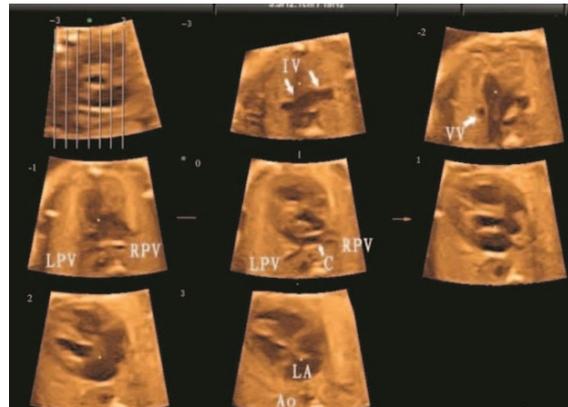
Los signos indirectos de conexión venosa pulmonar anómala son los siguientes: una aurícula izquierda y el ventrículo más pequeña, una gran distancia entre la pared posterior de la aurícula izquierda y la aorta descendente.

Las conexiones venosas pulmonares se visualizaron correctamente con ecocardiografía 2D en 2 de los 10 casos, parcialmente identificados en 4, y no se distinguen por completo en 4.

Con la tecnología STIC se visualizan claramente las conexiones en 9 de los 10 casos, y el caso restante se identificó parcialmente.

La tecnología STIC permite adquirir volúmenes cardíacos mostrando en un solo panel, todas las secciones transversales ecocardiográficas al mismo tiempo.

Esta tecnología facilita la visualización de las conexiones venosas pulmonares, dándonos información adicional con respecto a la ecocardiografía 2D en el diagnóstico prenatal de conexiones venoso pulmonar anómalo. ⁽³³⁾



CONCLUSIONES

Las principales ventajas que nos proporciona la tecnología STIC para la evaluación cardíaca fetal son las siguientes:

- Una menor dependencia de la experiencia del operador, en la obtención de planos de diagnóstico. ⁽¹⁵⁾
- La necesidad de menos tiempo, para realizar el examen ecocardiográfico. ⁽²⁴⁾
- El examen se puede realizar sin la presencia del paciente durante el análisis del volumen. ⁽²⁴⁾
- Permite examinar con detalle la anatomía del corazón del feto en casi cualquier plano. ⁽¹⁰⁾
- La posibilidad de evaluar las estructuras a través de la modalidad de rendering, pudiendo así realizar el estudio de su morfología y su función. ⁽²³⁾
- La capacidad de enviar volúmenes para su análisis a otros centros de referencia de cardiología fetal, a través de un enlace de Internet. ⁽³⁸⁾
- Facilitación de la visualización de las conexiones venosas pulmonares. ⁽³³⁾
- Mejora la visualización correcta de los vasos muy pequeños. ⁽³⁹⁾
- Permite contemplar la ubicación y naturaleza de las anomalías del arco, en los fetos con coartación de la aorta. ⁽¹⁶⁾
- Es de gran utilizar en el diagnóstico de cardiopatía compleja coronaria. ⁽³⁵⁾
- Permite visualizar simultáneamente la vista 4-cámaras del corazón y la vista sagital del arco ductal, aumentando así la precisión en el diagnóstico de anomalías específicas conotruncales. ⁽¹⁴⁾
- Nos ayuda en la detección de los movimientos hipocinéticos del músculo cardíaco fetal ⁽¹⁰⁾
- Nos permite obtener una visión interna del septo interventricular, detectando la localización del defecto interventricular y el tamaño del mismo. ⁽³⁹⁾

A pesar de sus múltiples ventajas, tenemos que tener en cuenta algunos de sus principales inconvenientes:

- Utilización de equipos sofisticados y caros. ⁽¹⁵⁾
- La obtención de imágenes se ve comprometida por movimientos fetales. ⁽³⁵⁾
- Necesidad de un nuevo aprendizaje por parte de los ecografistas. ⁽³⁵⁾
- Dificultad de obtención de imágenes por el cubrimiento del corazón fetal por las costillas. ⁽¹⁰⁾



- Los algoritmos STIC asumen que las relaciones espaciales entre las cámaras cardíacas y los grandes vasos son constantes durante toda la gestación, por lo que necesitarían ser adaptados a lo largo de las semanas de gestación. ⁽¹⁶⁾



