PubliCE, (PubliCE) 2004

Monograph

Comparación de las Cargas de Entrenamiento y las Respuestas Fisiológicas en Atletas: Consideración de las Implicancias del Peso Corporal

Ramana Y Venkata[1], Kumaru M Surya[1] y N. Balakrishna[1]

[1]*Department of Physiology, National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research, Hyderabad, India.*

RESUMEN

Con el propósito de valorar la influencia del peso corporal sobre la carga de entrenamiento, y a su vez su relación con las respuestas fisiológicas, doce atletas varones de nivel nacional realizaron tres tipos de ergometrías (en cinta y en bicicleta ergométrica). La antropometría y las variables de la composición corporal fueron medidas en reposo, y las variables fisiológicas fueron medidas durante, y en la recuperación de test progresivos de ejercicio (GXT). La cuantificación de la carga de entrenamiento fue realizada por el patrón de distribución temporal (TAP), combinado con la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno. Los resultados indicaron que en comparación con el ejercicio en cicloergómetro, el ejercicio en cinta produjo una tasa de trabajo 1.3 veces mayor junto con un incremento en el consumo de oxígeno y en la frecuencia cardiaca, y una tasa más lenta de recuperación después del ejercicio. Además, también se observó que los sujetos con mayor peso corporal estaban recibiendo una mayor carga de trabajo sobre la cinta que los sujetos magros. Resultados similares se observaron en los programas de entrenamiento a través del TAP, donde los atletas con un menor peso corporal recibieron un 23 % menos de carga de entrenamiento, lo que resultó en una reducción de las intensidades fisiológicas y de trabajo, en comparación con los sujetos más pesados, a pesar de realizar el mismo protocolo de entrenamiento. De esta manera, este estudio claramente sugiere que la consideración del peso corporal en la formulación de un programa de entrenamiento es esencial para alcanzar un rendimiento deportivo óptimo.

Palabras Clave: ergometría, carrera, VO2, Tasa, Trabajo, máx

INTRODUCCION

Un test de ejercicio con múltiples etapas en cinta o cicloergómetro proporcionará una medida de la tasa de trabajo que un individuo es capaz de tolerar sin síntomas de fatiga y anormalidades en el ECG (1). La tasa de trabajo es dependiente del peso corporal del sujeto en la ergometría en cinta (TE) e independiente en las evaluaciones en bicicleta ergométrica (CE). La producción de energía por kilogramo y km/h es más variable durante una TE que a una carga de trabajo dada durante una CE, ya que esta cambia con la velocidad al caminar o al correr. La producción de energía en el cicloergómetro es

independiente del peso corporal. Por ello, la utilización tanto de la cinta como del cicloergómetro es esencial para estudiar la influencia del peso corporal sobre la producción de energía y el rendimiento (2). Cada tipo de trabajo constituye una situación única. Sin embargo, todas las formas de actividad muscular incrementan la tasa metabólica, por lo cual, es de interés el análisis del consumo de oxígeno, los sistemas transportadores y de otros cambios fisiológicos relacionados (3, 4). Es evidente que las variaciones en las demandas fisiológicas son causadas por las intensidades de trabajo. Como se sabe, en la mayoría de las situaciones de entrenamiento, los atletas de un mismo evento reciben programas de entrenamiento similares, especialmente en el contexto de la India. Esto lleva a la variación de la carga de entrenamiento recibida por los atletas, debido a que los atletas con mayores pesos corporales reciben una mayor carga de trabajo que los atletas con menores pesos corporales, ya que su peso corporal se suma a la carga de entrenamiento. Por ello, para una sesión dada de entrenamiento, la carga recibida por los atletas con menor peso corporal puede no ser suficiente para cubrir las demandas fisiológicas de la competición.

El propósito de este estudio fue valorar el rendimiento máximo de trabajo en atletas, con y sin la influencia del peso corporal, y las correspondientes variaciones fisiológicas, evaluándolos separadamente en cinta y en cicloergómetro. Dichos estudios ayudarían a entender hasta que punto el peso corporal causa una demanda adicional sobre el gasto energético y sobre otros mecanismos fisiológicos. Esto también indica la magnitud de la carga recibida por los atletas con diferentes pesos corporales. Esto ayudaría a los entrenadores a modificar la intensidad y la duración del entrenamiento para proporcionarle a cada atleta una carga óptima.

