



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO  
HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ**

**Función ventricular derecha asociada a la  
insuficiencia de la válvula pulmonar en  
pacientes con corrección total de Tetralogía de  
Fallot en el Hospital Infantil de México Federico  
Gómez**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN:**

**PEDIATRIA**

**PRESENTA:**

**Dr. Gustavo Adolfo García Soto**

**ASESOR DE TESIS:**

**DR. ALEJANDRO BOLIO CERDAN**



**HOSPITAL INFANTIL *de* MÉXICO  
FEDERICO GÓMEZ**  
Instituto Nacional de Salud

**MÉXICO, D. F**

**Febrero 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

*Por los momentos que no pude ofrecerles a Katy, a mis padres, mis hermanas y a mis sobrinos, les dedico este trabajo que es poco comparado con esos momentos, y también doy gracias a mis maestros y a todos esos niños con los que pude aprender, quienes fueron los maestros más importantes.*

*Gustavo Adolfo García Soto*

## **HOJA DE AUTORIZACION**

---

Dr. Jaime Nieto Zermeño

Director de Enseñanza y Desarrollo Académico

Hospital Infantil de México Federico Gómez

## **DIRECTOR DE TESIS Y ASESOR METODOLOGICO**

---

Dr. Alejandro Bolio Cerdán

Jefe del servicio de Cirugía Cardiovascular

Hospital Infantil de México Federico Gómez

---

Psic. Alejandra Hernández Roque

Departamento de Psicología

Hospital Infantil de México Federico Gómez

## INDICE

<b>I.</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Marco teórico.....</b>	<b>5</b>
<b>III.</b>	<b>Planteamiento del Problema.....</b>	<b>9</b>
<b>IV.</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>10</b>
<b>V.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>11</b>
a)	General	
b)	Particulares	
<b>VI.</b>	<b>Material y Métodos.....</b>	<b>12</b>
<b>VII.</b>	<b>Plan de Análisis Estadístico.....</b>	<b>13</b>
<b>VIII.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>14</b>
<b>IX.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>19</b>
<b>X.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>21</b>
<b>XI.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>22</b>

## I ANTECEDENTES

El reemplazo valvular pulmonar(RVP) se recomienda para reducir la sobrecarga de volumen del ventrículo derecho(VD), y así mejorar el rendimiento del ventrículo derecho y disminuir el riesgo de muerte súbita por arritmias y falla ventricular, pero las indicaciones y el momento óptimo de reemplazo aún no se ha establecido.<sup>1</sup>

La insuficiencia pulmonar da lugar a dilatación del VD que se ha asociado con vulnerabilidad para arritmias; se sabe que los pacientes con corrección total de tetralogía de fallot (TF) e insuficiencia pulmonar están en mayor riesgo de mortalidad a largo plazo. Una solución posible para este problema es el RVP con el objetivo de revertir el proceso de dilatación del VD.<sup>2</sup>

Hay estudios que han mostrado que el RVP para insuficiencia pulmonar mejora la clase funcional y la función del VD.<sup>3</sup>

Determinar el momento adecuado para el RVP en pacientes con insuficiencia pulmonar significativa puede ser difícil. Idealmente, todas las lesiones anatómicas importantes deben ser tratadas tempranamente para evitar el deterioro de la función ventricular derecha y el desarrollo de problemas asociados. Sin embargo, todas las bioprótesis tienen una esperanza de vida limitada, y se quiere evitar el RVP hasta que esté claramente indicado.<sup>3</sup>

La insuficiencia valvular pulmonar crónica es la secuela más frecuente que requiere reoperación en los pacientes con TF. Esta es más comúnmente asociada con una extensa ventriculotomía, infundibulectomía así como parches transanulares generosos en el tracto de salida del VD.<sup>4</sup>

En un estudio retrospectivo por Discigil et al.<sup>3</sup>, 42 pacientes fueron sometidos tardíamente a RVP con una media de 10.8 años después de la reparación total de TF. encontrando una mejora significativa en la clase funcional y función del VD,

así como un control efectivo de las arritmias, y concluyeron que el RVP puede realizarse con baja mortalidad, ya sea con RVP quirúrgico o implante percutáneo de válvula pulmonar y encontraron una mejoría significativa en el volumen diastólico final del VD, volumen sistólico final del VD y volumen de eyección efectivo del VD. También reporta un aumento significativo en el volumen de eyección en cualquiera de los procedimientos.

