

# Artículos originales

## Evaluación de la eficiencia miocárdica mediante un índice ergométrico

ALBERTO VAZQUEZ  
FANNY R. MINDLIN de APTECAR  
MOISES APTECAR  
Departamento Cardiovascular,  
Institutos Médicos Antártida,  
Buenos Aires, Argentina

*Se describe un "índice de eficiencia", que correlaciona trabajo externo (carga máxima alcanzada) con el consumo miocárdico de oxígeno (representado por el doble producto = frecuencia cardíaca x presión arterial sistólica) y la superficie corporal. Los datos se obtienen en el momento de máximo esfuerzo durante una prueba cicloergométrica habitual, de diseño escaleriforme continuo, y el índice se calcula por la fórmula*

$$\frac{\text{kilogrametros/minuto}}{(\text{frec. cardíaca} \times \text{presión arterial sistólica})^{10-2}} / \text{superficie corporal en m}^2$$

*El índice fue determinado para una población aparentemente normal de 804 hombres y 346 mujeres, 114 pacientes estudiados por angiografía, 40 enfermos coronarios sometidos a un plan de rehabilitación, y 26 enfermos tratados mediante revascularización miocárdica. Los resultados indican un rango del índice para los hombres sanos, divididos por décadas de edad, entre  $1,65 \pm 0,28$  y  $1,24 \pm 0,32$ , y de  $1,84 \pm 0,08$  a  $1,16 \pm 0,29$  para las mujeres. Los pacientes sin lesiones coronarias significativas tenían un índice de  $1,40 \pm 0,30$ , los portadores de un vaso significativamente estrechado,  $1,34 \pm 0,51$ , de dos vasos,  $1,28 \pm 0,50$ , y de tres vasos,  $1,13 \pm 0,51$  ( $P < 0,0005$  en relación a los normales). El índice preentrenamiento fue de  $1,11 \pm 0,37$ , llegando a  $1,41 \pm 0,43$  a los tres meses del programa de rehabilitación ( $P < 0,0025$ ). Los pacientes del grupo quirúrgico tenían un índice preoperatorio de  $1,12 \pm 0,44$ , llegando a  $1,35 \pm 0,41$  después de la intervención ( $P < 0,05$ ). Todos los enfermos de los distintos grupos tenían edades estadísticamente similares. Concluimos que este índice, de fácil determinación en ergometría clínica, ofrece una buena estimación de la eficiencia miocárdica, de acuerdo al sexo, edad, patología e intervenciones terapéuticas, y que, al sintetizar en un único dato numérico varios indicadores de la capacidad física y del consumo de oxígeno, puede llegar a constituir un valioso elemento para la evaluación funcional del corazón.*

*Dirección postal:*  
Departamento Cardiovascular  
Institutos Médicos Antártida  
Rivadavia 4980  
(1424) Buenos Aires  
Argentina

La relación entre el trabajo cardíaco y la cantidad de oxígeno consumida por el miocardio para realizar dicho trabajo constituye un indicador de la eficiencia del corazón, considerado como máquina.<sup>1,2</sup> No contando en la práctica clínica con medidas directas de estos factores (trabajo cardíaco y consumo de oxígeno miocárdico),

intentamos en esta comunicación evaluar la eficiencia cardíaca mediante aproximaciones incruentas, de uso corrientemente aceptado, de ambos factores. Numerosos trabajos<sup>3,4,5,6</sup> han demostrado que el doble producto (frecuencia cardíaca x presión arterial sistólica) guarda un estrecho paralelismo con el consumo de oxígeno por el miocardio, y, por otra parte, el débito cardíaco, en ausencia de elementos limitantes respiratorios, constituye el principal factor determinante de la capacidad física del organismo.<sup>7</sup> En base a esta simplificación, de fácil acceso clínico, asumimos que la eficiencia miocárdica podría ser evaluada relacionando el doble producto, como indicador del consumo miocárdico de oxígeno, y el trabajo externo en ergómetro, como expresión de la capacidad de trabajo mecánico del corazón. Dado que el trabajo externo depende de la masa corporal,<sup>8,9</sup> creímos oportuno normalizar el índice propuesto por la superficie corporal, con preferencia al peso o talla considerados individualmente.<sup>10</sup>

Se expondrán en esta presentación los valores hallados en los siguientes grupos:

- a) Población de individuos considerados normales.
- b) Grupo de coronarios estudiados angiográficamente.
- c) Grupo de pacientes sometidos a rehabilitación.
- d) Operados de revascularización miocárdica.

## MATERIAL Y METODOS

De acuerdo con lo expuesto, este índice fue calculado dividiendo la cifra de kilográmetros alcanzada en el máximo esfuerzo del individuo estudiado por el doble producto máximo; este cociente, a su vez, fue dividido por la superficie corporal, deducida de la tabla de Du Bois, a partir de los datos de peso y talla.<sup>11</sup>

$$\text{INDICE} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Consumo}} = \frac{\text{KGM}}{(\text{FC} \times \text{PAS})^{10-2}} / \text{sup. corp. en m}^2$$

Fueron tomados como valores máximos los obtenidos en el pico del esfuerzo en los individuos normales, y en el momento de aparición

de síntomas o signos limitantes claros en los patológicos.

Los individuos del grupo normal fueron seleccionados del total de nuestros pacientes estudiados en el laboratorio de ergometría, en base a sucesivas eliminaciones, de acuerdo con los siguientes criterios de exclusión:

1) Todos los enfermos con síntomas cardiovasculares característicos (angina de pecho, disnea en sus diversas formas, claudicación intermitente, etc.).

2) Todos los pacientes con antecedentes cardiovasculares bien definidos (infarto de miocardio previo, hipertensión arterial, cardiopatía valvular, cirugía cardíaca), o en tratamiento con medicación cardioactiva.

3) Todas las personas con anormalidades cardiovasculares en el examen físico (soplos cardíacos, hipertensión arterial definida por cifras superiores a 160/90, signos de agrandamiento cardíaco o descompensación hemodinámica, tales como galope, rales de base, edemas, ingurgitación yugular y/o hepatomegalia, etc.).

4) Los pacientes con enfermedades extracardíacas que no contraindicaban la realización de la prueba ergométrica (bronquitis agudas o crónicas, enfisema pulmonar, anemia, hiper o hipotiroidismo, etc.).

5) Los enfermos con anormalidades electrocardiográficas, salvo hemibloqueo izquierdo anterior de primer grado, arritmias sinusales y/o extrasístoles auriculares o ventriculares no significativas.

6) Las pruebas anormales, ya sea específicas (por ST o ST y angina) o inespecíficas (modificaciones inespecíficas de ST-T; arritmias; caídas tensionales sostenidas sin anormalidades de la repolarización ventricular, etc.).

7) Los portadores de factores de riesgo coronario fueron incluidos, salvo cuando se trataba de hipertensión arterial, como ya fue señalado, de obesidad exagerada o de hipercolesterolemia superior a 300 mg por ciento..