BIBLIOGRAFÍA

1. Alcázar JL, Kudla MJ. *Spatiotemporal Image Correlation With Spherical Sampling and HighDefinition Flow: New 4-Dimensional Method for Assessment of Tissue Vascularization Changes During the Cardiac Cycle. Reproducibility Analysis. Journal of Ultrasound of Medicine. 2012; 31:73–80*
2. Amnet H, Mazaaki E, Shen O, Yagel S. *Evaluating Spatiotemporal Image Correlation Technology as a Tool for Training Nonexpert Sonographers to Perform Examinations of the Fetal Heart. Journal of Ultrasound in Medicine. 2016 Jan;35:111-119.*
3. Araujo Jr. E, Rolo LC, Machado Nardoza LM, Fernandes Moron A. *Fetal cardiac evaluation by 3D/4D ultrasonography (STIC): what is its real applicability in the diagnosis of congenital heart disease. Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery. 2013 Mar;28(1):3-5.*
4. Araujo Jr. E, Moron AF, Nardoza LMM. *Three-dimensional ultrasound STIC-HDlive rendering: new technique to assessing of fetal hear. Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery. 2013 Oct-Dec; 28 (4): 5-7.*
5. Araujo Jr. E, Cristine Rolo L, Alves Rocha L, Marcondes L, Machado Nardoza LM, Fernandes Moron A. *The value of 3D and 4D assessments of the fetal heart. International Journal of Women's Health. 2014; 6: 501-507.*
6. Barros FS, Moron AF, Rolo LC, Rocha LA, Martins WP, Tonni G, Nardoza LM, Araujo Jr. E. *Fetal myocardial wall area: constructing a reference range by means of spatiotemporal image correlation in therendering mode. Fetal diagnosis and therapy. 2015;37(1):44-50*
7. Benacerraf BR, Saltzman DH, Sanders SP. *Sonographic sign suggesting the prenatal diagnosis of coarctation of the aorta. Journal of Ultrasound in Medicine. 1989 Feb;2(8): 65-69*
8. Bigras JL, Dallaire F, Fournon JC, Gagnon C. *Reference Values and Z Scores for Pulsed-Wave Doppler and M-Mode Measurements in Fetal Echocardiography. Journal of the American Society os Echocardiography. 2016 May;29(5):448-460*



9. Carlson BM. *Embriología humana y biología del desarrollo*. Quinta edición. Elsevier España. Madrid; 2014
10. Chiang YC, Lee CN, Shih JC, Yang CK. *Prenatal diagnosis of congenital left ventricular aneurysm by four-dimensional ultrasonography with spatio-temporal image correlation (STIC)*. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; 28: 345–351.
11. Chung IM, Rajakumar G. *Genetics of Congenital Heart Defects: The NKX2-5 Gene, a Key Player*. *Genes*. 2016; 7(2):6
12. Drose JA. *Fetal Echocardiography*. 2ª ed. Westline Industrial Drive St. Louis, Missouri. Elsevier; 2010.
13. Espinoza J, Romero R, Kusanovic JP, Gotsch F, Erez O, Lee W. *The Role of the Sagittal View of the Ductal Arch in Identification of Fetuses With Conotruncal Anomalies Using 4-Dimensional Ultrasonography*. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2007; 26:1181–1188
14. Espinoza J, Gotsch F, Kusanovic JP, Gonçalves LF, Lee W, Hassan S. *Changes in Fetal Cardiac Geometry With Gestation: Implications for 3- and 4-Dimensional Fetal Echocardiography*. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2007; 26:437–443
15. Espinoza J, Romero R, Kusanovic JP, Gotsch F, Erez O, Hassan s, Yeo L.. *Prenatal Diagnosis of Coarctation of Aorta with the Multiplanar Display and B-flow Imaging Using 4-Dimensional Ultrasonography*. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2009 Oct; 28(10): 1375–1378.
16. Espinoza J, Kusanovic JP, Gonçalves LF, Nien JK, Hassan S, Lee W, MD, Romero R. *A Novel Algorithm for Comprehensive Fetal Echocardiography using 4D Ultrasound and Tomographic Imaging*. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2010 Aug; 25(8): 947–956
17. Finch AD. *La importancia de la ecocardiografía fetal en la detección y el manejo de las malformaciones cardíacas congénitas*. *Revista Española de Cardiología*. 2006;59(Supl 3):23-8
18. Fresquez M, Hamill N, Myers S. *Four-Dimensional Sonography of the Fetal Heart With Spatiotemporal Image Correlation Directed at the Interventricular Septum*. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2007; 26:1071–1075



