

11205



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA
"IGNACIO CHÁVEZ"

CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS
ÍNDICES DE EFICIENCIA CARDIOVASCULAR:
FRECUENCIA CARDIACA-CARGA, DOBLE
PRODUCTO-CARGA Y BORG-CARGA DURANTE
UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO FÍSICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO EN
LA ESPECIALIDAD DE CARDIOLOGÍA
P R E S E N T A

DR. J. JESÚS ALONSO SÁNCHEZ

Asesor: Dr. Hermes Ibarra Lomelí
Jefe del Departamento de Rehabilitación Cardiaca del
Instituto Nacional de Cardiología
"Ignacio Chávez"



M. 253600



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

México, D. F. Agosto, 2006.



A handwritten signature in black ink, appearing to be "H. Ilarraza", written above a horizontal line.

DR. HERMES ILLARAZA LOMELÍ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE REHABILITACIÓN CARDIACA
Y TERAPIA FÍSICA
INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA "IGNACIO CHÁVEZ"
Asesor de Tesis

A handwritten signature in black ink, appearing to be "J. F. Guadalajara", written above a horizontal line.

DR. JOSÉ FERNANDO GUADALAJARA BOO
DIRECTOR DE ENSEÑANZA
INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA "IGNACIO CHÁVEZ"

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme la vida, la salud, la voluntad y la paciencia para terminar esta bella especialidad.

A mis padres, que me apoyaron incondicionalmente en todo momento y situación que se me presentó en el camino para llegar hasta aquí.

Al Dr. Hermes Illaraza, por su tiempo, apoyo y paciencia que me brindó generosamente para la realización de este proyecto. Por ser mi maestro y amigo durante la sub-especialidad de rehabilitación cardíaca.

A mis maestros, por todas sus enseñanzas, por esas experiencias compartidas, por brindarnos confianza ante los pacientes.

A mis compañeros residentes y al personal del servicio de rehabilitación cardíaca de este Instituto de Cardiología, que sin ellos no hubiera sido posible realizar este trabajo.

ÍNDICE

I.	TÍTULO	1
II.	ASESORES DE TESIS	2
III.	AGRADECIMIENTOS	3
IV.	ÍNDICE	4
V.	RESUMEN EN ESPAÑOL	5
VI.	RESUMEN EN INGLÉS	6
VII.	INTRODUCCIÓN	7
VIII.	MATERIAL Y MÉTODOS	8
IX.	RESULTADOS	10
X.	DISCUSIÓN	18
XI.	CONCLUSIONES	22
XII.	BIBLIOGRAFÍA	23

Resumen:

Introducción y objetivos. El doble producto mide indirectamente el consumo miocárdico de oxígeno. El entrenamiento aeróbico disminuye la tensión arterial y la frecuencia cardiaca basales y a cargas de trabajo submáximas. El objetivo del estudio fue, valorar el comportamiento de la relación entre la frecuencia cardiaca, doble producto y la percepción del esfuerzo (escala de Borg) con la carga de trabajo durante un programa de entrenamiento físico.

Métodos. Se estudiaron 45 pacientes con diversas cardiopatías, que entrenaron durante 20 sesiones en cicloergómetro, al 70% de la frecuencia cardiaca de reserva. Durante cada sesión se obtuvo la frecuencia cardiaca, la presión arterial sistólica y el Borg, que se dividieron entre la carga (watts), para formar los índices de eficiencia cardiovascular: iFC/W , iDP/W e iB/W . Los resultados se expresaron en medianas (mínimo y máximo).

Resultados. Se compararon los parámetros obtenidos entre la primera y la última sesión. La carga de trabajo aumentó de 15W (1W, 35W), a 40W (15W, 90W). La frecuencia cardiaca, doble producto y Borg no mostraron diferencias significativas. El iFC/W disminuyó de 6.1 (2.6, 77) a $2.5^*(0.91, 8.4)$, el iDP/W bajó de 797 (306, 10780) a $325^*(104, 1092)$ y el iB/W disminuyó de 0.66 (0.34, 10) a $0.3^*(0.1, 0.9)$. $*p < 0.001$. El comportamiento de estos índices se ajusta a un modelo logarítmico.

Conclusiones. Los índices de eficiencia cardiovascular disminuyeron significativamente a lo largo de un programa de entrenamiento. Esto manifiesta un aumento en la tolerancia a la carga de trabajo sin modificación de los determinantes del consumo de oxígeno.

Palabras clave: Eficiencia cardiovascular, entrenamiento, rehabilitación cardiaca.

Abstract:

Introduction and objectives: The double product measures indirectly the oxygen myocardial consumption. The aerobic training reduces the blood pressure and the heart rate at rest and submaximal workload. The objective of this study is to evaluate the behavior of the relation between the heart rate, double product and exercise perception (Borg's scale) with the workload during a physical training program.

Methods: 45 patients with several cardiopathies who did 20 training sessions of training in cicloergometer were studied. The heart rate of training was calculated to the 70% of the heart rate reserve obtained from the exercise testing. From the last part of each training session, parameters like: heart rate, systolic blood pressure and Borg, were gotten and divided between the workload measures in watts, to build the cardiovascular efficiency indexes: iFC/W, iDP/W and iB/W. The results were expressed at medium (minimum and maximum).

