

# Artículos originales

## Cambios del complejo electrocardiográfico QRS-T inducidos por el ejercicio físico en niños normales

ANA M. SCHROH  
CELIA O. CONA  
YOLANDA FRASCA  
CARLOS E. FARINELLI  
Servicio de Cardiología Infantil,  
Hospital Emilio Civit,  
Mendoza

*Se realizaron ergometrías con Treadmill a 98 niños sanos en edad escolar. Fueron divididos en tres grupos de acuerdo con la superficie corporal y subdivididos según el sexo. Se utilizó el protocolo de Bruce y se registraron derivaciones ortogonales del cubo X, Y, Z y derivación EV<sub>5</sub>. Fueron estudiados, por separado, los cambios ocurridos en las ondas Q, R, S y en especial en la onda T, en cada derivación y en todos los grupos y subgrupos. Los cambios estadísticamente más significativos se observaron en derivación EV<sub>5</sub> para el complejo QRS ( $p < 0,05$ ) y en Z para la onda T ( $p < 0,0005$ ). Se comprobó incremento de las ondas Q y S, y disminución de la amplitud de la onda R. La onda T muestra un progresivo cambio de polaridad (de negativa a positiva), inducido por el esfuerzo, en derivación Z. Se postula que este cambio es debido a variaciones en el vector de despolarización y de repolarización ventricular. Ello hace sospechar un incremento fisiológico de la presión de fin de diástole del ventrículo derecho durante el ejercicio físico, el que contribuiría también a explicar los cambios en el QRS en niños normales.*

El gran desarrollo que ha adquirido en los últimos años la cardiología pediátrica como disciplina que nació de dos grandes especialidades, la cardiología y la pediatría, ha llevado a la incorporación de nuevas técnicas invasivas y no invasivas para el estudio de niños con cardiopatías congénitas y/o adquiridas. El test ergométrico, vastamente utilizado por cardiólogos de adultos, está siendo actualmente utilizado por los cardiólogos pediatras. En el presente trabajo se estudiaron los cambios electrocardiográficos inducidos por el ejercicio en una población infantil sana, integrada por niños de ambos sexos de 5 a 14 años de edad.

### MATERIAL Y METODOS

Fueron estudiados con test ergométrico 98 niños sanos con edades comprendidas entre 5 y 14 años. Los criterios utilizados para incluir a los niños en el presente estudio fueron:

- a) Examen físico normal, con tensión arterial de reposo inferior a 140/90 mm de Hg.
- b) Ausencia de medicación en el momento del estudio.
- c) Electrocardiograma de reposo normal.
- d) Exámenes complementarios normales (radiografía de tórax; laboratorio: hemograma, eritrosedimentación, glucemia, uremia y orina completa).

*Dirección postal:*  
Servicio de Cardiología Infantil  
Hospital Emilio Civit  
Parque General San Martín  
(5500) Mendoza  
Argentina

Los niños fueron seleccionados entre el grupo de pacientes que concurrió al Servicio de Cardiología Infantil entre setiembre de 1980 y marzo de 1981, por diversos motivos (soplos inorgánicos, disnea de esfuerzo, dolores torácicos inespecíficos, valoración del riesgo quirúrgico, etc.).

La población estudiada fue dividida en tres grupos de acuerdo con la superficie corporal:

- a) Grupo I: niños con superficie corporal inferior a 1 m<sup>2</sup>.
- b) Grupo II: niños con superficie corporal comprendida entre 1-1,30 m<sup>2</sup>.
- c) Grupo III: niños con superficie corporal mayor de 1,30 m<sup>2</sup>.

La superficie corporal fue calculada utilizando peso y talla según el método de Du Bois y Du Bois.<sup>1</sup>

El grupo I estuvo integrado por 43 niños (26 varones y 17 niñas); el grupo II por 29 niños (18 varones y 11 mujeres) y el grupo III por 26 niños (16 varones y 10 mujeres).

El test ergométrico fue realizado sobre una cinta sinfín o treadmill, en horas de la mañana, con un ayuno de dos horas y con la sola presencia del médico y una auxiliar en el gabinete de ergometrías.

Fueron excluidos del estudio todos aquellos niños que por motivos de índole emotiva no pudieron adaptarse al ergómetro.

Antes de comenzar el ejercicio se procedió a tomar la tensión arterial en brazo derecho, utilizando manguitos pediátricos de tamaño adecuado al brazo del paciente, con micrófono incorporado.

Se realizó el registro electrocardiográfico basal en posición erecta, utilizando las derivaciones ortogonales X, Y, Z del sistema del cubo y derivación transtorácica bipolar EV<sub>5</sub>.<sup>2</sup> Se realizó el test ergométrico utilizando el protocolo de Bruce.<sup>3,4</sup>

Se controló la tensión arterial en cada etapa, realizando en forma simultánea el registro electrocardiográfico. El mismo procedimiento fue empleado durante el período de recuperación. Las etapas fueron de tres minutos de duración y el ejercicio continuó hasta el nivel en el cual el paciente se encontraba exhausto, donde se

identificó el pico máximo de trabajo voluntario. El paciente fue monitorizado en forma permanente.

La frecuencia cardíaca fue determinada promediando el intervalo RR de cinco ciclos cardíacos, en el electrocardiograma obtenido a una velocidad de 25 mm/seg. Posteriormente se procedió al análisis de los registros electrocardiográficos, centrando la atención en la amplitud de las ondas Q, R, S y T, promediando los valores obtenidos en cinco ciclos cardíacos por derivación estudiada y en cada etapa.

Para los cálculos estadísticos se utilizó el método de t de Student, y  $p \leq 0,05$  fue considerada como significativa.

