

11205
221
73



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

**Facultad de Medicina
Instituto Nacional de Cardiología
"Ignacio Chávez"
Curso de Especialización en Cardiología**

**"Estudio Hemodinámico de la circulación pulmonar por
ECO-DOPPLER de Onda Pulsada: Cálculo del Volumen,
Presiones y Resistencias"**

TESIS DE POSTGRADO
Para obtener el título de
Especialista en Cardiología
presenta el Doctor

PEDRO CLAVER REDONDO ACEVEDO

**Dr. Ignacio Chávez Rivera Director del Área de Enseñanza
Dr. José Esquivel Avila Director de la Tesis**

México, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
MATERIAL Y METODOS	2
RESULTADOS	5
DISCUSION	7
CONCLUSIONES	10
BIBLIOGRAFIA	11

INTRODUCCION.

Se puede considerar que el conocimiento de la hemodinámica de la circulación pulmonar es útil e importante en el estudio de todas las cardiopatías, por esta razón se ha pretendido su valoración a través de métodos no invasivos, dado que no sería indicado someter a cateterismo todos los pacientes.

En nuestro medio el interés en este campo, ha sido demostrado desde la descripción clínica del complejo de la pulmonar de Chávez, seguido por Burstín y Fishleder, quienes en 1962, por fonocardiografía propusieron el cálculo de la presión sistólica arteria pulmonar, con la medición de la fase de relajación del ventrículo derecho (IIP - OT), que años más tarde Aldana y col, demostraron su validez en pacientes con el cateterismo simultáneo. Anteriormente, en 1956 Bayer y Loogan calcularon la PCP mediante la medición (IIA - ChM) del fonocardiograma; la medición de este intervalo también ha sido utilizada por múltiples investigadores entre otros Azkenazi y col. (25), pero utilizando la ecocardiografía modo M. Sin embargo, esta medición sólo es aplicable a pacientes con estenosis mitral. Gibson y col, demostraron que la fase de relajación isovolumétrica del ventrículo izquierdo se modifica en forma inversa a la estenosis mitral, en pacientes hipertensos y coronarios con hipertensión venocapilar pulmonar.

INTRODUCCION.

Se puede considerar que el conocimiento de la hemodinámica de la circulación pulmonar es útil e importante en el estudio de todas las cardiopatías, por esta razón se ha pretendido su valoración a través de métodos no invasivos, dado que no sería indicado someter a cateterismo todos los pacientes.

En nuestro medio el interés en este campo, ha sido demostrado desde la descripción clínica del complejo de la pulmonar de Chávez, seguido por Burstia y Fishleder, quienes en 1962, por fonocardiografía propusieron el cálculo de la presión sistólica arteria pulmonar, con la medición de la fase de relajación del ventrículo derecho (IIP - OT), que años más tarde Aldana y col, demostraron su validez en pacientes con el cateterismo simultáneo. Anteriormente, en 1956 Bayer y Loogan calcularon la PCP mediante la medición (IIA - ChM) del fonocardiograma; la medición de este intervalo también ha sido utilizada por múltiples investigadores entre otros Azkenazi y col. (25), pero utilizando la ecocardiografía modo M. Sin embargo, esta medición sólo es aplicable a pacientes con estenosis mitral. Gibson y col, demostraron que la fase de relajación isovolumétrica del ventrículo izquierdo se modifica en forma inversa a la estenosis mitral, en pacientes hipertensos y coronarios con hipertensión venocapilar pulmonar.

El advenimiento de la técnica Doppler abrió una nueva posibilidad de estudio. Dabestani y col, (18) y Henry y col, (17) propusieron formulas de regresión para el calculo de la presión capilar pulmonar (PCG), mediante la medición del tiempo de aceleración máxima del flujo arterial pulmonar (TAMP). Pinotti y col, demostraron que este método es aplicable en todo tipo de pacientes no sólo con estenosis mitral.

