

Simposio Internacional

"Bypass del Ventrículo Derecho"

Ergometría en el *bypass* total versus *bypass* parcial del ventrículo derecho

I. ABELLA*, I. TORRES, A. F. LEVERONI, M. GRIPPO, A. SCHLICHTER, A. H. QUILINDRO, G. O. KREUTZER ^Δ, A. RODRIGUEZ CORONEL ^Δ, E. A. KREUTZER ^Δ

Departamento Cardiovascular Infantil, Unidad Funcional, Hospitales de Niños "Gutiérrez-Elizalde", Buenos Aires

* Para optar a Miembro Titular de la Sociedad Argentina de Cardiología

Trabajo recibido para su publicación: 10/94 Aceptado: 10/94

Dirección para separatas: Departamento Cardiovascular Infantil, Unidad Funcional, Hospitales de Niños "Gutiérrez-Elizalde", Gallo 1330, Buenos Aires, Argentina

^Δ Miembro Titular SAC

La ergometría con saturometría transcutánea es un método excelente para evaluar la capacidad funcional de pacientes con cardiopatías congénitas tratados con *bypass* parcial o total del ventrículo derecho.

Fueron estudiados con este método 46 pacientes (p): 25 con *bypass* total y 21 con *bypass* parcial del ventrículo derecho.

Se obtuvieron los siguientes resultados: a) en el *bypass* total la capacidad funcional se encuentra discretamente disminuida, con leve insaturación y respuesta cronotrópica subnormal. b) En el *bypass* parcial la capacidad funcional y la saturación arterial de oxígeno están muy disminuidas pero se conserva la respuesta cronotrópica. c) Cuatro p recibieron *bypass* biventricular parcial y tuvieron ligera insaturación con el esfuerzo máximo. La respuesta cronotrópica fue la esperada y la capacidad funcional variable. REV ARGENT CARDIOL 64 (5): 517-522.

Palabras clave Ergometría - Cortocircuito parcial del ventrículo derecho - Cortocircuito total del ventrículo derecho - Cardiopatías congénitas

A pesar de ser primitivo en relación con la filogenia y con la función del corazón biventricular normal, el modelo anatómico quirúrgico univentricular del *bypass* total del ventrículo derecho, o Fontan-Kreutzer, (1) les permite a los sobrevivientes una calidad de vida casi normal dado que la mayoría (más del 90%) se encuentra en clase funcional I o II, (2, 3) en el mediano a largo plazo.

La falta de ventrículo venoso en este modelo determina que la principal fuerza motriz del flujo pulmonar sea la elevación de la presión venosa sistémica. (3) Esto le permite mantener un índice cardíaco, una frecuencia cardíaca y una presión arterial dentro de límites normales en reposo y con niveles de ejercicio leve a moderado, (2, 3) aunque la respuesta cardiorrespiratoria habitualmente es subnormal en el esfuerzo máximo o submáximo (2) por la imposibilidad de aumentar la energía cinética (velocidad máxima circulatoria del flujo pulmonar y aórtico) como el corazón biventricular. (1, 3, 4)

En los últimos años, se ha reactivado la cirugía

del *bypass* parcial del ventrículo derecho, (5-8) sea como un paso intermedio del *bypass* total en pacientes con factores de riesgo aumentado, o aun considerándolo como una opción paliativa definitiva. (5-11)

La calidad de vida en la evolución alejada de estos pacientes y especialmente la respuesta al ejercicio en los diferentes tipos de *bypass*, comparándolos entre sí, es el motivo de este trabajo, dada la escasa literatura al respecto.

MATERIAL Y METODO

Pacientes

Fueron estudiados 46 pacientes: 36 con conexión auriculoventricular univentricular y 10 con cardiopatías congénitas complejas con hipoplasia ventricular no pasibles de corrección biventricular. La restricción al flujo pulmonar era secundaria a estenosis o atresia pulmonar en 40 pacientes, a un cerclaje pulmonar en 4 y en 2 pacientes a enfermedad de Ebstein.