## RESULTADOS

**Onda Q.** En los varones del grupo I, la amplitud promedio de la onda Q se incrementó en forma significativa durante el esfuerzo máximo respecto del valor de reposo en derivación EV<sub>5</sub> ( $0,35 \pm 0,11$  mm;  $p < 0,002$ ) y en derivación Y ( $0,26 \pm 0,09$  mm;  $p < 0,005$ ) pero no fue así en derivación X ( $0,08 \pm 0,04$  mm;  $p > 0,05$ ). En las niñas el incremento fue significativo en derivaciones EV<sub>5</sub> ( $0,69 \pm 0,18$  mm;  $p < 0,002$ ) y en derivación Y ( $0,39 \pm 0,11$  mm;  $p < 0,002$ ), no así en derivación X ( $0,10 \pm 0,06$  mm;  $p > 0,05$ ). Comparando ambos sexos, no hubo diferencias significativas en el comportamiento de la onda Q en derivaciones EV<sub>5</sub>, X, Y con una confianza del 95%.

En los varones del grupo II hubo un incremento significativo de la amplitud de la onda Q durante el esfuerzo máximo respecto del valor de reposo en derivaciones EV<sub>5</sub> ( $0,94 \pm 0,30$  mm;  $p < 0,005$ ) y en Y ( $0,65 \pm 0,12$  mm;  $p < 0,0005$ ), no así en derivación X, donde no hubo modificaciones. En las niñas de este grupo se encontró un comportamiento similar de la onda Q respecto de los varones. En derivación EV<sub>5</sub>, el incremento fue de  $0,42 \pm 0,22$  mm ( $p < 0,05$ ); en derivación Y:  $0,20 \pm 0,10$  mm ( $p < 0,05$ ) y en derivación X no se observaron cambios. Comparando ambos sexos de este grupo, no existieron diferencias significativas en el comportamiento de la onda Q en derivaciones EV<sub>5</sub> y



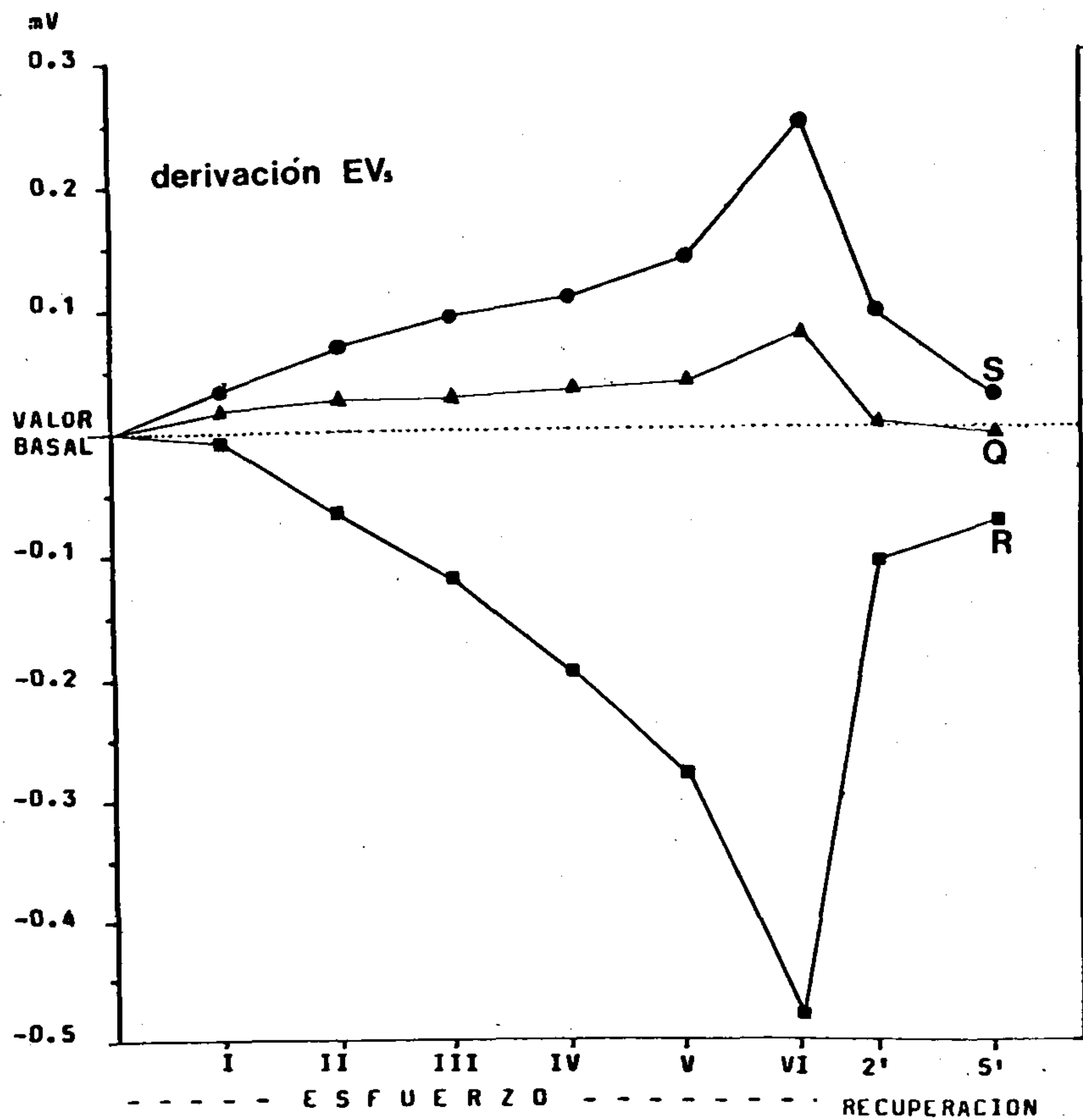


Fig. 1. Media aritmética de los cambios ocurridos con el esfuerzo, en todos los grupos y en ambos sexos en derivación  $EV_5$ . Obsérvense las variaciones de amplitud de las ondas Q, R y S, con el ejercicio y la recuperación, respecto del valor basal de reposo (para la onda Q:  $p < 0,05$ ; para R:  $p < 0,0005$ ; para S:  $p < 0,005$ ).

X, pero sí hubo diferencias en derivación Y (para una confianza del 95%).

