

Monograph

Índice de Eficiencia Aerobia como Indicador de la Eficiencia Cardiovascular en Deportistas de Combate

Maria Elena González¹, Evelina Almenares Pujadas², Graciela Nicot², José R Amaro Chelala³ y Mercedes González⁴

¹Departamento de Pruebas de Esfuerzo. Instituto de Medicina del Deporte, La Habana, Cuba.

²Departamento de Control Médico. Deportes de Combate. Instituto de Medicina del Deporte, La Habana, Cuba.

³Departamento de postgrado e investigaciones. Hospital Clínico Quirúrgico "Carlos J. Finlay" La Habana, Cuba.

⁴Departamento de pruebas de función cardiovascular. Instituto de Medicina del Deporte, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Se realizó un estudio prospectivo, de corte transversal, y de aplicación con deportistas de combate de los Equipos Nacionales de Cuba de Boxeo, Taekwondo y Lucha grecorromana, agrupados según categorías de peso y sometidos a una prueba de esfuerzo en condiciones de laboratorio en dos momentos de un macrociclo de entrenamiento (Inicio y Final de la preparación física general); con el objetivo de describir la correspondencia entre las adaptaciones sufridas por la frecuencia cardiaca durante la etapa de entrenamiento en las diferentes categorías de peso y la eficiencia cardiovascular demostrada durante la etapa y determinada mediante la utilización del indicador pulso de oxígeno. Se encontraron modificaciones diferentes de la frecuencia cardiaca como respuesta adaptativa al entrenamiento en las diferentes categorías de peso, no existiendo una adecuada correspondencia entre estas modificaciones y los resultados arrojados por el pulso de oxígeno como indicador de la eficiencia cardiovascular en las diferentes categorías, no así cuando este indicador se expresó en función al peso corporal de los sujetos, denominándose a este último indicador Índice de eficiencia aerobia, y recomendándose su utilización para evaluar la eficiencia cardiovascular de los deportistas que compiten por categorías de peso.

Palabras Clave: deportes de combate, pulsometría de esfuerzo, ergometría

INTRODUCCION

El entrenamiento es un fenómeno adaptativo complejo que consiste en un proceso permanente de adaptación a las cargas de trabajo con el objetivo final de mejorar las capacidades que determinan el rendimiento (Rodríguez GFA, 1989).

Resulta de una gran importancia, como parte del control médico del entrenamiento poder evaluar estas adaptaciones lo que resulta en una estrategia científicamente fundamentada para una adecuada dosificación de las cargas de entrenamiento.

La valoración funcional que se realiza en diferentes etapas del macrociclo de entrenamiento requiere el registro y la medición de una ó más variables fisiológicas, que permitan evidenciar estos cambios. (Rodríguez FA, Aragonés MT, 1992).

Uno de los parámetros ergométricos más utilizados para la evaluación funcional, además del máximo consumo de oxígeno, es el Pulso de oxígeno, que no es más que la cantidad de oxígeno que se consume durante un ciclo cardíaco completo (Astrand, P.O., Rodahl, K., 1996).

Este término desarrollado por Astrand, (Astrand, P.O., 1952), es un parámetro que puede modificarse con el entrenamiento, alcanzando valores máximos al tiempo que se logra el consumo máximo de oxígeno. (López CH J, Fernández VA, 1998)

Precisamente por depender su valor, tanto del consumo máximo de oxígeno como de la Frecuencia cardiaca con la que este se alcanza se ha considerado tradicionalmente un adecuado indicador de la eficiencia cardiovascular.

Sin embargo , cuando se utilizan métodos indirectos para determinar el consumo máximo de oxígeno, que tienen en cuenta el peso corporal de los sujetos, la utilización de este indicador, podría inducir a errores a la hora de realizar la interpretación de los resultados, sobre todo en los deportes que compiten por categorías de peso, por lo que en este trabajo nos propusimos describir la correspondencia entre las adaptaciones sufridas por la frecuencia cardiaca durante la etapa de entrenamiento en las diferentes categorías de peso y la eficiencia cardiovascular demostrada durante la etapa y determinada mediante la utilización del indicador pulso de oxígeno.