Con plantamiento similar Kitabatake y col, (10) propusieron ecuaciones de regresión para el cálculo de la presión media de la arteria pulmonar, a partir del mismo parámetro y también por medio de la relación TAMP/PEVD. Múltiples autores ya han demostrado la aplicación de la técnica Doppler para la medición de gasto sistémico (GS), gasto de cortocircuito arteriovenoso y gasto pulmonar total (GPT) (26,27,28).

En la presente comunicación se pretende demostrar la utilidad de estas mediciones al valorar su correlación con las mediciones por cateterismo y a su vez, establecer su aplicabilidad en el cálculo de resistencias pulmonares a partir de los parámetros anteriores.

MATERIAL Y METODOS:

En el INCICH se realizó estudio prospectivo de 29

pacientes: (10) hombres y (19) mujeres, de edad comprendida entre 22 días y 42 años; peso de 4 Kgs. y talla de 51 cms.a 1.70 mts.

El diagnóstico fue: -Comunicación interauricular (CIA) en 7, -Persistencia del conducto arterioso (PCA) en 6, -Comunicación interventricular (CIV) en 5, -Ventana aortopulmonar en 1, -Insuficiencia mitral y tricúspidea por degeneración mixomatosa e hipertensión arterial pulmonar en 1, -Cardiopatía reumática inactiva en 6, de los cuales 3 con estenosis mitral predominante (EMP), -Con doble lesión mitral 3, y con Hipertensión arterial pulmonar de etiología por precisar en 3.

En todos se realizó ecocardiografía Doppler de onda pulsada. Se utilizó equipo Siemens Sololine CD con transductores mecánicos de 3,5 y 5 Mhz con movimiento oscilatorio de 30-75 grados y grabados en cinta VHS. Con cursor electrónico desplazable se colocó el volumen de muestra en el tracto de salida del ventrículo derecho y en el interior de la arteria pulmonar. En imagen parasternal de corte transversal a nivel de grandes arterias, se midieron: El tiempo de aceleración máxima de flujo pulmonar (TAMP), del inició de la curva de velocidad del flujo pulmonar y el punto de la velocidad máxima y el período expulsivo del ventrículo derecho (PEVD).

Se tomó en consideración la morfología de la curva de

velocidad del flujo pulmonar, en especial la existencia de incisura mesosistólica. Con las determinaciones de TAMP y PEVD en el eje corto paraesternal se realizó la determinación de PCP en base a la ecuación de Dabestani (18), $PCP = 57 - (0,39 \text{ TAMP})$ y la determinación de la PMAP en base a las ecuaciones de Kitabatake (10): (1o.) $\text{Log. } 10. = 0,0068 (\text{TAMP}) + 2,1.$ (2o.) $\text{Log. } 10 = 2,8 (\text{TAMP/PEVD}) + 2,4.$

El gasto pulmonar total se determinó en la arteria pulmonar con excepción de los pacientes con Persistencia del conducto arterioso en los cuales se midió a nivel de la mitral o de la aorta.

El diámetro de la pulmonar se midió por ecocardiografía bidimensional en el tracto de salida del ventrículo derecho y el de la aorta se midió por ecocardiografía modo M con el cursor en imagen bidimensional en eje largo paraesternal, o paraesternal eje corto (27).

El diámetro de la mitral para determinación del gasto en esta válvula se realizó por el método modificado de Fisher o por planimetría del flujo de la mitral, con la integral de la velocidad del flujo y área, obteniéndose el volumen látido directamente por la máquina (27,29). La determinación de las resistencias pulmonares totales se obtuvo de la relación entre

PMAP/GPT medida por Doppler.