En los varones del grupo III se observó un incremento significativo de la amplitud de la onda Q en todas las derivaciones con el esfuerzo máximo, a saber: en  $EV_5$ :  $1,12 \pm 0,28$  mm ( $p < 0,002$ ); en X:  $0,27 \pm 0,09$  mm ( $p < 0,005$ ); en Y:  $0,60 \pm 0,13$  mm ( $p < 0,0005$ ). En las niñas de este grupo las modificaciones halladas fueron: en  $EV_5$ :  $1,22 \pm 0,37$  mm ( $p < 0,005$ ); en X:  $0,42 \pm 0,12$  mm ( $p < 0,005$ ); en Y:  $0,50 \pm 0,12$  mm ( $p < 0,002$ ). En este grupo no hubo diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda Q entre varones y mujeres en derivaciones  $EV_5$ , X e Y, para una confianza del 95%.

**Onda R.** En los varones del grupo I se obser-

vó un incremento inicial de la amplitud de la onda R en derivación  $EV_5$  que no fue significativo, con posterior reducción de la amplitud de la misma, llegando a ser con el esfuerzo máximo  $4,10 \pm 0,68$  mm, inferior respecto del valor medio basal ( $p < 0,0005$ ). En derivaciones X, Y, Z la reducción en la amplitud media de la onda R se observó desde la primera etapa, alcanzando con el esfuerzo máximo el mayor decremento. La reducción fue de  $1,74 \pm 0,23$  mm en derivación X ( $p < 0,0005$ );  $1,15 \pm 0,17$  mm en derivación Y ( $p < 0,0005$ ) y de  $1,20 \pm 0,53$  mm en derivación Z ( $p < 0,02$ ). En las niñas, la reducción de la amplitud media de la onda R fue de  $4,33 \pm 0,56$  mm en derivación  $EV_5$  respecto del valor medio basal ( $p < 0,0005$ ); en derivación X la reducción fue de  $1,59 \pm 0,18$  mm

( $p < 0,02$ ) y en derivación Y de  $0,84 \pm 0,27$  mm ( $p < 0,005$ ). En derivación Z los cambios no fueron significativos ( $p > 0,05$ ). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda R entre varones y mujeres pertenecientes a este grupo en derivaciones EV<sub>5</sub>, X e Y pero sí hubo diferencias en derivación Z.

En los varones del grupo II, el decremento de la amplitud media de la onda R con el esfuerzo máximo fue de  $5,80 \pm 0,79$  mm en EV<sub>5</sub> ( $p < 0,0005$ ); en X fue de  $2,42 \pm 0,10$  mm ( $p < 0,0005$ ) y en Y de  $1,10 \pm 0,25$  mm ( $p < 0,0005$ ); en Z:  $0,82 \pm 0,39$  mm ( $p < 0,05$ ). En las niñas de este grupo, la reducción fue de  $4,92 \pm 1,04$  mm en EV<sub>5</sub> ( $p < 0,002$ );  $1,47 \pm 0,23$  mm en X ( $p < 0,0005$ );  $1,12 \pm 0,22$  mm en Y ( $p < 0,0005$ ); en derivación Z la reducción no fue significativa. No hubo diferencias en el comportamiento de la onda R entre varones y mujeres del grupo II en derivaciones EV<sub>5</sub> e Y, para un 95% de confianza. No ocurrió lo mismo en las derivaciones X y Z.

En los integrantes masculinos del grupo III, la reducción de la amplitud media de la onda R fue de  $4,96 \pm 0,47$  mm en EV<sub>5</sub> ( $p < 0,0005$ ); en X:  $2,07 \pm 0,25$  mm ( $p < 0,0005$ ); en Y:  $1,90 \pm 0,19$  mm ( $p < 0,0005$ ); en Z:  $0,82 \pm 0,34$  mm ( $p < 0,02$ ). En las niñas, la reducción de la amplitud media de la onda R fue de  $4,72 \pm 0,81$  mm en EV<sub>5</sub> ( $p < 0,0005$ ); en X:  $1,72 \pm 0,18$  mm ( $p < 0,0005$ ); en Y:  $1,15 \pm 0,23$  mm ( $p < 0,0005$ ); en Z:  $1,70 \pm 0,40$  mm ( $p < 0,002$ ). En este grupo no se encontraron diferencias significativas entre varones y mujeres en derivaciones EV<sub>5</sub>, X y Z. No ocurrió lo mismo en derivación Y.

**Onda S.** En los varones que integraron el primer grupo, se observó un incremento de la amplitud media de la onda S con el esfuerzo máximo respecto de los valores de reposo, en derivaciones EV<sub>5</sub> ( $2,57 \pm 0,39$  mm;  $p < 0,0005$ ), en X ( $0,21 \pm 0,05$  mm;  $p < 0,0005$ ), en Z ( $1,28 \pm 0,49$  mm;  $p < 0,01$ ). No fue significativo en derivación Y ( $p > 0,05$ ). En las niñas de este grupo, los cambios fueron significativos en derivación EV<sub>5</sub> ( $1,46 \pm 0,27$  mm;  $p < 0,0005$ ); en derivación X ( $0,15 \pm 0,07$  mm;  $p < 0,02$ ); en derivación Y ( $0,20 \pm 0,07$  mm;  $p < 0,01$ ), no

así en derivación Z ( $p > 0,05$ ). No hubo diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda S entre los niños y niñas que integran este grupo en derivaciones EV<sub>5</sub> y X, pero sí las hubo en derivaciones Y y Z.

En los varones del grupo II, el incremento de la onda S fue de  $2,92 \pm 0,68$  mm ( $p < 0,0005$ ) en EV<sub>5</sub>;  $0,28 \pm 0,03$  mm ( $p < 0,0005$ ) en X;  $0,28 \pm 0,12$  mm ( $p > 0,05$ ) en Y;  $0,92 \pm 0,61$  mm ( $p > 0,05$ ) en derivación Z. En el sexo femenino, el aumento en la amplitud de la onda S fue de  $2,71 \pm 0,71$  mm en EV<sub>5</sub> ( $p < 0,005$ );  $0,61 \pm 0,25$  mm en X ( $p < 0,02$ );  $0,56 \pm 0,13$  mm en Y ( $p < 0,002$ ), y en Z:  $0,81 \pm 0,58$  mm ( $p > 0,05$ ). No hubo diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda S entre los niños y niñas que componen el grupo II en derivaciones EV<sub>5</sub>, X y Z, pero sí hubo diferencias en derivación Y.