8) Finalmente, fueron descartadas las pruebas realizadas durante los dos primeros años de nuestra actividad (aproximadamente 600), por considerar que este período representó un ajuste de las técnicas, y por haber practi-

**Tabla 1**  
**Datos numéricos de la población normal**

	Edad	n	Peso	Talla	Sup. corp.	DP/SC (m <sup>2</sup> )	C.M.A.
HOMBRES	11-20	78	65,6± 8,8	1,74±0,06	1,74±0,14	16.306±2.080	836±105
	21-30	82	74,8±10,8	1,74±0,07	1,88±0,14	16.041±2.960	833±152
	31-40	161	79,3±10,3	1,74±0,05	1,93±0,13	15.583±2.281	831±122
	41-50	284	80,2±10,8	1,73±0,06	1,93±0,14	15.078±2.589	775±125
	51-60	156	79,2± 9,7	1,71±0,07	1,91±0,13	14.329±2.294	740±138
	61-70	43	81,1± 9,3	1,73±0,07	1,94±0,13	13.964±2.040	642±159
MUJERES	11-20	5	57,6± 4,6	1,64±0,06	1,62±0,07	16.871±1.893	800±000
	21-30	13	60,6± 9,4	1,63±0,06	1,65±0,12	15.858±2.086	623±150
	31-40	64	62,6±10,8	1,61±0,05	1,63±0,13	15.983±2.811	586±146
	41-50	124	63,1±13,0	1,61±0,06	1,67±0,13	15.729±2.567	552±155
	51-60	104	64,6± 9,1	1,60±0,06	1,66±0,13	15.843±2.428	498±115
	61-70	36	64,0±11,0	1,60±0,06	1,66±0,15	15.771±2.582	485± 98

Sup. corp. =superficie corporal. D.P. =doble producto. C.M.A. = carga máxima alcanzada (KGM/min).

cado, durante el mismo, pruebas submáximas.

Esta selección dejó incluidos en el estudio un total de 1.150 sujetos, 804 hombres y 346 mujeres, que fueron divididos por décadas de edad.

El grupo de los coronarios se formó con pacientes estudiados angiográficamente por el método selectivo de Sones, y clasificados de acuerdo con el número de vasos afectados. Todos eran hombres (las mujeres fueron excluidas deliberadamente, por su escaso número), con una edad promedio de 52,1±7,4 años para los portadores de un vaso enfermo (n=29), 54,9±7,9 años para el grupo con dos vasos afectados (n=26), y 52,1±9 años para los que tenían tres vasos estrechados (n=44). Fueron consideradas obstrucciones significativas las superiores al 75% para los tres vasos principales, y al 50% para el tronco de la coronaria izquierda. También fueron tomados en cuenta, para su comparación, 15 pacientes sin vasos significativamente afectados, cuya edad promedio fue de 49,8±6,2 años. En todos estos pacientes fueron evaluados los ventrículos en cuanto a la movilidad de sus paredes, y en 80 fue determinada la fracción de eyección, de acuerdo con el método habitual.<sup>12</sup>

Los pacientes rehabilitados (n=40) tenían una edad promedio de 56±7,2 años, y fueron evaluados antes del comienzo del tratamiento, a los 3 y a los 6 meses del plan de ejercicios programados. Este grupo efectuaba dos a tres sesiones semanales, de una hora de duración, incluyendo calistenia y entrenamiento en cicloergómetro, ajustados a su capacidad física.

Los enfermos coronarios operados (n=26), con una edad promedio de 52,3±8,7 años, fueron sometidos a una prueba de esfuerzo aproximadamente un mes antes de la intervención, y nuevamente a los 4-5 meses después de la misma. Doce de ellos recibieron un puente venoso, 11, dos puentes, y 3, tres puentes; en un caso se efectuó, además, aneurismectomía. La revascularización fue considerada completa en 11 casos, e incompleta en 15. Estos 26 pacientes evolucionaron sin complicaciones postoperatorias manifiestas.

En todos estos grupos, las pruebas ergométricas se efectuaron de acuerdo con nuestra metodología habitual, realizando pruebas máximas en cicloergómetro, con un protocolo escaliforme continuo.<sup>13</sup>

La comparación estadística de los resultados se efectuó por el método de la t de Student

para datos no apareados, salvo en los rehabilitados y operados, en los cuales se utilizó la variante para datos apareados. Todos los valores fueron expresados como  $\bar{X} \pm DS$ .

### RESULTADOS

#### A. Población normal.

Los 1.150 sujetos considerados normales de acuerdo con los criterios definidos fueron subdivididos por sexo y por grupos etáreos. La Tabla 1 nos muestra la distribución etárea de ambos sexos, y los valores promedio con su correspondiente desvío standard de peso, talla, superficie corporal (SC), doble producto por m<sup>2</sup> de superficie corporal (DP/SC) y cargas máximas alcanzadas (CMA). La Tabla 2 presenta el "índice de eficiencia", determinado según la fórmula expuesta, para los distintos grupos de hombres y mujeres. Se observa en la primera que tanto el peso como la superficie corporal aumentan en la segunda y tercera décadas de vida en ambos sexos, estabilizándose a partir de la cuarta. En cuanto al índice (Tabla 2), se observa una progresiva y uniforme disminución de sus valores con la edad, tanto en hombres como en mujeres (Fig. 1), que va de un índice de 1,65 a 1,24 en los hombres, y de 1,84 a 1,16 en las mujeres. Los valores del índice son siempre inferiores para las mujeres en cada una de las décadas consideradas, salvo la de 11 a 20 años, en la cual el índice es más alto en el sexo femenino; hacemos notar, sin embargo, el escaso número de integrantes del grupo de mujeres de menor edad.

Comparando estadísticamente los valores del índice entre los grupos etáreos, observamos que en los hombres se detecta una diferencia significativa a partir del grupo de 31-40 años respecto del grupo etáreo más joven (11-20 años,  $P < 0,005$ ); entre grupos adyacentes, hay cambios significativos solamente entre las décadas de 31-40 versus 41-50 y 51-60 versus 61-70 años. En las mujeres, en cambio, existe una modificación significativa ya a partir de las primeras dos décadas estudiadas (11-20 versus 21-30 años,  $P < 0,025$ ); igualmente hay diferencias significativas en el otro extremo de la escala etárea (51-60 versus 61-70,  $P < 0,01$ ).

**Tabla 2**  
Índice de eficiencia por sexo y edad

Edad	Hombres	Mujeres
11-20	1,65 ± 0,28	1,84 ± 0,08
21-30	1,52 ± 0,50	1,46 ± 0,32
31-40	1,47 ± 0,30	1,37 ± 0,32
41-50	1,41 ± 0,30	1,30 ± 0,42
51-60	1,38 ± 0,32	1,18 ± 0,33
61-70	1,24 ± 0,32	1,16 ± 0,29

* - $P < 0,01$	** - $P < 0,005$
** - $P < 0,025$	*** - $P < 0,0005$
*** - $P < 0,0025$	

En la comparación entre ambos sexos, se observan diferencias significativas en las edades centrales, no así en ambos extremos de la curva, con excepción del pequeño grupo de mujeres adolescentes (Tabla 2).