Results: The parameters obtained between the first session and the last one were compared. The workload increased from 15W (1W, 35W), to 40W (15, 90W). The heart rate, double product and Borg didn't show significant differences. The iFC/W decreased from 6.1 (2.6, 77) to 2.5 *(0.91, 8.4), the iDP/W decreased from 797 (306, 10780) to 325 *(104, 1092) and the iB/W decreased from 0.66 (0.34, 10) to 0.3 *(0.1, 0.9). *p<0.01. The behavior of these indexes is concordant to a logarithmic model.

Conclusions: The indexes of cardiovascular efficiency decreased significantly during a training program. This shows a better tolerance to the workload with no changes in the determinants of the oxygen consumption.

Key words: Cardiovascular efficiency, training, cardiac rehabilitation.

ABREVIATURAS.

DP: Doble producto
PAS: Presión arterial sistólica
PAD: Presión arterial diastólica
FC: Frecuencia cardiaca
iFC/W: Índice frecuencia cardiaca-Watts
iDP/W: Índice doble producto-Watts
iB/W: Índice Borg-Watts

Introducción:

El consumo miocárdico de oxígeno está determinado por la relación entre la tensión intramiocárdica, contractilidad y frecuencia cardiaca. Con el incremento de cualquiera de estos factores durante el ejercicio, el flujo sanguíneo coronario se incrementa para equilibrar el aporte y la demanda de oxígeno. Un estimado de la carga de trabajo miocárdico y consumo miocárdico de oxígeno es el doble producto (DP), resultado de multiplicar la presión arterial sistólica por la frecuencia cardiaca ($PAS \times FC$)^{1,2,3}. El DP medido durante el ejercicio ha demostrado una correlación fisiológica con la aparición de angina y alteraciones electrocardiográficas en pacientes con cardiopatía isquémica³.

El entrenamiento crónico produce una disminución de la FC y PAS (doble producto, consumo miocárdico de oxígeno y trabajo cardiaco) basales y a cargas de trabajo submáximas, que ayuda a explicar la mejoría de la capacidad para el ejercicio y de la sintomatología en los pacientes cardiópatas⁴.

El objetivo del presente estudio fue relacionar los parámetros de frecuencia cardiaca, doble producto y nivel de esfuerzo de la escala de Borg⁵ con la carga en watts, durante la fase de entrenamiento de un programa de rehabilitación cardiaca, y los cambios que sufre esta relación a lo largo del mismo.

Material y Métodos:

A partir de una cohorte de pacientes que realizaron un programa de rehabilitación cardíaca se eligieron aquellos (n=45) que hubieran entrenado al menos 20 sesiones y que tuvieran una prueba de esfuerzo al inicio y otra al final del programa. Los sujetos estudiados fueron pacientes con diversas cardiopatías que fueron referidos por sus Cardiólogos tratantes a la fase II del programa de rehabilitación cardíaca.

El entrenamiento físico se realizó en un equipo de cicloergómetros electromagnéticos (Ergoline ©) con monitoreo digital continuo de la carga y del electrocardiograma. Este equipo puede controlar la intensidad de la carga de trabajo (Watts) mediante retroalimentación negativa por la frecuencia cardíaca.

La prescripción del ejercicio para las sesiones de cicloergometría se realizó con base a los resultados de la prueba de esfuerzo. Los pacientes entrenaron 5 veces por semana durante 4 semanas, con duración de 20 minutos al día, de los cuales se dedicaron 3 minutos al calentamiento, 3 minutos a la fase de enfriamiento y el restante a la fase principal del entrenamiento. La intensidad de ejercicio se mantuvo en un nivel de Borg 12-14 y/o al 70% de la FC de reserva⁶ (FC método de Karvonen⁷= [FC máxima-FC basal] x 0.7 + FC basal)) y la carga inicial fue del 70% de la observada en el Borg 12 durante la prueba de esfuerzo.

La carga fue progresada a una tasa de 5 watts por sesión, tratando de mantener al paciente dentro de los parámetros prescritos (Borg 12-13, FC y DP de entrenamiento). Antes de incrementar la carga de trabajo se corroboró que los pacientes estuvieran libres de síntomas.

En el registro gráfico obtenido en cada sesión de ergometría (Ergosoft ®), se obtuvieron los valores de la frecuencia cardiaca (FC), presión arterial (PA), percepción del esfuerzo (escala de Borg) y la carga de trabajo (W), en la parte final de la fase de entrenamiento. Para evaluar el comportamiento del sistema cardiovascular en relación al trabajo realizado, se calcularon tres índices: El índice frecuencia cardiaca carga, dividiendo la frecuencia cardiaca entre la carga de trabajo; $[iFC/W = FC_{\text{(latidos por minuto)}} / \text{Carga de trabajo}_{\text{(Watts)}}]$. El índice doble producto-carga, dividiendo el producto de la frecuencia cardiaca por la presión arterial sistólica (doble producto) entre la carga de trabajo (W); $[iDP/W = DP_{\text{(latidos por minuto} \cdot \text{mmHg)}} / \text{Carga de trabajo}_{\text{(Watts)}}]$. Por último el índice percepción de esfuerzo-carga, dividiendo el valor obtenido mediante la escala de Borg entre la carga de trabajo; $[iB/W = \text{Percepción de esfuerzo}_{\text{(Escala de Borg con puntuación del 6 al 20)}} / \text{Carga de trabajo}_{\text{(Watts)}}]$. A menor valor de estos índices, mayor eficiencia de cada variable.