MÉTODOS

Procedimiento Experimental

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Pruebas de esfuerzo del Instituto de Medicina del Deporte de La Habana, Cuba. El mismo consistió en un estudio prospectivo, de corte transversal, que abarcó los años 2000-2004, período que incluyó tres macrociclos de entrenamiento sucesivos, y estudiándose en cada uno de ellos el inicio y final de la etapa de preparación física general, en un deporte de combate diferente que fueron el Boxeo, el Taekwondo y la Lucha Grecorromana, y teniendo dicha etapa una duración promedio de ocho semanas.

Sujetos

Fue estudiado el universo de los deportistas de combate que conformaban los equipos nacionales de Cuba de las tres especialidades de combate citadas con anterioridad y los que se agruparon en cuatro categorías según el peso corporal: Ligeros, Medianos, Pesados y Superpesados, tal y como aparece reflejado en la Tabla 1.

	BOX	TKW	LGR
LIG (n)	≤ 60 Kg (13)	≤ 60 Kg (3)	≤ 60 Kg (6)
MED (n)	64-75 Kg (16)	64-75 Kg (13)	68-80 Kg (5)
PES (n)	81-94 Kg (7)	81-99 Kg (6)	A) 84-100 Kg (7) B) +110 Kg (2)
SP (n)	> 100 Kg (6)	----	-----
TOTAL	42	22	20

Tabla 1. Numero de casos estudiados según deportes y categorías de peso.

Tests Realizados

Todos los sujetos fueron sometidos a dos pruebas de esfuerzo incremental hasta el agotamiento, una al inicio y otra al final de la etapa de preparación física general, en una bicicleta ergométrica mecánica marca Monark, con protocolos de trabajo, confeccionados específicamente para cada una de las especialidades de combate. En dichos protocolos las cargas fueron dosificadas según categorías de peso y se aplicaron de forma escalonada, creciente, y remediando, en las cargas submáximas, la estructura de esfuerzo de los combates tipo, en cuanto al número de escalones, sus duraciones, así como

las pausas entre ellos.

Los protocolos de trabajo según deporte quedaron estructurados de la siguiente forma:

Boxeo: cuatro escalones de dos minutos de duración cada uno, con un minuto de pausa entre escalones.

Taekwondo: Tres escalones de tres minutos de duración cada uno, con un minuto de pausa entre escalones

Lucha Greco-romana: dos escalones de tres minutos de duración cada uno, con treinta segundos de pausas entre escalones.

Las pruebas fueron precedidas de un calentamiento de tres minutos con una carga correspondiente al 50% de la carga inicial, con la finalidad no solo de provocar los beneficios fisiológicos provocados por éste, sino también para familiarizar a los sujetos con el ergómetro que se utilizaría en la prueba. La frecuencia de pedaleo se fijó en 60 rpm.

La dosificación de cargas por escalones en los protocolos de trabajo, según categorías de peso aparece reflejados en las tablas 2, 3 y 4, para el boxeo, taekwondo y lucha greco-romana respectivamente.

Nro. Escalones	1	2	3	4
Ligeros	50 w	125 w	175 w	200 w
Medianos	75 w	150 w	200 w	225 w
Pesados y Superpesados	100 w	175 w	225 w	250 w

Tabla 2. Carga en Watts, según categorías de peso y escalones del protocolo de esfuerzo en el Boxeo.

No.escalones	1	2	3
Ligeros	50 w	150 w	200 w
Medianos	75 w	125 w	225 w
Pesados	100 w	200 w	250 w

Tabla 3. Carga en Watts, según categorías de peso y escalones del protocolo de esfuerzo en el Taekwondo.

No. escalones	1	2
Ligeros	50 w	150 w
Medianos	75 w	175 w
Pesados	100 w	200 w
Pesados + 110 Kg	150 w	250 w

Tabla 4. Carga en Watts, según categorías de peso y escalones del protocolo de esfuerzo en la Lucha Greco-romana.

Después del último escalón de carga del protocolo específico según deportes, ésta se continuó incrementando en 25 watts, minuto a minuto hasta provocar el agotamiento de los deportistas, dándose por concluida la prueba. (González, R.M.E. 2002; Simón, K.A. 2003; Uvelino, M.P., 2004; González, R.M.E. 2007).

Previo a la prueba de esfuerzo se realizó un electrocardiograma y una prueba ortostática de reposo, asumiendo como criterio, la exclusión del estudio de aquellos sujetos que presentaran alteraciones en estas pruebas funcionales en reposo. Ninguno de los sujetos fue excluido.