Los pacientes fueron clasificados de acuerdo con el tipo de cirugía y con el resultado de la dinámica de los flujos por Eco 2D Doppler. (1)

Bypass total: 25 pacientes. Anastomosis cavopulmonar total en 2 pacientes, operación de Kawashima en 2, anastomosis cavo-atrionpulmonar en 3 y anastomosis atrionpulmonar o Fontan-Kreutzer en 18. De acuerdo con el Eco 2D Doppler el *bypass* era normofuncionante en 24 pacientes y uno presentó anastomosis atrionpulmonar disfuncionante. Edad media: $13,6 \pm 4,6$ años (r: 5-23 años). Tiempo de seguimiento posquirúrgico medio: $6,8 \pm 3,9$ años.

Bypass parcial: 21 pacientes, que fueron a su vez divididos en: a) cavopulmonar, b) biventricular parcial.

a) *Cavopulmonar:* 17 pacientes [cavopulmonar bidireccional 15 casos (hiperpulsátil o pulsátil 12, hipopulsátil o no pulsátil 3 pacientes), Glenn clásico 2]. Edad media: $9,8 \pm 5,7$ años (r: 4-26 años). Tiempo de seguimiento posquirúrgico medio: $2,1 \pm 1,8$ años.

b) *Biventricular parcial* (Glenn bidireccional con conexión no restrictiva entre el ventrículo venoso y la arteria pulmonar): 4 pacientes. Edad media: $19 \pm 10,6$ años (r: 8-30 años). Tiempo de seguimiento posquirúrgico medio: $2,6 \pm 2,9$ años. Fue valorado con Eco 2D Doppler el tamaño del ventrículo derecho de acuerdo con el grado de hipoplasia del anillo tricúspideo (clasificación de Lacks): (12) normal $> 80\%$, ligeramente hipoplásico entre 80 y 66%, moderadamente hipoplásico entre 66 y 33% y severamente hipoplásico $< 33\%$, resultando en 3 pacientes ligeramente hipoplásico y en 1 paciente moderadamente hipoplásico.

De acuerdo con la clasificación de Bull (13) de ventrículo derecho tripartito, los 4 pacientes tenían las tres porciones del ventrículo derecho.

También se dividieron de acuerdo con la velocidad sistólica del flujo en la arteria pulmonar en el Eco 2D Doppler (normal $> 0,8$ m/seg, disminuida de 0,8 a 0,5 m/seg y muy disminuida $< 0,5$ m/seg), resultando normal en tres pacientes y disminuida en uno.

Ergometría: La ergometría fue realizada en "Treadmill", utilizando un protocolo diseñado en nuestro laboratorio [Riopel (14) modificado (15)], que consiste en un período de marcha de 6 minutos a una velocidad de 2,5 mph, con elevaciones de pendiente minuto a minuto de 0, 4, 8, 12, 16 y 20% y luego un período de carrera de 1 minuto y medio con pendiente 20% y velocidad 4 mph. El costo energético equivalente, de cumplir con la totalidad del protocolo, es estimado en 15 mets.

Durante la prueba se realizó monitoreo continuo del electrocardiograma, registro electrocardiográfico de reposo, minuto a minuto durante el esfuerzo y en el posesfuerzo, a los 30 segundos y a 1 y 3 minutos.

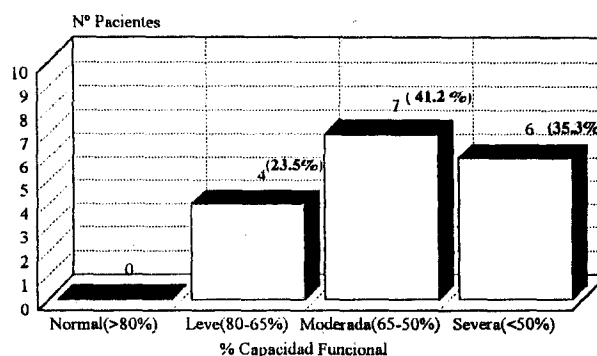
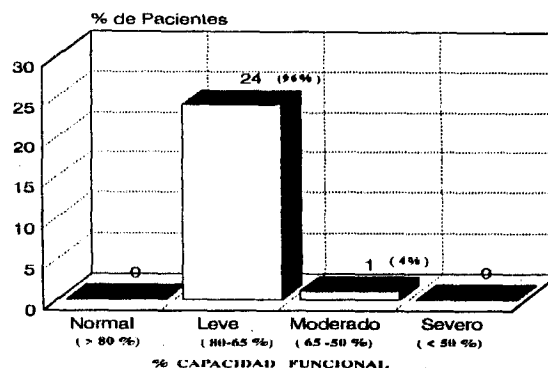