19. Godfrey ME, Messing B, Valsky DV, Cohen SM, Yahel S. *Fetal cardiac function: M-Mode and 4D Spatiotemporal Imagen Correlation. Fetal Diagnosis and Therapy.* 2012;32:17–21
20. Gómez O, M. Bennasar, F. Crispi, E. Marimon, JM. Martínez. *Protocolo Ecocardiografía Fetal. Barcelona: Unidad de Cardiología Fetal del Hospital Universitari Clinic de Barcelona.* 2014. Disponible en: <https://medicinafetalbarcelona.org/clinica/images/protocolos/patologiafetal/ecocardiografia%20fetal.pdf>
21. Gonçalves LF, Lee W, Chaiworapongsa T, Espinoza J, Schoen ML, Falkensammer P. *Four-dimensional ultrasonography of the fetal heart with spatiotemporal image correlation. American Journal of Obstetric and Gynecology.* 2003 Dec;189(6):1792-802.
22. Gonçalves LF, Nien JK, Espinoza J, Kusanovic JP, Lee W, Swope B. *Does 2-Dimensional Imaging Add to 3- and 4-Dimensional Obstetric Ultrasonography? Journal of Ultrasound in Medicine.* 2006; 25:691–699
23. Gonçalves LF, Espinoza J, Romero R, Kusanovic JP, Swope B, Nien JK. *Four-Dimensional Ultrasonography of the Fetal Heart using a Novel Tomographic Ultrasound Imaging Display. Journal of Perinatal Medicine.* 2006; 34(1): 39–55
24. Greco E, Nappi C, Paladini D, Sglavo G. *Cardiac screening by STIC: can sonologists performing the 20-week anomaly scan pick up outflow tract abnormalities by scrolling the A-plane of STIC volumes?. Ultrasound in Obstetrics and Gynecology.* 2008 Dec;32(7):865-70
25. Hata T, Kanenishi K, Mori N, Yazon AO, Hanaoka U, Tanaka H. *Four-Dimensional Color Doppler Reconstruction of the Fetal Heart With Glass-Body Rendering Mode. The American Journal of Cardiology.* 2014 Nov; 114(10): 1603-1606
26. Jenkins KJ, Correa A, Feinstein JA. *Factores de riesgo no hereditarios y cardiopatías congénitas: conocimientos actuales. American Academy Of Pediatrics.* 2007;64(2):124-5
27. Kuri M, Martínez E, Muñoz L, Espínola N. *Defecto septal atrioventricular. Estudio anatomopatológico y correlación embriológica. Archivos de cardiología de México.* 2008; 78 (1): 19-29



28. Lonescu C, Gheorghiu D, Davitoiu B, Vladescu T. Visualization of the atrioventricular valve plane in fetuses with atrioventricular defect using STIC technique. *Ginecologia.ro Journal*. 2009; 5(4):210-215.
29. López LB, Fernández SP, García CG. Prenatal risk factors related to the onset of congenital heart disease. *Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología*. 2012;38(3):313-312
30. Mercé LT. *Ecografía total en Obstetricia y Ginecología*. Primera edición. Marban España, Madrid; 2009.
31. Moore KL, Persaud TVN, Torchia MG. *Embriología clínica*. Octava Edición. Elsevier España. Barcelona; 2008
32. Paladini D, Vassallo M, Sglavo G, Lapadula C, Martinelli P. The Role Of Spatio-Temporal image correlation (STIC) with tomographic ultrasound imaging (TUI) in the sequential analysis of fetal congenital heart disease. *Ultrasound in Obstetric and Gynecology: the official journal of the International Society of Ultrasound in Obstetric and Gynecology*. 2006; 27: 555–561.
33. Peng R, Xie HN, Du L, Shi HJ, Zheng J, Zhu YX. Four-Dimensional Sonography With Spatiotemporal Image Correlation and Tomographic Ultrasound Imaging in the Prenatal Diagnosis of Anomalous Pulmonary Venous Connections. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2012 Oct;31(10):1651-8.
34. Pérez R, Medina R, Mantilla R, Soler R, Pradas G, Penas M. Aneurisma congénito apical ventricular izquierdo. *Revista Española de Cardiología*. 2005;58:1361-3
35. Shih JC, Shyu MK, Su YN, Chiang YC, Lin CH, Lee CN. Big-eyed frog' sign on spatiotemporal image correlation (STIC) in the antenatal diagnosis of transposition of the great arteries. *Ultrasound in Obstetric and Gynecology*. 2008; 32: 762–768
36. Sklansky MS. Prenatal Screening for Congenital Heart Disease: A Moving Proposal. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2007; 26:1–3
37. Van Mierop LHS, Alley RD, Kausel HW, Stranahan A. The anatomy and embryology of endocardial cushion defects. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1962; 43: 71-83.



38. Viñals F, Mandujano L, Vargas G, Guiliano A. Prenatal diagnosis of congenital heart disease using four-dimensional spatio-temporal image correlation (STIC) telemedicine via an Internet link: a pilot study. *Ultrasound in Obstetric and Gynecology: the official journal of the International Society of Ultrasound in Obstetric and Gynecology*. 2005; 25: 25–31
39. Volpe P, Campobasso G, Stanziano A, De Robertis V, Di Paolo S, Caruso G, Gentile M, Valope P, Valope N. Novel application of 4D sonography with B-flow imaging and spatio-temporal image correlation (STIC) in the assessment of the anatomy of pulmonary arteries in fetuses with pulmonary atresia and ventricular septal defect. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2006; 28: 40–46
40. Xie ZP, Zhao BW, Yuan H, Hua QQ, Jin SH, Shen XY. New Insight from Using Spatiotemporal Image Correlation in Prenatal Screening of Fetal Conotruncal Defects. *International Journal of Fertility and Sterility*. 2013; 7(3): 187-192
41. Yagel S, Cohen SM, Shapiro I, Valsky DV. 3D and 4D ultrasound in fetal cardiac scanning: a new look at the fetal heart. *Ultrasound in Obstetric and Gynecology: the official journal of the International Society of Ultrasound in Obstetric and Gynecology*. 2007; 29: 81–95
42. Yeo L, Romero R. How to Acquire Cardiac Volumes for Sonographic Examination of the Fetal Heart. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2016; 35:1021–1042