METODOS

Este estudio fue realizado sobre todos los corredores de larga distancia saludables de nivel nacional disponibles (n=12) en la Sports Authority of Andhra Pradesh que tenían una edad de entre 18 y 22 años. Las mediciones antropométricas tales como la talla con una apreciación de 0.1 cm (Anthropometric Rod, SECA, Germany), el peso con ropa mínima, apreciación 0.1 kg (SECA balance) y el BMI fueron registradas utilizando procedimientos estándar. La composición corporal fue valorada por medio de la medición del grosor de pliegues cutáneos tomados en cuatro sitios específicos, bíceps, tríceps, y regiones subescapular y suprailíaca, utilizando calibres Holtain (Holtain Co., Reino Unido) con una apreciasión de ±0.2 mm. La masa libre de grasa (FFM) y la masa grasa se derivaron por medio de la suma de los pliegues cutáneos utilizando las ecuaciones de Durnin y Womersley equiparadas para la edad y el sexo (1974) (5). La tasa metabólica basal (BMR), y el costo energético de las diferentes cargas de la ergometría (cinta y cicloergómetro) junto con las fases de recuperación se midieron por medio de calorimetría indirecta de circuito abierto utilizando el método de las bolsas de Douglas (6). La ventilación minuto (VE) fue medida a través de un medidor de gas seco (Morgan, Reino Unido), el oxígeno espirado (FEO_2) se analizó por medio de un analizador de oxígeno paramagnético (Taylor Servomex, model 720, Estados Unidos), mientras que el dióxido de carbono espirado fue analizado con un analizador infrarrojo (Beckman Medical Gas Analyzer LB-2 model, Estados Unidos). La frecuencia cardiaca (HR) se midió utilizando un monitor de frecuencia cardiaca telemétrico (PE-3000, Finland) durante actividades de campo.

Los protocolos de los test progresivos, continuos estándar de ejercicio (GXT) fueron realizados en cinta (Venky, India) y en cicloergómetro (Venky, India) con una separación de 10 días para evaluar el máximo rendimiento de trabajo. Durante la cicloergometría la carga se incremento en 50 wats hasta los 150 wats, y luego los incrementos fueron a razón de 25 wats por el resto del protocolos, en tanto que para la ergometría en cinta se utilizó el protocolo de Bruce con cada sujeto (7). En ambas evaluaciones el protocolo continúo hasta que el sujeto expresara su incapacidad para continuar o se alcanzara la máxima frecuencia cardiaca estimada, de acuerdo a lo que ocurriera antes. Durante la realización de los tests, los tres minutos de adaptación en cada carga fueron seguidos de un minuto de recolección de aire espirado para la medición de las variables fisiológicas tales como la ventilación minuto, el consumo de oxígeno, la producción de dióxido de carbono y el índice de intercambio respiratorio (RER). Durante la realización de los tests, la frecuencia cardiaca on-line se registró utilizando un monitor de frecuencia cardiaca PE-3000. Luego de la finalización de las evaluaciones, hubo una fase de recuperación de 20 minutos. El costo energético y la tasa de trabajo de las actividades de campo fueron estimadas tanto a partir de las mediciones reales (8, 9) utilizando el medidor KM (Max Planck Institute, Alemania), como a partir de los métodos de monitoreo de la frecuencia cardiaca utilizando el PE-3000. Las mediciones del costo energético y de la tasa de trabajo de las actividades de entrenamiento fueron derivadas por medio de rectas de regresión desarrolladas individualmente utilizando las relaciones entre la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno combinado con la frecuencia cardiaca y la tasa de trabajo (10, 11) utilizando un protocolo de ejercicio doble (DXT) (cintaergómetro para actividades ambulatorias y cicloergómetro para actividades no ambulatorias, Figura 1). Para evaluar la influencia del peso corporal sobre la carga de entrenamiento/intensidad de entrenamiento, los sujetos fueron divididos en tres grupos en base a su masa corporal de la siguiente forma: más de 60 kg (grupo 1), 55-59 kg (grupo 2) y 50-54 kg (grupo 3).