Las pruebas fueron realizadas, en horas de la mañana teniéndose en cuenta todas las normativas y criterios metodológicos establecidos para la realización de este tipo de prueba. (Rodríguez, G.F.A., 1999).

Durante la prueba de esfuerzo se determinaron las siguientes variables e indicadores funcionales, los que fueron recogidos en una planilla diseñada expresamente para tal efecto.

Pulsometría

Se registró con un pulsómetro marca Polar y se expresó en lat/min.

- Frecuencia cardiaca de reposo (FCr): se registró con el sujeto sentado y después de reposar durante 15 minutos en esta posición.
- Frecuencia cardiaca de carga (FCc): se registró en el segundo 58 del último minuto de cada escalón de carga.
- Frecuencia cardiaca máxima (FC máx.): se registró en el momento de la exhaustación del deportista.
- Además se calculó el siguiente indicador:
- Diferencia de Frecuencia cardiaca (lat/min) entre el inicio y final de la preparación física general, tanto en reposo como en escalones de carga mediante la fórmula:

$$\text{Dif Fc x} = \text{Fc}_x \text{ Fpfg} - \text{FC}_x \text{ Ipfg}$$

Donde x = Fc reposo ó en el último minuto de cada uno de los escalones de carga de los test de esfuerzo específicos concebidos para cada deporte.

Ipfg= inicio de la preparación física general, y Fpfg= final de la preparación física general.

Indicadores Fisiológicos Aerobios

- Consumo máximo de oxígeno (VO₂ Máx.) se determinó de forma indirecta mediante la fórmula de Wasserman y Whipp (Wasserman K., 1981) y expresado en litros /min.
- Pulso de oxígeno (VO₂ máx. / FC max), se expresó en ml /min / latidos.
- Índice de eficiencia aerobia = (Pulso de oxígeno relativo a la Masa corporal) = (VO₂ máx./FCmáx./Masa corporal), se expresó en ml/latido/kg de Masa corporal.

El VO₂ máx. fue determinado de forma indirecta mediante la formula de Wasserman K. (1981).

$$\text{VO}_2 \text{ máx.} = 5.8 \times \text{peso corporal (kg.)} + 151 + (10.5 \times \text{Nm})$$

donde:

Nm= potencia máxima alcanzada durante la prueba de esfuerzo.

10.5= factor de corrección para atletas de alto rendimiento.

Todos los deportistas dieron su consentimiento informado de forma escrita para participar del estudio, quedando este documento registrado en la historia clínica medico deportiva.

Entrenamiento

Durante la etapa estudiada todos los deportistas estaban bajo un régimen de entrenamiento diseñado y controlado por el colectivo técnico de entrenadores de cada una de estas especialidades de combate y orientado fundamentalmente al desarrollo de la resistencia general de base

Análisis Estadísticos

El procesamiento estadístico de los resultados se realizó utilizando el paquete estadístico SPSS-PC versión 11.5 y una microcomputadora personal modelo Pentium IV.

Se determinaron las estadísticas descriptivas (medias, desviaciones estándar, valores máximos y mínimos) de las variables e indicadores fisiológicos determinados según categorías de peso y momentos estudiados del macrociclo.

Se realizó una correlación de Pearson entre las categorías de peso y los indicadores funcionales para tratar de comprobar el grado de asociación entre ellos con un nivel de significación de $p \leq 0,05$.

Se determinaron los percentiles 97, 70 50, 30 y 3 (Zatsiorsky, 1989) para el Índice de Eficiencia Aerobia, los cuales fueron asociados a los criterios evaluativos de Muy Bien (MB), Bien (B), Regular(R), Mal (M) y Muy mal (MM) respectivamente, para evaluar la eficiencia cardiovascular en los deportistas de combate mediante este nuevo indicador.

RESULTADOS

La Figura 1 refleja el comportamiento de las diferencias de frecuencia cardíaca determinadas entre el inicio y final de la preparación física general, en cada uno de los escalones del test submaximo realizado en boxeadores, agrupados según categorías de peso. Es interesante señalar que los valores de reposo de la frecuencia cardíaca se incrementaron en las dos divisiones de mayor peso mientras que los pesados, incluso aumentaron su frecuencia cardíaca en el primer escalón, al final de la etapa, con respecto a la prueba inicial. En los restantes escalones, se aprecia un desplazamiento hacia abajo de las gráficas de diferencias de frecuencia cardíaca, en todas las categorías de peso, siendo mas notable este desplazamiento en las categorías ligeros y medianos, en todos los escalones del test de esfuerzo realizado.

