

Caracterización del rendimiento funcional aerobio anaerobio de deportistas cubanos de combate de alto rendimiento

Characterization of the aerobic anaerobic functional performance of Cuban high performance combat athletes

María Elena González Revuelta^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-7019-6414>

María Evelina Almenares Pujadas¹ <https://orcid.org/0000-0002-5224-2998>

Sofía León Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0002-9242-0074>

William Carvajal Veitía¹ <https://orcid.org/0000-0002-6228-8922>

Dumier Ofelia Reyes Vega¹ <https://orcid.org/0000-0002-7289-140X>

Sheila Echevarría Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0003-1391-8825>

Meyra López Ramos <https://orcid.org/0000-0003-1463-2909>

¹ Instituto de Medicina del Deporte. La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: mariaelena25350@gmail.com

RESUMEN

Esta investigación surge ante la necesidad de introducir una metodología alternativa en condiciones de laboratorio, que sirviera para caracterizar el rendimiento funcional aerobio anaerobio de deportistas cubanos de combate en condiciones limitadas de tecnología. El objetivo de la presente investigación fue diseñar protocolos para pruebas de esfuerzo en veloergómetro con una elevada especificidad, simulando la estructura de los “combates tipo” en diferentes especialidades de combate. Se efectuaron revisiones bibliográficas y documentales; se solicitó criterio de expertos a médicos, entrenadores y preparadores físicos de diferentes deportes de combate, para reunir elementos objetivos que ayudaran

a efectuar el diseño de los protocolos, y a la vez contribuyeran a determinar la validez de apariencia y contenido de la metodología propuesta. Se diseñaron protocolos ergométricos para las disciplinas de boxeo, taekwondo, luchas y judo. Se efectuó análisis de las pendientes de carga por escalones, y del índice carga/peso al final de la parte submaximal o "test básico" del protocolo de carga, según categorías de peso, comprobándose la posibilidad de ejecución de los "test básicos" por parte de los deportistas de las diferentes disciplinas de combate, al inicio de la preparación general de los macrociclos correspondientes a cada deporte, como elemento probatorio de su validez. Se diseñaron protocolos ergométricos con una elevada especificidad según deporte y categorías de peso como parte de la metodología indirecta, para llevar a cabo la caracterización del rendimiento funcional aerobio anaerobio de deportistas de combate, en el laboratorio de Pruebas de esfuerzo en ausencia del analizador de gases.

Palabras clave: pruebas de esfuerzo; deportes de combate; rendimiento funcional aerobio anaerobio.

ABSTRACT

This research arises from the need to introduce an alternative methodology in laboratory conditions, which would serve to characterize the aerobic anaerobic functional performance of Cuban combat athletes under limited technology conditions. The objective of this study was design protocols for veloergometer stress tests with high specificity, simulating the structure of "type combats" in different combat specialties. Bibliographic and documentary reviews were carried out; Expert judgment was requested from doctors, trainers and physical trainers of different combat sports, to gather objective elements that would help to design the protocols, and at the same time help to determine the validity of appearance and content of the proposed methodology. Ergometric protocols were designed for the disciplines of boxing, taekwondo, wrestling and judo. Analysis of the load slopes by steps, and the load/weight index at the end of the submaximal part or "basic test" of the load protocol, according to weight categories, was carried out, verifying the possibility of execution of the "basic tests" by part of the athletes of the different combat

disciplines, at the beginning of the general preparation of the macrocycles corresponding to each sport, as a probative element of its validity. Ergometric protocols with a high specificity according to sport and weight categories were designed as part of the indirect methodology, to carry out the characterization of the aerobic anaerobic functional performance of combat athletes, in the effort tests laboratory in the absence of the analyzer. of gases.

Keywords: stress tests; combat sports; aerobic anaerobic functional performance.

Recibido: 23/08/2024

Aprobado: 17/11/2024

Introducción

El consumo máximo de oxígeno es el indicador por excelencia de la Potencia aerobia Máxima, y constituye un atributo esencial para el desempeño deportivo ya que determina en gran medida la intensidad a la cual puede realizarse un ejercicio de moderada a alta intensidad durante un tiempo relativamente prolongado ^{1,2}.

Aunque resulta esencial su determinación en aquellos deportes de predominio aerobio, no deja de ser también de importancia en deportes con un predominio aerobio anaerobio alternado, como es el caso de los deportes de combate sobre todo cuando el objetivo pedagógico del entrenamiento está dirigido al desarrollo de la resistencia general de base ^{3,4,5}.

La potencia aerobia máxima puede ser evaluada a través de métodos directos e indirectos, de laboratorio y de terreno. Para la determinación directa se requiere la utilización de un

analizador de gases, equipo de un elevado costo en el mercado mundial, mientras que los métodos indirectos, aunque arrojan en su estimación un determinado error estándar con respecto a la determinación directa, pueden ser aceptados como una metodología alternativa para evaluar el diagnóstico funcional del rendimiento aerobio en ausencia del analizador de gases ^{6,7}.