Las variables numéricas con distribución gaussiana se presentaron como media \pm desviación estándar y se analizaron mediante prueba de t de Student para muestras repetidas. Aquellas con distribución no gaussiana fueron presentadas como mediana (mínimo y máximo) y analizadas mediante la prueba de suma de rangos de Wilcoxon y la prueba del signo. El comportamiento de los índices de desempeño cardiovascular, iFC/W, iDP/W e iB/W se muestra como las diferencias (absoluta y relativa) entre la primera y la vigésima sesión. Se tomó como estocásticamente significativo un nivel de $p \leq 0.05$.

Se hizo un análisis de regresión lineal simple obteniendo tanto los coeficientes de determinación (r^2) como los coeficientes β (pendiente de inclinación) del comportamiento de los índices en cada uno de los pacientes. Además, se construyó un modelo matemático de ajuste (logarítmico) para cada una de las 3 variables.

Resultados:

En la tabla 1 se muestran las características clínicas y demográficas de los 45 pacientes estudiados, de los cuales 30 fueron varones, una edad promedio de 61.4 ± 11.9 años, la fracción de expulsión promedio fue de 49.3 ± 14.1 , el 14% de los pacientes tuvieron fracción de expulsión de $<30\%$. La cardiopatía isquémica fue la cardiopatía más frecuente (80%), seguida por la cardiopatía dilatada (19%). De los pacientes isquémicos el infarto posteroinferior y anteroseptal fueron los más frecuentes. El 38% de los pacientes fueron revascularizados.

Tabla 1. Características demográficas y clínicas del grupo de estudio.

Variabes	Media ± DE ó n (%)
Mujeres:hombres	15(33%): 30(66%)
Edad	61.4 ± 11.9
IMC	26.8 ± 4.2
FEVI	49.3 ± 14.1
<30%	6 (14%)
>30%	39 (86%)
Tipo de cardiopatía:	
Dilatada	7 (19%)
Hipertensiva	2 (5%)
Isquémica	36 (80%)
IM inferior	3 (8%)
IM posteroinferior	12 (33%)
IM inferolateral	1 (2%)
IM anteroapical	3 (8%)
IM anteroseptal	7 (19%)
IM anterior	4 (11%)
extenso	1 (2%)
Angina estable	5 (13%)
Angina inestable	
Tratamiento recibido:	
Reperusión:	1 (2%)
Trombolisis	
Revascularización	8 (22%)
ACTP	6 (16%)
CRVC	28 (72%)
Total:	
Tratamiento médico	31 (68%)
B/bloqueadores	7 (15%)
Ca ⁺⁺ /antagonistas	39 (87%)
IECA/ATII	13 (29%)
Digoxina	8 (18%)
Antiarrítmicos	39 (87%)
Antiagregantes	15 (33%)
Diuréticos	31 (69%)
Hipolipemiantes	18 (40%)
Nitratos	21 (47%)
Otros	
Estado clínico	
NYHA	38 (84%)
I	7 (16%)
II	
CCS	18 (40%)
0	26 (58%)
1	1 (2%)
2	

Tabla N° 1: Datos demográficos, clínicos y paraclínicos del grupo de pacientes estudiados obtenidos al inicio del estudio. Abreviaturas: IMC: Índice de masa corporal. FEVI: Fracción de expulsión del ventrículo izquierdo. IM: Infarto del miocardio. ACTP: Angioplastia transluminal percutánea. CRVC: Cirugía de revascularización coronaria. IECA: Inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina. ATII: Inhibidores de los receptores de angiotensina tipo II. NYHA: Clasificación de insuficiencia cardíaca de la asociación de corazón de Nueva York. CCS: Clasificación de angina de la sociedad Canadiense.

En la tabla 2 se muestran los datos de las pruebas de esfuerzo basales realizadas para la estratificación del riesgo de todos los pacientes. Los valores promedio en reposo y en esfuerzo fueron los siguientes: la FC de 71.8 ± 13.1 lpm subió a 125.3 ± 20.1 lpm, la PAS de 117.6 ± 16.7 mmHg subió a 141.7 ± 23.9 mmHg, la PAD de 74.6 ± 10.5 mmHg subió a 87.5 ± 12.8 mmHg, el DP de 8476 ± 2139 mmHg*lpm subió a 17712 ± 3949 mmHg*lpm, el nivel de esfuerzo máximo promedio (Borg) fue de 15.5 ± 2.6 . El promedio de los METs máximos alcanzados fue de 4.7 ± 1.7 . El porcentaje promedio alcanzado del consumo de oxígeno teórico, fue del $64.3 \pm 25.3\%$. El porcentaje de la FC predicha fue del $79.1 \pm 11.9\%$.