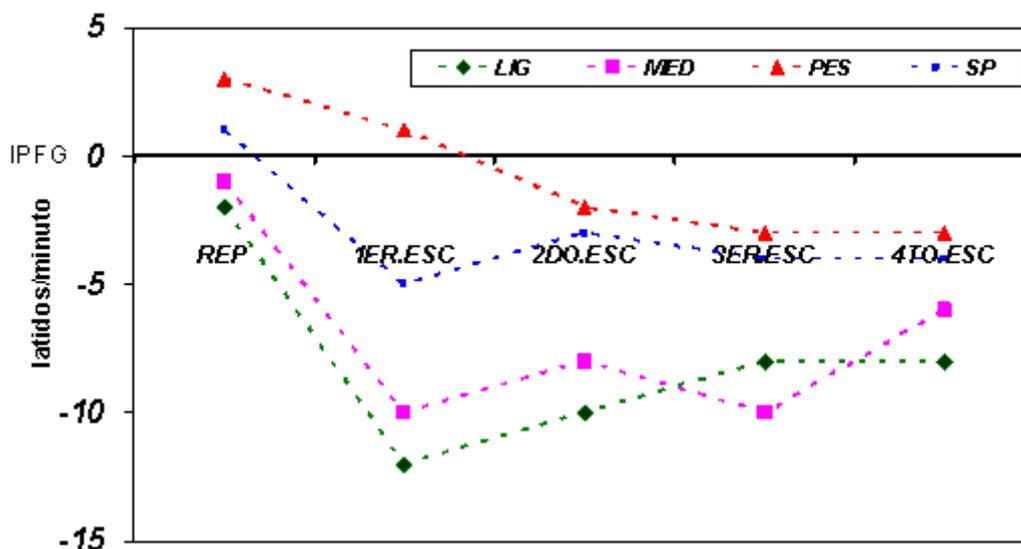
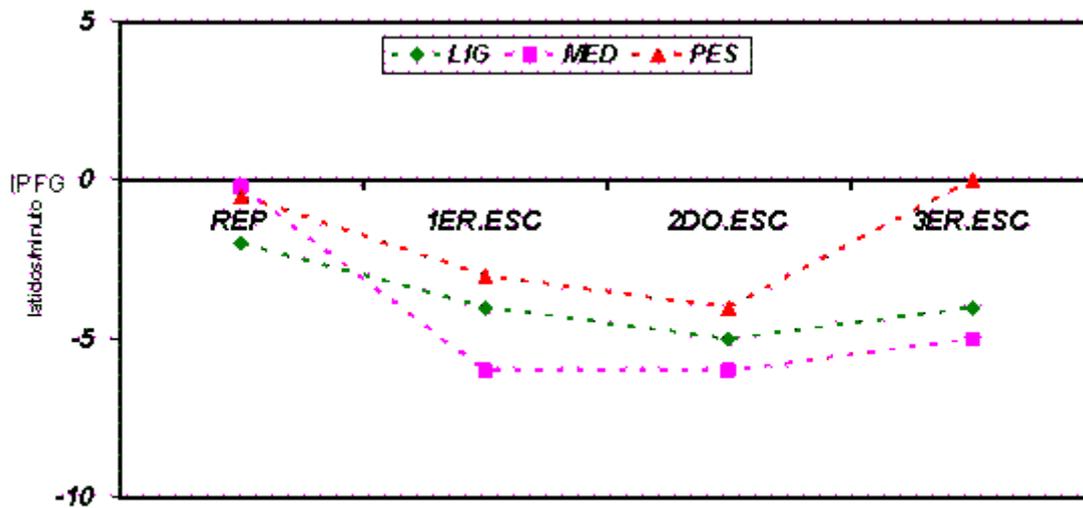


Figura 1. Diferencias de frecuencia cardíaca (lat/min) entre el inicio y final de la preparación física general en escalones del test de esfuerzo, según categorías de peso en BOXEADORES. Fuente: Base datos Boxeo 2000-2001

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos en el taekwondo, para las diferencias de frecuencia cardíaca halladas en los escalones de carga según categorías de peso. En estos deportistas también, se registran valores para la diferencia de frecuencia cardíaca determinada al final con respecto al inicio de la etapa que se desplaza en un sentido negativo para todas las categorías de peso, apreciándose igualmente que fueron los ligeros y medianos, los que mas baja frecuencia cardíaca mostraron en los escalones de carga al final de la preparación física general, mientras que los pesados mostraron una tendencia al empeoramiento hacia el final del test realizado, al final de la etapa



Fuente :Base datos TKW 2002-2003

Figura 2. Diferencias de frecuencia cardíaca (lat/min) entre el inicio y final de la preparación física general en escalones del test de esfuerzo, según categorías de peso en TAEKWONDOKAS.