El Laboratorio de Pruebas de esfuerzo del Instituto de Medicina del Deporte (IMD), no ha contado durante más de tres décadas, con esta tecnología por lo que el personal que ha estado trabajando en este laboratorio identificó la necesidad de diseñar métodos alternativos que permitieran, al menos, evaluar el rendimiento aerobio anaerobio de los deportistas asumiendo como aceptable para el diagnóstico un error de estimación por debajo de un 10% en relación a los resultados de referencia existentes en relación a la determinación directa.

Este artículo forma parte de una trilogía de ellos, que abordan en su totalidad el tema de la Caracterización del rendimiento funcional aerobio anaerobio de deportistas cubanos de combate de Alto Rendimiento. En este primer artículo se describe solamente la metodología que se diseñó para caracterizar el rendimiento funcional aerobio anaerobio de deportistas de combate en condiciones de laboratorio. En la parte II se abordarán las Adaptaciones cardiovasculares y metabólicas al entrenamiento de la resistencia de base en deportistas de combate de Alto Rendimiento mientras que en la parte III se tratarán los aspectos concernientes a la Caracterización de deportistas cubanos de combate de Alto Rendimiento durante un esfuerzo máximo, y se brindarán valores de referencia para evaluar el Máximo consumo de Oxígeno y la eficiencia cardiovascular de los deportistas de combate, como parte del control médico del entrenamiento.

El objetivo de este trabajo fue el de diseñar protocolos para prueba de esfuerzo con un elevado componente de especificidad simulando la estructura de los “combates tipo” en diferentes especialidades del grupo de deportes de combate. En el mismo se abordan los aspectos relacionados al diseño de los protocolos de pruebas de esfuerzo para los deportes de combate, así como la comprobación de la posibilidad de ejecución de los

protocolos por parte de los deportistas de las diferentes disciplinas de combate al inicio de la etapa de preparación general de un macrociclo.

Métodos

Para llevar a cabo esta investigación se emplearon métodos del nivel teórico: Revisiones bibliográficas y documentales; y del nivel empírico: Entrevistas a médicos especialistas en Medicina del Deporte, y a otros técnicos como entrenadores y preparadores físicos, para reunir elementos de la estructura de los combates tipo y del control médico en deportes de combate; y así contar con el criterio de expertos para determinar validez de apariencia y de contenido de la metodología.

Se decidió trabajar con un veloergómetro, para individualizar mejor la carga aplicada según las categorías de peso en las que fueron agrupados los deportistas, lo que a su vez contribuiría a una mejor caracterización funcional del rendimiento aerobio .

Para el diseño de los protocolos se realizó también el análisis de las pendientes de carga por escalones de los protocolos, según las especialidades de combate; así como el cálculo del índice carga/peso en el último escalón del test básico.

Tabla I.- Izquierda: Peso promedio según categorías de peso y deporte. Derecha: Indicadores funcionales asociados a la prueba de esfuerzo

	Boxeo	Taekw	Luchas	Judo	Desempeño	Esfuerzo (Pulsometría) (pulsómetro marca Polar)	Metabólicos	Aerobios y de eficiencia cardiovascular
Ligeros X Peso Kg	≤ 60 56	≤ 60 59,2	≤ 60 59	≤ 60 57,9	Numero total de escalones vencidos	Frecuencia cardiaca de reposo (l/min)	Concentración de lactato en el reposo (mmol/l)	Consumo máximo de oxígeno (MVO2) (l/min)
Medianos X Peso Kg	64 - 75 69	64 - 75 68,4	68 - 80 74,4	66 - 73 69,2	Potencia máxima (watts)	Frecuencia cardiaca al final de cada escalón de carga (l/min)	Concentración de lactato en pausas (mmol/l)	Consumo máximo de oxígeno relativo al peso corporal (MVO2 / Kg.), (ml / Kg. / min.)
Pesados X Peso Kg	81-94 86,5	81-99 89	84-100 93,8	81-100 92,7	Índice carga peso en el último escalón del protocolo básico (watts/Kg)	Frecuencia cardiaca al final de las pausas entre escalones (l/min) % de Rec de la FC en pausa	Concentración de lactato al 3er. y 5to. min. de la recuperación. (mmol/l)	Pulso de oxígeno (MVO2/ FCM), (ml/lat/Kg)
Superpesados boxeo y Pesados luchas y judo +110kg X Peso Kg	>100kg 107,5		+110 124	+110 117	Índice carga peso en el esfuerzo máximo (watts/Kg)	Frecuencia cardiaca al final del esfuerzo máximo (l/min)	El Umbral del metabolismo anaerobio, a nivel de los 4 mmol/l	
						% de Frecuencia cardiaca máxima alcanzada en relación a la frecuencia cardiaca máxima predicha según la edad		

En la Tabla I se refleja, a la izquierda, la forma en que fueron establecidas las categorías de peso, así como los valores de peso promedio en cada categoría según las especialidades deportivas. A la derecha, se muestran los indicadores funcionales asociados a las pruebas de esfuerzo.