El 28% (n=45) tuvieron una prueba eléctricamente positiva para isquemia, el 17% (n=45) presentaron angina y el 57% (n=45) presentaron algún tipo de arritmia durante la prueba. Cuarenta y tres pacientes (95%) se estratificaron en riesgo alto y 2 pacientes (5%) en riesgo moderado⁸.

La distribución de las medianas de todos los pacientes para cada uno de los tres índices mostró una distribución no paramétrica de los datos debido a un sesgo hacia la derecha en cada uno de ellos.

Tabla No. 2. Prueba de esfuerzo basal.

Variables	No. Pacientes (45)
Datos de la PE inicial:	
<i>Valores en reposo:</i>	
FC en reposo (lpm)	71.8 ± 13.1
PAS en reposo (mmHg)	117.6 ± 16.7
PAD en reposo (mmHg)	74.6 ± 10.5
DP reposo (lpm*mmHg)	8476 ± 2139
<i>Valores en esfuerzo máximo:</i>	
FC máxima (lpm)	125.3 ± 20.1
PAS máxima (mmHg)	141.7 ± 23.9
PAD máxima (mmHg)	87.5 ± 12.8
DP máximo (lpm*mmHg)	17712 ± 3949
Borg máximo	15.5 ± 2.6
<i>Capacidad para el ejercicio:</i>	
Capacidad para el ejercicio (METs) ⁹	4.7 ± 1.7
% VO2 alcanzado ⁹	64.3 ± 25.3
<i>Índices ergométricos:</i>	
% FC alcanzada ^{10,11,12}	79.1 ± 11.9
IPAS en esfuerzo (mmHg) ¹³	1.21 ± 0.17
Recuperación de la PAS min 3/1 (mmHg) ¹³	0.94 ± 0.06
Recuperación de la FC 1er min (lpm) ¹⁴	12 ± 7.9
Poder cardíaco en esfuerzo ¹⁵	9207 ± 3901
Índice de Veteranos ¹⁶	-0.7 ± 3.7
Índice de Duke ¹⁷	2.3 ± 6.3
Respuesta cronotrópica (lpm/METs) ¹⁸	12.5 ± 5.4
Respuesta presora (mmHg/METs) ¹⁹	5.3 ± 4.7
Reducción funcional aeróbica (mujer, %) ²⁰	35.4 ± 48
Reducción funcional aeróbica (hombre, %) ²⁰	102 ± 68
Pulso de O ₂ (ml) ²¹	9.7 ± 5.3
MVO ₂ (mlO ₂ /kg/min) ²²	18.4 ± 5.5
PE positiva para isquemia	13 (28%)
Umbral isquémico (METs)	2 ± 2
Puntuación de angina	
0	37 (82%)
1	5 (11%)
2	3 (6%)
Arritmias durante la PE	26 (57%)
Riesgo en la estratificación	
Alto	43 (95%)
Moderado	2 (5%)

Tabla Nº 2. En esta tabla se muestran los parámetros diagnósticos y pronósticos obtenidos de la prueba de esfuerzo de estratificación de riesgo.

Abreviaturas: PE: Prueba de esfuerzo. FC: Frecuencia cardíaca, PAS: Presión arterial sistólica, PAD: Presión arterial diastólica, DP: Doble producto, iPAS: Índice de tensión arterial sistólica, MVO₂: Consumo miocárdico de oxígeno.

Una forma de evaluar los cambios de las variables a través del tiempo, fue estudiando las diferencias (tanto absolutas como relativas) entre la primera y la vigésima sesiones (ver tabla 3). En esta tabla también se muestra la mediana de los coeficientes β calculados para cada paciente.

Tabla N° 3: Diferencias absolutas y relativas entre la primera y última sesión de entrenamiento de los tres índices.

Parámetro	1ª sesión	20ª sesión	Delta (Absoluta)	Delta (% de cambio)	Coficiente β	p*
	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	
	(min, max)	(min, max)	(min, max)	(min, max)	(min, max)	
FC _{ipm}	93 (74, 136)	101 (68, 158)	5 (-34, 41)	0.06 (-0.3, 0.48)	0.38 (-1.55, 2.7)	0.131
DP _{minHg}	12740 (8800, 24700)	12610 (7820, 23460)	0 (-8320, 1026)	0 (0, 1)	49.7 (-587, 505)	0.93
Borg ₅₋₂₀	12 (9, 14)	12 (10, 14)	0 (-2, 3)	0 (0, 0)	0.0158 (-0.07, 9.8)	ns
Carga _w	15 (1, 35)	40 (15, 90)	20 (-5, 65)	1.6 (-0.2, 19)	1.44 (-0.08, 4)	< 0.001
iFC/W	6.1 (2.6, 77)	2.5 (0.91, 8.4)	-2.7 (-72, 0.26)	-0.6 (-0.9, 0.05)	-0.15 (-3.1, 0.18)	< 0.001
iDP/W	797 (306, 10780)	325 (104, 1092)	-432 (-10329, 278)	-0.61 (-0.96, 0.42)	-19.2 (-425, 11.3)	< 0.001
iB/W	0.66 (0.34, 10)	0.3 (0.1, 0.9)	-0.4 (-9.5, 0.13)	-0.6 (-0.95, 0.25)	-0.02 (-0.45, 0.6)	< 0.001