En el grupo de los luchadores, (Figura 3) se observa una evidente mejoría de la frecuencia cardíaca en los dos primeros escalones, al final de la etapa y en relación al momento inicial, aún en el caso de los más pesados, aunque éstos últimos también durante el último escalón del test y en la segunda prueba realizada empeoraron la frecuencia cardíaca provocando diferencias muy pequeñas con relación a la frecuencia cardíaca determinada en igual escalón durante la prueba inicial. Igualmente las categorías ligeras y medianas, fueron los que presentaron la frecuencia cardíaca mas baja en cada uno de los escalones del test, durante el test realizado en el momento final de la etapa.

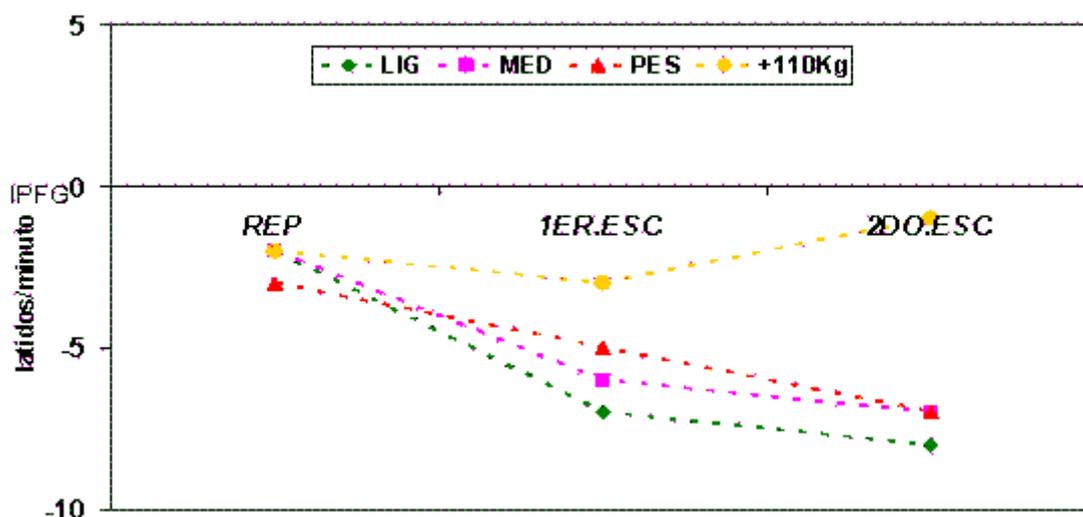


Figura 3. Diferencias de frecuencia cardíaca (lat/min) entre el inicio y final de la preparación física general en escalones del test de esfuerzo, según categorías de peso en LUCHADORES GRECORROMANA.

Integrando los resultados obtenidos en estos tres deportes, puede resumirse que las categorías ligeras y medianas, fueron las que mostraron las mayores disminuciones de la frecuencia cardíaca al final de la preparación física general, en relación

con los valores obtenidos al inicio de la etapa. Los sujetos de categorías más pesadas, mostraron en general, los peores resultados en este sentido.

La Figura 4 muestra el comportamiento de los valores absolutos del pulso de oxígeno en los dos momentos estudiados del macrociclo, donde se puede apreciar que las categorías más pesadas fueron las que tuvieron los valores más altos, tanto al inicio como al final de la preparación física general.

