

ARTÍCULO ORIGINAL

1. MD, PhD, DHC. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. ORCID 0000-0003-4766-7375
2. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología. Centro Policlínico Valencia, Venezuela. ORCID 0000-0003-4978-8196
3. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología. ORCID 0000-0002-6138-1519
4. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología. ORCID 0000-0002-9458-5809
5. Médico Especialista en Obstetricia y Ginecología, Cardiólogo Fetal, Unidad de Cardiología, Fundación Universitaria de Cardiología Porto Alegre, RS, Brasil. ORCID 0000-0003-3758-4962
6. Médico Cirujano, Especialista en Obstetricia y Ginecología, Especialista en Medicina Materno Fetal. ORCID: 0000-0001-7021-6040
7. Médico Cirujano, Especialista en Cardiología Fetal, Cardiólogo Fetal, Unidad de Cardiología, Fundación Universitaria de Cardiología Porto Alegre, RS, Brasil. ORCID:0000-0002-5564-3316
8. MD, Profesor Asociado, Division Chair Maternal Fetal Medicine, Section Head Fetal Diagnosis and Therapy, Department of Obstetrics and Gynecology. Mayo Clinic School of Medicine, Rochester, Minnesota, USA. ORCID: 0000-0002-2118-4852

Financiamiento externo: Ninguno

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses

Recibido: 19 setiembre 2022

Aceptado: 17 octubre de 2022

Publicación en línea: 7diciembre 2022

Correspondencia:

Dr. Alberto Sosa Olavarría

✉ Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

✉ asosaolavarría@gmail.com

Citar como: Alberto Sosa-Olavarría A, Alvarez-Moya E, Quiroga-Pacheco H, Zambrana-Camacho J, Zurita Peralta J, Alcedo A, Zielinsky P, Schenone Giugni M. Índice de rendimiento biventricular del corazón fetal. Rev peru ginecol obstet. 2022;68(4). DOI: <https://doi.org/10.31403/rpgo.v68i2448>

Índice de rendimiento biventricular del corazón fetal

Biventricular performance index of the fetal heart

Alberto Sosa-Olavarría¹, Eulolio Álvarez-Moya², Héctor Quiroga-Pacheco³, Jorge Zambrana-Camacho⁴, Jesús Zurita Peralta⁵, Alexander Alcedo⁶, Paulo Zielinsky⁷, Schenone Giugni M⁸

DOI: <https://doi.org/10.31403/rpgo.v68i2448>

RESUMEN

Objetivo. Proponer un índice de rendimiento biventricular basado en los valores promedio de la duración del ciclo cardíaco de cada uno de los ventrículos, determinar la variable incluida en el estudio con la correlación estadística más significativa, establecer valores de referencia que permitan identificar el trabajo de cada ventrículo en función de dicha variable y obtener un índice de gasto biventricular equilibrado. **Metodología.** Estudio prospectivo y transversal en fetos de 168 gestantes, en embarazos entre las 16 y 38 semanas sin patologías materno-fetales. Se obtuvieron ondas de velocidad de flujo de ambas válvulas atrioventriculares y el tiempo total del ciclo sístole-diástole se calculó en milisegundos para cada válvula. Se calcularon promedios, desviación estándar y puntuación Z del tiempo sistólico-diastólico para cada ventrículo y el índice de rendimiento ventricular individual dividiendo el valor obtenido entre la frecuencia cardíaca fetal. Se obtuvo el valor promedio de ambos y este, al ser dividido por la frecuencia cardíaca, permitió obtener el índice de rendimiento biventricular para establecer la correlación entre este, la frecuencia cardíaca fetal y la edad de gestación. **Resultados.** Se halló valores de tiempo sistólico-diastólico en milisegundos para el ventrículo derecho de 420,8 (DE $\pm 28,3$) y para el ventrículo izquierdo de 418,8 (DE $\pm 26,3$), sin diferencias estadísticamente significativas ($p=0,371$). La correlación con la frecuencia cardíaca fetal resultó negativa para ambos ventrículos ($-0,491$ y $-0,553$; $p<0,05$). El tiempo promedio biventricular fue de 418,37 ms ($\pm 20,59$) y la correlación con la edad gestacional de 0,48 ($p<0,05$); la correlación con la frecuencia cardíaca fetal fue negativa, $-0,50$ ($p<0,05$). El índice de rendimiento biventricular mostró valores de 2,8 (extremos 2,4 (P5) y 3,4 (P95)). La correlación entre el índice de rendimiento biventricular y la frecuencia cardíaca fetal fue 0,78 ($p<0,05$), de menor grado (0,27) con la edad gestacional. **Conclusiones.** Se demostró que los tiempos sistólico-diastólicos de cada ventrículo no difirieron entre sí y se correlacionaron de manera negativa con la frecuencia cardíaca fetal. Se comprobó que es posible evaluar el ciclo cardíaco fetal de cada ventrículo mediante el índice de rendimiento ventricular, así como calificar con el índice de rendimiento biventricular el gasto cardíaco combinado como equilibrado. **Palabras clave.** Ecocardiografía fetal, Pruebas de función cardíaca fetal, Ultrasonografía, Ecocardiografía Doppler