Fig. 1. Capacidad funcional en el *bypass* total y parcial del ventrículo derecho. A) *Bypass* total: se observó una leve disminución de la CF en el 96% de los pacientes. B) *Bypass* parcial: la incapacidad funcional fue moderada-severa en el 76,5% de los pacientes.

Se registró la presión arterial en reposo, a los 3 minutos y en el máximo esfuerzo, y luego en los minutos 1 y 3 de la recuperación.

Además se realizó saturometría transcutánea (tc) de $O_2\%$ en el reposo y minuto a minuto durante el esfuerzo y la recuperación.

Se evaluó la capacidad funcional (CF) en mets y en porcentaje de disminución de la misma de acuerdo con el siguiente criterio: $> 80\%$ CF normal, entre 80 y 65% disminución leve de la CF, entre 65 y 50% CF moderadamente disminuida y $< 50\%$ CF severamente disminuida. Se registró y evaluó la saturación de $O_2\%$ en reposo y en el máximo esfuerzo y la frecuencia cardíaca en el máximo esfuerzo, comparando los resultados de ambos grupos (*bypass* total y *bypass* parcial) entre sí y con los valores normales de nuestro laboratorio mediante la prueba de Student.

RESULTADOS

Capacidad funcional: En el *bypass* total el promedio fue de $13,5 \pm 2,2$ mets (media: 79% de la CF estimada), mayor que en el *bypass* parcial promedio: $8,26 \pm 3,1$ mets (media: 48% de la CF estimada) ($p < 0,001$) (Figura 1), siendo en el biventricular el

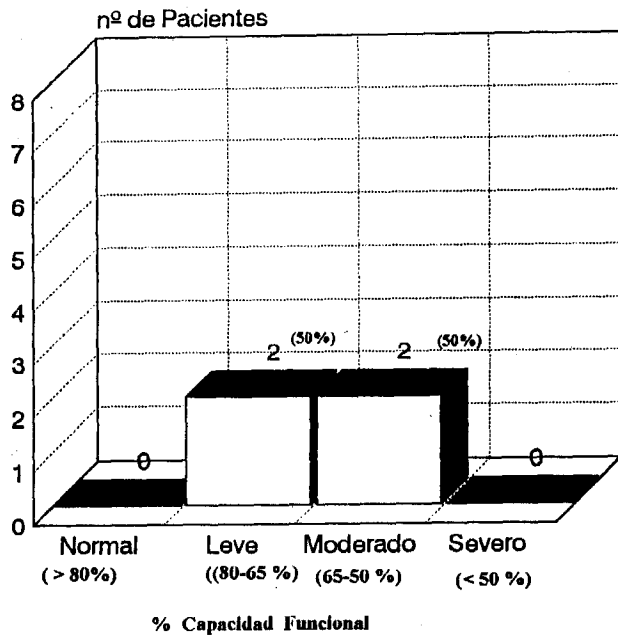


Fig. 2. Bypass parcial biventricular. La capacidad funcional estaba leve o moderadamente disminuida en todos los pacientes.

promedio: $9,85 \pm 2,9$ mets (57,9% de la CF estimada), también menor que en el *bypass* parcial ($p < 0,001$) (Figura 2).