La resistencia arteriolar pulmonar se obtuvo del gradiente vascular pulmonar dividido por el gasto pulmonar total PMAP-PCP/GPT. El gasto pulmonar total se obtuvo por las determinaciones de: Velocidad máxima arteria pulmonar multiplicada por el periodo expulsivo dividido entre dos, obteniéndose velocidad media y esta determinación multiplicada por el área de la pulmonar se obtuvo el volumen látido que multiplicado por frecuencia cardíaca se obtuvo gasto pulmonar total. Los resultados se compararon con los obtenidos por cateterismo, el estudio ecocardiográfico se realizó de 12 a 16 horas previas al cateterismo.

RESULTADOS:

El tiempo de aceleración máxima del flujo pulmonar con Doppler pulsado varió de 30 a 120 mseg. y la presión media de la arteria pulmonar por cateterismo varió de 16,9 a 81 mmHg. Se observó relación inversa de esas mediciones, menor TAMP correspondió a valores mayores de la presión media de la arteria pulmonar con correlación inversamente proporcional ($r=0,97$) gráfica (1).

Con aplicación de la ecuación (10.), el calculo por Doppler pulsado de la presión media de la arteria pulmonar comparada con la del cateterismo dieron correlación altamente satisfactoria ($r=0,97$) gráfica (2). La relación del índice TAMP/PEVD medido en el regiatyro Doppler también mostró relación inversa con la presión media de la arteria pulmonar medida durante el cateterismo, pero con menor grado de correlación que al considerar sólo al TAMP ($r=0,885$) gráfica (3).

Con la aplicación de la ecuación número (2) de Kitabatake para el calculo de la presión media de la arteria pulmonar, la correlación con la medición por cateterismo mostró buena correlación ($r=0,924$) gráfica (4).

Este mismo tipo de correlación a través de la ecuación de regresión elaborada en nuestro laboratorio; que es el objeto principal de esta comunicación y que se enuncia a continuación:

$$PMAP = \frac{TAMP - 136.2}{1,33}$$

Se obtuvo excelente correlación ($r=0,971$) gráfica (5).

La correlación en la que se tomó el Log (TAMP/PEVD)10, también propuesta en esta comunicación, dió ($r=0,91$) respecto a la presión media de la arteria pulmonar por cateterismo, gráfica

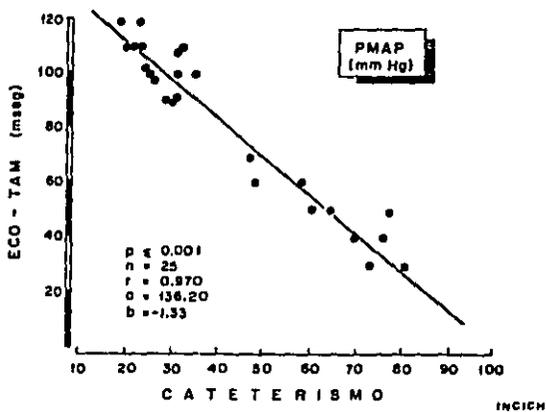


Figura (1). Relación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) determinada por cateterismo y el tiempo de aceleración máxima del flujo Doppler en la arteria pulmonar (TAMP) en mseg.

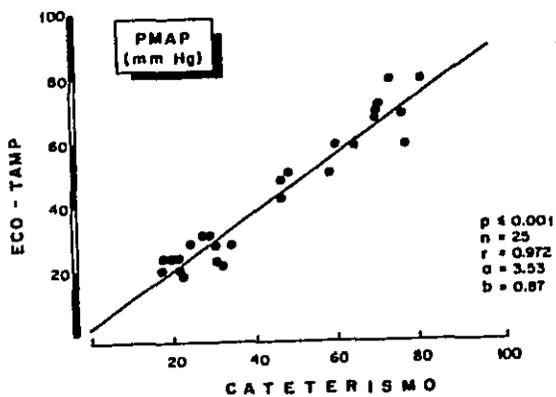


Figura (2). Relación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) calculada por cateterismo y por flujo Doppler de onda pulsada.