También Gengsakul et al.<sup>1</sup> realizó un estudio de cohorte para investigar el impacto del RVP en pacientes con TF encontrando que los síntomas y la clase funcional mejoran después de RVP tardío. Reportan una reducción en la regurgitación pulmonar y tricuspídea, así como en el tamaño y función del VD, sin embargo, no encontraron reducción de las arritmias, aunque comentan que no hubo muertes súbitas en la cohorte.

Henkens et al.<sup>5</sup> en su estudio de 27 pacientes adultos demostraron que el RVP resulta en una reducción del volumen sistólico final del VD y mejoría en la fracción de eyección, así como Therrien et al.<sup>6</sup>, Kleinveld et al.<sup>7</sup> y Buechel et al.<sup>8</sup> en sus estudios similares de pacientes pediátricos y adultos.

El RVP aislado continúa siendo un procedimiento de riesgo bajo, con una mortalidad perioperatoria de 1-2% y una supervivencia excelente a 10 años de 86-95% en centros de adultos operados de cardiopatía congénita, aún con la presencia de múltiples reoperaciones.<sup>4</sup>

## II MARCO TEORICO

La Tetralogía de Fallot es considerada una cardiopatía congénita compleja, la cual representa el 10% de todas las cardiopatías congénitas, siendo esta la primera cardiopatía con un tratamiento quirúrgico paliativo en 1944 con la fístula sistémico-pulmonar conocida como Blalock-Taussig, y con una corrección total satisfactoria en 1955, realizada por Lillehei y colaboradores con una circulación extracorpórea temporal.<sup>9</sup>

La reparación incluye el cierre del defecto del septum ventricular, la liberación de la obstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho que involucra la resección de músculos infundibulares, valvotomía pulmonar o valvectomía, y comúnmente el aumento del tracto de salida del VD con la colocación de un parche subvalvular y/o transanular. El resultado a largo plazo de la corrección es excelente con una tasa de supervivencia de 86% a 30 años.<sup>4</sup>

La insuficiencia pulmonar es la principal secuela asociada a una extensa ventriculotomía, infundibulectomía y/o colocación generosa de parches transanulares, siendo éste un factor importante para la disfunción ventricular derecha en un número significativo de paciente con corrección total de TF.<sup>10</sup> El RVP se utiliza cada vez más en estos pacientes para tratar la insuficiencia pulmonar.<sup>2</sup>

La evaluación de la función VD en cardiología pediátrica es muy importante, sin embargo por ecocardiografía es difícil dada la geometría de esta cámara, ya que los equipos de ultrasonido están diseñados para utilizar fórmulas aplicables al ventrículo izquierdo (VI). El VD no tiene eje de simetría como el VI, por lo que los métodos tradicionales para evaluar la función del VI, tales como la fracción de eyección y fracción de acortamiento son de valor limitado para evaluar la función del VD.<sup>10</sup>

Existen nuevos métodos ecocardiográficos, especialmente el Doppler tisular y las medidas de “strain 2D” intentan evaluar la función ventricular derecha.<sup>10</sup> El Strain es una medición del grado de deformación del miocardio. Idealmente, se debería determinar el strain Lagrangiano midiendo el cambio en longitud por unidad inicial de longitud:  $(L-L_0)/L_0$ , donde  $L_0$  es la longitud correspondiente a cero stress y  $L$  es la longitud instantánea. Sin embargo, in vivo,  $L_0$  no se puede medir, así que el strain se mide continuamente comparando la longitud instantánea a la longitud inmediatamente previa a la instantánea. Este es llamado strain Euleriano o strain natural.<sup>11</sup>

La insuficiencia pulmonar después de la reparación de TF es común, especialmente en pacientes que requieren una reconstrucción con parche transanular. Aunque la insuficiencia pulmonar puede ser bien tolerada por muchos años, finalmente resulta en la dilatación progresiva del VD, disfunción y sintomatología, haciendo necesario el RVP.<sup>3</sup>

El grado de insuficiencia pulmonar después de la reparación de TF está determinado por muchos factores anatómicos y hemodinámicos. En pacientes con TF, la válvula pulmonar (PV) es generalmente anormal, a menudo bicúspide, puede ser hipoplásica o ausente (2%).<sup>4</sup>

La insuficiencia pulmonar severa crónica resulta en crecimiento progresivo del VD, disfunción sistólica y diastólica, y regurgitación progresiva de la válvula tricúspide.