Saturometría: En el *bypass* total fue registrada en 23 de los 25 pacientes: en reposo el promedio fue $93,3 \pm 4,1\%$, y en el máximo esfuerzo, $85,17 \pm 6,07\%$, mayores que en el *bypass* parcial, en que fue registrada en 15 de los 17 pacientes: en reposo el promedio fue $86,2 \pm 5,03\%$, en el máximo esfuerzo, $69,33 \pm 8,87\%$, siendo esta diferencia significativa ($p < 0,001$) (Figura 3).

En el biventricular parcial se registró en 3 de los 4 pacientes: en reposo el promedio fue $97,33 \pm 1,52\%$, y en el máximo esfuerzo, $87,33 \pm 7,02\%$.

Frecuencia cardíaca en el máximo esfuerzo: Fue similar en el *bypass* total (promedio: $166,45 \pm 20,6$ latidos por minuto [lpm]), con respecto al *bypass* parcial (promedio: $163,58 \pm 20,92$ lpm) (p : NS), pero en relación con el trabajo realizado por cada grupo la respuesta cronotrópica fue menor en el *bypass* total que en el *bypass* parcial (Figuras 4 y 5).

La respuesta de la prueba de esfuerzo fue correlacionada con la dinámica de los flujos evaluada con Eco 2D Doppler, observándose en el *bypass* total una capacidad funcional ligeramente disminuida en el 96% de los pacientes y moderadamente disminuida en el 4%, que corresponde a un paciente que era el único que presentaba una anastomosis atriopulmonar disfuncionante en el Eco 2D Doppler.

DISCUSION

Existe abundante bibliografía en cuanto a la eva-

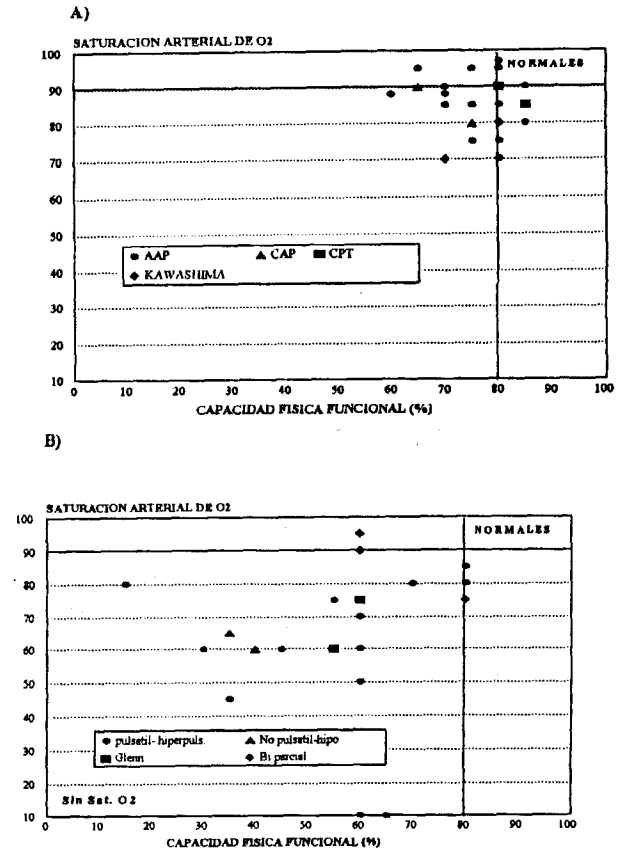


Fig. 3. Saturación arterial y capacidad funcional en el *bypass* total y parcial del ventrículo derecho. A) *Bypass* total del ventrículo derecho: con saturación de oxígeno (tc) en máximo esfuerzo. X: 85,14 % incapacidad funcional leve (X: 79%). B) *Bypass* parcial: saturación de oxígeno (tc) en máximo esfuerzo. X: 69,33% con incapacidad funcional moderada-severa. X: 48%. AAP: anastomosis atriopulmonar. CAP: anastomosis cavo-atriopulmonar. CPT: anastomosis cavopulmonar total.