En los varones del grupo III, el incremento de la amplitud de la onda S con el esfuerzo máximo fue de  $2,75 \pm 0,23$  mm en derivación EV<sub>5</sub> ( $p < 0,0005$ );  $0,31 \pm 0,14$  mm en derivación X ( $p < 0,02$ );  $0,62 \pm 0,12$  mm en derivación Y ( $p < 0,0005$ ). No fue significativo el aumento de la amplitud en derivación Z ( $p > 0,05$ ). En las niñas de este grupo, el incremento en derivación EV<sub>5</sub> fue de  $2,24 \pm 0,48$  mm ( $p < 0,0005$ ); en derivación X:  $0,45 \pm 0,15$  mm ( $p < 0,01$ ); en derivación Y:  $0,15 \pm 0,07$  mm ( $p < 0,05$ ). El incremento en derivación Z no fue significativo ( $p > 0,05$ ). El comportamiento de la onda S con el esfuerzo no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los varones y niñas que integran el grupo III, en derivaciones EV<sub>5</sub>, X y Z pero sí en derivación Y.

Los cambios observados en las ondas Q, R y S durante el esfuerzo se encuentran graficados en la figura 1.

**Onda T.** Los cambios de amplitud de la onda T fueron estudiados en derivación EV<sub>5</sub> y Z durante el esfuerzo y período de recuperación. En derivación EV<sub>5</sub> se observó que la amplitud de la onda T disminuyó durante el esfuerzo, acompañando a los cambios de la onda R, hasta aproximadamente la cuarta etapa. Luego comienza a incrementar su amplitud, alcanzando su máximo valor durante el período de recupe-

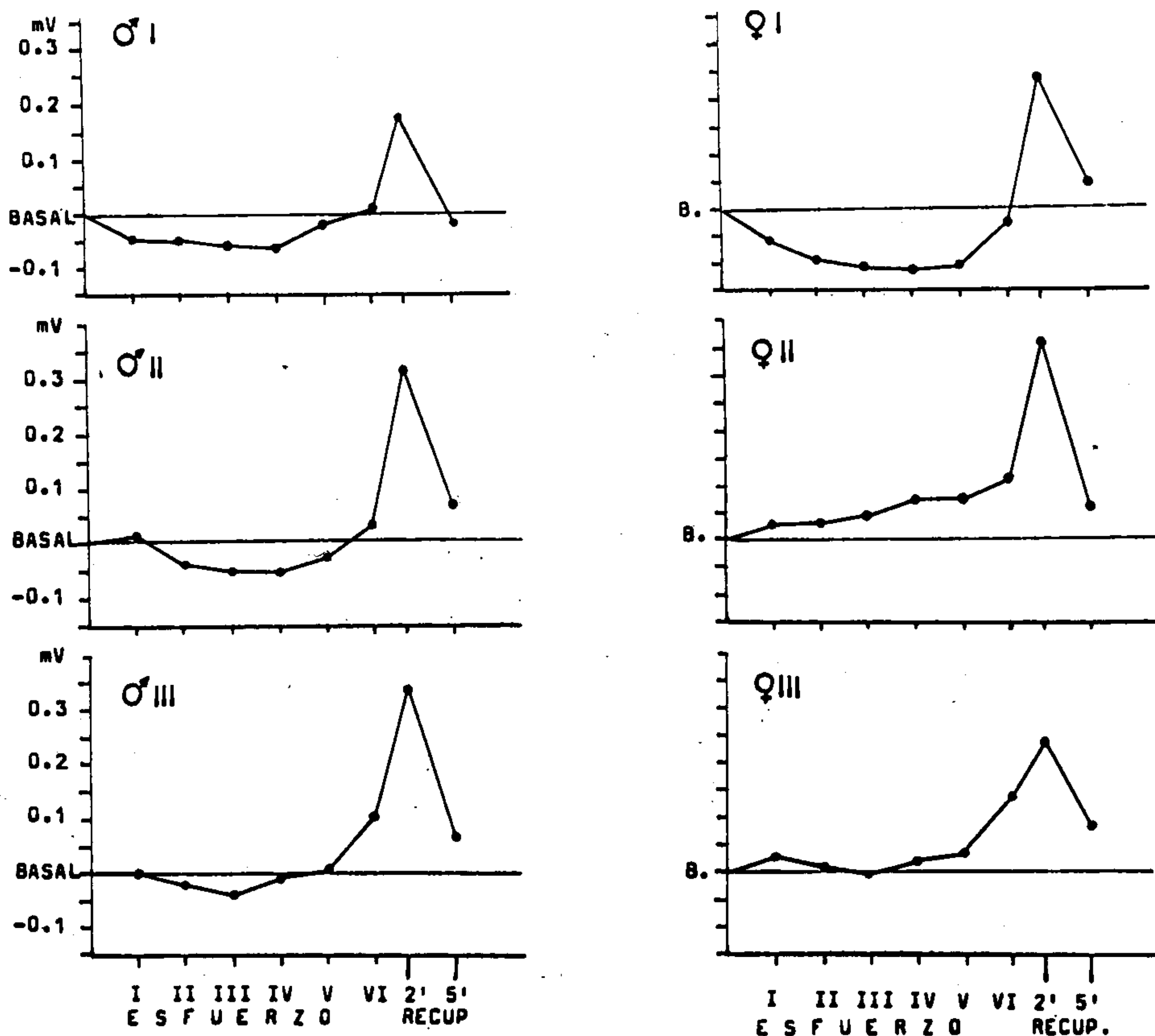


Fig. 2. Cambios en la amplitud de la onda T, en derivación EV<sub>5</sub>, respecto del valor basal de reposo. Obsérvese que, en general, se produce un decremento de su magnitud en el comienzo del ejercicio, con un incremento significativo en la recuperación inmediata (columna de la izquierda: varones; a la derecha: niñas. De arriba hacia abajo: grupos I, II y III).

ración precoz (Fig. 2). En esta etapa, a los 2 minutos de la recuperación, el incremento de la amplitud de la onda T respecto del valor basal fue:

Grupo I niños:  $1,77 \pm 0,32$  mm ( $p < 0,0005$ )  
niñas:  $2,37 \pm 0,55$  mm ( $p < 0,0005$ )

No hubo diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda T entre ambos sexos.