Tabla N° 3. En esta tabla se muestran las diferencias absolutas y en porcentajes entre la primera y última sesión de entrenamiento de los iFC/W, DP/W y Borg/W, así como el coeficiente β obtenido a partir de las líneas de tendencia y el valor estocástico de la diferencia. *Análisis de las deltas (absoluta y relativa) con la prueba de suma de Rangos de Wilcoxon. Abreviaturas: FC: frecuencia cardiaca, DP: doble producto, Borg: nivel de la escala de percepción de esfuerzo de Borg. iFC/W: índice frecuencia cardiaca-carga, iDP/W: índice doble producto-carga, iB/W: índice Borg-carga.

La FC, el DP y la percepción del esfuerzo (escala de Borg) de entrenamiento no mostraron diferencia significativa entre la primera y la última sesión. La carga realizada por los pacientes al final del periodo de entrenamiento incrementó [mediana (mínimo, máximo)] de 15 watts (1W, 35W) en la primer sesión, a 40W (15W, 90W) en la última sesión, con una diferencia de delta = 20W (-5W, 65W). Estas diferencias fueron estocásticamente significativas. Aquí se observa que los pacientes realizaron una mayor carga de trabajo sin modificar de forma significativa la FC, la PAS y la percepción del esfuerzo.

Los tres índices de desempeño cardiovascular calculados disminuyeron conforme transcurrían las sesiones de entrenamiento. El iFC/W disminuyó [mediana (mínimo, máximo)] de 6.1 (2.6, 77) a 2.5* (0.91, 8.4), el iDP/W bajó de 797 (306, 10780) a 325* (104, 1092) y el iB/W disminuyó de 0.66 (0.34, 10) a 0.3* (0.1, 0.9). *p<0.001.

Las medianas de los coeficientes β obtenidas a partir de un modelo de regresión lineal de los tres índices, muestran valores negativos, indicando una relación inversamente proporcional entre ellos y la mejoría en la eficiencia cardiovascular.

En la figura 1 se observa que un modelo de regresión logarítmica se ajusta aceptablemente a los valores graficados de los índices en estudio.

Figura N° 1: Curvas logarítmicas con las medianas de todos los pacientes de los índices: iFC/W, iDP/W e iB/W durante las 20 sesiones.

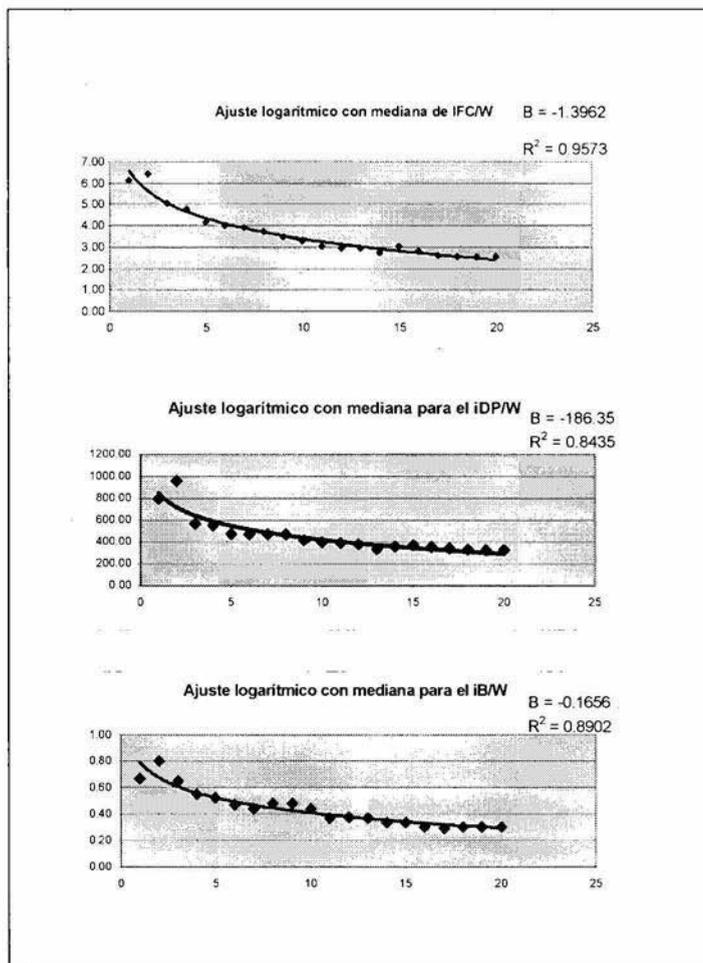


Figura N° 1. En esta figura se observa el grado de ajuste del modelo logarítmico con los valores de los índices: iFC/W (índice frecuencia cardiaca-carga), iDP/W (índice doble producto-carga) e iB/W (índice Borg-carga) de la población en estudio ($r^2=0.95$, $r^2=0.84$, $r^2=0.89$). Los coeficientes β son negativos, como resultado de la evolución de los valores a través de las 20 sesiones.