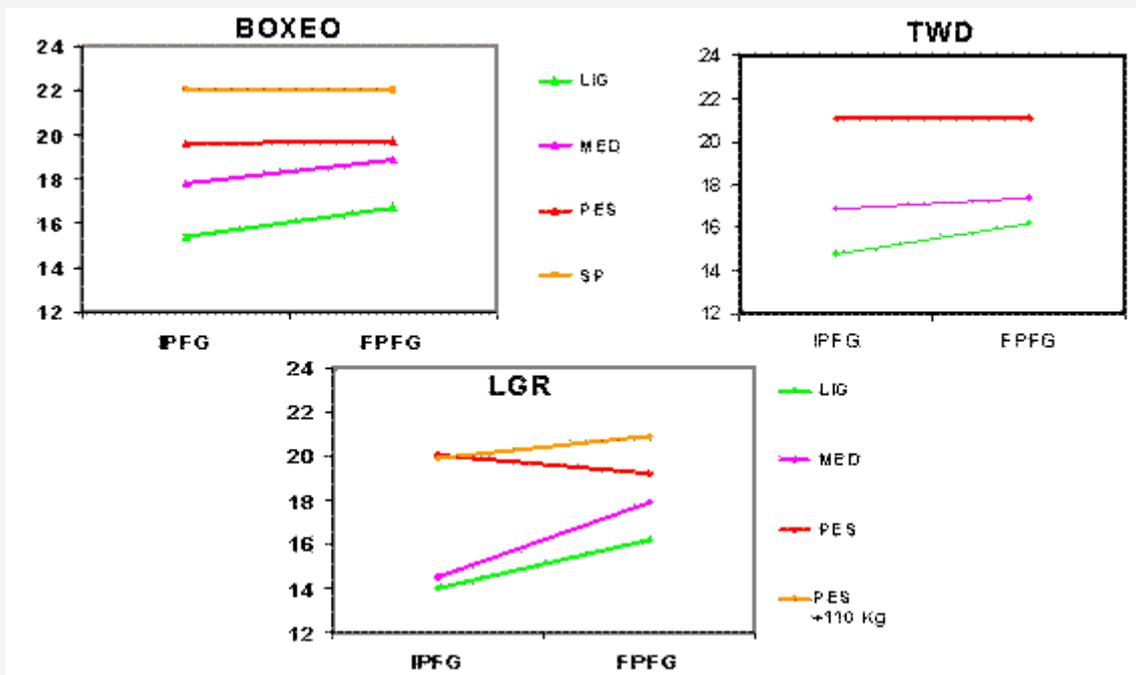


Figura 4. Pulso de oxígeno (ml/lit) según deportes y categorías de peso en los dos momentos del estudio.

En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos para el Índice de eficiencia aerobia, apreciándose que el comportamiento de este indicador resulta totalmente contrario al obtenido para el indicador Pulso de Oxígeno, siendo los sujetos de categorías ligeros y medianos los que mostraron los más altos valores.