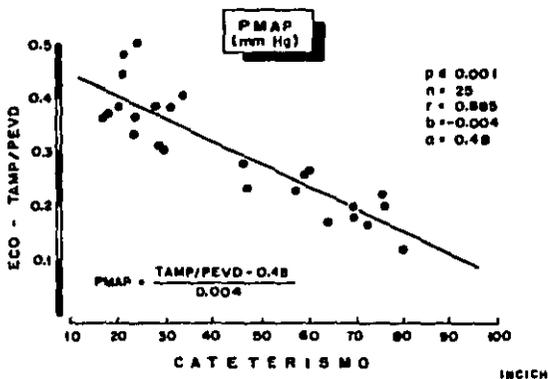


Figura (3). Relación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) calculada por cateterismo, con el índice: Tiempo de aceleración máxima del flujo pulmonar/período expulsivo del ventrículo derecho. (TAMP/PEVD) calculado por el registro Doppler en la arteria pulmonar.

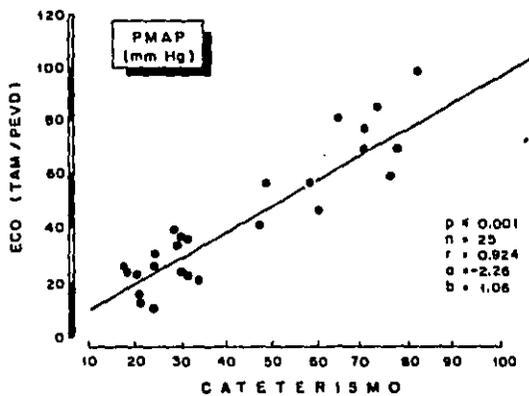


Figura (4). Relación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) por cateterismo y por Doppler a partir del índice (TAMP/PEVD).

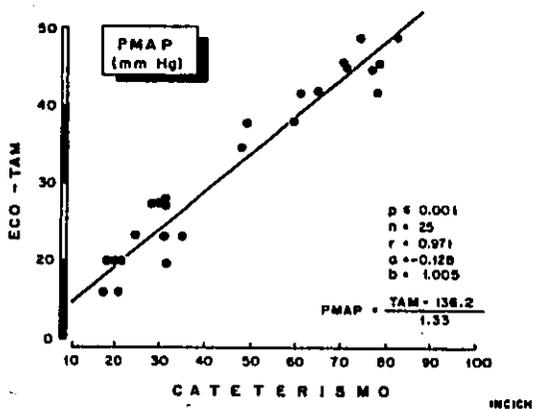


Figura (5). Relación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) por cateterismo y por Doppler utilizando la ecuación de regresión propuesta en el INCICH.

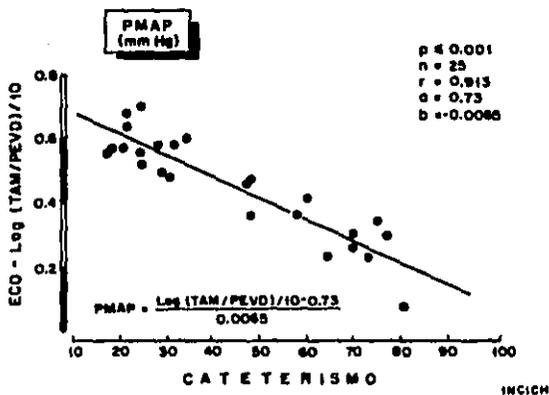


Figura (6). Relación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) por cateterismo y el Log₁₀ del índice TAM/PEVD.

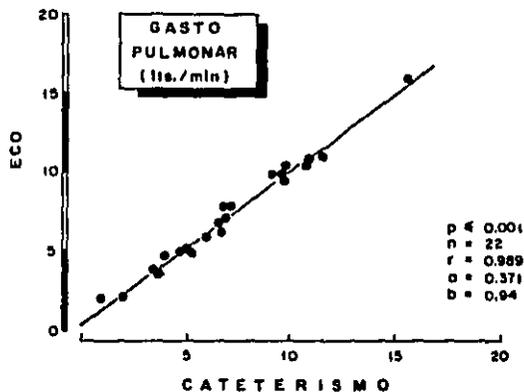


Figura (7). Relación del Gasto Pulmonar Total (GPT) calculado por el método FICK y el de registro Doppler del flujo pulmonar.