ABSTRACT

Objectives: To propose a biventricular performance index based on the average values of the duration of the cardiac cycle of each of the ventricles, to determine the variable included in the study with the most significant statistical correlation, to establish reference values that allow the work of each ventricle to be identified according to this variable, and to obtain a balanced biventricular output index. **Methodology:** Prospective and cross-sectional study in fetuses of 168 pregnant women, in pregnancies between 16 and 38 weeks without maternal-fetal pathologies. Flow velocity waves were obtained from both atrioventricular valves and the total systole-diastole cycle time was calculated in milliseconds for each valve. Averages, standard deviation, and Z-score were calculated of the systolic-diastolic time for each ventricle and the individual ventricular performance index (VPI) were calculated by dividing the value obtained by the fetal heart rate (FHR). The average value of both was obtained and this, when divided by the heart rate, made it possible to obtain the biventricular performance index (BPI) to establish the correlation between this, the fetal heart rate and gestational age. **Results:** Systolic-diastolic time values in milliseconds for the right ventricle were 420.8 (SD ± 28.3) and for the left ventricle 418.8 (SD ± 26.3), with no statistically significant differences ($p<0.371$). The correlation with the FHR was negative for both ventricles: (-0.491 and -0.553 ; $p<0.05$). The mean biventricular time was 418.37 ms (± 20.59) and the correlation with gestational age was 0.48 ($p<0.05$); the correlation with FHR was negative, -0.50 ($p<0.05$). The BPI showed values of 2.8 (extremes 2.4 (P5) and 3.4 (P95)). The correlation between BPI and FHR was 0.78 ($p<0.05$) and of lesser degree with gestational age (0.27; $p<0.05$). **Conclusions:** It was demonstrated that the systolic-diastolic times of each ventricle did not differ from each other and were negatively correlated with fetal heart rate. It was shown that it is possible to evaluate the fetal cardiac cycle of each ventricle by means of the ventricular performance index as well as to qualify with the biventricular performance index the combined cardiac output as balanced.

Key words: Echography, fetal, Heart function tests, fetal, Ultrasonography, Echocardiography Doppler



INTRODUCCIÓN

El gasto cardíaco fetal se cumple a través de dos circulaciones que se acoplan a un circuito en paralelo, con características hemoreológicas diferentes, mientras que en la vida extrauterina y luego del cierre del ductus arterioso, del foramen oval y la circulación umbilical, las redes que se denominan pulmonares y sistémicas se acoplan en un sistema en serie. Los estudios realizados muestran un amplio consenso de que el corazón fetal, tanto en el modelo humano como en el de cordero⁽¹⁾, exhibe dominancia del lado derecho, en el que la mayoría (52 a 65%) del gasto cardíaco lo realiza el ventrículo derecho (VD) y la mayor parte se deriva a través del conducto arterioso hacia la circulación sistémica. Por tanto, es razonable decir que en el feto el VD es un ventrículo sistémico que tiene a su cargo la perfusión del cuerpo fetal y la placenta a través de una circulación infra-ístmica, mientras que el ventrículo izquierdo es cerebral y sistémico con circulación predominante supra-ístmica, aunque ambas circulaciones confluyen aguas abajo en la aorta descendente.

La frecuencia cardíaca fetal normal varía de 110 a 160 latidos por minuto y los trabajos referidos al tema⁽²⁻⁴⁾ afirman que el lecho placentario proporciona una resistencia vascular sistémica baja y absorbe más del 40% del gasto cardíaco combinado de ambos ventrículos. El flujo a través del conducto arterioso representa dos tercios del gasto cardíaco que irriga la mitad inferior del cuerpo y la placenta. La salida del ventrículo izquierdo se dirige hacia las arterias subclavias, coronarias y carótidas, irrigando las extremidades superiores, músculo cardíaco y el cerebro. La cantidad de sangre que ingresa a la circulación pulmonar varía durante el embarazo, aumentando desde poco más del 10% del gasto cardíaco combinado a mitad de la gestación hasta alrededor del 25% a las 30 semanas de gestación⁽⁴⁾. El encuentro de ambos flujos se produce en el istmo de la aorta y en el que hemodinámicamente estaría representado el equilibrio del gasto biventricular^(5,6).

El ciclo cardíaco comprende dos fases que pueden ser evaluadas mediante la flujometría Doppler, una fase de llenado o diastólico con dos tiempos E y A y otra de vaciado o sistólico que ocurre a través de las conexiones ventriculoarteriales. Es posible sumar los tiempos de estas dos fases que van desde un tiempo de relajación

isovolumétrica hasta el siguiente, para obtener el tiempo integral del ciclo cardíaco en cada ventrículo. Así se pondría en evidencia la interdependencia del trabajo de ambos, su estrecha relación con la frecuencia cardíaca, y en el caso del corazón fetal podríamos evaluar si el trabajo, cuyo gasto es combinado, se encuentra o no en perfecto equilibrio.

El deterioro de la función cardíaca puede ser a menudo el primer signo de patología fetal que se asocie a descompensación hemodinámica⁽⁷⁻⁹⁾. Por tanto, el desarrollo de métodos sensibles de cuantificación de la función cardíaca fetal resulta de extrema importancia⁽¹⁰⁻¹²⁾, y se debería tomar en cuenta que se trata de un gasto cardíaco combinado y que la evaluación individualizada del trabajo de cada ventrículo se aparta de este concepto.

A lo largo de los años se han propuesto técnicas y parámetros⁽¹³⁻²⁰⁾ con el fin de evaluar cuantitativamente la función cardíaca fetal. La mayoría se desarrollaron por primera vez en la evaluación del corazón de adultos y se adaptaron al feto.

Nuestro objetivo es proponer un índice de rendimiento de la función sistólico-diastólica que incluya de manera individual e integrada a ambos ventrículos del corazón fetal en un solo momento vinculado a la variable dependiente de mayor grado de correlación, de fácil obtención y que pudiera informar acerca de la existencia de un gasto combinado en perfecto equilibrio.