luación de la capacidad cardiorrespiratoria al esfuerzo en el *bypass* total del ventrículo derecho, específicamente en pacientes operados con anastomosis atriopulmonar o Fontan-Kreutzer, en lo que se refiere a la dificultad de estos pacientes para incrementar el volumen minuto con el ejercicio máximo, (16, 17) que provoca una capacidad funcional subnormal. (2, 4, 18-20) También se relata una ligera insaturación de $O_2\%$ en reposo que se incrementa con el esfuerzo. (2, 10, 16-19) Las hipótesis sobre la causa de la ligera cianosis son variadas: 1) comunicaciones intracardíacas persistentes; 2) relación ventilación/perfusión anormal; 3) desviación de la sangre del seno coronario hacia la aurícula izquierda. (18) En la operación de Kawashima la ligera insaturación de O_2 se debe a que el flujo de las venas suprahepáticas, drenando en la aurícula, determina un cortocircuito de derecha a izquierda.

En cuanto a la frecuencia cardíaca, se observa que estos pacientes no alcanzan la frecuencia cardíaca

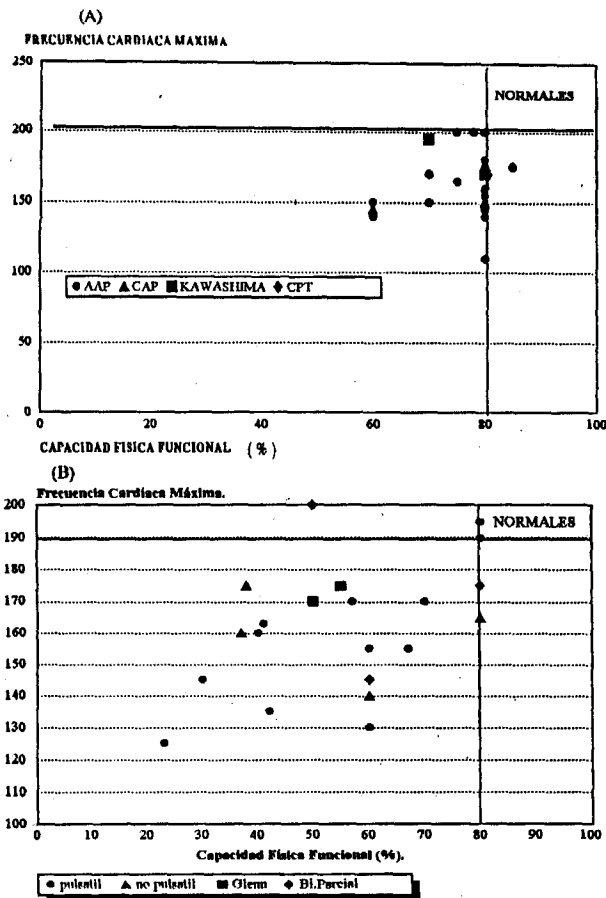


Fig. 4. Respuesta cronotrópica y capacidad funcional en el *bypass* total y parcial del ventrículo derecho. Fue similar en el *bypass* total (A) (X: 166,45) y en el *bypass* parcial (B) (X: 163, 58) (p : NS). Pero en relación con la mayor capacidad funcional del BPT, la respuesta cronotrópica fue subnormal y de acuerdo a la menor capacidad funcional de los *bypass* parcial la respuesta cronotrópica estaba conservada. BI. Parcial: biventricular parcial.

esperada en el máximo esfuerzo (ligera insuficiencia cronotrópica); su causa no está muy clara, considerándosela tal vez multifactorial, observándose también en otras cardiopatías congénitas cianóticas (2, 17-19) puede existir un control anormal del sistema vegetativo o a una injuria o disfunción del nódulo sinusal.