Los pacientes pueden estar asintomáticos durante muchos años, pero eventualmente pueden presentar fatiga, disnea, limitación al ejercicio, taquiarritmia auricular o ventricular, y en ocasiones muerte súbita.<sup>4</sup>

La evaluación del tamaño y la función del VD es una parte integral de cualquier estudio ecocardiográfico. La mayoría de las mediciones ecocardiográficas cuantitativas 2-D del tamaño ventricular y el rendimiento se basan en hipótesis de

geometría que no se aplican al VD. El VD tiene una cavidad con una porción de entrada que se extiende hacia el ápex y una porción de salida de forma cónica.

Tiene una pared más delgada con trabeculaciones gruesas que hacen un desafío para la demarcación endocárdica.<sup>4</sup>

La aplicación del análisis del strain se ha aplicado en numerosos estudios experimentales y clínicos para la exploración de la función cardiaca en diversas condiciones. El reflejo ultrasonográfico de los tejidos es el resultado de la interferencia de numerosas ondas reflejadas por el medio no homogéneo. El patrón de interferencia se mantiene relativamente constante para cualquier región pequeña en el miocardio. Este patrón único se llama Speckle, como si de una huella digital se tratara. En la técnica de speckle tracking, a una región definida (Kernel) se le hace un rastreo siguiendo un algoritmo de búsqueda basado en el método de flujo óptico, tratando de reconocer el speckle más parecido de una imagen a otra, siguiendo el desplazamiento de la “huella digital” reconocida.<sup>12</sup>

El strain rate y strain, proporcionan información sobre el movimiento de una región de la pared que es independiente de los supuestos geométricos y no afectados por la inmovilización local / movimiento de traslación del corazón. Usando esta técnica, se ha evaluado a pacientes con reparación quirúrgica de la tetralogía de Fallot de más de un año, y se encontró que tienen un strain rate y strain sistólico reducidos así como un pobre strain rate diastólico temprano, correlacionado con una fracción de eyección del ventrículo derecho disminuida.

Dado el riesgo de la falla ventricular derecha tardía después de la corrección total de la tetralogía de Fallot, en particular en presencia de insuficiencia pulmonar significativa, estas herramientas proporcionan información adicional e importante sobre el estado funcional del ventrículo derecho y el momento y la necesidad de reemplazo de la válvula pulmonar.<sup>13</sup>

Hay varios estudios en los que la duración del QRS en el electrocardiograma de más de 180 ms está asociado con un aumento en el riesgo de arritmias ventriculares, y en los que la insuficiencia pulmonar después de una reparación con parche transanular puede predisponer a arritmias y a un resultado pobre a largo plazo.<sup>14</sup>

Los pacientes con TF tienen frecuentemente bloqueo de rama derecha con QRS prolongado, usualmente atribuido a los efectos de la cirugía. Esta anomalía eléctrica no se ha identificado como el único factor de riesgo para muerte súbita en estos pacientes, pero si es un causante de falla ventricular derecha.<sup>15</sup>

Si se identifica la relación de la función ventricular con la insuficiencia pulmonar y la sintomatología se podrá definir qué pacientes y cuándo requerirán reemplazo de la válvula pulmonar.

### **III PLANTEAMIENTO**

En qué momento el paciente con corrección total de tetralogía de Fallot requerirá reemplazo valvular pulmonar asociado al grado de disfunción ventricular derecha.

#### **IV JUSTIFICACION**

La regurgitación de la válvula pulmonar es el hallazgo patológico más frecuente asociado a la reparación de tetralogía de Fallot, relacionado con la técnica quirúrgica.

La función ventricular derecha y el grado de regurgitación pulmonar se pueden evaluar mediante técnicas modernas de ecocardiograma.

El reemplazo valvular pulmonar en pacientes con falla ventricular derecha por insuficiencia mejora la función ventricular y los síntomas del paciente.

## **V OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la función ventricular derecha en pacientes postoperados de tetralogía de Fallot como predictor de reemplazo valvular pulmonar.

### **Específicos**

Evaluar la función ventricular derecha asociada a insuficiencia pulmonar en el paciente postoperado de tetralogía de Fallot.