MÉTODOS

Se trata de un estudio mixto, prospectivo y transversal de los fetos de 168 gestantes entre las 16 y 38 semanas, sin comorbilidades, anomalías fetales o alteraciones en el crecimiento, en el que se obtuvo datos que definieran a la población: edad de la gestante, número de gestaciones, edad gestacional por fecha de última menstruación o en su defecto en base a estudio ultrasonográfico de las primeras 10 semanas.

El estudio ecocardiográfico en cada feto permitió obtener ondas de flujo Doppler (OVF) transvalvulares (tricúspide y mitral) (figura 1). El tiempo en milisegundos se obtuvo desde el inicio del tiempo de relajación isovolumétrica (TRIV) de la onda atrioventricular hasta el mismo punto de la onda siguiente, denominándosele tiempo sistólico



lico-diafólico (TSD). En el barrido se incluyeron de 3 a 5 ondas para facilitar la precisión en las mediciones, según se ilustra en la figura 1.

Para el análisis estadístico se empleó el programa SPSS para Windows (versión 8.0, SPSS Inc.) y calculadora De Vore⁽²¹⁾ para determinar el porcentaje de un grupo de estudio con valores 5° o 95° centil, incluidos en el otro, utilizando la media y la desviación estándar (DE) de los resultados de ambos ventrículos. Los datos se expresaron para cada ventrículo como la media, desviación estándar (DE \pm), puntaje Z y percentiles. Se calculó el valor de los tiempos sistólico-diafólicos de cada ventrículo, dividido por la FCF para obtener el índice de rendimiento ventricular (IRV) de cada uno, y luego se calculó la media de ambos, dividiendo el resultado por el promedio de la FCF para obtener el índice de rendimiento biventricular (IRBV). Se comparó mediante pruebas estadísticas inferenciales las variables valores de tiempos sistólico-diafólicos y de índices de rendimiento univentricular y biventricular, con la edad gestacional (EG) y frecuencia cardíaca fetal (FCF). Finalmente se aplicó prueba de correlación curvilínea modelo cúbico entre la edad gestacional (EG) y la frecuencia cardíaca fetal (FCF) como variables independientes y el ín-

dice de rendimiento integral biventricular (IRBV) como variable dependiente, con el fin de evaluar el grado de asociación y significancia entre ambas variables. Los resultados se presentan en tablas y gráficos ajustados al diseño, acompañados de velocímetro con valores en percentiles para facilitar la ubicación de los índices propuestos.

RESULTADOS

La edad promedio de las pacientes fue de 28 años (DE ± 6), 72 primigestas (42,9%), 90 con 2 o 3 (53,6%) gestaciones y 6 con más de 3 (3,6%), sin comorbilidades médicas ni gestacionales, con fetos sin anomalías y con curva de crecimiento adecuada a la edad gestacional. La edad de gestación estuvo entre las 16 y 38 semanas. En la figura 2 se muestra la distribución según promedio, desviación estándar, percentiles y puntaje Z de los valores de tiempos sistólicos-diafólicos de ambos ventrículos (TSDVD, TSDVI), el promedio de tiempo entre ambos (PTSDBV) y el índice de rendimiento biventricular (IRBV). Los valores promedio y de dispersión de los tiempos sistólicos-diafólicos de ambos ventrículos expresados en milisegundos fueron 420,8 \pm 28,3 para el ventrículo derecho y 418,8 \pm 26,3 para el izquierdo. Solo 5% y 3% de los valores del ventrículo izquierdo se ubicaron por debajo de 1,65 ZS (<P5) y por encima de este valor +1,65 (>P95) de los valores referidos al ventrículo derecho. Los valores del índice de rendimiento biventricular fueron 2,87 (P50), 2,28 (P5) y 3,58 (P <95)

En la figura 3 se muestran los valores promedio y su respectivo IC95% de tiempo sistólico-diafólico del ventrículo derecho, tiempo sistólico-diafólico del ventrículo izquierdo y promedio. Al comparar los valores promedio y sus medidas de dispersión (DE) de los tiempos sistólico-dias-

FIGURA 1. ONDA DE FLUJO DOPPLER DE LA VÁLVULA MITRAL (MV) Y TRICÚSPIDE (TV), MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE TIEMPO SISTÓLICO-DIAFÓLICO (TSDI) (FLECHA ROJA).

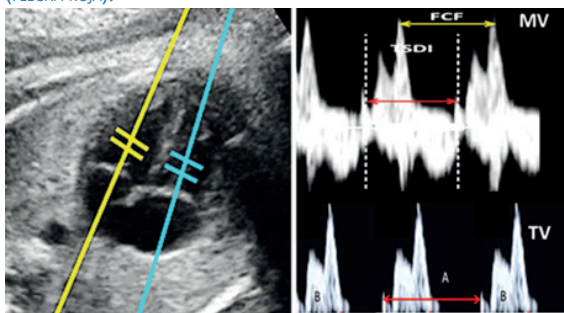
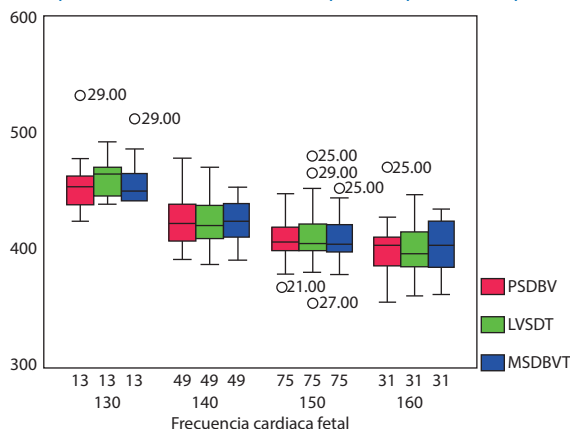


FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN SEGÚN PROMEDIO, DESVÍO ESTÁNDAR, PERCENTILES Y PUNTAJE Z DE LOS VALORES DE TIEMPOS SISTÓLICOS-DIAFÓLICOS DE AMBOS VENTRÍCULOS (TSDVD Y TSDVI), EL TIEMPO SISTÓLICO-DIAFÓLICO BIVENTRICULAR PROMEDIO (TSDDBVP) Y EL ÍNDICE DE RENDIMIENTO BIVENTRICULAR (IRBV). SOLO UN 5% Y 3% DE LOS VALORES DEL TSDVI SE UBICAN POR DEBAJO DE 1,65 ZS (<P5) Y POR ENCIMA DE ESTE VALOR +1,65 (>P95), CON RESPECTO A LOS VALORES DE TSDVD (T DE STUDENT DE MUESTRAS PAREADAS, $t=0,899$, $p=0,371$, NS). TSDVD: TIEMPO SISTÓLICO-DIAFÓLICO DEL VENTRÍCULO DERECHO, TSDVI: TIEMPO SISTÓLICO-DIAFÓLICO DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO, PTSDBV: PROMEDIO TIEMPO SISTÓLICO-DIAFÓLICO BIVENTRICULAR. IRBV=PTSDBV/FCF: PROMEDIO TIEMPO SISTÓLICO-DIAFÓLICO BIVENTRICULAR / FRECUENCIA CARDÍACA FETAL.

Índice	Percentiles									
	P5	P10	P20	P30	P50	P70	P90	P95	P97,5	
TSDVD	374,25	384,58	397,03	406,08	420,80	435,52	457,02	467,35	476,27	
TSDVI	375,54	385,14	396,71	405,12	418,80	432,48	452,46	462,06	470,35	
TSDDBVP	384,50	392,01	401,07	407,66	418,37	429,08	444,73	452,24	458,73	
IRBV	2,28	2,41	2,57	2,68	2,87	3,06	3,33	3,46	3,58	
	-1,65	-1,28	-0,84	-0,52	0,00	+0,52	+1,28	+1,65	+1,96	
	Puntaje Z									



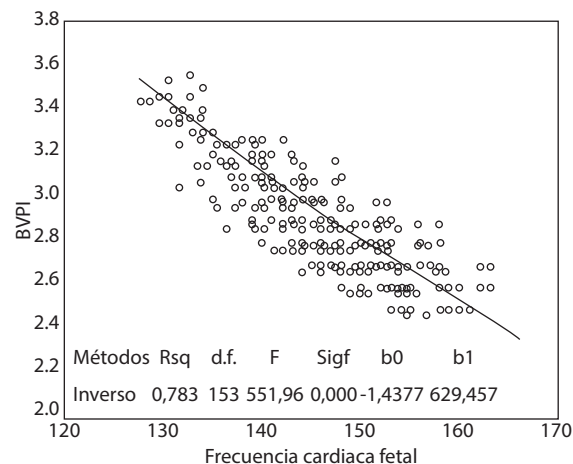
FIGURA 3. GRÁFICO DE CAJA CON VALORES PROMEDIO Y SU RESPECTIVO IC95% DE TSDVD (TIEMPO SISTÓLICO-DIASTÓLICO DE VENTRÍCULO DERECHO), TSDVI (TIEMPO SISTÓLICO-DIASTÓLICO DE VENTRÍCULO IZQUIERDO) Y PTSDBV (PROMEDIO, CORRELACIÓN DE TIEMPO SISTÓLICO-DIASTÓLICO BIVENTRICULAR) EN FUNCIÓN DE LA EG $R^2=0,48$ (NS) CON LA FCF $R^2= -0,50$ ($p<0,05$). CORRELACIÓN DE PROMEDIO DE TIEMPO SISTÓLICO-DIASTÓLICO BIVENTRICULAR (PTSDBV) CON LA EG= $0,39$, $p<0,05$ Y CON LA FCF = $-0,52$, $p<0,05$ (VER FIGURA 4).



tólicos de cada ventrículo con el valor promedio de tiempo de ambos mediante la prueba t de Student de las tres muestras pareadas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, $t=0,98$ (NS). La correlación entre el tiempo sistólico-diastróico de cada ventrículo con la edad gestacional, aunque significativas ($p<0,05$), resultaron de bajo grado (r de Spearman = $0,34$ para el ventrículo derecho y $0,30$ para el izquierdo). La correlación entre el tiempo sistólico-diastróico de cada ventrículo y la FCF resultó negativa, $-0,491$ para el derecho y $-0,553$ para el izquierdo, ambas significativas ($p<0,05$). En vista de esta dependencia y la no diferencia entre los tiempos SD ventriculares, se procedió a calcular el tiempo promedio biventricular (TPBV) con valores de $418,37$ ($DE\pm 20,59$), cuya correlación con la edad gestacional fue de $0,48$ y con la FCF de $-0,50$ ($p<0,05$).