Analizando por separado los componentes del índice —cargas y doble producto— se aprecian diferencias entre ambos sexos (Tabla 1). En los hombres existe cierto paralelismo entre la declinación gradual de la capacidad física (carga máxima alcanzada) y del doble producto con la edad. En las mujeres, en cambio, la reducción de la carga máxima alcanzada es mucho más franca, mientras que el doble producto prácticamente no varía. Esta diferencia se puede

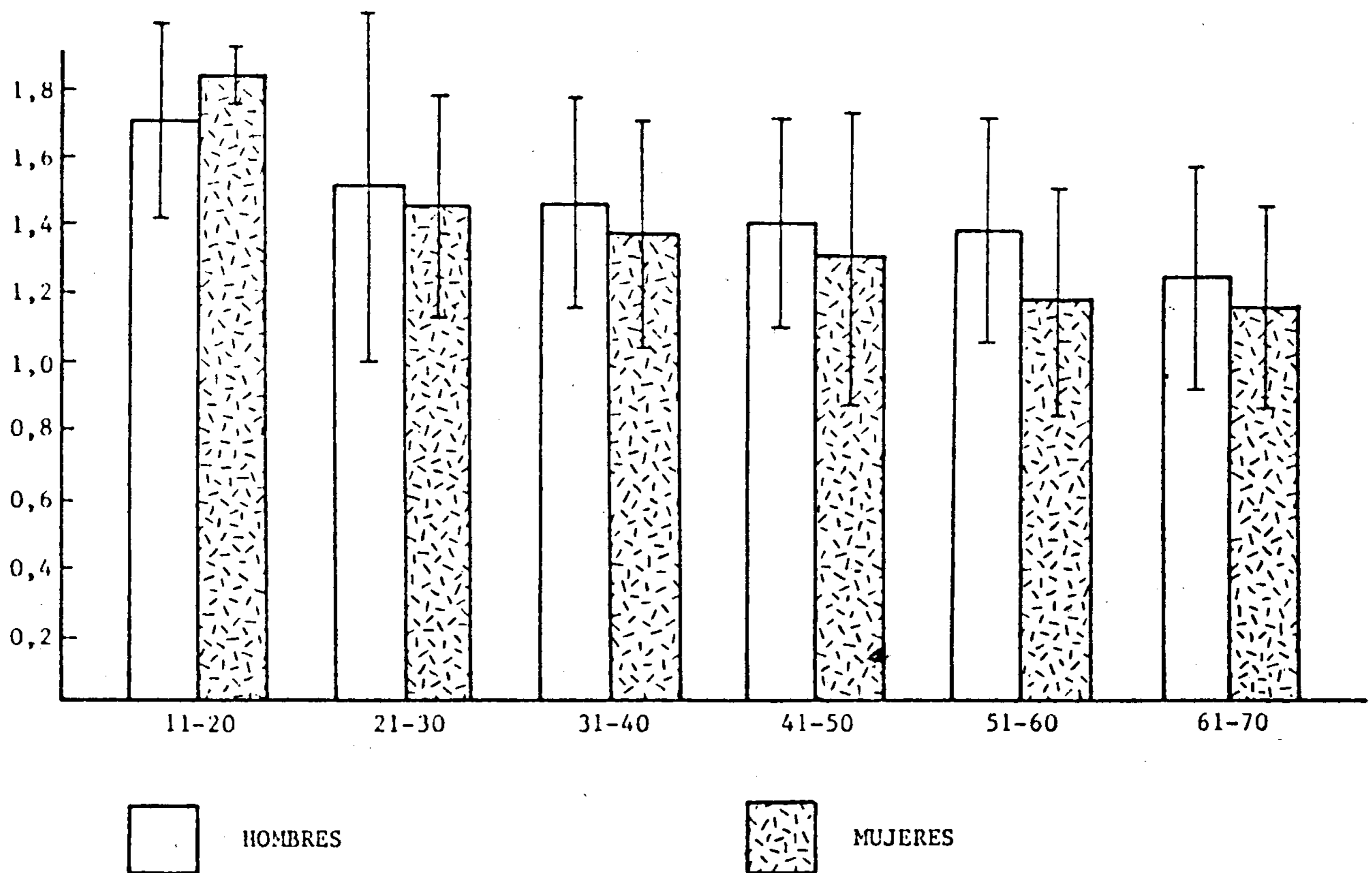


Fig. 1. Índice de eficiencia según sexo y edad.

objetivar también mediante la distinta pendiente de las rectas de regresión de la correlación carga/DP en hombres ( $a = 11,41$ ) y mujeres ( $a = 3,43$ ), en la cual, a pesar de una correlación lineal en los promedios, existe una importante dispersión en los valores individuales).

Recordamos que el índice de eficiencia es normalizado en relación a la superficie corporal, lo cual descarta que las diferencias señaladas sean atribuibles a la simple diferencia constitucional entre ambos sexos.

#### B. Coronarios estudiados angiográficamente.

En el grupo de coronarios con control angiográfico fueron incluidos solamente hombres, ya que el número de mujeres en cada subgrupo resultaba demasiado pequeño para su interpretación. Los enfermos coronarios fueron divididos en grupos de 1, 2 y 3 vasos significativamente obstruidos ( $n = 29, 26$  y  $44$ , respectivamente), y comparados con el grupo de pacientes estudiados angiográficamente que no presen-

taba lesiones significativas (0 vasos,  $n = 15$ ). Dado que estos grupos de pacientes tenían edades entre los 49,8 y los 54,9 años, fueron considerados comparables entre sí y con el grupo de normales de 51-60 años descritos más arriba, cuyo promedio de edad era de  $54,7 \pm 7$  años. Los valores del índice de eficiencia de la población normal y de los pacientes con 0 vasos eran similares ( $1,38 \pm 0,32$  y  $1,40 \pm 0,30$ , respectivamente). Los enfermos con 1 vaso tenían un índice de  $1,34 \pm 0,51$ , los de 2 vasos,  $1,28 \pm 0,50$ , y los de 3 vasos,  $1,13 \pm 0,41$ . Tan sólo este último grupo difería significativamente ( $P < 0,005$ ) respecto de los normales, si bien había una disminución progresiva del índice a medida que aumentaba la severidad de la enfermedad coronaria (Tabla 3, Fig. 2).