Con respecto a los pacientes con *bypass* parcial, este tipo de cirugía ha sido utilizado como un paso intermedio antes de un *bypass* total o como una cirugía paliativa definitiva en pacientes que no reúnen las condiciones para la realización de un *bypass* total. Recientemente se ha descrito, luego del *bypass* parcial, una mala tolerancia al ejercicio con una baja capacidad funcional, con ligera insaturación de O₂ en reposo que se incrementa marcadamente con el esfuerzo. (10, 11, 21)

Nuestros hallazgos coinciden con los de los diversos autores: la capacidad funcional es subnormal

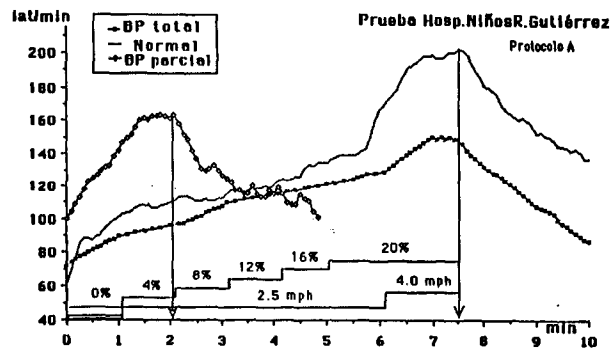


Fig. 5. Evolución de la frecuencia cardíaca durante la ergometría en un niño normal, en un *bypass* parcial, con disminución severa de la capacidad funcional con rápido aumento de la frecuencia cardíaca (FC máximo esfuerzo 200/lpm) y en un paciente con *bypass* total y capacidad funcional subnormal, con aumento lento y limitado de la frecuencia cardíaca (insuficiencia cronotrópica). BP: *bypass* del ventrículo derecho.

en el grupo de pacientes con *bypass* total, no hallándose diferencia entre los distintos tipos de *bypass* entre sí, aunque nuestro número de pacientes para los otros tipos de *bypass* total (cavopulmonar total, cavo-atriopulmonar y Kawashima) es escaso. Se encontró correlación entre Eco 2D Doppler y ergometría, ya que la única paciente que presentó una disminución moderada de la capacidad funcional tenía en el Eco 2D Doppler un patrón de disfunción de la anastomosis atriopulmonar.

Comparado con el *bypass* total, la capacidad funcional en el *bypass* parcial es significativamente menor, contribuyendo a ello la baja saturación de O₂, que se incrementa con el esfuerzo, como ocurre característicamente en las cardiopatías congénitas cianóticas. (22)

La frecuencia cardíaca en el *bypass* total, comparado con el *bypass* parcial, tomando la media del máximo esfuerzo, no presenta una diferencia significativa; pero la elevación de la frecuencia cardíaca en los *bypass* totales es muy lenta, con un nivel de esfuerzo significativamente mayor, mientras que en el *bypass* parcial la elevación de la frecuencia cardíaca mucho más rápida (como en otras cardiopatías cianóticas), con una capacidad funcional muy baja.

El grupo de pacientes con biventricular parcial es pequeño (4 individuos) y su capacidad funcional disímil, aunque la media sea significativamente menor en comparación con los *bypass* totales; estas diferencias son causadas por las diversas situaciones anatomofuncionales del ventrículo venoso que se presentan en estos pacientes. En cuanto a la saturación de O₂, existe una leve insaturación en reposo y en el máximo esfuerzo, observándose una evolución anormal de la frecuencia cardíaca de acuerdo con la capacidad funcional alcanzada.

CONCLUSIONES

1) La capacidad funcional en el *bypass* total fue subnormal en promedio (79% de la CF estimada), con leve insaturación sistémica (tc) promedio (85,1%) y respuesta cronotrópica subnormal en el máximo esfuerzo promedio: 166,4 lpm para una carga promedio de 13,5 mets.

2) La capacidad funcional en el *bypass* parcial pulsátil y no pulsátil se encuentra severamente disminuida en promedio (48% de la CF estimada) y en relación con una marcada insaturación sistémica (tc) promedio (69,3%), con respuesta cronotrópica conservada en el máximo esfuerzo (promedio: 163,5 lpm para una carga promedio de 8,26 mets).

3) En el biventricular parcial se observó una capacidad funcional disímil, dependiendo de las diversas situaciones anatomofuncionales de estos pacientes (promedio 9,85 mets), con ligera insaturación en el máximo esfuerzo (promedio 87,3%) y respuesta cronotrópica conservada.