Análisis Estadísticos

Los datos fueron analizados utilizando el programa para análisis estadísticos SPSS versión 10.0. Los valores fueron expresados como medias ±DE. Para la comparación entre los dos tipos de ergometrías (cinta vs. cicloergómetro) se utilizó la prueba t para datos apareados señalando los niveles de significación.

RESULTADOS

Las medias de los perfiles antropométricos y de la composición corporal tales como la edad, la talla, el peso, BMI, BSA, WHR, la FFM, el % de grasa corporal y los valores de la hemoglobina se muestran en la Tabla 1. El nivel nutricional de estos atletas en base al BMI había revelado que estaban normalmente alimentados. La valoración de la composición corporal mostró que el porcentaje de grasa de estos atletas estuvo dentro del rango normal.

Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	BMI (kg/m^2)	BSA (m^2)	WHR	FFM (kg)	Grasa (%)	Hb (g/dL)
20.2±2.01	172.0±5.48	58.0±5.44	19.4±1.65	1.68±0.09	0.8±0.02	51.5±4.73	10.3±2.89	14.8±0.63

***Tabla 1**. Perfil antropométrico y composición corporal (n=12). Los valores son presentados como medias±DE.*

Kcal/min	MV_E (L/min)	HR (latidos/min)	RER	Kcal/día	Kcal/kg peso corporal	Kcal/kg FFM	Kcal/ m^2/hr
0.968±0.07	4.7±0.76	57±4.2	0.92±0.07	1393±101.0	23.9±1.96	27.1±1.59	34.1±1.95

***Tabla 2**. Tasa metabólica basal de los atletas (n=12). Los valores son presentados como medias±DE.*

Se halló que la tasa metabólica basal durante 24 horas (BMR) era de 1393±101.0 kcal; cuando se expresó en unidades de peso corporal y en unidades de FFM, los valores fueron 23.9±1.96 kcal y 27.1±1.59 kcal, respectivamente (Tabla 2).

Los atletas podrían recibir una carga de trabajo significativamente mayor ($p<0.001$) (1.3 veces) en la cinta que en el cicloergómetro (1977 vs. 1530 kpm/min). Esto pudo haberse debido al hecho de que al trabajo realizado sobre la cinta se le adicionó el propio peso corporal. La mayor tasa de trabajo máximo a su vez resultó en un consumo de oxígeno significativamente mayor (16.9 %), como también en un incremento del 8 % en la ventilación (67 vs. 62 l/min), un incremento del 6.8 % en la frecuencia cardiaca (188 vs. 176 latidos/min) y un pulso de oxigeno 13 % mayor. Cuando el consumo máximo de oxígeno se expresó en unidades de peso corporal y FFM, se hallaron valores significativamente más altos en la cinta que en el cicloergómetro (Tabla 3).

Es claramente evidente a partir de las pendientes (Figura 1) que existieron diferencias considerables entre los valores obtenidos para el consumo de oxígeno y para la tasa de trabajo cuando estas variables se graficaron en función de las correspondientes frecuencias cardiacas en la cinta y en el cicloergómetro, especialmente más allá de las intensidades submáximas. Por ello, se sugiere que la selección de un tipo particular de ergometría dependiendo del tipo de actividad (cinta para actividades ambulatorias y/o cicloergómetro para actividades no ambulatorias) es esencial en la derivación tanto el consumo de oxígeno como la intensidad de la tasa de trabajo para realizar estimaciones precisas.

Variable	TM	BE
VO_2 (mL/min)	3005.4 ± 453.1 ***	2570.8 ± 274.2
Kcal/min	15.5 ± 2.27 ***	12.9 ± 1.4
VE (L/min)	67.7** ± 13.07 **	62.7 ± 11.1
FC (latidos/min)	188 ± 13.3 **	176 ± 0.05
RER	1.02 ± 0.07 **	1.09 ± 0.05
Pulso de O_2 (mL/latido)	16.5 ± 2.5 ***	14.6 ± 1.7
Potencia (kpm/min)	1977 ± 194.2 ***	1530 ± 30.6
VO_2 (mL/kg/min)	53.8 ± 4.5 ***	44.5 ± 4.6
VO_2 (mL/kg FFM/min)	60.2 ± 5.6 ***	49.9 ± 4.4

Tabla 3. *Perfil fisiológico durante la realización de trabajo máximo (n=12). TE, cintaergómetro, CE, cicloergómetro. Los valores son presentados como medias±DE. *** p<0.001; ** p<0.01.*