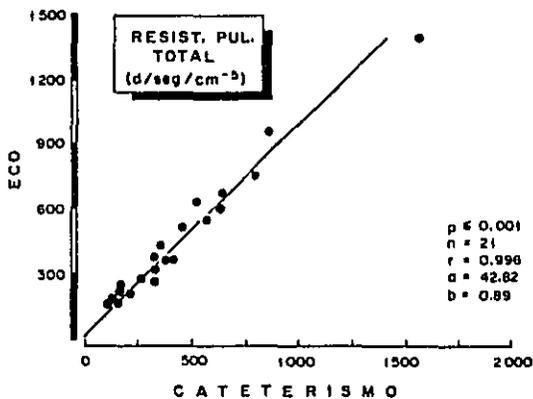


Figura (8). Relación del cálculo de resistencias pulmonares totales obtenidas del cateterismo y de las determinaciones por Doppler.

PREMIO CÁPRAS DIMENSIONAL

$$PCP = 37 - (0.39 \times TAMP) \quad (\text{Dabestani}).$$

$$PCP = 45 - (0.50 \times TAMP) \quad (\text{Henry}).$$

$$r^2 = 0.96$$

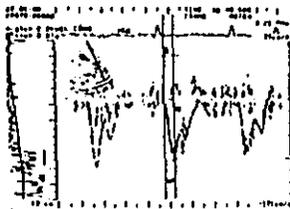


Figura (9). Determinación de la presión capilar pulmonar (PCP) con aplicación de las ecuaciones de regresión de Dabestani y Henry en base a la determinación del tiempo de aceleración máxima del flujo arterial pulmonar.

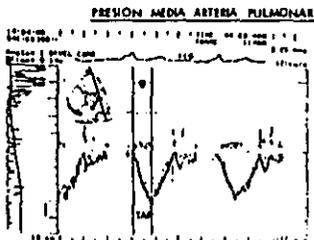
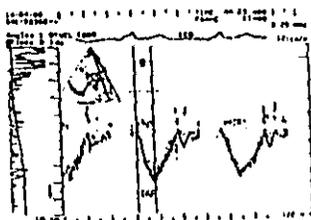


Figura (10). Determinación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) en base al tiempo de aceleración máxima pulmonar (TAMP) elaborada en el laboratorio de Ecocardiografía del INCICH con (r = 0.97).

PRESION MEDIA ARTERIA PULMONAL

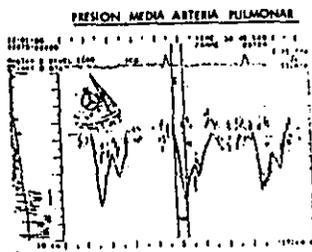


$$PMAP = \frac{(TAMP/PEVD) \cdot 0.48}{0.504}$$

$$r = 0.89$$

Rodrigo F.C., Espinel J.O.
Dirto. Fono-Ecografiya INCICH
(Marzo-88).

Figura (11). Determinación de la presión media de la arteria pulmonar (PMAP) en base al índice TAMP/PEVD, elaborada en el laboratorio de Ecocardiografía del INCICH con ($r = 0.89$).



$$PMAP = \frac{\log(TAMP/PEVD) / 10 - 0.73}{0.003}$$

$r = 0.91$

Redondo F.C., Estival J.G.
 Depto. Fono-Ecografiía INCICH
 (Marzo-88).

Figura (12). Determinación de la presión media de la arteria pulmonar por medio del logro del índice TAMP/PEVD elaborada en el laboratorio de Ecocardiografía del INCICH con $(r = 0.91)$.