SUMMARY

ERGOMETRIC TEST IN TOTAL VS PARTIAL RIGHT VENTRICLE BY-PASS

Using the modified Riopel protocol of exercise testing and pulse O₂ satometry in patients with partial and total by-pass of the right ventricle, forty six patients were evaluated to determine their response to exercise.

Material and method

Thirty six patients had univentricular auriculoventricular connection, while 10 patients had complex congenital heart malformations in whom biventricular correction was not considered possible. Forty patients had pulmonary stenosis, while 4 patients had a previous pulmonary artery banding, and 2 patients had Ebstein disease.

Techniques

Total by-pass : 25 patients, 18 of these had atriopulmonary anastomosis, 2 total cavopulmonary connections, 2 Kawashima's technique, and 3 cavo-atriopulmonary connection. Middle age in total by-pass was 13.6 ± 4.6 years and a middle follow-up time, 6.8 ± 3.9 years.

Partial by-pass: 21 patients. a) Cavopulmonary connections in 17; bidirectional cavopulmonary connections in 15 (pulsatil in 12 and 3 non pulsatil), and 2 patients had a classic Glenn shunt. Middle age was 9.8 ± 5.7 years and postoperative follow-up time: 2.1 ± 1.8 years. b) Biventricular partial: 4 patients. Middle age was 2.6 ± 2.9 years and postoperative follow-up: 2.6 ± 2.9 years. Results of both groups were compared one with the other, and with

the normal values of our laboratory, using the "t" Student test.

Results

Middle functional capacity in total by-pass patients was 13.5 ± 2.2 mets (79% estimated functional capacity), higher than in partial by-pass, (8.26 ± 3.1 mets, 48% estimated functional capacity) ($p > 0.001$). In biventricular partial patients, middle functional capacity was 9.8 ± 2.9 mets (57.9% estimate functional capacity). Oxygen saturation percent in total by-pass patients at rest (middle $93.3 \pm 4.1\%$) and at maximal effort (middle $85.17 \pm 6.07\%$) was higher than in partial by-pass patients at rest (middle $86.2 \pm 5.0\%$) and at maximal effort (middle: $69.33 \pm 8.87\%$) ($p > 0.001$). In biventricular partial bypass, middle saturation at rest was $97.3 \pm 1.5\%$ and at maximal effort, $87.3 \pm 7.0\%$. Heart rate and maximal effort were similar in the total by-pass (middle $166.4 \pm 20.6/\text{min}$) and in the partial by-pass patients (middle $163.5 \pm 20.9/\text{min}$) (p : NS). Relating exercise done by both groups with the chronotropic response, it was less intense in the total by-pass patients than in the partial by-pass patients.

Conclusions

1) Functional capacity in the total by-pass group was subnormal (middle 79% of the estimated functional capacity), with slight systemic insaturation (middle 85.1%), and subnormal chronotropic response to maximal effort (middle 166.4/min for a middle 13.5 mets load). 2) Functional capacity in the pulsatile and non pulsatile partial by-pass was severely diminished (middle 48% of estimated), and related to an intense systemic insaturation at maximal effort (middle 69.3%), with a conserved heart rate chronotropic response (middle 163.5/min for a load of middle 8.26 mets). 3) Functional capacity in by-pass group was non homogeneous, depending upon the different anatomic functional situation of these patients (middle 57.9% of estimated), with slight systemic insaturation (middle 87.3%) and conserved chronotropic response heart rate.

Key words Ergometric test - Partial by-pass of the right ventricle - Total by-pass of the right ventricle - Congenital heart disease

BIBLIOGRAFIA

1. Kreutzer EA, Quilindro AH, Román MI, Vázquez H, Sicurello ML, Niremburg A y col. Distribución y dinámica del flujo pulmonar en los diferentes by-pass del ventrículo derecho. *Rev Argent Cardiol* 1995; 63: 565-581.
2. Cumming G. Maximal exercise hemodynamics after the Fontan procedure. *En: Doyle EF, Engle MD, Gersony W y col (eds). Pediatric Cardiology*. New York (NY), Springer Verlag, 1986; 257-266.
3. Gewillig M. The Fontan circulation. Late functional results.