Grupo	n	Peso Corporal (Kg)	Duración (min)	Carga de Trabajo (kpm/min)
1	4	63.9±4.18	95±10.01	931±19.98
2	4	57.8±1.21	95±4.04	831±47.57
3	4	51.8±1.69	95±3.79	722±89.31
Niveles de Significancia		***1,3 & 1,2 **2,3	NS	***1,2 & 1,3 **2,3

Tabla 4. *Cuantificación de la intensidad del entrenamiento (n=12). Los valores son presentados como medias ± DE *** p<0.001; ** p<0.01, NS=no significativo.*

Cuando los atletas fueron categorizados en tres grupos en base a su masa corporal, la cuantificación del programa de entrenamiento mostró una variación significativa en las cargas de entrenamiento en términos de carga recibida por los atletas durante protocolos de entrenamiento similares (Tabla 4).

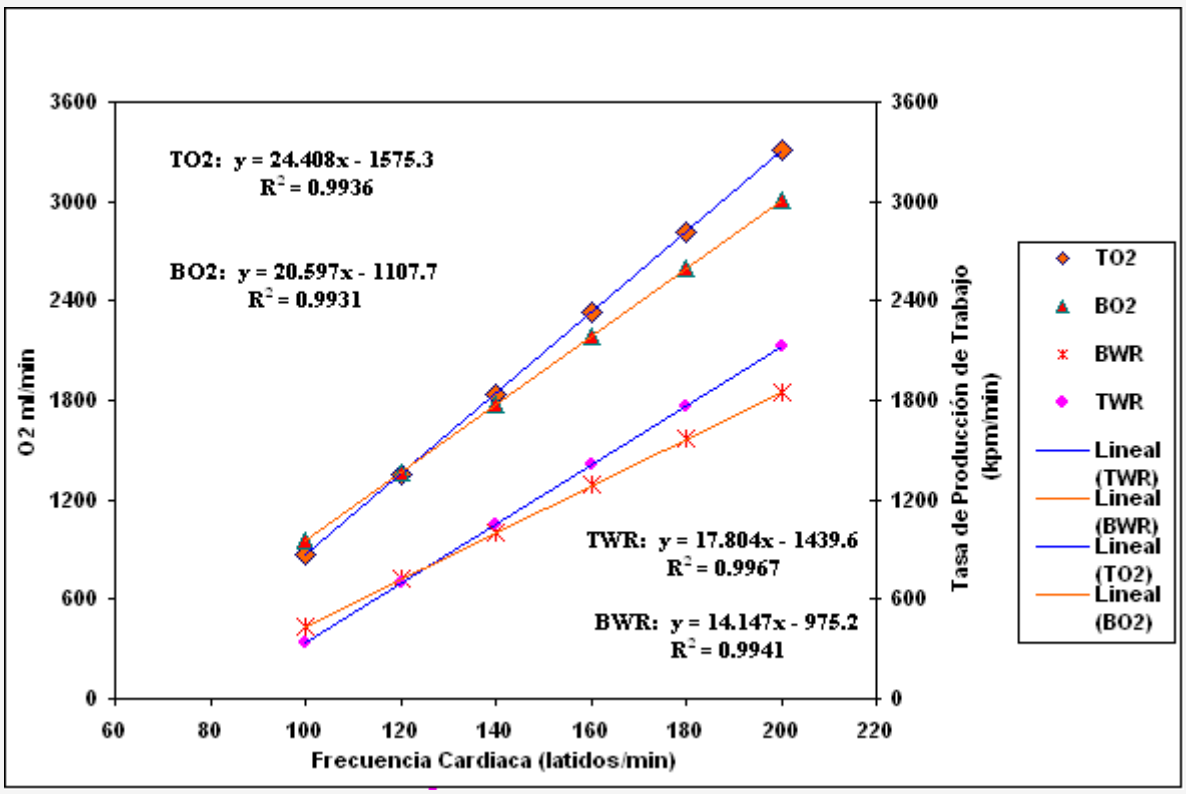


***Figura 1**. Relaciones entre el consumo de oxígeno (O_2), la frecuencia cardiaca (HR) y la tasa de producción de trabajo (WR) en cinta (T) y en cicloergómetro (B).*

DISCUSION

Generalmente se acepta que las variaciones en el consumo de oxígeno y en las variables fisiológicas durante diferentes formas de ejercicio, reflejan las diferencias en la masa corporal y en la masa muscular activada (12, 13, 14). Bobbort (15) y Kasch y cols. (16) llevaron a cabo experimentos en donde compararon a los mismos sujetos durante diferentes tipos de ejercicios, y hallaron que el consumo de oxígeno fue mayor durante los test en cinta y de subidas al banco, que en los test en cicloergómetro.