La FC y el DP incrementaron discretamente, y la carga de trabajo lo hizo de manera más notable a lo largo del entrenamiento. La percepción del esfuerzo prácticamente no varió. No obstante los índices de eficiencia cardiovascular disminuyeron significativamente. Esto se muestra en la figura 2.

Figura N° 2: Comportamiento de la FC, DP, Borg, carga de trabajo (watts) y los iFC/W, iDP/W e iB/W durante las 20 sesiones.

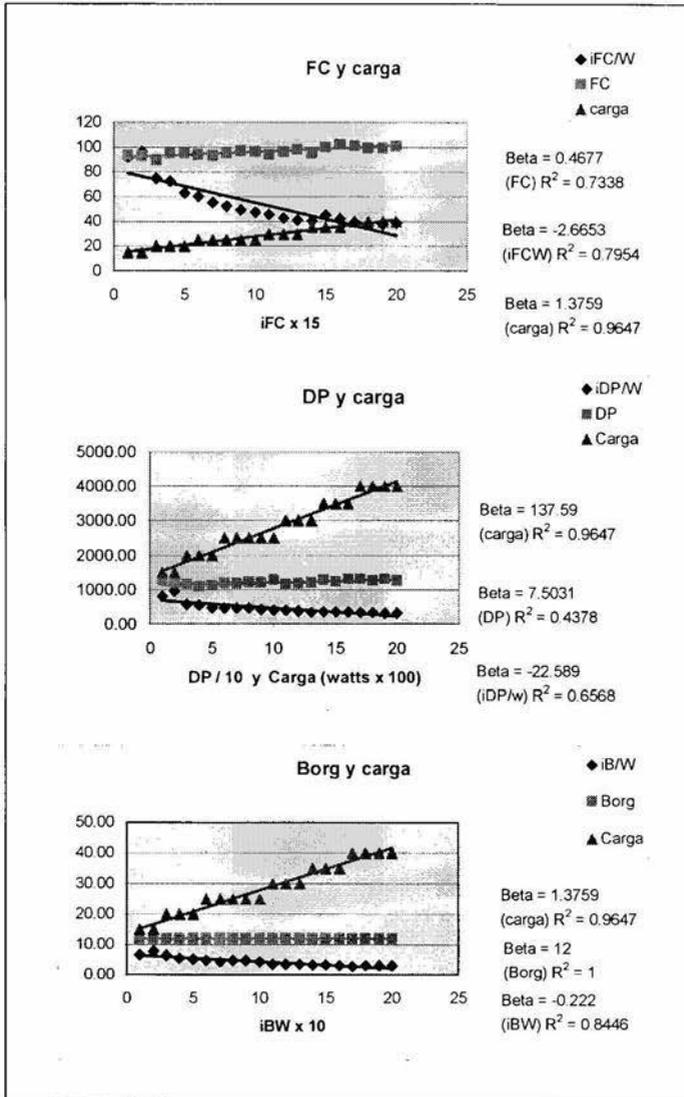


Figura N° 2. a) En esta figura se observa como la FC (frecuencia cardiaca) aumenta de forma discreta y la carga lo hace de forma más acentuada, al mismo tiempo que el iFC/W (índice frecuencia cardiaca-carga) descende, a través de las 20 sesiones estudiadas. El iFC/W se multiplicó por 15 para ser graficado. b) En esta figura se observa como el DP (doble producto) aumenta de forma discreta y la carga lo hace de forma más acentuada, al mismo tiempo que el iDP/W (índice doble producto-carga) descende, a través de las 20 sesiones estudiadas. Los DP se dividieron entre 10 y los watts se multiplicaron por 100 para ser graficados.

c) En esta figura se observa como el Borg no se modifica y la carga aumenta de forma acentuada, al mismo tiempo que el iB/W (índice Borg-carga) desciende, a través de las 20 sesiones estudiadas. Los iB/W se multiplicaron por 10 para ser graficados.

IX. DISCUSIÓN

Nuestros resultados muestran que durante un programa de entrenamiento físico los valores de la FC, DP y la carga de trabajo aumentan conforme progresan las sesiones (figura 10)²³. El grupo de pacientes estudiado en promedio tuvo una baja capacidad para el ejercicio (4.7 ± 1.7 METs y $64.3\% \pm 25.3$ del consumo de oxígeno predicho), incompetencia cronotrópica ($79\% \pm 11.9$ de la FC máxima), algunos con isquemia en el ecg de ejercicio (28%) y la mayoría se estratificó en riesgo alto (95%) de acuerdo a las variables clínicas y de prueba de esfuerzo estudiadas (tablas 2 y 3).

Los coeficientes β de los modelos de regresión lineal y las deltas entre la primera y última sesiones mostraron disminución en los 3 índices casi en la totalidad de pacientes. Es decir que, para un mismo valor de FC, DP o percepción de esfuerzo, se observó un aumento progresivo de la carga de trabajo. Por ejemplo (ver tabla 5, (valores expresados como medianas)): si el iFC/W en la primer sesión fue de 6.1 (FC 93 lpm / 15 watts), y el de la última sesión de 2.5 (101 lpm / 40 watts), durante la primer sesión el paciente requirió 6 latidos por cada watt, y durante la última sesión requirió de 2.5 latidos por watt.