(6) y cuya ecuación es:

$$PMAP = \frac{\text{Log (TAMP/PEVD)}^{10} - 0.73}{0.0065}$$

La determinación del gasto pulmonar total por medio del cálculo Doppler mostró excelente correlación con la obtenida por método de Fick por cateterismo ($r=0,989$) gráfica (7). En consideración que $RPT = PMAP/GPT$. El cálculo de la resistencia pulmonar total a partir de estas mediciones del registro Doppler, mostró excelente correlación con el valor obtenido mediante cateterismo ($r=0,996$), gráfica (8).

DISCUSION.

En prosencia de hipertensión arterial pulmonar, el flujo a través de la arteria pulmonar sufre modificaciones, la morfología del histograma cambia observándose mayor rapidez en la aceleración, incisura mesosistólica y desaceleración lenta, el contorno del registro Doppler es similar al del Ecograma modo M de la válvula pulmonar.

Varios investigadores (17,18,10) han señalado que el tiempo de aceleración máxima del flujo pulmonar registrado con técnica Doppler pulsado, tiende a ser menor cuanto mayores son los

niveles de presión arterial pulmonar.

Estas modificaciones de la curva de velocidad del flujo se han considerado consecuencia de la oposición que ejercen las resistencias pulmonares al flujo de expulsión ventricular derecho, ligado al aumento de impedancia vascular pulmonar; por lo tanto precozmente se detiene la fase de aceleración.

En el presente estudio se demuestra que TAMP es inversamente proporcional a la presión media de la arteria pulmonar determinada por cateterismo y que al aplicar la ecuación de regresión propuesta por Kitabatake, la correlación de los valores de la presión media de la arteria pulmonar por Doppler y por cateterismo tiene muy buena correlación, la que demostró ser superior al analizarla a partir de la relación TAMP/PEVD. El agregado de éste último factor al cálculo se debe al planteamiento de probables modificaciones del período de expulsión a consecuencia de la hipertensión arterial pulmonar; sin embargo, el estudio ecocardiográfico modo M (24,25) han demostrado que es fundamentalmente el período pre-expulsivo (PPE), el que se modifica aumentando su duración, independientemente de la etiología de la hipertensión arterial pulmonar, e inclusive de la localización del cortocircuito que influye en forma diferente como lo señalaron Callejas y col. El objetivo fundamental de esta comunicación es divulgar las

formulas de regresión obtenidas en el Instituto Nacional de Cardiología, con las que se obtienen niveles excelentes de correlación con la determinación del laboratorio de hemodinamia.

Igualmente si se parte de la confiabilidad de la Ecocardiografía Doppler para el cálculo del gasto cardíaco (27,29), que en el presente estudio se corroboró con el método de Fick, ($r=0,989$) es posible inferir que conociendo los dos elementos de cálculos de la resistencia pulmonar total (RPT) con un método no invasivo como lo es la técnica Doppler es lícito conocer el valor de resistencia pulmonar total. Conocimiento altamente trascendente en el estudio del paciente hipertenso pulmonar, obteniéndose correlación excelente ($r=0,996$) entre la técnica Doppler no invasiva y el cálculo del laboratorio de hemodinamia.

También es factible obtener el cálculo de las resistencias arteriolas pulmonares con el agregado de la medición de la presión capilar pulmonar Dabestani y col, Henry , así como Pinotti y col, han demostrado el cálculo con Doppler, lo que permite inferir que es factible el cálculo de la resistencia arterial pulmonar por método no invasivo y en este caso por ecocardiografía Doppler pulsado. En esta comunicación no se refiere la correlación RVP por ser pequeño el grupo por determinación por cateterismo de la presión capilar pulmonar

ESTA TESIS DEBE SER DEVOLVIDA
SALIR DE LA BIBLIOTECA

(PCP) enclavada.