Identificar la necesidad de reemplazo valvular pulmonar en pacientes con función ventricular derecha comprometida.

## **VI MATERIAL Y METODOS**

a) Tipo de estudio

Descriptivo, retrospectivo, observacional, transversal.

b) Universo

Pacientes postoperados de corrección total de Tetralogía de Fallot en los últimos 10 años.

c) Tamaño de la muestra

45 pacientes.

### **Criterios de selección:**

a) Criterios de Inclusión:

Postoperado de Tetralogía de Fallot en el Hospital Infantil de México Federico Gómez en los últimos 10 años.

b) Criterios de exclusión:

Defunción sin estudios.

Atresia pulmonar

c) Criterios de eliminación:

Paciente perdido.

Paciente no valorado.

## **VII PLAN ANALISIS ESTADISTICO**

### **Estadística descriptiva:**

- a) Medidas de tendencia central y dispersión:

Rango, media, mediana, moda, desviación estándar, proporciones o porcentajes.

### **Estadística inferencial**

- a) Medidas de correlación.
- b) Se usará el programa SPSS.

## IX RESULTADOS

Durante el periodo comprendido de enero de 2000 a Diciembre de 2009, se reportaron un total de 178 correcciones totales de Tetralogía de Fallot, se revisaron un total de 60 pacientes a los cuales se les realizó ecocardiograma, y se realizó revisión de expedientes de los mismos, encontrándose a sólo 45 pacientes con los datos completos, los cuales fueron incluidos para realizar nuestro estudio estadístico.

Con un total de 45 pacientes, se encontró una distribución por sexo de 26 hombres (57.8%) y 19 mujeres (42.2%), con una media de edad de 9 años +/- 5, con un tiempo transcurrido desde la cirugía de 4 años 4 meses +/- 3 años 5 meses.

Se realizaron las siguientes cirugías: parche transanular en 31 pacientes (68.9%), dilatación con Hegar 11(24.4%), tubo Contegra 2(4.4%), homoinjerto 1(2.2%).

Solo 6 pacientes (13.3%) no tenían insuficiencia pulmonar, insuficiencia leve a moderada 15 (33.3%), moderada a importante 14 (31.1%) y con insuficiencia grave 10 (22.2%).

La medición de “speckle tracking” tuvo una media de -19.78 con desviación estándar de 3.77.

La duración de QRS con una mediana de 120ms con valor mínimo de 60ms y máximo de 200ms.

Valorados clínicamente en la consulta según la sintomatología referida según la New York Heart Association (NYHA), clasificados en clases funcionales de I a IV, se encontraron: 36 pacientes (80%) en clase funcional I, 8 pacientes (17.8%) en clase funcional II, un paciente (2.2%) en clase funcional IV.

Durante el análisis del estudio hubo una defunción en un paciente con falla ventricular derecha con speckle tracking de -9.4 y se realizó un reemplazo valvular pulmonar en un paciente con valor de speckle tracking de -11.

La correlación entre los hallazgos ecocardiográficos, el estado clínico (clase funcional) y el grado de insuficiencia pulmonar, que de acuerdo a la distribución de las variables, el método de correlación más adecuado fue el coeficiente de correlación de Spearman (rho). Tabla 1.

TABLA 1. Correlaciones con coeficiente de relación de Spearman.