Una situación similar ocurrió con el DP. El iDP/W en la primer sesión fue de 797 (12,740 $lpm \cdot mmHg/15watts$) y en la última sesión de 325 (12,610 $lpm \cdot mmHg/40watts$), es decir; durante la primer sesión se requirió de 797 $lpm \cdot mmHg$ por watt, y en la última sesión se requirió de 325 $lpm \cdot mmHg$ por watt. La disminución del DP en ejercicio se correlaciona con la disminución del consumo miocárdico de oxígeno. Esto traduciría una disminución de los requerimientos miocárdicos de oxígeno y la consecuente disminución o desaparición de la sintomatología (angina, disnea, cambios ecg, arritmias) para ese mismo nivel de ejercicio submáximo.

La mediana de la percepción del esfuerzo durante las sesiones al inicio y al final del entrenamiento se mantuvo en 12; sin embargo, el iB/W inicial fue de 0.6 y el final de 0.3, lo que refleja que el paciente toleró el doble de la carga con el mismo nivel de percepción de esfuerzo. Estos cambios podrían ser explicados en parte, por los efectos del entrenamiento físico para el ejercicio a cargas submáximas²⁴.

Al hacer el análisis de los índices por sesión, se observó que en la segunda sesión los índices aumentaron en relación a la primera y, a partir de ahí se observó una disminución progresiva de los mismos (ver figura 8). Sin embargo, el descenso no es lineal, sino que desde el inicio hasta alrededor de la octava sesión el descenso fue mas acentuado que en las sesiones posteriores. Este comportamiento se ajusta mejor a un modelo de regresión logarítmico.

Una explicación para esta forma de descenso de los índices en la etapa inicial es que, dado que la carga de trabajo (watts) se encuentra en el denominador, cuando a un sujeto se le incrementa la carga discretamente, la frecuencia cardíaca cambiará poco, sin embargo, el iFC/W disminuirá considerablemente, debido a la modificación de la carga. Al transcurrir las sesiones de entrenamiento se aumenta manualmente la carga dependiendo principalmente de la percepción del esfuerzo, progresando de esta forma a cada paciente.

Así, durante las primeras sesiones se pueden disminuir notablemente los índices de eficiencia cardiovascular, en respuesta "algebraica" al incremento de la carga de trabajo, hasta que llega el momento en que la carga se estabiliza (aproximadamente en la 8va. sesión) y los índices descienden en menor proporción en las sesiones siguientes. Es muy probable por tanto, que a partir de la 8va. sesión la disminución en los valores de estos índices refleje los efectos reales del entrenamiento.

Por este motivo, creemos que es importante estudiar el comportamiento de estas variables (FC, DP, Borg, carga de trabajo) y su relación entre ellas como índices de eficiencia cardiovascular durante pruebas de esfuerzo. Dado que, durante una prueba de esfuerzo que inicia sin carga, el iFC/W muestra un comportamiento similar al observado en nuestro estudio a lo largo de las sesiones de entrenamiento, disminuye de forma aguda durante las primeras sesiones y luego muestra un aplanamiento a partir de que alcanza determinada carga. De tal forma, que el estudio de estos índices en pruebas de esfuerzo deberá comenzar sin carga e ir aumentando progresivamente watt por watt, con registro de valores continuo hasta que el paciente esté exhausto. Seguramente habrá algún *punto crítico* en estas curvas que nos oriente más acerca del momento en que se *estabilicen* estos índices y se comience a estimular más intensamente al sistema cardiovascular.

Creemos que una vez estudiado el comportamiento de éstos índices, se podrán usar como herramienta para prescribir la intensidad del entrenamiento. Al conocer en que momento de la curva se estabilizan los índices y cual es la FC diana, se podrá hacer el cálculo de la carga necesaria para alcanzar el iFC/W en el momento estable de la curva. Así se obtendría de forma más rápida el nivel de la carga de entrenamiento. Creemos también, que podrán evaluar la mejoría de un programa de entrenamiento a mediano o largo plazo, tomando como referencia el punto de estabilización de los índices, durante las sesiones de ejercicio.

X. CONCLUSIONES

La carga de trabajo durante el entrenamiento se va progresando día con día en relación con la tolerancia del sujeto. La frecuencia cardiaca y la percepción del esfuerzo incrementaron discretamente durante el mismo periodo. Las relaciones de la frecuencia cardiaca, el doble producto y la percepción del esfuerzo con la carga (iFC/W , iDP/W , iB/W), disminuyeron significativamente a lo largo de las sesiones de entrenamiento.