Grupo II niños:  $3,17 \pm 0,47$  mm ( $p < 0,0005$ )  
niñas:  $3,59 \pm 0,29$  mm ( $p < 0,0005$ )

No hubo diferencias significativas en el comportamiento de la onda T entre los niños y las niñas que integran este grupo.

Grupo III: niños:  $3,36 \pm 0,55$  mm ( $p < 0,0005$ )  
niñas:  $2,25 \pm 0,39$  mm ( $p < 0,0005$ )

No hubo diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda T entre ambos sexos.

En la recuperación tardía se observó un retorno de la amplitud media de la onda T a los niveles basales, en los tres grupos considerados.

En la derivación Z (Fig. 3) se registraron cambios en la polaridad de la onda T, que fueron significativos durante el esfuerzo máximo.

Los valores máximos de amplitud de la onda T durante la etapa final (expresados en mm) se detallan a continuación:

Grupo I niños:  $3,48 \pm 0,31$  mm ( $p < 0,0005$ )  
niñas:  $2,86 \pm 0,25$  mm ( $p < 0,0005$ )

Grupo II niños:  $2,84 \pm 0,35$  mm ( $p < 0,0005$ )  
niñas:  $3,37 \pm 0,45$  mm ( $p < 0,0005$ )



Grupo III niños:  $2,82 \pm 0,42$  mm ( $p < 0,0005$ )  
niñas:  $2,50 \pm 0,48$  mm ( $p < 0,0005$ )

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la onda T en derivación Z, determinadas por el sexo o por la edad.

## DISCUSION

El primer intento de estudiar las modificaciones ECG inducidas por el ejercicio fue hecho por Einthoven<sup>5</sup> en 1908. Posteriormente fueron publicados trabajos por Simonson,<sup>6</sup> Blonqvist<sup>7</sup> y Rautaharju,<sup>8</sup> realizados en una población de adultos normales.

En el presente estudio se ha centrado la atención en el comportamiento del complejo QRS y onda T durante el esfuerzo en niños sanos de 5 a 14 años de edad. Los cambios más evidentes en dicho complejo fueron observados en derivación  $EV_5$ , no existiendo en dicha derivación diferencias significativas entre uno y otro sexo, y entre los tres principales grupos en que ha sido dividida la población estudiada. En cambio se observaron algunas diferencias en la magnitud de los fenómenos, determinados por la edad y sexo, en derivaciones X, Y y Z.

La onda Q tiende a incrementar su negatividad en forma proporcional al esfuerzo. Dicho cambio es máximo en derivación  $EV_5$ ; esta onda retorna rápidamente al valor basal en la recuperación (Fig. 1). Al respecto, Greenspan y Anderson<sup>9</sup> encuentran un bajo valor diagnóstico en las ondas Q inducidas por el esfuerzo.

La onda R muestra una acentuada reducción de su amplitud media durante el esfuerzo máximo, retornando a los valores basales durante el período de recuperación (Fig. 1). La reducción de la amplitud media con el ejercicio también ha sido hallada en los adultos y ha sido objeto de numerosas comunicaciones científicas.<sup>33</sup>

Bonoris y colaboradores sugieren que los cambios inducidos por el ejercicio en el volumen y función ventricular izquierda es la causa de los cambios de amplitud de la onda R a través del efecto Brody.<sup>10,11</sup> Estos autores sugieren que la reducción de la amplitud de la onda R

con el esfuerzo implica una normal función ventricular izquierda.

En 1956 Brody postuló que, debido a la orientación radial de las fuerzas electromecánicas del ventrículo izquierdo, la amplitud del QRS podría incrementarse como resultado de un aumento de la masa sanguínea ventricular izquierda; inversamente, una reducción en la masa de sangre se correlaciona con una disminución de la amplitud del QRS.<sup>12</sup>

Los autores que estudiaron el tema encontraron resultados contradictorios: Rushmer y colaboradores llegaron a la conclusión que las dimensiones cardíacas suelen ser más pequeñas con el esfuerzo.<sup>13</sup> Por el contrario, Erickson y colaboradores encontraron un incremento en el diámetro ventricular izquierdo de fin de diástole.<sup>14</sup> Baxley y colaboradores encontraron que había una relación entre el voltaje del QRS y el volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo,<sup>15</sup> mientras que Talbot y colaboradores<sup>16</sup> no hallaron esta relación. Gorlin y colaboradores<sup>17</sup> encontraron respuestas variables en el volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo durante el ejercicio en sujetos normales en posición supina. Stein, por ecocardiografía,<sup>18</sup> describió una discreta disminución del volumen de fin de sístole y ausencia de cambios significativos en el volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo durante el ejercicio en sujetos normales en posición supina.