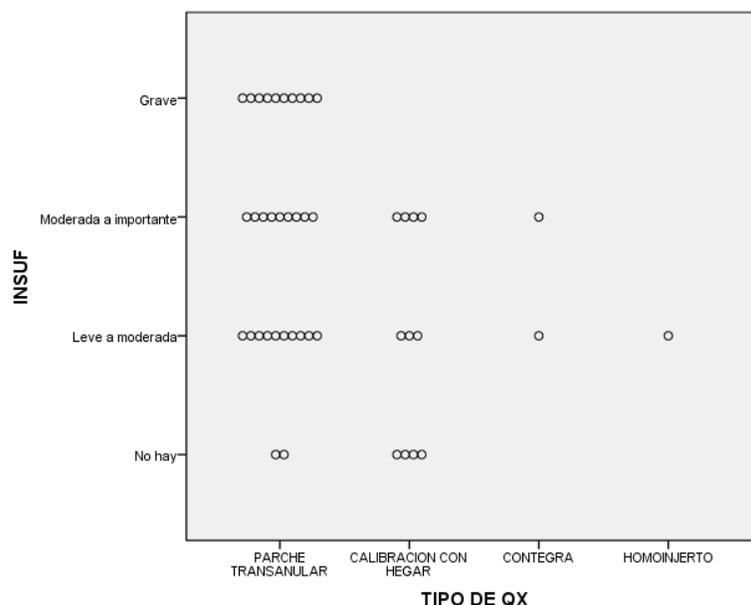
VARIABLES	VARIABLES	rho	Sig	Interpretación
TIPO DE QX	Clase NYHA	.101	.511	No hay asociación
TIPO DE QX	AÑOS DE QX	.051	.740	No hay asociación
QRSduración	<b>Clase NYHA</b>	<b>.307</b>	<b>.040</b>	<b>Existe una asociación con coeficiente de nivel bajo.</b>
QRSduración	AÑOS DE QX	.161	.290	No hay asociación
QRSduración	TIPO DE QX	-.169	.267	No hay asociación
INSUF	Clase NYHA	-.026	.868	No hay asociación
INSUF	AÑOS DE QX	.020	.897	No hay asociación
INSUF	TIPO DE QX	-.355	.017	<b>Existe una asociación inversa con coeficiente de nivel bajo.</b>
INSUF	QRSduración	-.089	.560	No hay asociación
FALLA VENT	<b>Clase NYHA</b>	<b>.334</b>	<b>.025</b>	<b>Existe una asociación con coeficiente de nivel bajo.</b>
FALLA VENT	AÑOS DE QX	.025	.870	No hay asociación
FALLA VENT	TIPO DE QX	.000	.999	No hay asociación
FALLA VENT	QRSduración	.161	.291	No hay asociación
FALLA VENT	INSUF	.033	.829	No hay asociación

Se realizó un análisis de las mediciones ecocardiográficas sobre la función ventricular sistólica, diastólica, así como con el grado de obstrucción del tracto de salida del ventrículo derecho utilizando como referencia la presión de salida del ventrículo derecho, realizando todas estas correlaciones con el grado de la insuficiencia pulmonar.

Al realizar todas estas correlaciones las cuales no son objetivo como tal de nuestra investigación, pero que si forman parte de la valoración ecocardiográfica con el Doppler tisular, se logró observar que estas no tuvieron una asociación, la cual probablemente se presentaría si tuviéramos una muestra de pacientes lo suficientemente importante para tener valores estadísticamente significativos.

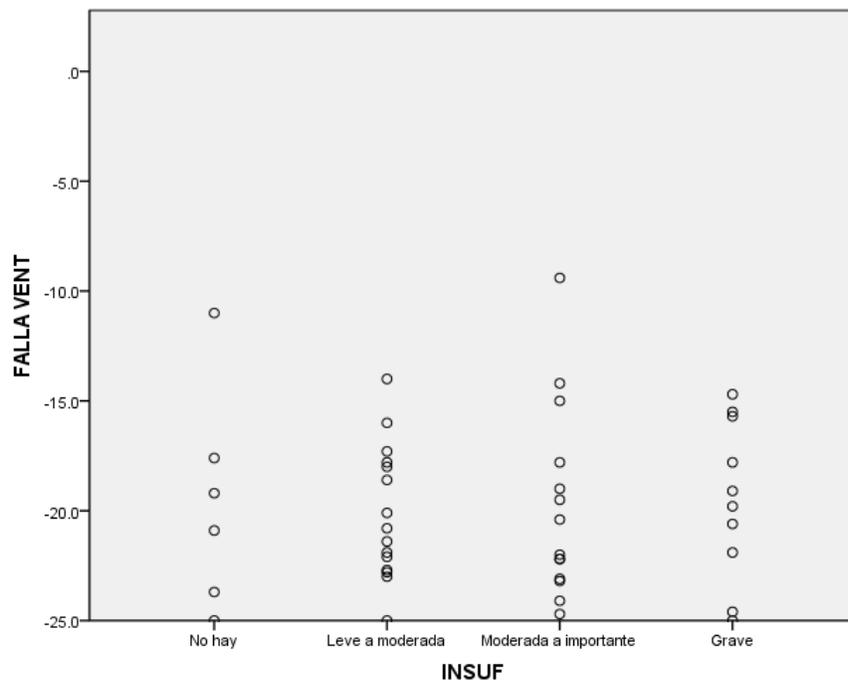
Donde además se puede observar que no hay una asociación entre el tipo de cirugía ni entre el tiempo de realización de la misma con la falla ventricular pero encontramos que en la insuficiencia de la válvula pulmonar asociada al tipo de cirugía, sí hubo una asociación con un coeficiente de nivel bajo respecto al uso de parches transanulares, sin embargo se debe tener una muestra mayor para que la asociación sea más fuerte. (Gráfico 1).