La separación del grupo de enfermos coronarios de acuerdo con el estado del ventrículo, clasificados globalmente en "ventrículos normales" y "ventrículos disquinéticos", no permitió

**Tabla 3**  
Indice de eficiencia en pacientes coronarios

	<i>n</i>	<i>Indice</i>	
Normales	156	1,38±0,32	#
Coron. 1 vaso	29	1,34±0,51	
Coron. 2 vasos	26	1,28±0,50	
Coron. 3 vasos	44	1,13±0,41	#

# - # P < 0,0005

apreciar diferencias significativas en cuanto al índice. Tampoco el índice mostró diferencias cuando se lo relacionó con la fracción de eyección, dividiendo la población coronaria en un grupo con FE normal y otro con FE disminuida (menor de 0,54).

*C. Grupo de pacientes sometidos a rehabilitación.*

Los pacientes rehabilitados eran también hombres, con edad promedio de 56±7,2 años, lo cual permitió compararlos con el mismo grupo normal que los anteriores. En la ergometría inicial, previa al plan de ejercicios programados, los pacientes tenían un índice promedio de 1,11±0,37, lo cual los hace comparables al grupo de coronarios de 3 vasos (1,13±0,41). Al cabo de tres meses en el programa, una segunda ergometría mostró un claro mejoramiento del índice, que pasó a ser de 1,41±0,43 (P < 0,0025 en relación al inicial), ligeramente superior al del grupo normal de la misma edad (1,38±0,32) (Tabla 4, Fig. 3). Un grupo reducido de pacientes fue sometido a un tercer estudio ergométrico, a los seis meses del comienzo del programa de rehabilitación, no mostrando mejoría ulterior del índice (n = 13, índice 1,40±0,35).

*D. Operados de revascularización miocárdica.*

Los 26 pacientes de este grupo presentaban, en la prueba anterior a su operación, un índice de 1,12±0,44, también muy similar al de los coronarios de 3 vasos y al grupo prerrehabilitación. Después de la cirugía, el índice se eleva a 1,35±0,43 (P < 0,05 respecto del prequirúrgico), no observándose diferencias entre los

**Tabla 4**  
Indice de eficiencia en pacientes rehabilitados y operados

	<i>n</i>	<i>Indice</i>	
Coron. 3 vasos	44	1,13±0,41	
Coron. prerhab.	40	1,11±0,37	#
Coron. postrehab.	40	1,41±0,43	#
Coron. preop.	26	1,12±0,44	*
Coron. postop.	26	1,35±0,43	*

# - # P < 0,0025      \* - \* P < 0,05

revascularizados en forma completa e incompleta (Tabla 4, Fig. 3). El análisis de los casos individuales permitió observar que 17 de los 26 incrementaron su índice, mientras que uno no varió y los restantes ocho bajaron. La Fig. 5 muestra las modificaciones porcentuales del índice postcirugía en los 26 enfermos.

**DISCUSION**

La prueba ergométrica ha permitido el estudio de diversas respuestas del aparato circulatorio ante la exigencia de un esfuerzo físico mensurado. Variables tales como la frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica y diastólica, trabajo máximo realizado y consumo de oxígeno fueron determinados para distintos niveles de actividad física, ya sea submáxima o máxima, y analizados por separado o en combinaciones diversas. En tal sentido se han hallado correlaciones lineales entre trabajo realizado (carga máxima alcanzada) y frecuencia cardíaca, presión arterial, doble producto y consumo de oxígeno.<sup>14,15,16,17,18,19</sup> Todos estos parámetros aumentan en relación directa con el esfuerzo impuesto y, a su vez, dependen de factores tales como la edad, sexo, masa corporal y su composición, grado de entrenamiento y motivación y, finalmente, de la presencia o ausencia de patología cardiovascular agregada.<sup>20</sup>

Sin embargo, son escasas las referencias a la relación entre trabajo externo y la energía consumida para llevarlo a cabo,<sup>21,22</sup> relación que constituye una medida de la "eficiencia" del corazón como máquina.<sup>23</sup> Si expresamos esta

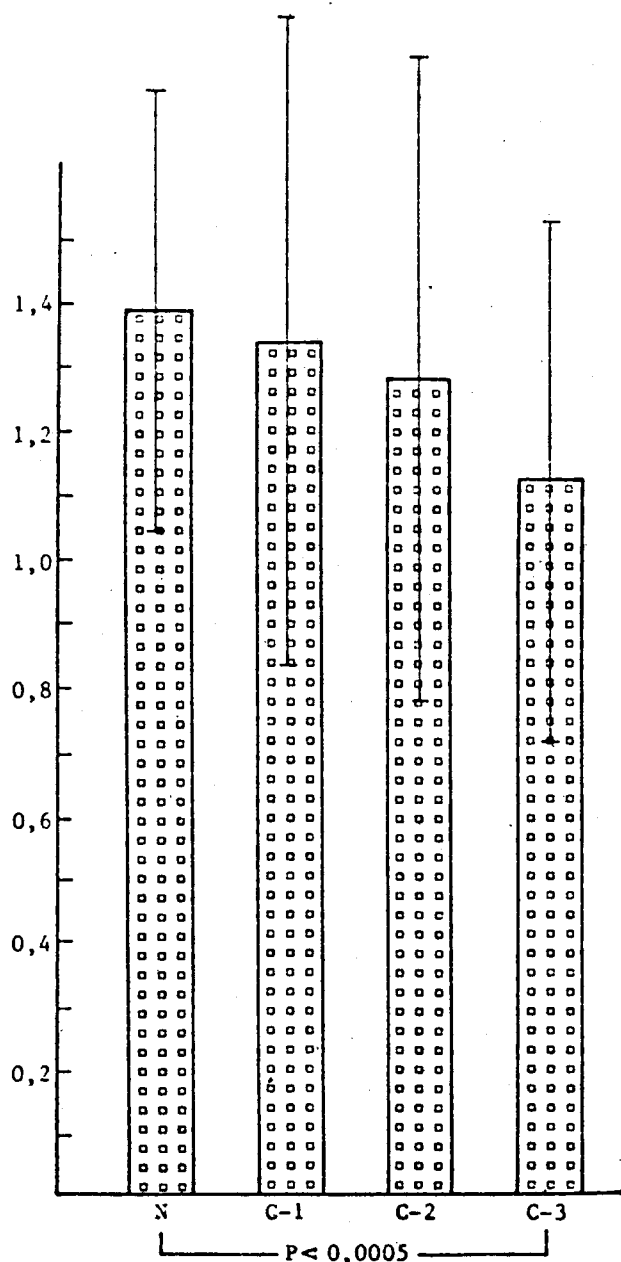


Fig. 2. Índice de eficiencia en normales y coronarios de 1, 2 y 3 vasos.

ecuación en relación a metro cuadrado de superficie corporal, obtenemos un "índice de eficiencia", en el sentido físico del término. Debemos diferenciar aquí lo que corresponde a un índice de eficiencia global del organismo, que vincula trabajo corporal con consumo to-

tal de oxígeno ( $VO_2$ Máx.), de un índice de eficiencia específicamente cardíaco, que representa la misma ecuación, pero limitada al corazón en sí,<sup>21</sup> y expresada por la relación: trabajo cardíaco/consumo de oxígeno miocárdico ( $MVO_2$ máx.).