Battler, Froelicher y colaboradores, estudiando volúmenes y función ventricular izquierda con radioisótopos, hallaron una correlación positiva en reposo y durante el ejercicio máximo entre la onda R y la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, pero además estos autores señalan que otros mecanismos podrían estar involucrados, como cambios en la posición del corazón en relación con el tórax, o modificaciones de los volúmenes pulmonares durante el ejercicio que podrían afectar la conductibilidad torácica.<sup>19</sup> Berman y colaboradores<sup>20</sup> realizaron un estudio correlativo entre los cambios de la onda R durante el test ergométrico y estudios angiográficos en pacientes con distinto grado de afectación miocárdica debida a diferentes etiologías. Estos autores llegan a la conclusión de que el movimiento de la pared

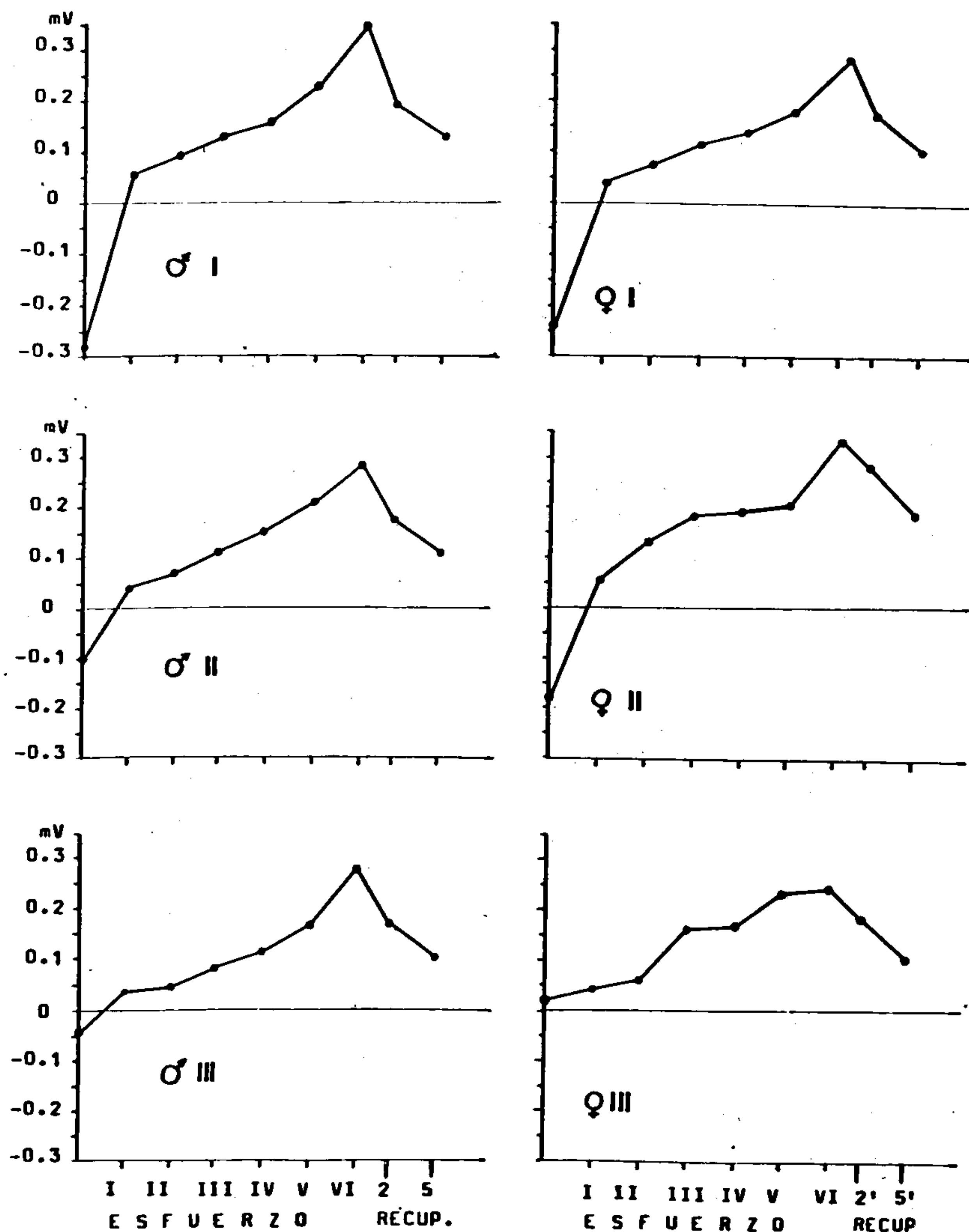


Fig. 3. Cambios de la polaridad de la onda T, en derivación Z. Los valores negativos indican ondas negativas y su magnitud; el cero indica ondas T planas o isobifásicas; los valores positivos indican magnitud y positividad de la onda T (igual encolumnamiento que en Fig. 2).

del ventrículo izquierdo suele ser anormal en los pacientes que presentaron un incremento de la amplitud de la onda R con el esfuerzo. El movimiento de la pared del ventrículo izquierdo fue estudiado en reposo, pero los autores especulan que con el ejercicio físico se incrementarían las anomalías en el movimiento de la pared, contribuyendo al incremento de volumen requerido para el efecto Brody.

Nelson y colaboradores<sup>21</sup> han encontrado que la magnitud y orientación del vector QRS están alteradas por un aumento del hemato-

crito. De acuerdo con el efecto Brody, el frente de despolarización orientado tangencialmente en el ventrículo derecho estaría incrementado por este factor, mientras que las fuerzas ventriculares izquierdas, orientadas radialmente, estarían reducidas. Esto podría explicar el cambio hacia la derecha del QRS durante el ejercicio.

Además, durante el esfuerzo se observan modificaciones de la osmolaridad plasmática y de la concentración de diversos electrolitos como el Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, PO<sub>4</sub>, lactatos y proteínatos.<sup>22,23</sup> En suma, se concluye que la



interacción de todos los factores mencionados sería responsable del comportamiento de la onda R con el esfuerzo.

La onda S muestra un incremento en su amplitud media con el ejercicio, que alcanza su mayor expresión con el esfuerzo máximo. Durante la recuperación retorna a los valores basales. Como ya fue comentado, los cambios de mayor importancia se observaron en  $EV_5$  (Fig. 1).

Katzeff y Edwards<sup>24</sup> encontraron en sujetos normales un incremento de la onda S en derivaciones bipolares horizontales con el aumento del ejercicio, y concluyen que dicho incremento es un indicador de la función ventricular izquierda. Estos autores sugirieron que el incremento de la onda S refleja el aumento normal de la contractilidad cardíaca durante el ejercicio, y que su ausencia es indicativa de disfunción ventricular.