El índice de rendimiento biventricular (IRBV) calculado mediante la fórmula tiempo promedio biventricular dividido entre la FCF ($TPBV/FCF$) mostró una correlación bivariable de elevado grado con los valores de la FCF ($0,78$, $p<0,05$) y de bajo grado con la EG ($0,27$). La prueba de correlación curvilínea modelo inverso entre la frecuencia cardiaca fetal (FCF) como variable independiente y el índice de rendimiento biventricular (IRBV) como variable dependiente permitió obtener los

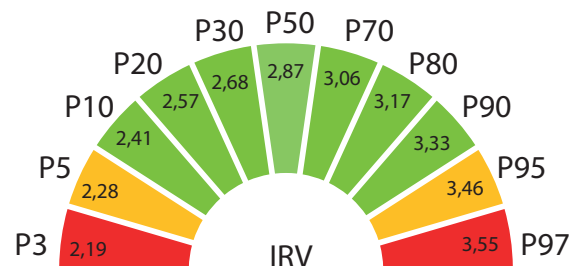
FIGURA 4. DISPERSOGRAMA DE VALORES DE IRBV EN FUNCIÓN DE LA FCF PROMEDIO PARA EL MOMENTO DEL ESTUDIO. CORRELACIÓN MÉTODO INVERSO $R^2=0,783$, $p<0,005$.



valores de la ecuación predictiva ($b_0=-1,4377$ y $b_1=629,457$), con un R^2 de $0,771$, $p<0,05$) (figura 4).

En la figura 5 se muestra un gráfico tipo velocímetro que permite ubicar tanto el índice de rendimiento ventricular, como el índice de rendimiento biventricular según percentiles. Los valores ubicados en la zona verde mostrarían equilibrio y, en caso de desequilibrio, alerta (amarillo) y rojo (alarma). Si los valores de cada ventrículo son diferentes pero se ubican en la zona verde, deben ser considerados como adecuados; si el cálculo se hizo para el IRBV y se ubica en zona verde, equivale a gasto cardiaco equilibrado; si en zona amarilla, es peligro de desequilibrio; y en rojo, evidente desequilibrio.

FIGURA 5. GRÁFICO TIPO VELOCÍMETRO (IRV: ÍNDICE DE RENDIMIENTO VENTRICULAR) QUE REÚNE VALORES SEGÚN PERCENTILES Y QUE PERMITE ORIENTACIÓN RÁPIDA PARA UBICAR LOS VALORES DE TSD/FCF PARA CADA VENTRÍCULO EN CASO DE VALORES AJUSTADOS (ZONA VERDE) O EN CASO DE DESEQUILIBRIO, ALERTA (AMARILLO) Y (ROJO) ALARMA. SI LOS VALORES DE CADA VENTRÍCULO SON DIFERENTES PERO SE UBICAN EN LA ZONA VERDE, DICHS VALORES DEBEN SER CONSIDERADOS COMO ADECUADOS; SI EL CÁLCULO SE HIZO PARA EL IRV Y SE UBICA EN ZONA VERDE EQUIVALE A GASTO CARDIACO EQUILIBRADO; EN ZONA AMARILLA ES PELIGRO DE DESEQUILIBRIO Y ROJO, EVIDENTE DESEQUILIBRIO.





DISCUSIÓN

Han sido múltiples y variadas las estrategias para la evaluación del rendimiento cardíaco fetal⁽²²⁻²⁹⁾. Y se ha insistido sobre sus ventajas y desventajas, proponiéndose diversas alternativas⁽²⁷⁾. Además, algunas de ellas presentan ciertas limitaciones, como modalidad que evalúa solo la función sistólica o diastólica univentricular, fórmulas con dificultades en su aplicación que limitan su difusión, requerimiento de tecnología avanzada que no está disponible para todos lo que utilizan la ultrasonografía y, finalmente, la evaluación de la eficiencia y eficacia de las técnicas con referencia a su utilidad en la toma de decisiones clínicas. Los tiempos de llenado (diástole) y de eyección (sístole) pueden ser medidos mediante la flujometría Doppler⁽³⁰⁻³⁵⁾, obteniendo las ondas de llenado ventricular (E y A) y las de eyección a través de las válvulas sigmoideas (TE).

El llenado ventricular o diastólico es bifásico y comprende el periodo que se inicia con el tiempo de relajación isovolumétrico (TRI) y que finaliza con el cierre de la válvula AV (suma de ondas E y A), lo cual quiere decir que el resultado de la función diastólica es la suma de TRI + tiempo de E/A.

El periodo sistólico inicia con el tiempo de contracción isovolumétrica (TCIV) y finaliza con el cierre de la válvula sigmoidea, poniendo fin al tiempo de eyección (TE). En consecuencia, la función sistólica se corresponde con la suma de TCI + TE. Por lo tanto, el ciclo cardíaco corresponde a la sumatoria de tiempo sistólico y tiempo diastólico. La dependencia entre ambas funciones es obvia -existe estrecha correlación entre pre y post carga- y si se busca un índice integral para evaluar ambas funciones, habría que tomar en cuenta la totalidad de los tiempos y no como lo hace el TEI^(33,34), que solo toma en cuenta una relación entre el tiempo de eyección y el tiempo de llenado (TE/TLL) y no la totalidad de duración del ciclo. Así que, para evaluar la 'performance' sistólico-diaastólica es necesario conocer el tiempo total de ambas funciones para cada ventrículo, la correlación entre ambos y si existen diferencias significativas entre dichos tiempos, así como también su dependencia con las variables de edad gestacional y frecuencia cardíaca. El conjunto permitiría establecer un índice que indica el equilibrio biventricular, estrategia que no hemos encontrado en la bibliografía consultada⁽²⁻³⁹⁾.

Solo la onda de velocidad de flujo de válvula mitral (pero no la de la tricúspide) permite observar llenado y eyección al mismo tiempo, por la posición de la arteria pulmonar; obviamente, el tiempo entre dos ondas de llenado representa el tiempo sistólico.