Las medidas directas del consumo miocárdico de oxígeno y de parámetros representativos del trabajo ventricular izquierdo son, sin embargo, métodos invasivos, de tecnología compleja y habitualmente reservados a los laboratorios de investigación de la fisiología del esfuerzo. Ello obliga a utilizar, en la práctica clínica, estimaciones indirectas de tales variables. Ha sido comprobada reiteradamente la excelente correlación existente entre el  $MVO_2$  y el doble producto, en normales y coronarios ejercitados en bicicleta ergométrica ( $r = 0,85$ ).<sup>24,25</sup> La utilización de medidas invasivas de la presión arterial central y el agregado del tiempo de eyección sistólica (triple producto o ITT), no aporta sustanciales beneficios a la correlación ( $r = 0,80$  y  $r = 0,75$ , respectivamente).<sup>5,24</sup>

Aunque factores tales como tamaño ventricular y contractilidad intervienen también en la determinación del consumo miocárdico de oxígeno, mediciones directas del mismo, efectuadas por Gobel y colaboradores,<sup>5</sup> han demostrado que no modifican significativamente la excelente correlación existente entre el  $MVO_2$  y el doble producto. La presencia de disquinesias ventriculares localizadas, en la cardiopatía isquémica, no invalida el uso de estos índices indirectos en los pacientes coronarios.<sup>26</sup> La aplicación clínica de este parámetro se encuentra facilitada aún más por la posibilidad de utilizar un método tan sencillo como el del manguito neumático, cuya correlación con las mediciones cruentas de la presión arterial sistólica es excelente.<sup>27</sup>

El principal inconveniente del índice que proponemos consiste en la dificultad de discriminar entre trabajo corporal total y trabajo cardíaco, o mejor dicho, ventricular izquierdo. Si bien se trata de dos medidas diferentes, su interdependencia es muy estrecha, y guardan un notable paralelismo entre sí. Así, Astrand<sup>28</sup> encuentra un incremento lineal del trabajo cardíaco, expresado a través del volumen minuto,

en relación con el trabajo corporal total. En condiciones normales, contando con una composición normal del aire atmosférico, y con la indemnidad del aparato respiratorio, el trabajo cardíaco aparece como el factor limitante prácticamente exclusivo del esfuerzo máximo, en el pico de un ejercicio que involucre grandes masas musculares durante un mínimo de tiempo.<sup>7</sup>

De los escasos intentos por vincular trabajo y consumo cabe señalar, en primer lugar, la reiterada insistencia de Bruce<sup>29,30,31</sup> sobre el valor del  $VO_2$ Máx. como indicador de la capacidad funcional aeróbica. Este autor establece valores normales para su población y protocolo específico, calculando el grado de deterioro funcional del paciente en forma porcentual respecto de los valores control. En uno de sus trabajos<sup>21</sup> intenta incluso discriminar entre el deterioro funcional global (*functional aerobic impairment*) y el cardíaco (*heart rate impairment*), derivando de ello el concepto de "deterioro periférico" (*peripheral aerobic impairment*).

Nuestro índice tiene varias diferencias metodológicas y conceptuales respecto del trabajo citado.<sup>21</sup> Mientras que Bruce expresa sus valores de manera porcentual respecto de la población control, nuestros datos se obtienen a partir de valores reales de las variables utilizadas, lo cual parece ofrecer reales ventajas, según Froelicher y Lancaster.<sup>32</sup> Aunque de alguna manera Bruce vincula trabajo y consumo, no deriva de ello un concepto de eficiencia miocárdica, tal como ha sido definido previamente.

La ya clásica expresión PWC150 (capacidad física expresada en kilográmetros, para una frecuencia de 150 x'), constituye otro intento por vincular carga y consumo, es decir, eficiencia.<sup>33</sup> Sin embargo, sus autores no han explorado sistemáticamente dicha relación, no utilizan el doble producto como indicador, y se refieren a pruebas submáximas, cuya reproducibilidad es más discutible.<sup>30</sup>

Recientemente, Papazoglou<sup>34</sup> presenta un "índice de ejercicio", constituido por un doble producto modificado, calculando la variación de éste entre reposo y máximo esfuerzo, cuya validez como discriminador diagnóstico ha sido confirmada por Balnave y colaboradores.<sup>35</sup>