GRAFICO 1. Relación de la insuficiencia pulmonar con el tipo de cirugía.



También se comprueba que no existe asociación entre la insuficiencia y la clase funcional, ni con los años de la cirugía, ni con la duración del QRS; sin encontrar igualmente asociación entre la falla ventricular y el tipo de cirugía, ni con el tiempo de la cirugía, ni con la insuficiencia pulmonar (Gráfico 2), ni la duración del QRS

GRAFICO 2. Relación de la función ventricular y la insuficiencia pulmonar



Existe una asociación directa entre la falla ventricular y la clase de la NYHA pero con un coeficiente de nivel bajo (Gráfico 3), así como relación entre la duración del QRS y la clase de la NYHA, siendo ésta también un coeficiente de nivel bajo (Gráfico 4).

GRAFICO 3. Relación de Función ventricular con la escala funcional de la NYHA

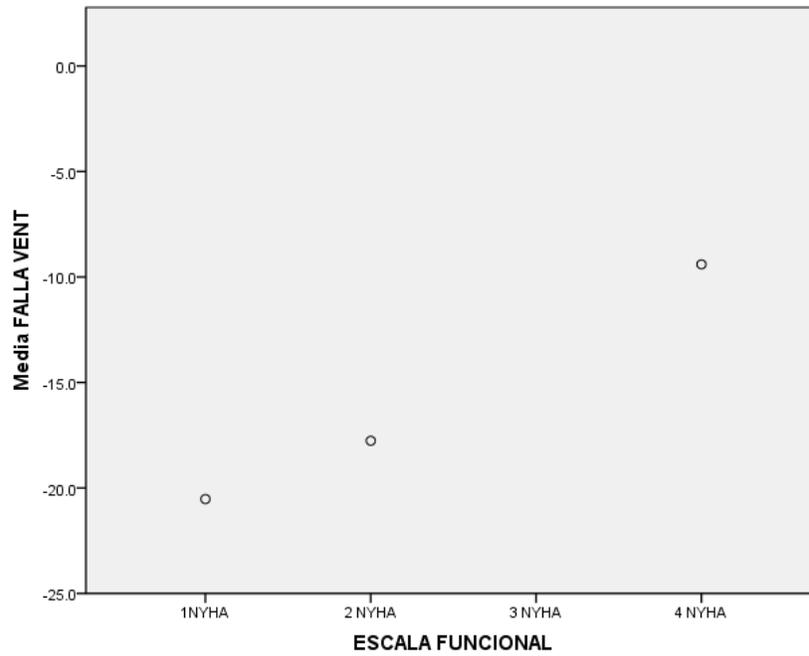
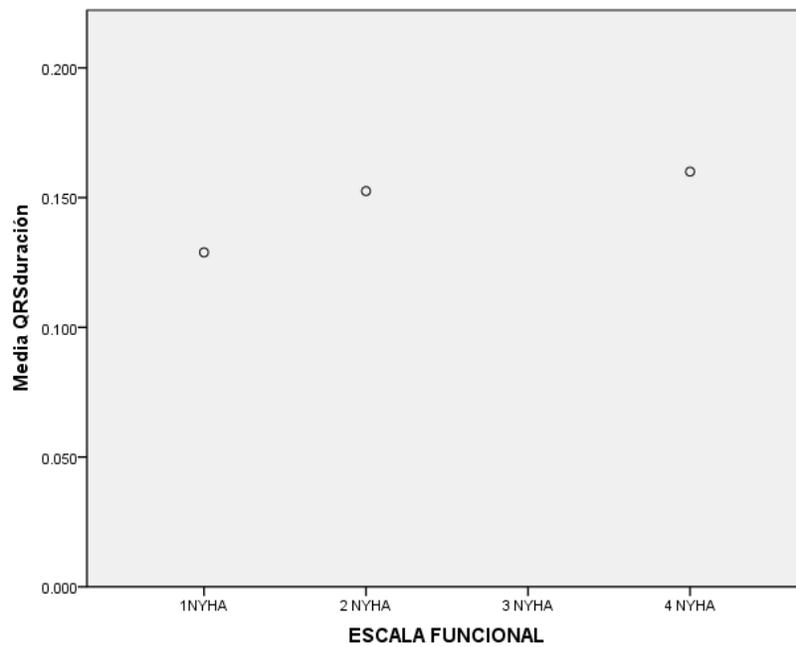