Se ha evaluado la fracción de tiempos de llenado y vaciado en ambos ventrículos por separado⁽³⁵⁾ y en una población de bajo riesgo, encontrando que la FC es el único factor determinante. Estos autores concluyen que la FCF influye en ambos tiempos de llenado y vaciado, y que la relación edad gestacional, peso estimado, lo determina en bajo grado en la eyección; por lo tanto, la evaluación precisa del tiempo de llenado y vaciado debe incluir la FCF.

Desde este punto de vista, la metodología que proponemos y que incluye la evaluación de tiempo sistólico-diaastólico de cada ventrículo, el valor promedio de ambos tiempos y la obtención del índice de rendimiento en función de la frecuencia cardíaca podría ser de utilidad para la evaluación del trabajo equilibrado biventricular, sin desconocer que es al derecho al que le corresponde la mayor proporción del gasto cardíaco combinado y es el más propenso a mostrar cambios restrictivos ante circunstancias hemoreológicas adversas tales como en el síndrome de transfusión intergemelar⁽³⁶⁾ y el crecimiento fetal restringido^(37,38), circunstancias en las que deberá ser demostrada la utilidad de la estrategia propuesta y que será motivo de próximos trabajos.

De la misma manera, tomando en cuenta la concepción sobre la arquitectura helicoidal del miocardio descrito por Torrent-Guas⁽³⁹⁾, donde la contracción del asa basal (segmento derecho) conduce al vaciamiento del ventrículo derecho (VD) mientras que el asa apical del segmento izquierdo actúa sobre la unión atrioventricular para la expulsión del volumen adquirido por el ventrículo izquierdo, es de suponer que cualquier afectación que modifique un segmento de la anatomía cardíaca debe provocar diferencias entre los tiempos sistólicos y diastólicos del segmento afectado, y al compararlo con los tiempos de referencia para corazones normales y contrastarlos con la frecuencia cardíaca evidenciarían de forma más marcada esa diferencia.



Proponemos una estrategia para evaluar el trabajo cardíaco fetal de fácil ejecutoria, valores de referencia y fórmula para el cálculo del índice de rendimiento uni- y biventricular, basados en una población de fetos de bajo riesgo. Se justifican futuros estudios para confirmar la utilidad de evaluar los tiempos sistólico-diastólicos de ventrículos del corazón fetal, de manera individual, en su valor promedio o mediante un índice de rendimiento biventricular como el propuesto, en estas y otras condiciones fetales. No se incluyen en el trabajo, comparación de la estrategia con otras herramientas utilizadas para evaluar la función cardíaca fetal ni casos con patologías que pudieran tener repercusiones sobre los valores de los parámetros evaluados, quedando pendiente dichos objetivos para futuras investigaciones.

En el presente trabajo se pudo demostrar que es posible evaluar el ciclo cardíaco fetal de ambos ventrículos mediante un índice de rendimiento biventricular derivado del tiempo promedio de intervalos sistólico-diastólicos de ambos ventrículos dividido por la variable frecuencia cardíaca fetal, que permite inferir la existencia de un gasto cardíaco combinado en perfecto equilibrio. La onda de velocidad de flujo de la válvula mitral permite observar llenado y eyección al mismo tiempo, no así la onda de la tricúspide, por la posición de la arteria pulmonar. Pero, obviamente, el tiempo entre dos ondas de llenado representa el tiempo sistólico. La técnica propuesta obviaría la necesidad de obtener por separado el tiempo de llenado y eyección del ventrículo derecho.

Consideramos que es una herramienta accesible utilizando equipos de ultrasonido estándar sin depender del posprocesamiento fuera de línea, y que debería poder predecir la disfunción cardíaca antes de que aparezcan signos clínicos de redistribución hemodinámica o de *hidrops*. Y es aquí cuando nuestros resultados permiten señalar que el índice de rendimiento biventricular en condiciones normales se asocia de forma inversa (disminuyen) con la frecuencia cardíaca fetal de manera significativa, y en menor grado con la edad gestacional. Y, valores por debajo o por encima de los límites esperados para uno o ambos ventrículos, o del índice de rendimiento biventricular, pudieran detectar fallas en el rendimiento del corazón fetal ante circunstancias adversas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rudolph AM. Circulatory changes during gestational development of the sheep and human fetus. *Pediatr Res*. 2018 Sep;84(3):348-51. doi: 10.1038/s41390-018-0094-9. Epub 2018 Jul 16. PMID: 30013152
2. Kiserud T. Physiology of the fetal circulation. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2005 Dec;10(6):493-503. doi: 10.1016/j.siny.2005.08.007. Epub 2005 Oct 19. PMID: 16236564
3. Tan CMJ, Lewandowski AJ. The Transitional Heart: From Early Embryonic and Fetal Development to Neonatal Life. *Fetal Diagn Ther*. 2020;47(5):373-86. doi: 10.1159/000501906. Epub 2019 Sep 18. PMID: 31533099; PMCID: PMC7265763
4. Morton SU, Brodsky D. Fetal Physiology and the Transition to Extrauterine Life. *Clin Perinatol*. 2016 Sep;43(3):395-407. doi: 10.1016/j.clp.2016.04.001. Epub 2016 Jun 11. PMID: 27524443; PMCID: PMC4987541
5. Tynan D, Alphonse J, Henry A, Welsh AW. The Aortic Isthmus: A Significant yet Underexplored Watershed of the Fetal Circulation. *Fetal Diagn Ther*. 2016;40(2):81-93. doi: 10.1159/000446942. Epub 2016 Jul 6. PMID: 27379710
6. Chabaneix J, Fouron JC, Sosa-Olavarria A, Gendron R, Dahdah N, Berger A, Brisebois S. Profiling left and right ventricular proportional output during fetal life with a novel systolic index in the aortic isthmus. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2014 Aug;44(2):176-81. doi: 10.1002/uog.13345. Epub 2014 Jun 30. PMID: 24585706
7. Abuhamad A, Chaoui R. Pulsed Doppler echocardiography. In: A practical guide to fetal echocardiography: Normal and abnormal hearts. Lippincott, Williams, and Wilkins: Philadelphia, USA, 2009.
8. Crispi F, Hernandez-Andrade E, Pelsers MM, Plasencia W, Benavides-Serralde JA, Eixarch E, Le Noble F, Ahmed A, Glatz JF, Nicolaidis KH, Gratacos E. Cardiac dysfunction and cell damage across clinical stages of severity in growth-restricted fetuses. *Am J Obstet Gynecol*. 2008 Sep;199(3):254.e1-8. doi:10.1016/j.ajog.2008.06.056. PMID: 18771973
9. Godfrey ME, Messing B, Cohen SM, Valsky DV, Yagel S. Functional assessment of the fetal heart: a review. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2012 Feb;39(2):131-44. doi: 10.1002/uog.9064. Epub 2012 Jan 9. PMID: 21611999
10. Allan LD, Joseph MC, Boyd EG, Campbell S, Tynan M. M-mode echocardiography in the developing human fetus. *Br Heart J*. 1982 Jun;47(6):573-83. doi: 10.1136/hrt.47.6.573. PMID: 7082505; PMCID: PMC481184
11. Carceller-Blanchard AM, Fouron JC. Determinants of the Doppler flow velocity profile through the mitral valve of the human fetus. *Br Heart J*. 1993 Nov;70(5):457-60. doi: 10.1136/hrt.70.5.457. PMID: 8260278; PMCID: PMC1025359
12. Carvalho JS, O'Sullivan C, Shinebourne EA, Henein MY. Right and left ventricular long-axis function in the fetus using angular M-mode. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2001 Dec;18(6):619-22. doi: 10.1046/j.0960-7692.2001.00587.x. PMID: 11844201
13. Cui W, Roberson DA, Chen Z, Madronero LF, Cuneo BF. Systolic and diastolic time intervals measured from Doppler tissue imaging: normal values and Z-score tables,