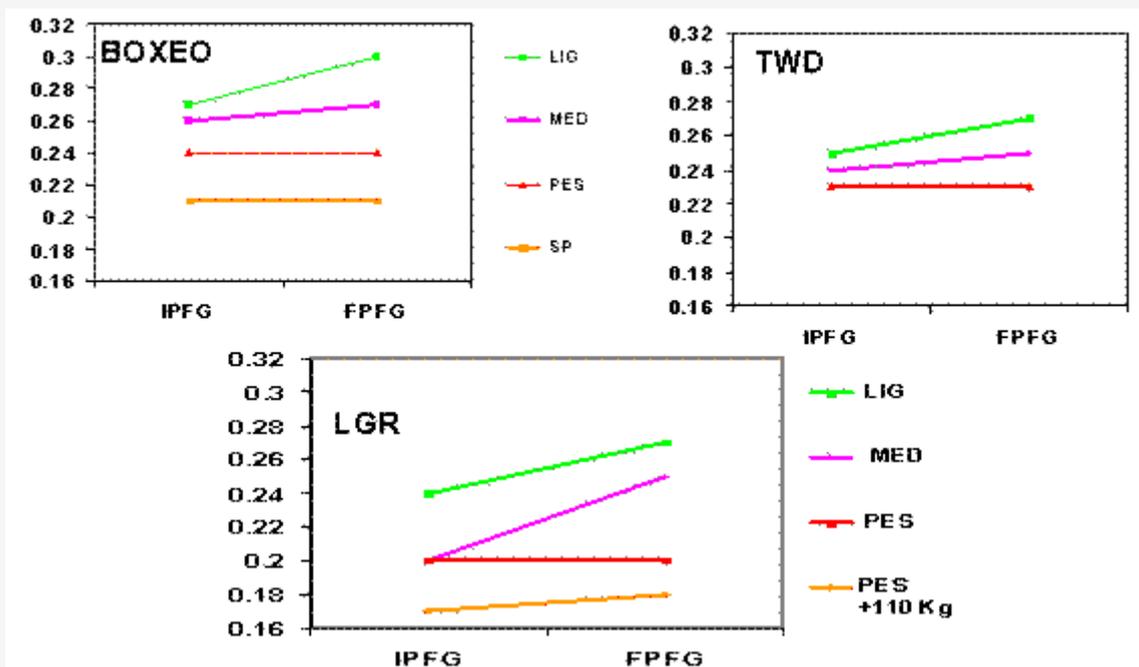


Figura 5. Índice de Eficiencia Aerobia (ml/l/kg) según deportes y categorías de peso en los dos momentos del estudio.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las correlaciones realizadas entre la variable "categorías de peso" de los deportistas y los indicadores funcionales determinados en ellos. Se observó una correlación negativa y débil entre la variable categorías de peso y la frecuencia cardiaca máxima; correlaciones aceptables y positivas entre las categorías de peso, el consumo máximo de oxígeno, y el pulso de oxígeno absoluto y correlaciones también aceptables, pero negativas entre el consumo de oxígeno relacionado al peso corporal y el Índice de eficiencia aerobia.



Tabla 5. Resultados de las correlaciones realizadas entre la variable "categorías de peso" y los indicadores funcionales determinados en el estudio ** $p \leq 0,01$, * $p \leq 0,05$.

Finalmente en la Tabla 6 se muestran las normas según los percentiles que se confeccionaron para evaluar el Índice de Eficiencia aerobia en los deportistas de combate estudiados.

Categorías de peso

Evaluación Ligeros medianos Pesados Superpesados (o pesados de más de 110 kg)

EVALUACIÓN \ CATEGORÍAS DE PESO	CATEGORÍAS DE PESO			
	LIGEROS	MEDIANOS	PESADOS	SUPER PESADOS (ó pesados de más de 110 Kg)
MB	> 0,300	> 0,273	> 0,235	> 0,211
B	0,300	0,273	0,235	0,211
R	0,277	0,258	0,232	0,205
M	0,265	0,246	0,214	0,201
MM	< 0,199	< 0,191	< 0,190	< 0,201

Tabla 6. Valores de los percentiles para evaluar el Índice de Eficiencia Aerobia. Valores de la tabla asociados a los criterios

DISCUSION

Las tendencias a mostrar frecuencias cardiacas mas bajas en cada uno de los escalones de carga al final de la preparación general, mostradas por los deportistas de las categorías ligeros y medianos, se han considerado como la expresión de una asimilación adecuada de las cargas de entrenamiento, (Arratibel, J., Keul, J. 1988; Crawford, M.H., 1992) lo que indica que esos sujetos tienen un mejor rendimiento funcional desde el punto de vista cardiovascular. Los resultados peores los mostraron los pertenecientes a las categorías mas pesadas, en los que la frecuencia cardiaca disminuyó en menor cuantía en los escalones de carga al final de la preparación general, lo que indica que tuvieron los peores resultados desde el punto de vista cardiovascular.

El pulso de oxígeno, definido como la cantidad de oxígeno que se consume durante un ciclo cardiaco completo, (Astrand, P.O. 1952; Astrand, P.O, Rodahl, K.1996; López,CH.J., Fernández, VA, 1998) ha sido tradicionalmente considerado como un buen indicador de la eficiencia cardiovascular de los sujetos Sin embargo, en esta investigación se pudo comprobar, que utilizando sus valores de forma absoluta, los resultados obtenidos no reflejaban con exactitud la eficiencia cardiovascular de las diferentes categorías de peso. Resultaba una contradicción, que fueran los sujetos más pesados los que mostraran los valores más altos del Pulso de Oxígeno, cuando en realidad fueron ellos los que mostraron el peor rendimiento cardiovascular durante el estudio realizado.

El efecto de eliminar la influencia que ejerce la masa corporal

en este indicador, dio mejores resultados para la evaluación funcional, ya que en estas condiciones, los sujetos ligeros y medianos fueron los que arrojaron los valores mas altos del indicador en los dos momentos estudiados y en comparación con las restantes categorías de peso, como muestra de una mayor eficiencia aerobia, o cardiovascular.