Sin embargo, Froelicher<sup>25</sup> postula que dicho cambio sería debido a modificaciones en el eje eléctrico inducidas por el ejercicio, y a alteraciones en la conducción del estímulo. Por otra parte, la onda de repolarización auricular  $T_a$  puede caer durante el esfuerzo sobre el complejo QRS e incrementar la amplitud de la onda S.

La onda de repolarización ventricular T fue estudiada por nosotros en derivaciones  $EV_5$  y Z. En derivación  $EV_5$ , se observó un progresivo decremento de la amplitud media de la onda T hasta la cuarta etapa del protocolo de Bruce (siguiendo en general el comportamiento de la onda R), y luego un ligero incremento de la misma, alcanzando los valores máximos durante los dos primeros minutos de la recuperación. Estos últimos valores no estuvieron influenciados por el sexo, pero sí por la superficie corporal, observándose que el incremento en la amplitud fue menor en los niños pertenecientes al grupo I.

Simoons y colaboradores<sup>26</sup> llaman la atención sobre los cambios similares en la orientación espacial y amplitud que muestran el complejo QRS y la onda T con el ejercicio en adultos normales, y sugieren que habría algún mecanismo en común responsable de los mismos. Lepeshkin y colaboradores<sup>27</sup> sugieren que un

incremento temporario de la concentración de  $K^+$  sérico puede ser responsable de los cambios de la onda T que ocurren con el esfuerzo.

Es generalmente aceptado que los cambios de volumen y función ventricular izquierda, como también el hematocrito, influyen en las fuerzas eléctricas del corazón de acuerdo con el efecto Brody. Braunwald y colaboradores<sup>28</sup> obtuvieron una disminución del volumen de fin de diástole del ventrículo izquierdo con el esfuerzo. Esto podría contribuir para que la onda T disminuya durante el ejercicio, debido a que el vector de repolarización está orientado radialmente. El aumento de la onda T registrado durante el período de recuperación podría ser explicado por un retorno del volumen de fin de diástole a los niveles de reposo.

En derivación Z, en el registro obtenido en condiciones basales, la onda T es de polaridad negativa en los niños de menor edad, mientras que en algunos niños pertenecientes al grupo III la onda T es isodifásica o positiva (morfología similar a la presentada por adultos).

Debemos recordar que la onda T en niños normales es negativa en derivaciones  $V_4R$  y  $V_1$  de un electrocardiograma convencional, y en Z del sistema del cubo, y la sola presencia de onda T positiva en dichas derivaciones en niños mayores de tres días de vida es diagnóstica de sobrecarga ventricular derecha.<sup>29,30</sup> Desde entonces, y durante la niñez, la proyección de la onda T cambia poco, registrándose sólo una pérdida gradual de su orientación hacia atrás y a la izquierda.

Durante el esfuerzo, la derivación Z muestra un comportamiento peculiar de la onda T de repolarización, observándose un progresivo cambio en la polaridad de la misma, que se hace más evidente durante la etapa final correspondiente al agotamiento muscular.

El particular comportamiento de la onda T en derivación Z inducido por el ejercicio, invirtiendo su polaridad —de negativa a positiva— o incrementando su positividad en algunos niños mayores, nos permite hipotetizar que dicho comportamiento podría estar mediado por un cambio en el vector de despolarización y repolarización ventricular, respecto de la orientación, debido a una sobrecarga ventricular dere-



cha que ocurriría en forma fisiológica durante el ejercicio máximo.

Esto estaría corroborado por el hecho de que la presión en la aurícula derecha suele permanecer inmodificable durante un trabajo físico ligero, pero se incrementa cuando el ejercicio es intenso.<sup>31</sup>

Si recordamos que la presión en la aurícula derecha depende de dos factores: a) retorno venoso, y b) capacidad de bombeo del ventrículo derecho, la elevación de la presión auricular derecha expresa un incremento en la presión de fin de diástole del ventrículo derecho, que se traduciría en el ECG en una desviación del eje eléctrico del QRS hacia la derecha<sup>32</sup> y en la mencionada positivización de la onda T en derivación Z con el esfuerzo máximo. Ambos parámetros, en un ECG convencional, son indicativos de sobrecarga ventricular derecha en la población infantil.

Por lo tanto, en este estudio se sugiere que los cambios del complejo QRS y de la onda T que ocurren con el esfuerzo estarían determinados por modificaciones en el volumen de fin de diástole del ventrículo derecho, y que el incremento de la onda R asociado a un incremento de la presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo, como ha sido comunicado por diferentes autores, se debería a que cuando dicho incremento es importante contrarrestaría los efectos de la sobrecarga ventricular derecha. Este fenómeno sería similar a la desaparición del movimiento paradójico del septum, que se observa por ecocardiografía, en pacientes con sobrecarga ventricular derecha, cuando se agrega una sobrecarga ventricular izquierda.

#### GRADUAL CHANGES OF QRS-T WAVE-FORM DURING AND AFTER EXERCISE IN NORMAL CHILDREN

*To evaluate the electrocardiographic modifications of the QRS-T complex produced by physical exercise we studied a population of healthy children made up of boys and girls with ages ranging from 5 to 14 years old. The children were evaluated with exercise testing according to the Bruce protocol using the X, Y, Z and EV<sub>5</sub> bipolar electrocardiographic leads. The*

*most statistically significant change in the QRS complex were observed at the EV<sub>5</sub> lead ( $p < 0.05$ ) and at the Z lead for the wave ( $p < 0.0005$ ). We observed increases in the average amplitude of the Q and S waves and a reduction in the R wave amplitude during maximal exercise with respect to the ECG at rest, changes which are similar to those observed in adults, according to other studies. The T wave is negative at the Z lead at rest, showing a progressive decrease in negativity to finally become positive with maximal exercise. If we consider that the change in the electrical axis of the QRS complex as well as the change from negative to positive of the T wave at the right precordial leads as diagnostic criteria for right ventricular overload during infancy, then we propose that the changes in the QRS-T complex produced during exercise could be translated as modifications in pressure and/or volume in the right ventricle, and that the ECG changes reflect those changes.*