- and effects of age, heart rate, and body surface area. *J Am Soc Echocardiogr.* 2008 Apr;21(4):361-70. doi: 10.1016/j.echo.2007.05.034. Epub 2007 Jul 12. PMID: 17628402
14. Chao G, Zheng C, Meng D, Su J, Xie X, Li W, Henein M. Tei index: the earliest detectable cardiac structural and functional abnormality detectable in Hb Bart's foetal edema. *Int J Cardiol.* 2009 May 29;134(3):e150-4. doi: 10.1016/j.ijcard.2008.12.182. Epub 2009 Feb 23. PMID: 19233491
 15. DeVore GR. Assessing fetal cardiac ventricular function. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2005 Dec;10(6):515-41. doi: 10.1016/j.siny.2005.08.009. PMID: 16257825
 16. Duan Y, Harada K, Wu W, Ishii H, Takada G. Correlation between right ventricular Tei index by tissue Doppler imaging and pulsed Doppler imaging in fetuses. *Pediatr Cardiol.* 2008 Jul;29(4):739-43. doi: 10.1007/s00246-008-9215-2. Epub 2008 Apr 29. PMID: 18443844
 17. Fernandez Pineda L, Tamariz-Martel Moreno A, Maître Azcárate MJ, Lopez Zea M, Rico Gómez F, Cazzaniga Bullón M, Quero Jiménez M. Contribution of Doppler atrioventricular flow waves to ventricular filling in the human fetus. *Pediatr Cardiol.* 2000 Sep-Oct;21(5):422-8. doi: 10.1007/s002460010101. PMID: 10982699
 18. Friedman D, Buyon J, Kim M, Glickstein JS. Fetal cardiac function assessed by Doppler myocardial performance index (Tei Index). *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2003 Jan;21(1):33-6. doi: 10.1002/uog.11. PMID: 12528158
 19. Gagnon C, Bigras JL, Fouron JC, Dallaire F. Reference Values and Z Scores for Pulsed-Wave Doppler and M-Mode Measurements in Fetal Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016 May;29(5):448-460.e9. doi: 10.1016/j.echo.2016.01.002. Epub 2016 Mar 9. Erratum in: *J Am Soc Echocardiogr.* 2019 Jan;32(1):169-170. PMID: 26971082
 20. Tsutsumi T, Ishii M, Eto G, Hota M, Kato H. Serial evaluation for myocardial performance in fetuses and neonates using a new Doppler index. *Pediatr Int.* 1999 Dec;41(6):722-7. doi: 10.1046/j.1442-200x.1999.01155.x. PMID: 10618901
 21. DeVore GR., Cuneo BF. Satou G., Sklansky M. How to determine the percentage of study subjects 5^{th} or 95^{th} centile using the control group when only the mean and standard deviation are provided. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2019; 54 (1): 139-141. doi: 10.1002 / uog.20110 (Appendix S1 Calculator for determining percentage of study group with values 5th or; 95th centile using mean and SD of study and control groups. uog20110-sup-0001-AppendixS1.xlsx
 22. Van Mieghem T, DeKoninck P, Steenhaut P, Deprest J. Methods for prenatal assessment of fetal cardiac function. *Prenat Diagn.* 2009 Dec;29(13):1193-203. doi: 10.1002/pd.2379. PMID: 19816885
 23. Van Mieghem T, Gucciardo L, Lewi P, Lewi L, Van Schoubroeck D, Devlieger R, De Catte L, Verhaeghe J, Deprest J. Validation of the fetal myocardial performance index in the second and third trimesters of gestation. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009 Jan;33(1):58-63. doi: 10.1002/uog.6238. PMID: 18973212
 24. Van Splunder IP, Wladimiroff JW. Cardiac functional changes in the human fetus in the late first and early second trimesters. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 1996 Jun;7(6):411-5. doi: 10.1046/j.1469-0705.1996.07060411.x. PMID: 8807756
 25. Gardiner HM, Pasquini L, Wolfenden J, Barlow A, Li W, Kulinskaya E, Henein M. Myocardial tissue Doppler and long axis function in the fetal heart. *Int J Cardiol.* 2006 Oct 26;113(1):39-47. doi: 10.1016/j.ijcard.2005.10.029. Epub 2005 Dec 19. PMID: 16360223
 26. Hernandez-Andrade E, López-Tenorio J, Figueroa-Diesel H, Sanin-Blair J, Carreras E, Cabero L, Gratacos E. A modified myocardial performance (Tei) index based on the use of valve clicks improves reproducibility of fetal left cardiac function assessment. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2005 Sep;26(3):227-32. doi: 10.1002/uog.1959. PMID: 16116562
 27. DeVore GR, Falkensammer P, Sklansky MS, Platt LD. Spatio-temporal image correlation (STIC): new technology for evaluation of the fetal heart. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2003 Oct;22(4):380-7. doi: 10.1002/uog.217. PMID: 14528474
 28. DeVore GR, Klas B, Satou G, Sklansky M. 24-segment sphericity index: a new technique to evaluate fetal cardiac diastolic shape. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2018 May;51(5):650-8. doi: 10.1002/uog.17505. PMID: 28437575
 29. Hecher K, Campbell S, Doyle P, Harrington K, Nicolaidis K. Assessment of fetal compromise by Doppler ultrasound investigation of the fetal circulation. Arterial, intracardiac, and venous blood flow velocity studies. *Circulation.* 1995 Jan 1;91(1):129-38. doi: 10.1161/01.cir.91.1.129. PMID: 7805194
 30. Reed KL, Sahn DJ, Scagnelli S, Anderson CF, Shenker L. Doppler echocardiographic studies of diastolic function in the human fetal heart: changes during gestation. *J Am Coll Cardiol.* 1986 Aug;8(2):391-5. doi: 10.1016/s0735-1097(86)80056-0. PMID: 2942595
 31. Khandoker AH, Al-Angari HM, Marzbanrad F, Kimura Y. Investigating fetal myocardial function in heart anomalies by Doppler myocardial performance indices. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2017 Jul;2017:2197-200. doi: 10.1109/EMBC.2017.8037290. PMID: 29060332
 32. Hecher K, Campbell S, Snijders R, Nicolaidis K. Reference ranges for fetal venous and atrioventricular blood flow parameters. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 1994 Sep 1;4(5):381-90. doi: 10.1046/j.1469-0705.1994.04050381.x. PMID: 12797146
 33. Tei C, Ling LH, Hodge DO, Bailey KR, Oh JK, Rodeheffer RJ, Tajik AJ, Seward JB. New index of combined systolic and diastolic myocardial performance: a simple and reproducible measure of cardiac function—a study in normals and dilated cardiomyopathy. *J Cardiol.* 1995 Dec;26(6):357-66. PMID: 8558414
 34. Pellett AA, Tolar WG, Merwin DG, Kerut EK. The Tei index: methodology and disease state values. *Echocardiography.* 2004 Oct;21(7):669-72. doi: 10.1111/j.0742-2822.2004.04052.x. PMID: 15488100
 35. Soveral I, Crispi F, Guirado L, García-Otero L, Torres X, Bannasar M, Sepúlveda-Martínez Á, Nogué L, Gratacós E, Martínez JM, Bijnens B, Friedberg M, Gómez O. Fetal cardiac filling and ejection time fractions by pulsed-wave Doppler: reference ranges and potential clinical application. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2021 Jul;58(1):83-91. doi: 10.1002/uog.22152. Epub 2021 Jun 12. PMID: 32672395
 36. Stirnemann JJ, Mougeot M, Proulx F, Nasr B, Essaoui M, Fouron JC, Ville Y. Profiling fetal cardiac function in twin-twin