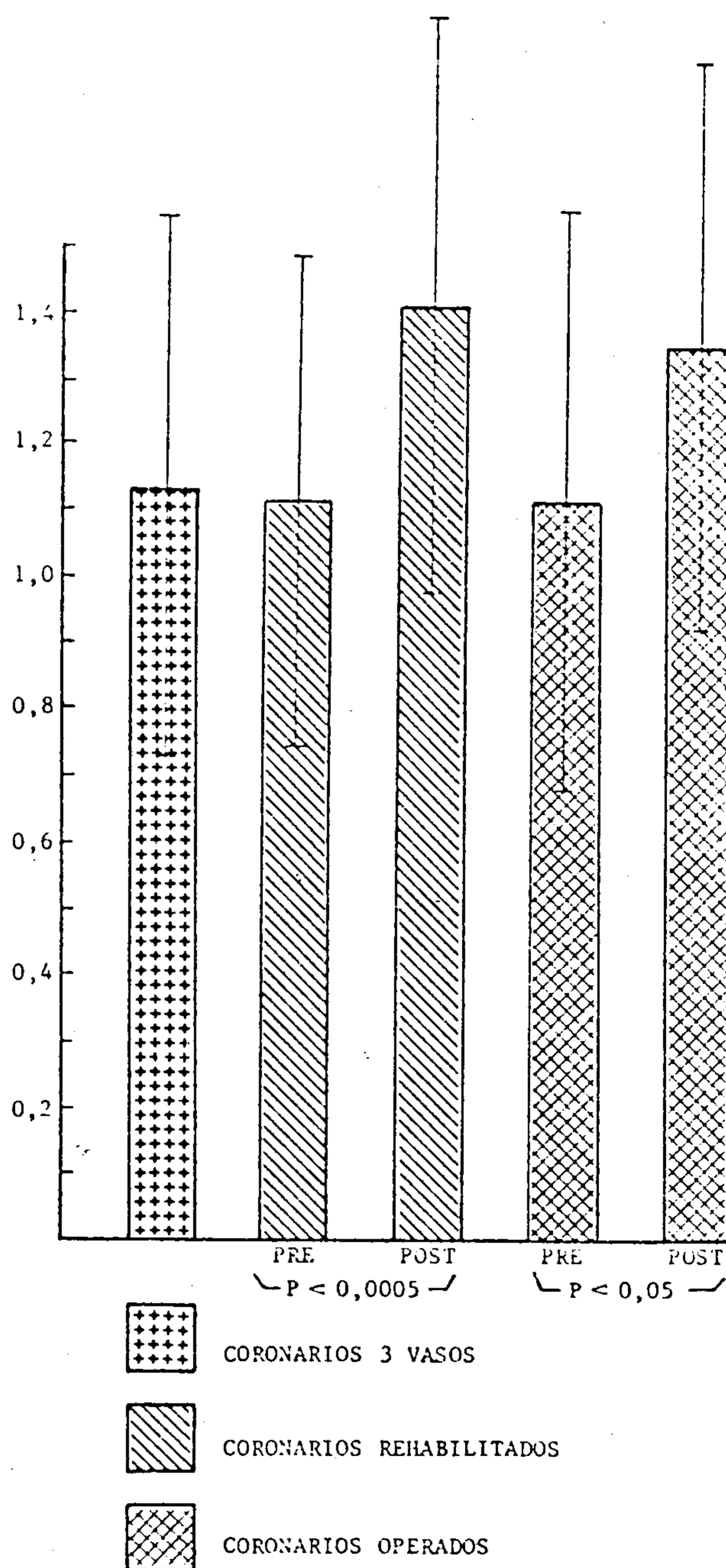


Fig. 3. Índice de eficiencia en pacientes rehabilitados y operados.

Tampoco surge aquí el concepto de eficiencia.

Tan sólo un grupo<sup>36</sup> propone un índice claramente emparentado con el nuestro, al evaluar los efectos de un programa de reacondicionamiento en pacientes portadores de una secuela



de infarto diagrafático. Tampoco estos autores estudian en forma sistemática las variaciones de su "índice de energía" en población control de diferentes edades y sexos.

En síntesis, el "índice de eficiencia" expresa el monto de trabajo realizado por unidad convencional de consumo de oxígeno y por metro cuadrado de superficie corporal, permitiendo resumir, en un solo dato numérico, el comportamiento integrado de variables habituales obtenidas durante la prueba ergométrica.

Este índice de eficiencia muestra valores declinantes con la edad, para ambos sexos, tal como se observa para otros parámetros que evalúan la capacidad física en el esfuerzo máximo. Nuestros resultados muestran una llamativa coherencia en cuanto a la progresiva disminución de sus cifras con los años, hecho que parece lógico en vista de que las cargas alcanzadas declinan en mayor medida que el monto del consumo de oxígeno (o su equivalente, el doble producto), y que pone de manifiesto que la eficiencia miocárdica se deteriora en los grupos de edad más avanzada, necesitando el corazón igual o mayor cantidad de oxígeno para producir menos trabajo. La comparación de los valores del índice entre los grupos etáreos equivalentes de ambos sexos, muestra diferencias estadísticamente significativas tan sólo a nivel de las edades centrales; aparentemente, en la edad avanzada, la disminución de la eficiencia cardíaca tiende a equiparar hombres y mujeres, mientras que en la primera década estudiada por nosotros (11-20 años), el índice del sexo femenino es superior al de los varones, tal vez debido al escaso número de mujeres que integran este grupo. De todos modos, otros autores<sup>9</sup> también han observado este entrecruzamiento de las curvas de capacidad física de ambos sexos en la edad de la adolescencia.

Por otra parte, nuestros datos confirman que la eficiencia miocárdica se deteriora en forma paralela con la severidad de la cardiopatía isquémica. Los pacientes con mayor número de vasos afectados tienen un índice significativamente menor ( $P < 0,005$ ) que la población control comparable y que aquellos con lesiones menos extendidas (Tabla 3, Fig. 2). En cambio, no se encontró vinculación significativa del índice con

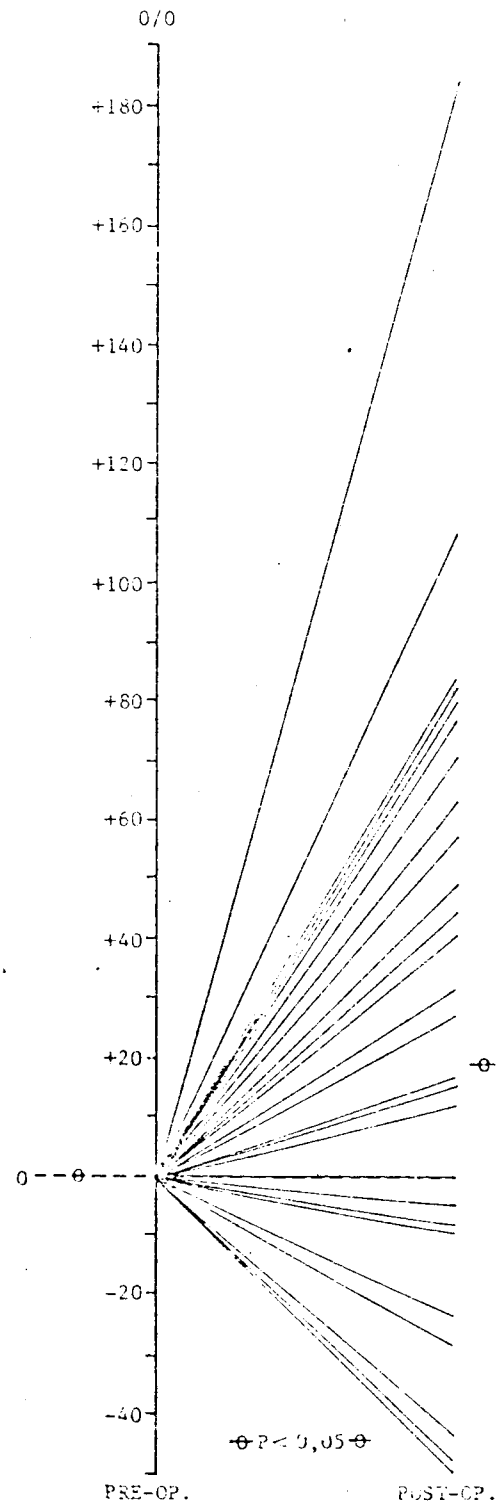


Fig. 4. Variación porcentual del índice de eficiencia en pacientes operados.

el estado ventricular izquierdo, incluyendo la fracción de eyección, evaluados por medio de la angiografía contrastada. Es probable que ello se deba a que el índice enfoca la función en el momento del máximo esfuerzo, mientras que, en nuestra serie, la fracción de eyección fue evaluada en reposo. El advenimiento de técnicas radioisotópicas, que permiten estudiar la función ventricular izquierda global<sup>37</sup> y sectorial<sup>38</sup> durante el ejercicio, permitirá, en el futuro, esclarecer este punto.

Dos intervenciones terapéuticas, que actúan, en parte, por distinto mecanismo,<sup>39</sup> han permitido también evaluar el índice en discusión. En ambos grupos terapéuticos (quirúrgico y rehabilitado), los pacientes tenían valores iniciales del índice de eficiencia semejantes a los que presentaron los enfermos angiografiados con lesiones de 3 vasos ( $1,20 \pm 0,44$ ,  $1,11 \pm 0,37$  y  $1,13 \pm 0,41$ , respectivamente).