Esta reducción puede traducir la presencia de adaptación cardiovascular al entrenamiento crónico, demostrando una mayor eficiencia cardiovascular por unidad de trabajo realizado. Existe también la posibilidad de que el cambio en las sesiones iniciales se deba al incremento gradual de la carga de trabajo, en relación a la progresión del paciente hecha por el personal de salud. Es necesario evaluar el comportamiento de los índices estudiados durante pruebas de esfuerzo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

-
- ¹ Kitamura K. Hemodynamic correlatos of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *J. Appl. Physiol.*, 32:516,1972.
- ² Nelson, R.R. Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. *Circulation*, 50:1179,1974.
- ³ McArdle W, Katch F, Katch V. Aerobic system changes with training. Pete D, editor. Exercise physiology, energy, nutrition, and human performance. United States of America. Fifth edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2001, p. 321.
- ⁴ McArdle W, Katch F, Katch V. Aerobic system changes with training. Pete D, editor. Exercise physiology, energy, nutrition, and human performance. United States of America. Fifth edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2001, p. 350-352.
- ⁵ Gunnar Borg. The Borg RPE Scale. Becky L, editor. Borg's perceived exertion and pain scales. United States of America: Human Kinetics, 1998; p. 29-34.
- ⁶ Barry AF, Mitchell HW, Edward HW. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. Sixth edition. United States of America: Lippincott Williams & Wilkins, 2000. p. 311.
- ⁷ Karvonen M. J. The effects of training on Heart rate: a longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1957; 35:307.
- ⁸ Maroto M. J, De Pablo Z. Carmen, Artigao R. Rosario, Morales D. María. Rehabilitación Cardiaca. Olalla Cardiología. Madrid España, 1999: p. 275.
- ⁹ Froelicher V, Myers J. Exercise and the Heart. Fourth edition. United States of America. WB Saunders Company, 2000; p. 100-105.
- ¹⁰ Lauer Michael S, MD, Okin Peter M, MD, Larson Martin G, Evans ScD, Jane C, MPH, Levy Daniel, MD. Impaired heart rate response to graded exercise. *Circulation* 1996;93:1520-1526.
- ¹¹ Ellestad Myrvin H, MD, and Wan Maurice K. C, M.D. Predictive implications of stress testing. *Circulation* 1975;51:363-369.
- ¹² McNeer J. Federick, MD, Margolis James R, MD, Lee Kerry L, Ph.D, Kisslo Joseph A, MD, Peter Robert H, MD, Kong Yihong, MD, Behar Victor S, MD, Mc Cants Charles B, BS, and Rosti Robert A, MD. The role of the exercise test in the evaluation of patients for ischemic heart disease. *Circulation* 1978;57:64-70.
- ¹³ Scott A. Mc Ham, DO, Marwick Thomas H, MD, PhD, FACC, Pashow Federic J, MD, FACC. Lauer Michael, MD, FACC. Delayed systolic blood pressure recovery after graded exercise. *JACC* 1999;34:754-9.
- ¹⁴ Cole Christopher R, MD, Blackstone Eugene H, MD, Pashkow Federeic J, MD, Snader Claire E, MA, and Lauer Michael S, MD. Heart rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med* 1999;341:1351-7.

-
- ¹⁵ Sharf Christoph, MD, Merz Tobias, MD, Kiowski Wolfgang, MD, Oechslin Erwin, MD, Schalcher Christoph, MD, and Brunner-La Rocca Hans Peter, MD. Noninvasive assessment of cardiac pumping capacity during exercise predicts prognosis in patients with congestive heart failure. *Chest* 2002;122:1333-1338.
- ¹⁶ Morrow Kienan, BA, Morris Charles K, MD, Froelicher Victor F, MD, Hideg Alisa, BA, Hunter Dodie, MD, Johnson Eileen, BA, Kawaguchi Takeo, MD, Lehmann Kenneth, MD, Ribisi Paul M, PhD, Thomas Ronald, PhD, Ueshima Kenji, MD, Froelicher Erika, PhD, RN, and Wallis James, MD. Prediction of cardiovascular death in men undergoing noninvasive evaluation for coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1993;118:689-95.
- ¹⁷ Mark DB, Hlatky MA, Harrell FE, Lee KL, Califf RM, Pryor DB. Exercise treadmill score for prediction prognosis in coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1987;106:793-800.
- ¹⁸ Lauer M, Metha R. Association of chronotropic incompetence with echocardiographic ishaemia and prognosis. *J Am Coll Cardiol* 1998;32(5):1280-1286.
- ¹⁹ Irving, John B. Bruce Roberta, MD, FACC, Derouen Timothy A, PhD. Variations in and significance of systolic pressure during maximal exercise. *Am J Cardiol* 1077;39(6):841-848.
- ²⁰ AF, Mitchell HW, Edward HW. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. Sixth edition. United States of America: Lippincott Williams & Wilkins, 2000; p. 93-96.
- ²¹ Froelicher V, Myers J. *Exercise and the Heart*. Fourth edition. United States of America. WB Saunders Company, 2000; p. 49.
- ²² Froelicher V, Myers J. *Exercise and the Heart*. Fourth edition. United States of America. WB Saunders Company, 2000; p. 2.
- ²³ Ilarraza H, Myers J, Kottman W, Rickli R, Dubach P. An Evaluation of Training Responses Using Self-regulation in a Residential Rehabilitation Program. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 2004;24:27-33
- ²⁴ McArdle W, Katch F, Katch V. Aerobic system changes with training. Pete D, editor. *Exercise physiology, energy, nutrition, and human performance*. United States of America. Fifth edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2001, p. 466-467.

Cuenta: 502043891

Telefono: 013336601327

celular: 0413313647325