- transfusion syndrome. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2010 Jan;35(1):19-27. doi: 10.1002/uog.7488. PMID: 20020467
37. Harada K, Rice MJ, Shiota T, Ishii M, McDonald RW, Reller MD, Sahn DJ. Gestational age- and growth-related alterations in fetal right and left ventricular diastolic filling patterns. *Am J Cardiol.* 1997 Jan 15;79(2):173-7. doi: 10.1016/s0002-9149(96)00706-0. PMID: 9193018
38. Youssef L, Miranda J, Paules C, Garcia-Otero L, Vellvé K, Kalapotharakos G, Sepulveda-Martinez A, Crovetto F, Gomez O, Gratacós E, Crispi F. Fetal cardiac remodeling and dysfunction is associated with both preeclampsia and fetal growth restriction. *Am J Obstet Gynecol.* 2020 Jan;222(1):79.e1-79.e9. doi:10.1016/j.ajog.2019.07.025. Epub 2019 Jul 20. PMID: 31336074
39. Kocica MJ, Corno AF, Carreras-Costa F, Ballester-Rodes M, Moghbel MC, Cueva CN, Lackovic V, Kanjuh VI, Torrent-Guasp F. The helical ventricular myocardial band: global, three-dimensional, functional architecture of the ventricular myocardium. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2006 Apr;29 Suppl 1:S21-40. doi: 10.1016/j.ejcts.2006.03.011. Epub 2006 Mar 24. PMID: 16563790