- Thorac Cardiovasc Surg 1994; 6: 56-63.
4. Cortés RGS, Satomi G, Yoshigi M, Momma K. Maximal hemodynamic response after the Fontan procedure: Doppler evaluation during the treadmill test. *Pediatr Cardiol* 1994; 15: 170-177.
 5. Giannico S, Iorio A, Cariotti A, Marcelletti C. Starting toward the Fontan operation. *Seminars in Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 6: 13-16.
 6. Hopkins RA, Armstrong BE, Serwer GA, Peterson RJ, Oldham HN. Physiological rationale for a bidirectional cavopulmonary shunt. A versatile complement of the Fontan principle. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1985; 90: 391-398.
 7. Castañeda A. From Glenn to Fontan. A continuing evolution. *Circulation* 1992; 86 (5) (Suppl II): 80-84.
 8. Norwood W. Hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surgery* 1991; 52: 688-695.
 9. Kobayashi J, Natsuda H, Nakano S, Shimasaki Y, Ikawa S, Nitsuno M y col. Hemodynamic effects of bidirectional cavopulmonary shunt with pulsatile pulmonary flow. *Circulation* 1991; 84 (Suppl III): III-219-III-225.
 10. Jonas RA. Indications and timing for the bidirectional Glenn shunt versus the fenestrated Fontan circulation. *J Thorac Surg* 1994; 108: 522-524.
 11. Santoro G, Marino B, Giannico S, Cicini MP, Formigari R, De Zorzi A y col. Anastomosi cavo-polmonare bidirezionale: valutazione clinico-funzionale in un follow-up a medio termine. *G Ital Cardiol (Italy)* 1993; 23: 459-465.
 12. Billingsley AM, Lacks II, Boyce SW y col. Definitive repair in patients with pulmonary atresia and intact ventricular septum. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1989; 97: 746.
 13. Bull C, de Leval ML, Mercanti C y col. Pulmonary atresia and intact ventricular septum: A revised classification. *Circulation* 1982; 66: 266.
 14. Riopel DA, Taylor AB, Hohn AR. Blood pressure, heart rate, pressure rate product and electrocardiographic changes in healthy children during treadmill exercise. *Am J Cardiol* 1979; 44: 697-704.
 15. Leveroni AF, Abella I, Saavedra C, Rodríguez Coronel A. Nueva prueba cardiovascular de aptitud física infantil. XX Congreso Argentino de Cardiología, agosto 1993.
 16. Zellers TM, Driscoll DJ, Mottram CD, Puga F, Schaff HV, Danielson GK. Exercise tolerance and cardiorespiratory response to exercise before and after the Fontan operation. *Mayo Clin Proc* 1989; 64: 1489-1497.
 17. Gewillig MH, Lundstrom UR, Bull C, Wyse RKH, Deanfield JE. Exercise responses in patients with congenital heart disease after Fontan repair: Patterns and determinants of performance. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 1424-1432.
 18. Mir A, Driscoll D, Mottram CD, Offord KP, Puga FJ, Scaff HV y col. Cardiorespiratory response to exercise after the Fontan operation: A serial study. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 216-220.
 19. Rhodes J, Garofano RP, Bowman FO, Grant GP, Bierman FZ, Gersony WM. Effect of right ventricular anatomy on the cardiopulmonary response to exercise. *Circulation* 1990; 81: 1811-1817.
 20. Ben Sachar G, Fuhryman BP, Wang Y, Lucas RV, Lock JE. Rest and exercise hemodynamics after the Fontan procedure. *Circulation* 1982; 65: 1043-1048.
 21. Giannico S, Santoro G, Marino B, Cicini MP, Marcelletti C. Bidirectional cavopulmonary anastomosis in congenital heart disease. *Herz* 1992; 17: 234-241.
 22. Sietsema KE, Cooper DM, Perloff JK, Rosove MH, Child JS, Canobbio MM y col. Dynamics of oxygen uptake during exercise in adults with cyanotic congenital heart disease. *Circulation* 1986; 73: 1137-1144.