En el grupo quirúrgico, ya fuera su revascularización completa o incompleta, la mejoría de la eficiencia fue en promedio significativa, pero con valores individuales muy dispersos y aún con deterioro del índice en algún caso aislado (Fig. 4). Entendemos que ellos se debe a un aspecto que influye indudablemente en la función ventricular, como es el comportamiento del sistema autonómico. En pacientes que, como éstos, han superado una situación de stress psicofísico y un decondicionamiento físico por el reposo,<sup>40</sup> se aprecian respuestas cronotrópicas excesivas y aumento de las resistencias arteriolares por estado hipercatecolamínico.<sup>41,42,43</sup> Aclaremos que estos enfermos no efectuaron ningún plan de actividad física reglada luego de la cirugía.

El grupo de pacientes sometidos a ejercicios programados, en su mayor parte enfermos postinfarto agudo de miocardio, mejoraron notoriamente su índice de eficiencia, en forma paralela a su mejoría clínica. Los valores iniciales más bajos en este grupo correspondieron a pacientes incorporados precozmente al plan de rehabilitación (más o menos 30 días después del accidente coronario agudo); por el contrario, los pacientes anginosos, sin infarto previo, tenían los índices más elevados del grupo. Los valores finales obtenidos llevaron, en promedio,

el índice de eficiencia de los pacientes rehabilitados al nivel del de la población control de edad comparable, con un aumento del 27% sobre el valor inicial, similar al comunicado por Birkui y colaboradores, utilizando un índice parecido al nuestro.<sup>30</sup> Debemos señalar también que el índice de eficiencia aumenta francamente durante los primeros tres meses del entrenamiento; a partir de allí, parece estabilizarse, puesto que los valores obtenidos a los seis meses no muestran diferencias significativas respecto de los de las doce semanas.

En el momento actual no resulta posible afirmar que el índice propuesto tenga un valor pronóstico *per se* o que agregue precisión predictiva a los datos ergométricos ya conocidos. Se hace necesario efectuar estudios prospectivos para concluir con cierta seguridad sobre este punto.

Creemos que, pese a ello, este índice, de fácil obtención en ergometría clínica, permite comparar valores de eficiencia cardíaca de acuerdo con edad, sexo, patología involucrada y efectos terapéuticos, y que, por la practicidad de resumir en un solo dato numérico indicadores de la capacidad física y del consumo de oxígeno por el miocardio, puede llegar a constituir un elemento útil para la evaluación funcional de los pacientes.

## CONCLUSIONES

1) Se describe un índice que correlaciona trabajo cardíaco externo (carga máxima alcanzada) con consumo miocárdico de oxígeno, representado por el doble producto (frecuencia cardíaca x presión arterial sistólica) y la superficie corporal.

2) Se presentan los valores hallados para dicho índice en un grupo de 1.150 individuos normales, divididos por sexo y edad, en otro de 114 coronarios angiografiados, un tercero de 40 coronarios sometidos a un plan de rehabilitación, y un cuarto constituido por 26 coronarios operados.

3) Este índice, calculado a partir de variables ergométricas de fácil acceso, es menor en las mujeres en relación con los hombres, y disminuye con la edad en ambos sexos.

4) Los valores del índice decrecen progresivamente a medida que aumenta el número de vasos afectados en los enfermos coronarios; la diferencia es estadísticamente significativa respecto de los normales, para el grupo de 3 vasos.

5) Los pacientes rehabilitados tienen índices similares a los coronarios de 3 vasos antes del entrenamiento, y normales a los tres meses del mismo.

6) Los coronarios operados, del mismo modo, mejoran significativamente el índice de eficiencia con la revascularización miocárdica.

7) Dada la lógica de su formulación y la coherencia de los resultados obtenidos en los individuos normales, así como la buena correlación del índice con la severidad de la patología y el resultado de las intervenciones terapéuticas, creemos útil y justificada su aplicación clínica para la evaluación funcional del corazón.

#### ASSESSMENT OF MYOCARDIAL EFFICIENCY BY MEANS OF AN ERGOMETRIC INDEX

*An "efficiency index" is described, that correlates external work (maximal work load achieved) with myocardial oxygen consumption (represented by the double product: heart rate x systolic blood pressure) and the body surface area. The data are obtained at the moment of maximal effort during a usual gradually increasing bicycle ergometer protocol, and the index is obtained by the formula*

$$\frac{\text{KGM/min}}{(\text{HR} \times \text{SBP})^{10-2}} / \text{body surface area in } m^2.$$

*The index was calculated for an apparently normal population of 804 men and 346 women, 114 patients studied by angiography, 40 coronary patients receiving stress-training, and 26 patients submitted to coronary revascularization surgery. The results indicate a range of the efficiency index from  $1,65 \pm 0,28$  to  $1,24 \pm 0,32$  in the male population, divided by decades from 11 to 70 years of age, and a similar range from  $1,84 \pm 0,08$  to  $1,16 \pm 0,29$  in women. Patients with no significant coronary artery disease*

*had an index of  $1,40 \pm 0,30$ , those with 1-vessel disease,  $1,34 \pm 0,51$ , 2-vessels disease,  $1,28 \pm 0,50$ , and 3-vessels group,  $1,13 \pm 0,51$  ( $P < 0,0005$  against normals). The pretraining index was  $1,11 \pm 0,37$ , reaching  $1,41 \pm 0,43$  after 3 months of the rehabilitation program ( $P < 0,0025$ ). The preoperation patients had a mean index of  $1,12 \pm 0,44$ , that rose to  $1,35 \pm 0,41$  after surgery ( $P < 0,05$ ). All the coronary patients had a statistically similar age. We conclude that this index, easily obtained in clinical stress-testing, afford a mean to compare estimations of myocardial efficiency according to age, sex, pathology and therapeutic interventions, and that, by summarizing in a single numerical datum various indicators of physical capacity and oxygen consumption, may become a usefull tool for the functional assessment of patients.*