De acuerdo con estos resultados, se ha considerado, que si bien en muchos deportes el pulso de oxígeno es un indicador adecuado con estos fines, no resulta de igual valor en los deportes en los que se compite por categoría de peso y sobre todo para evaluar a los sujetos mas corpulentos, ya que puede dar una información errónea acerca de la eficiencia cardiovascular de los sujetos por dos razones fundamentales. En primer lugar, son los sujetos de categorías mas pesadas, posiblemente por tener una mayor corpulencia los que generalmente se desempeñan con menor dinamismo durante el trabajo y por tanto terminan con frecuencias cardiacas mas bajas. Tal vez el término esforzar no sea el mas adecuado, pero ciertamente la mayor corpulencia de los mas pesados limita su forma de desempeñarse, pues se muestran mas adinámicos y esto lo hemos podido observar tanto durante el combate como durante la prueba de esfuerzo.

Por otro lado, la situación se ve agravada más aún si se determina el consumo de oxígeno de forma indirecta y utilizando ecuaciones predictivas en las que el peso corporal influye directamente en el valor de este indicador.

Las correlaciones encontradas entre los diferentes indicadores funcionales y las categorías de peso corporal confirman estos planteamientos, ya que se encontraron correlaciones significativas, altas y en sentido negativo entre las categorías de peso de los sujetos y los indicadores funcionales que eliminan la influencia de la masa corporal, como lo son el consumo de oxígeno relativo a la Masa corporal (VO_2 Máx./Masa corporal) y el Índice de eficiencia aerobia, (IEA), no así, cuando estos mismos indicadores se determinaron de forma absoluta, (VO_2 Máx. y VO_2 Máx./FCmax.) lo que apunta hacia el hecho de que son los sujetos de categorías ligeros y medianos los que mejores resultados funcionales alcanzaron durante la etapa estudiada como impacto del entrenamiento realizado.

Conclusión

Los sujetos de las categorías ligeros y medianos, disminuyeron en mayor medida la frecuencia cardiaca en escalones de carga en el final de la preparación física general, demostrando una mejor adaptación cardiovascular a las cargas de entrenamiento durante la etapa estudiada, no existiendo una correspondencia adecuada entre los cambios mostrados por la frecuencia cardiaca y los resultados obtenidos para el Pulso de Oxígeno como indicador de la eficiencia cardiovascular de los deportistas. El Índice de Eficiencia aerobia resultó sin embargo, ser un indicador más relevante que el Pulso de Oxígeno para evaluar la eficiencia cardiovascular de los deportistas que compiten por categorías de peso, recomendándose en la práctica su utilización cuando se necesite determinar la eficiencia cardiovascular en deportistas que compiten por divisiones de peso.

Agradecimientos

A los deportistas y médicos de los equipos deportivos, por su cooperación durante las pruebas ergométricas realizadas. A las Dras. Evelina Almenares y Graciela Nicot por emitir sus criterios de expertas en relación al diseño de los protocolos para pruebas de esfuerzo y la cooperación dada durante el trabajo de laboratorio. A los Drs. Amaro Chelala, y Mercedes González, por su colaboración en la revisión y redacción de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Arratibel J., Keul J (1988). [La frecuencia cardiaca como valor para el diagnóstico del esfuerzo y la orientación del entrenamiento]. *Arch Med Dep; 5 (18): 147-50*
2. Astrand, P.O (1952). Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. *Ed. Muksgaard*
3. Astrand, P.O, Rodahl, K (1996). Fisiología del trabajo físico. Bases fisiológicas del ejercicio. *Ed. Medica Panamericana*
4. Crawford, M.H (1992). [Physiology consequences of systematic training]. *Cardiol Clin; 10(2):209-18*
5. Uvelino, M.P (2004). Diagnóstico del rendimiento aerobio- anaerobio en condiciones de laboratorio de luchadores cubanos del equipo nacional de Lucha Greco Romana. *Tesis de Especialista de 1er. Grado en Medicina del Deporte. Ciudad de la Habana. Instituto de Medicina del Deporte*
6. Wasserman K (1981). Prediction of oxygen uptake and CO₂ output for any given workload in watts. In. *Erich Jaeger eds. Ergoespirometry Seminar .Predicted values for exercise testing. Jaeger*
7. Zatsiorsky VM (1989). [Metrología deportiva]. Moscú: *Ed. Planeta*