McArdle y cols. (17) compararon el VO_2 máx. en sujetos a los cuales se les administraron protocolos continuos y discontinuos en cicloergómetro y en cinta, y observaron que los valores del VO_2 máx. durante la cicloergometría eran de un 6.4 a 11.2 % menores que los valores en cinta. Los resultados del presente estudio mostraron un mayor consumo de oxígeno (16.9 %) y una mayor producción de potencia (1.3 veces) en la cinta que en el cicloergómetro, de modo que el peso corporal del sujeto influencia la tasa de trabajo. Esto coincidió con nuestras observaciones anteriores (18.19) y con las realizadas por Strandell (20).

La observación del patrón de distribución temporal durante el entrenamiento indicó que la mayoría de los atletas del mismo evento estaban recibiendo programas de trabajo similares independientemente de su peso corporal y que aquellas personas con un mayor rango de peso corporal (por encima de 60 kg) estaban recibiendo una mayor tasa de trabajo (23 %) que los individuos con un menor rango de peso corporal (50-55 kg) para un programa de trabajo dado. Por ello, la intensidad de entrenamiento recibida por los atletas con un menor peso corporal puede no ser suficiente para alcanzar las demandas fisiológicas de la competición.

De esta manera, la utilización de test de ejercicios dobles (DXT) definitivamente ayudaría a los entrenadores, investigadores y nutricionistas del deporte a identificar científicamente, la influencia del peso corporal sobre la carga de trabajo y a su vez las respuestas fisiológicas asociadas y las necesidades energéticas. De otra manera la carga recibida por los atletas con menores pesos corporales podría provocar menores respuestas del VO_2 máx., cardiovasculares y cardiorrespiratorias, lo que probablemente no conducirá a mejoras considerables en el rendimiento, aunque los atletas se entrenen de manera regular. Aparte de esto, los tests de ejercicio dobles también proporcionarían información con

respecto a la producción de energía de la carga de entrenamiento y formaría un importante punto de partida para la formulación de un programa nutricional razonable, especialmente para la reposición energética, ya que la dieta desempeña un rol principal en la adquisición del peso corporal, la composición corporal y del rendimiento óptimo deseado.

Conclusiones

Este estudio sugiere que el peso corporal influencia considerablemente la máxima tasa de trabajo, como se evidencia a partir de la estrecha correlación entre el peso corporal y la misma (la carga de trabajo provoca una mayor intensidad en los individuos con mayores pesos corporales que la que provocaría en los individuos con menores pesos corporales) cuando se les administra a los sujetos una intensidad de ejercicio dada. La carga de trabajo adicional causada por el mayor peso corporal, a su vez incrementa la demanda sobre los sistemas cardiovascular y respiratorio. Como resultado, el consumo de oxígeno, la ventilación minuto y el pulso de oxígeno se incrementan significativamente. Fue observado que los atletas estaban llevando a cabo programas de entrenamiento similares durante sus sesiones de práctica. De esta manera, se puede suponer en base a este estudio, que los atletas con menor peso corporal reciben menores cargas de trabajo/intensidades de entrenamiento, lo que resulta en una menor eficacia fisiológica y una menor eficiencia del trabajo. Por ello, en base a los resultados de este estudio, se puede concluir que la identificación de las variaciones en la magnitud de la carga recibida en base al peso corporal ayuda a los entrenadores y a los investigadores a formular programas de entrenamiento individualizados y a sugerir la cantidad energética adecuada para alcanzar el peso corporal deseado, la composición corporal deseada y mayores niveles rendimiento durante las competiciones.

Agradecimientos

Los autores expresan su sincera gratitud a todos los atletas que participaron en este estudio y a la Sports Authority of Andhra Pradesh, Hyderabad por su continua cooperación durante este estudio sin la cual el mismo no se habría completado exitosamente.