CONCLUSIONES.

Las determinaciones del TAMP y del PEVD con la aplicación de las ecuaciones de regresión de la PMAP propuestas en el presente trabajo en la determinación del GPT por Doppler pulsado, muestra excelente correlación con la determinación de las resistencias pulmonares totales calculadas por cateterismo. La determinación de PCP por Doppler pulsado permite la determinación de las resistencias arteriolares pulmonares aunque en el presente trabajo no se pudieron correlacionar con las determinaciones de (RVP) por cateterismo por ser mínimo el número calculado en hemodinamia. Se propone en el presente trabajo la determinación de las resistencias pulmonares totales y resistencias vasculares pulmonares por medio de Ecocardiografía Doppler de onda pulsada con excelente grado de confiabilidad y es ésta la primera comunicación en la literatura mundial en que se presenta un trabajo con determinaciones de resistencias pulmonares en forma cuantitativa.

BIBLIOGRAFIA.

1).- Hirschfeld S, Meyer R, Schwartz DC, Korfhagen J, Kaplan S.: The echocardiographic assessment of pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance. *Circulation* 32: 642-650, 1975.

2).- Riggs T, Hirschfeld S, Borkat G, Knoke J, Liebman J: Assessment of the pulmonary vascular bed by ecocardiographic right ventricular systolic time intervals: *Circulation* 57: 939-947, 1978.

3).- Acquatella H, Schiller N, Sharpe DN, Chatterjee K: Lack of correlation between ecocardiographic pulmonary valve morphology and simultaneous pulmonary arterial pressure. *The American Journal of Cardiology* 43: 946-950, 1979.

4).- Bauman W, Wann LS, Childress R, Weyman A, Feigenbaum H, Dillon J: Mid systolic notching of the pulmonary valve in the absence of pulmonary hypertension. *The American Journal of Cardiology* 43: 1049-1052, 1979.

5).- Abdulla M, Kavouras T, Rivas F, Stefadouras MA: Determination of mean pulmonary capillary pressure by a noninvasive technique. *JAMA* 243: 1539-1542, 1980.

6).- Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A: Non-invasive estimation of pulmonary artery systolic pressure with Doppler ultrasound. Br Heart J 45: 157-165, 1981.

7).- Sandoval J, Loui E, Gaspar J, Seoane M, Casanova JM: Factores pasivos y activos en la génesis de la hipertensión arterial pulmonar de algunas cardiopatías y neumopatías. Arch Inst Cardiol Méx 51:67-74, 1981.

8).- Galeno E, Contreras JM, Inglessis G, Fuenmayor AM: Evaluación ecocardiográfica de la hipertensión arterial pulmonar. Arch Inst Cardiol Méx 50: 695-701, 1980.

9).- Mahan G, Dabestani A, Gardin J, Allfie A, Burn C, Henry W: Estimation of pulmonary artery pressure by pulsed Doppler echocardiography. Circulation 68: Supl III, pág. 367.

10).- Kitabake A, Inoue M, Asao M, Masuyama T, Tanouchi J, Morita T, Mashima M, Uematsu M, Shimazu T, Hori M, Abe H: Non-invasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed technique. Circulation 68: 302-309, 1983.

11.- Kosturakis D, Goldberg J, Allen HD, Loeber C: Doppler echocardiographic prediction of pulmonary arterial hypertension in congenital heart disease. Am J Cardiol 53: 1110-1115, 1984.

12.- Vargas J, Oliveira C, Pinto R, Horwitz S, Allen W, Golberg S, Váldez L, Grenadier E, Sahn D: Aplicaciones clínicas de la ecocardiografía Doppler. Arch Inst Cardiol Méx 53: 351-356, 1983.

13.- Trejo J, Ordoñez A, Eng L, Vargas J: Cuantificación de la hipertensión arterial pulmonar por fono y ecocardiografía Modo M en niños con cardiopatías congénitas. Arch Inst Cardiol Méx 55:109-114, 1985.