GRAFICO 4. Relación de la duración del QRS con la clase funcional de la NYHA.



## X DISCUSION

Con base en los resultados obtenidos en nuestro estudio podemos analizar que tenemos un alto porcentaje de colocación de parches transanulares, los cuales en otras revisiones se ha visto que son requeridos en los pacientes de menor edad.<sup>5</sup> Al comparar el resto de las técnicas quirúrgicas aplicadas en nuestros pacientes, no tenemos una significancia estadística que nos determine el grado de insuficiencia pulmonar como lo describen en otras revisiones más asociada a extensas ventriculotomias e infundibulectomias.<sup>4</sup> Teniendo como único dato la presencia de insuficiencia pulmonar en todos los grados desde leve a grave con el uso de parches transanulares, por lo que para definir con certeza esta asociación, deberíamos de aumentar el tamaño de muestra y tener un coeficiente de relación fuerte.

En nuestra revisión no hubo correlación entre el tiempo transcurrido desde la cirugía y la aparición de insuficiencia cardiaca o deterioro funcional del VD. Además no se logró obtener una asociación con el grado de insuficiencia pulmonar ya que la muestra fue muy pequeña; esto, aunado a las limitantes de la aplicación de nuevas técnicas ecocardiográficas, como la determinación del strain, speckle tracking, entre otros, en los cuales se necesita una amplia experiencia para dar la adecuada interpretación a los resultados.

Se observa también que la insuficiencia pulmonar no es un factor determinante en la clase funcional, ya que algunos pacientes se encuentran asintomáticos, pero sí existe asociación con la función ventricular, que, considerando los resultados, para determinar con certeza la relación debemos ampliar la muestra, e incluso realizar pruebas de esfuerzo, y así proponer el tiempo adecuado del reemplazo valvular.

Respecto a la asociación de la duración del QRS, encontramos que sí tiene valor para determinar la clase funcional, sin embargo deberíamos de realizar también las asociaciones con el tiempo de la cirugía y la dilatación ventricular, ya que por sí solo no nos proporciona un valor absoluto, como para tomar la decisión del tiempo en el cual se requiere el reemplazo valvular.

Existen actualmente otros métodos para evaluar la función ventricular derecha, como la ecocardiografía tridimensional, que se ha observado tener una mejor correlación con la fracción de eyección que la medida con la resonancia magnética, que por el momento se considera el estándar de oro para valorar la función del ventrículo derecho.<sup>16</sup>

## **XI CONCLUSIONES**

Con base en los estudios realizados previamente podemos concluir que se necesita una muestra lo suficientemente numerosa para obtener relaciones directas estadísticamente significativas.

Asimismo, para tener una asociación de mayor valor entre la falla ventricular que nos lleva a compromiso de la clase funcional y la decisión oportuna del reemplazo ya que con los resultados confirmamos que uno de los factores de reemplazo valvular es la clase funcional, misma que podríamos evaluar más certeramente con la aplicación de pruebas de esfuerzo en nuestros pacientes y así tener valores más objetivos, puesto que el simple interrogatorio nos da únicamente valores subjetivos.

Por otro lado con los demás resultados obtenidos, como la relación de la duración del QRS con la función ventricular y definiendo los cambios dependiendo del tiempo desde la corrección, podemos establecer un tiempo de reemplazo más adecuado.