Dirección para el envío de correspondencia

Dr. Y. Venkata Ramana, Dept. of Physiology, National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research, Hyderabad – 500 007 (A.P.), India. Teléfono: 91-40-27008921 ext. 333; Fax.: 91-40-27019074; Correo electrónico: vryagnam@yahoo.com

REFERENCIAS

1. Blomqvist CG and Saltin B (1989). Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu Rev Physiol. 1983;45:169-189*
2. Astrand PO and Rodahl,K (1986). Text book of Work Physiology. *New York: McGraw Hill Publipublishers*
3. Astrand PO and Saltin B (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular exercise. *J Appl Physiol. 1961;16:977-998*
4. Holloszy JO, Oscai LB, Mole PA and Don IJ (1971). Biochemical adaptations to endurance exercise in skeletal muscle. *In: Muscle Metabolism During Exercise, edited by B. Pernow and B. Saltin. New York: Plenum;51-61*
5. Durnin JVGA and Womersley J (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skin fold thickness: measurement of 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr; 32:77-97*
6. Weir JB de V (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol; 109: 1-9.*
7. Bruce RA (1971). Exercise testing of patients with CAD principles and normal standard for evaluation. *nn Clin Res; 3: 323-332*
8. Satyanarayana K, Venkata Ramana Y, Someswara Rao M, Anuradha A and Narsing Rao BS (1988). Quantitative assessment of physical activity and energy expenditure pattern among rural working women In Update Growth Ed. *K.N.Agarwal and B.D.Bhatia, Banaras Hindu University, India; 197-205*
9. Venkata Ramana Y, Vindhya Ponnappa, Kapoor RN and Satyanarayana K (1997). Energy intake, energy expenditure and physical activity pattern of selected sports persons. *J Rehab Med Asia; 1: 36-45*
10. Wasserman K, Hansen JC, Sue DY and Whip BJ (1987). Text Book of Principles of Exercise Testing and Interpretation. *Philadelphia: Lea and Febiger*
11. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC and Christman NT (1988). Energy expenditure from minute by minute heart rate recording; comparison with indirect calorimetry. *Am J. Clin Nutr; 48: 552-559*
12. Lewis SF, Taylor WF, Bastian BC, Graham RM, Pettinger WA and Blomqvist CG (1983). Haemodynamic responses to static and dynamic grip before and after autonomic blockade. *Clin Sci; 64:593-9*
13. Pechar GS, McArdle WD, Katch FI, Magel JR and DELuca J (1974). Specificity of cardiorespiratory adaptation to bicycle and treadmill training. *J Appl Physiol; 36: 753-756*
14. Lewis SF, Taylor WF, Graham RM, Pettinger WA, Schutte JE and Blomqvist CG (1983). Cardiovascular response to exercise as functions of absolute and relative workload. *J Appl Physiol; 54: 1314-23*

15. Bobbort AC (1960). Physiological comparisons of three types of ergometry. *J Appl Physiol; 15(6): 1007-1014*
16. Kasch FW, Phillips WH, Ross WD, Carter JEL and Boyer JL (1966). A comparison of maximal oxygen uptake by treadmill and step test procedures. *J Appl Physiol; 21: 1387-1388*
17. McArdle WD, Katch FI and Pechar GS (1973). Comparison of continuous and discontinuous treadmill and cycle tests for max VO2. *Med Sci Sports; 5: 156-60*
18. Venkata Ramana Y, Someswara Rao M, Sudhakar Rao S and Satyanarayana K (1995). Energy cost of graded work loads and mechanical efficiency of sportsmen. *Indian J Med Res; 101: 120-124*
19. Satyanarayana K, Venkata Ramana Y and Someswara Rao M (1989). Nutrition and work performance, studies carried out in India. *Proc XIV Int Cong Nutr, Seoul, South Korea: 302-305*
20. Strandell T (1964). Heart rate, arterial lactate concentration and oxygen uptake during exercise in old men compared with young men. *Acta Physiol Scand; 60: 197-216*

Cita Original

Venkata Ramana Y., Surya Kumari Mvl, Sudhakar Rao S. And Balakrishna N. Comparison of Training Loads and Physiological Responses in Athletes: Consideration of Body Weight Implications. JEPonline, 7 (3): 134-139, 2004.