#### BIBLIOGRAFIA

1. Zohman LR, Tobis JS: La rehabilitación en Cardiología, p 82. Toray Ed SA, Barcelona, 1975.
2. Froelicher VF Jr: The hemodynamic effects of physical conditioning in healthy young and middle-aged individuals, and in coronary heart disease patients. En: Naughton JP, Hellerstein HK, Mohler IC (ed): Exercise testing and exercise training in coronary heart disease, p 72. Academic Press, New-York-London, 1973.
3. Sarnoff SJ, Braunwald P, Welch GH: Hemodynamic determinants of oxygen consumption of the heart, with special reference to the tension-time index. *Am J Physiol* 192: 148, 1958.
4. Sonnenblick EH, Skelton CL: Oxygen consumption of the heart. Physiological principles and clinical implications. *Mod Conc Cardiovasc Dis* 40: 9, 1971.
5. Gobel FL, Nordstrom LA, Nelson RR, Jorgensen ChR, Wang J: The rate-pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. *Circulation* 57: 549, 1978.
6. Goldstein RE, Epstein SE: The use of indirect indices of myocardial oxygen consumption in evaluating angina pectoris. *Chest* 63: 302, 1973.
7. Blomqvist GC: Exercise physiology. Clinical aspects. En: Wenger NK (ed): Exercise and the heart, p 1. FA Davis Co, Philadelphia, 1978.
8. Mitchell JM, Blomqvist GC: Maximal oxygen uptake. *New Engl J Med* 284: 1018, 1971.
9. Lange-Andersen K: The determinants of physical performance capacity in health and disease. En: Naughton JP, Hellerstein HK, Mohler IC (ed): Exercise testing and exercise training in coronary heart disease, p 33. Academic Press, New York-London, 1973.
10. Foster GL, Reeves TJ, Meade JH: Hemodynamic responses to exercise in clinically normal middle-aged men and in those with angina pectoris. *J Clin Invest* 43: 1757, 1964.
11. Diem K (ed): Tablas científicas, p 642. Ciba-Geigy SA, Basilea, 1973.

12. Aptekar M, Grinfeld de Roncoroni L, Otero y Garzón CA, Mindlin de Aptekar FR: Estudio de los factores determinantes de las respuestas ergométricas positivas en los hipertensos basales. *Rev Arg Cardiol* 46: 91, 1978.
13. Mindlin de Aptekar FR, Canossa MA, Arenoso H, Otero y Garzón CA, Aptekar M: Correlación clínica, electrocardiográfica y ergométrica en 2.000 pacientes. *Rev Arg Cardiol* 45: 379, 1977.
14. Robinson S: Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie* 10: 18, 1938.
15. Schoreder G: Circulatory adaptations at rest and during exercise in normal adults. *Acta Med Scand (suppl)*, 495, 1968.
16. Tabakin BS, Hanson JS, Merriam TW Jr, Caldwell EJ: Hemodynamic response of normal men to graded treadmill exercise. *J Appl Physiol* 19: 457, 1964.
17. Julius S, Amery A, Whitlock LS, Conway J: Influence of age on the hemodynamic response to exercise. *Circulation* 36: 222, 1967.
18. Thadani V, Parker JO: Hemodynamics at rest and during supine and sitting bicycle exercise in normal subjects. *Am J Cardiol* 41: 52, 1978.
19. Ellestad MH: Stress testing, principles and practice, p 177. FA Davis Co, Philadelphia, 1976.
20. Wilmore JH: Acute and chronic physiological responses to exercise. En: Amsterdam EA, Wilmore JH, De María AN (eds): *Exercise in cardiovascular health and disease*, p 53. Yorke Medical Books, New York, 1977.
21. Bruce RA, Fisher LD, Cooper MN, Gey GO: Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am J Cardiol* 34: 757, 1974.
22. Wahlund H: Determination of the physical working capacity. *Acta Med Scand (suppl)*, 1948.
23. *Encyclopaedia Britannica*, vol 8, p 22. Chicago, London, Toronto, 1959.
24. Kitamura K, Jorgensen CR, Gobel F: Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *J Appl Physiol* 32: 516, 1972.
25. Nelson RR, Gobel FL, Jorgensen CR: Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. *Circulation* 50: 1179, 1974.
26. Holmberg S, Wieslaw S, Varnauskas E: Coronary circulation during heavy exercise in control subjects and in patients with coronary heart disease. *Acta Med Scand* 190: 465, 1971.
27. Karlefors T, Nilsen R, Wetling H: On the accuracy of indirect auscultatory blood pressure measurements during exercise. *Acta Med Scand (suppl)* 449: 81, 1966.
28. Astrand PO, Rodahl K: *Text-book of work physiology*, p 375. Mc Graw-Hill, New York, 1971.
29. Kasser LS, Bruce RA: Comparative effects of aging and coronary heart disease on submaximal and maximal exercise. *Circulation* 39: 759, 1969.
30. Bruce RA: Principles of exercise testing. En: Naughton JP, Hellerstein HK, Mohler IC (eds): *Exercise testing and exercise training in coronary heart disease*, p 45. Academic Press, New-York-London, 1973.
31. Bruce RA: Progress in exercise cardiology. En: Yu PN, Goodwin JF (eds): "Progress in Cardiology, Nº 3, p 113. Lea and Febiger, Philadelphia, 1974.
32. Froelicher VF, Lancaster MC: The prediction of maximal oxygen consumption from a continuous exercise treadmill protocol. *Am Heart J*, 87: 445, 1974.
33. Hellerstein HK, Hirsch EZ, Ader R, Greenblot N, Siegel M: Principles of exercise prescription. En: Naughton JP, Hellerstein HK, Mohler IC (eds): *Exercise testing and exercise training in coronary heart disease*, p 129. Academic Press, New York-London, 1973.
34. Papazoglou NM: Method of reporting and evaluating the results of treadmill exercise testing. *Am Heart J* 92: 675, 1976.
35. Balnave K, Scott ME, Morton P, Murtagh JG: Reliable prediction of coronary disease using treadmill exercise testing. *Brith Med J* 958, 1978.
36. Birkui PJ, Fustinoni P, Saumont R: Use of an exercise index to predict the immediate effects of a training program in patients with a non-complicated diaphragmatic myocardial infarction. *Medicina* 39: 321, 1979.
37. Rerych S, Scholz P, Newman G, Sabiton D, Jones R: cardiac function at rest and during exercise in normals and in patients with coronary heart disease: evaluation by radio-nuclide angiography. *Ann Surg* 187: 449, 1978.
38. Johstone DE, Sands MJ, Berger HJ, Reduto LA, Lachman AS, Wackers FJ, Cohen LS, Gottschalk A, Zaret BL: Comparison of exercise radionuclide angiocardiology and Thallium 201 myocardial perfusion imaging in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 45: 1113, 1980.
39. Mason DT, Spann JR, Zelis R, Amsterdam EA: Physiological approach to the treatment of angina pectoris. *New Engl J Med* 281: 1225, 1969.
40. Saltin B, Mitchell J, Blomqvist G et al: Response to exercise after bed-rest and after training. *Circulation* 38 (suppl VII), 1968.
41. Hammermeister KE, Kennedy JW, Hamilton GW et al: Aortocoronary saphenous vein bypass. Failure of successful grafting to improve resting left ventricular function in chronic angina. *New Engl J Med* 290: 186, 1974.
42. Roberts AJ, Niarchos AP, Subramian VA et al: Systemic hypertension associated with coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 74: 844, 1977.
43. Roberts AJ, Niarchos AP, Subramian VA et al: Hypertension following coronary artery bypass graft surgery. *Circulation* 58 (part II, Nº 3): 43, 1978.