Ante estos datos esta revisión nos lleva a continuar con el análisis, a incluir mayor número de pacientes ya que en promedio por año se realizan en nuestro hospital 18 +- 2 correcciones totales de Tetralogía de Fallot, y a realizar más pruebas diagnósticas entre las que se encuentran ecocardiograma, pruebas de esfuerzo, electrocardiogramas, y radiografías de tórax. Con esto podremos determinar con mayor certeza el tiempo en el cual es adecuado realizar el reemplazo valvular pulmonar y así mejorar tanto la insuficiencia valvular como la dilatación del ventrículo derecho y su función, para llevar a los pacientes a una mejor clase funcional y ofrecerles una mayor esperanza de vida.

## XII BIBLIOGRAFIA

1. Gengsakul A, Harris L, Bradley TJ, Webb GD, Williams WG, Siu SC, Merchant N, McCrindle BW. The impact of pulmonary valve replacement after tetralogy of Fallot repair: a matched comparison. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007;32:462–468.
2. Harrild D, Berul Ch, Cecchin F, Geva T, Gauvreau K, Pigula F, Walsh E. Pulmonary valve replacement in tetralogy of fallot. Impact on survival and ventricular tachycardia. *Circulation*. 2009;119:445-451.
3. Discigil B, Dearani JA, Puga FJ, Schaff HV, Hagler DJ, Warnes CA, Danielson GK. Late pulmonary valve replacement after repair of tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;121:344–351.
4. Naser M. Ammash, MD, Joseph A. Dearani, MD, et al. Pulmonary Regurgitation after Tetralogy of Fallot Repair: Clinical Features, Sequelae, and Timing of Pulmonary Valve Replacement. *Congenit Heart Dis*. 2007;2:386–403.
5. Henkens IR, van Straten A, Schaliij MJ, Hazekamp MG, de Roos A, van der Wall EE, Vliegen HW. Predicting outcome of pulmonary valve replacement in adult tetralogy of Fallot patients. *Ann Thorac Surg* 2007; 83:907–911.
6. Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, Liu PP, Williams WG, Webb GD. Pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of Fallot: are we operating too late? *J Am Coll Cardiol* 2001;37:2008–2009.
7. Kleinveld G, Joyner RW, Sallee D 3rd, Kanter KR, Parks WJ. Hemodynamic and electrocardiographic effects of early pulmonary valve replacement in pediatric patients after transannular complete repair of tetralogy of Fallot. *Pediatr Cardiol* 2006;27:329–335.

8. Buechel ER, Dave HH, Kellenberger CJ, Dodge-Khatami A, Pretre R, Berger F, Bauersfeld U. Remodelling of the right ventricle after early pulmonary valve replacement in children with repaired tetralogy of Fallot: assessment by cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J* 2005;26:2612–2615.
9. Ikeda M., Hirohata K. Tetralogy of Fallot. Supplement V to *Circulation*, Vols. XXXVII and XXXVIII, July 1968 V21-V34.
10. M.S. Sachdev, A. Bhagyavathy, R. et al. Right Ventricular Diastolic Function After Repair of Tetralogy of Fallot. *Pediatr Cardiol* 27:250–255, 2006.
11. Mark K. Friedberg and David N. Rosenthal. New developments in echocardiographic methods to assess right ventricular function in congenital heart disease. *Current Opinion in Cardiology* 2005, 20:84–88.
12. Pavlopoulos H, Nihoyannopoulos P. Strain and strain rate deformation parameters: from tissue Doppler to 2D speckle tracking. *Int J Cardiovasc Imaging* (2008) 24:479–491.
13. Frommelt P, Echocardiographic measures of diastolic function in pediatric heart disease. *Current Opinion in Cardiology* 2006, 21:194–199.
14. M Y Abd El Rahman, H Abdul-Khaliq, M Vogel, V Alexi-Meskishvili, M Gutberlet, P E Lange. Relation between right ventricular enlargement, QRS duration, and right ventricular function in patients with tetralogy of Fallot and pulmonary regurgitation after surgical repair. *Heart* 2000;84:416–420.
15. Anselm Uebing, MD; Derek G. Gibson, MB, FRCP; Sonya V. Babu-Narayan, BSc, MRCP, et al. Right Ventricular Mechanics and QRS Duration in Patients With Repaired Tetralogy of Fallot Implications of Infundibular Disease. *Circulation*. 2007;116:1532-1539.
16. Grewal J, Majdalany D, Syed I, Pellikka P, Warnes CA. Three-dimensional echocardiographic assessment of right ventricular volume and function in adult patients with congenital heart disease: comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010 Feb;23(2):127-33.