#### BIBLIOGRAFIA

1. Du Bois, Du Bois: Arch Intern Med 17: 863, 1916.
2. Boskis B, Lerman J, Perosio A, Scattini M: Manual de Ergometría y Rehabilitación, pp 46-53. Ed Científico-Técnica Americana, Buenos Aires, 1974.
3. Mc Donough J, Bruce R: Maximal exercise testing in assessing cardiovascular function. Journ South Carolina Medical Assoc (Supl) 26: 33, 1969.
4. Bruce R, Hörnsten T: Exercise stress testing in evaluation of patients with ischemic heart disease. Prog Cardiovasc Dis 11: 371-390, 1969.
5. Einthoven W: Weiteres über das elektrokardiogram. Arch Physiol 122: 517-544, 1908.
6. Simonson E: Effect of moderate exercise on the electrocardiogram in healthy young and middle aged men. J Appl Physiol 5: 584-591, 1953.
7. Blomqvist G: The Frank lead exercise electrocardiogram. Acta Med Scand (Suppl) 178: 440-570, 1965.
8. Rautaharju P, Punsar S, Blackburn H, Warren J, Menotti A: Wave-form patterns in Frank-lead rest and exercise electrocardiograms of healthy elderly men. Circulation 48: 541, 1973.
9. Greenspan M, Anderson G: The significance of exercise induced Q waves. Am J Med 67: 454-459, 1979.
10. Bonoris P, Greenberg P, Castellat M, Ellestad M: Significance of changes in R wave amplitude during treadmill stress testing: angiographic correlation. Am J Cardiol 41: 846, 1978.
11. Bonoris P, Greenberg P, Christison G, Castellat M, Ellestad M: Evaluation of R wave amplitude changes versus ST segment depression in stress testing. Circulation 57: 904, 1978.
12. Brody D: A theoretical analysis of the intracavitary blood

- mass influence on the heart-lead relationship. *Circ Res* 4: 731, 1956.
13. Rushmer R, Crystal D, Wagner C, Ellis R, Nash A: Continuous measurements of left ventricular dimensions in intact, and anesthetized dog. *Circ Res* 2: 14, 1954.
  14. Erickson H, Bishop V, Kardon M, Horwitz L: Left ventricular internal diameter and cardiac function during exercise. *J Appl Physiol* 30: 473, 1971.
  15. Baxley W, Dodge H, Sandler H: A quantitative angiographic study of left ventricular hypertrophy and the electrocardiogram. *Circulation* 37: 509, 1968.
  16. Talbot S, Kilpatrick D, Jonathan A, Raphael M: QRS voltage of the electrocardiogram and Frank vectorcardiogram in relation to ventricular volume. *Br Heart J* 39: 1109, 1977.
  17. Gorlin R, Cohen L, Elliot W, Klein M, Lane F: Effect of supine exercise on left ventricular volume and oxygen consumption in man. *Circulation* 32: 361, 1965.
  18. Stein R, Michelli D, Fox E, Krasnow N: Continuous ventricular dimensions in man during and supine exercise and recovery. An echocardiographic study. *Am J Cardiol* 41: 655, 1978.
  19. Battler A, Froelicher V, Slutsky R, Ashburn W: Relationship of QRS amplitude changes during exercise to left ventricular function and volumes and the diagnosis of coronary artery disease. *Circulation* 60: 1004, 1979.
  20. Berman J, Wynne J, Cohn P: Multiple lead QRS changes with exercise testing. *Circulation* 61: 53, 1980.
  21. Nelson C, Rand P, Angelakos E, Hugenholtz P: Effects of intracardiac blood on the spatial vectorcardiogram. Results in the dog. *Circ Res* 31: 95, 1972.
  22. Delanne R, Barnes J, Brouha L: Changes in osmotic pressure and ionic concentration of plasma during muscular work and recovery. *J Appl Physiol* 14: 804-900, 1959.
  23. Coester N, Elliot J, Luft V: Plasma electrolytes, pH and ECG during and after exhaustive exercise. *J Appl Physiol* 34: 677-682, 1973.
  24. Katzeff I, Edwards H: Exercise stress testing and an electro-mechanical S wave of the electrocardiogram. Does the S wave voltage with increasing work rate? *S Afr Med J* 49: 1088, 1974.
  25. Froelicher V, Wolthuis R, Fisher J, Gregory V: Variations in normal electrocardiographic response to treadmill testing. *Am J Cardiol* 47: 1161, 1981.
  26. Simoons M, Hugenholtz P: Gradual changes of ECG waveform during and after exercise in normal subjects. *Circulation* 52: 570-577, 1975.
  27. Lepeschkin E: Physiological factor influencing the electrocardiographic response to exercise. In: Blackburn H (ed): *The Ernsts Simonson Conference: Measurements in exercise electrocardiography*, p 363. C C Thomas, Springfield (Ill), 1969.
  28. Braunwald E, Sonnenblick E, Ross J Jr, Glick G, Epstein S: An analysis of the cardiac response to exercise. *Circ Res* 40 (Suppl I): I-44, 1967.
  29. Cassels D, Ziegler R: *Electrocardiografía en lactantes y niños*, p 89. Ed La Médica, Rosario (Arg), 1968.
  30. Nadas A, Fyler D: *Cardiología Pediátrica*, p 49. Ed Interamericana, México, 1975.
  31. Friedberg C, Sonnenblick E, Donoso E, Lesch M: *Progresos en las enfermedades cardiovasculares*, vol XVI, p 637. Ed Científico-Médica, Barcelona, 1976.
  32. Tranchesi J: *Electrocardiograma normal y patológico* (4ª ed), p 190. Ed La Médica, Rosario (Arg), 1977.
  33. Aptekar M, Grienfeld de Roncoroni L, Mindlin de Aptekar F: Las variaciones de voltaje del complejo QRS en la interpretación de las pruebas ergométricas. *Rev Arg de Cardiol* 47: 33, 1979.

#### AGRADECIMIENTO

*Los autores agradecen la colaboración de las auxiliares Encarnación Gómez y Nélida García de López en la realización de los tests ergométricos.*