14.- Salado M, Casanova R, Romero A: Intervalos sistólicos. Medición mediante ecocardiografía con Doppler pulsado. Ultrasonido 4: 175-179, 1986.

15.- Masayuma T, Kodoma K, Kitabatake A, Sato H, Nanto S, Inoue M: Continuous-wave Doppler echocardiographic detection of pulmonary regurgitation and its application to non-invasive to non-invasive estimation of pulmonary artery pressure: Circulation 74: 484-492, 1986.

16.- Isobe M, Yazaki Y, Takaku F, Koizumi K, Hara K, Tsuneyoshi H, Koiosh M, Yamaguchi T, Machii K: Prediction of pulmonary arterial pressure in adults by pulsed Doppler echocardiography: Am J Cardiol 57: 316-321, 1986.

17.- Henry W: XII Congreso Interamericano de Cardiología Vancouver Canadá, 1985.

18.- Dabestani A, Mahan G, Takenaka K, Johnston WD, Gardin J, Alfie A, Burn C, Henry W: Estimation of pulmonary artery wedge pressure from pulmonary artery Doppler flow recordings: Am J Cardiol 5: 500, 1985.

19.- Hecht SR, Berger M, Berdoff RL, Van Tosh An, Stimola BS: Use of continuouswave Doppler ultrasound to evaluate and manage primary. Pulmonary Hypertension. Chest 90: 5, 1986.

20.- Martins AL, García N, Moreno M, Van Zeller PH: Teoría y cálculos de gradientes y presiones intracardíacas con Doppler cardíaco. Ultrasonidos 4: 149-158, 1986.

21).- Chan LK, Currie P, Seward J, Hagler D, Mair D, Tajik J: Comparison of three Doppler ultrasound methods in the prediction of pulmonary artery pressure. JACC 9: 549-554, 1987.

22).- Yock P, Popp R: Non-invasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. Circulation 70: 657-662, 1984.

23).- Curie P, Seward J, Chan KL, Fyfe D, Hagler D, Mair D, et

al: Continuous wave Doppler determination of right ventricular pressure a simultaneous Doppler - catheterization study of 127 patients. JACC 6: 750-756, 1985.

24).- Calleja R, Esquivel J, Friedland CH, Martínez MA, Garduño Y: Valoración de la hipertensión arterial pulmonar por ecocardiografía modo M: Ultrasonido 3:13-20, 1987.

25).- Askenazi J, Koenigsberg DI, Ribner H, Plucinski D, Silverman I, Lesch M: Prospective study comparing different echochardiographic measurements of pulmonary capillary wedge pressure in patients with organic heart disease other than mitral stenosis. JACC 2: 919-925, 1983.

26).- Darsee JR, Walter PF, Nutter DO: Transcutaneous Doppler method of measuring cardiac output I. Comparison of transcutaneous and juxta-aortic Doppler velocity signals with catheter and cuff electromagnetic flowmeter measurements in closed and open chest dog.

27).- Fisher DC, Sahn DJ, Larson D, Valdez-Cruz LM, Friedman MJ, Goldberg SJ, Allen HD, Horwitz S: The mitral valve orifice method for non-invasive determination of cardiac output by the two dimensional eco/Doppler: validation and initial clinical trials. Am J Cardiol 49: 932, 1982.

28).- Magnin PA, Stewart JA, Myers S, Von Ramm O, Kisslo JA:
Combined Doppler and phased-array echocardiographic estimation of
cardiac output. Circulation 63: 388, 1981.

29).- Goldberg SJ, Sahn DJ, Allen HD, Valdez-Cruz LM, Hoenecke H,
Carnahan Y: Evaluation of pulmonary and systemic blood flow by
two-dimensional Doppler echocardiography using fast Fourier
transform spectral analysis. Am J Cardiol 50: 1394, 1982.