Resultados y Discusión

La Figura 1 resume las características ergométricas de los protocolos y esquemas de carga según deportes. Se puede apreciar como la secuencia temporal en el número y duración de escalones de carga y pausas, resulta similar a la secuencia de acciones (asaltos y pausas) que se producen durante los “combates tipo “de las diferentes disciplinas incluidas en el estudio.

Como puede apreciarse en la Figura 1, en el lado superior derecho de cada uno de los cuadrantes que componen la figura, se muestra el esquema de carga correspondiente al “Test básico”, según la especialidad de combate. En los correspondientes esquemas

ergométricos se muestra también el incremento de cargas que se debe aplicar una vez concluido el test básico hasta alcanzar el agotamiento

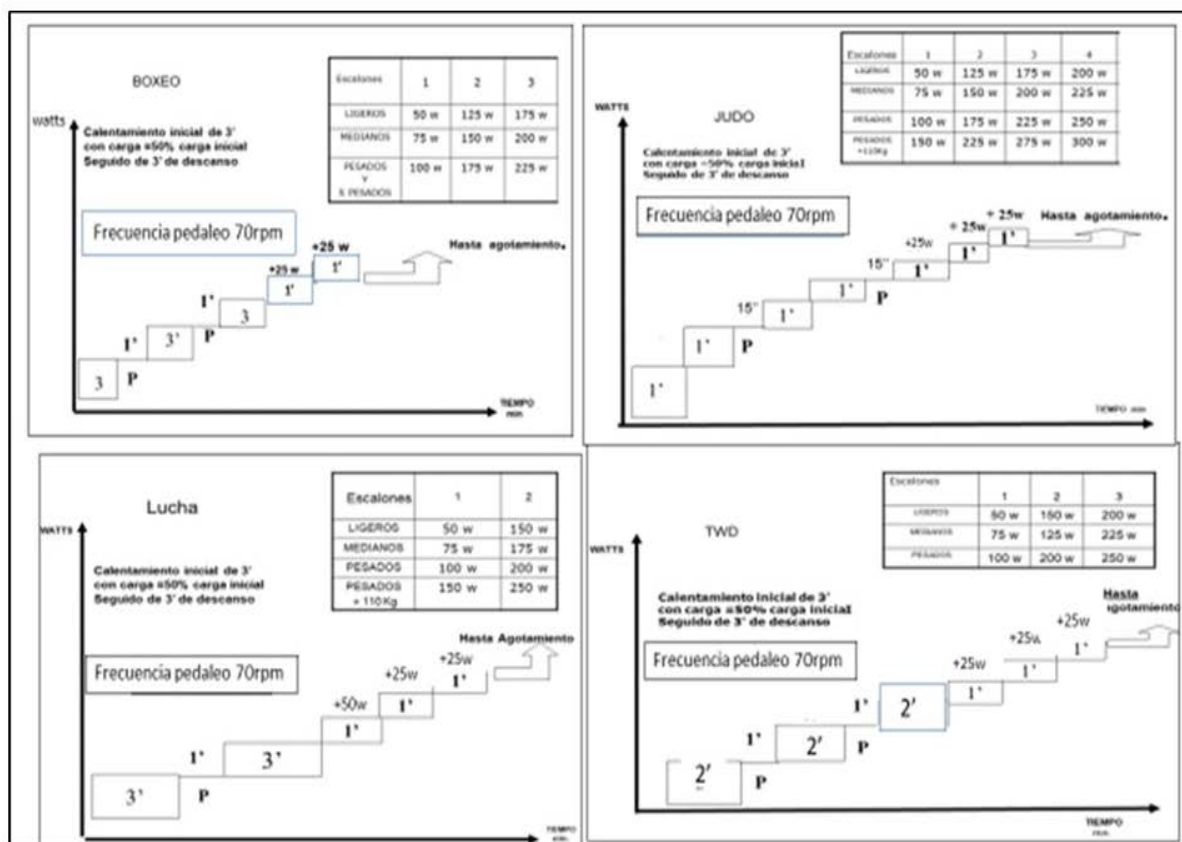


Fig. 1.- Características generales de los protocolos ergométricos en correspondencia con la estructura de los "combates tipo" según deportes.

En la Figura 2 se muestran las pendientes de carga por escalones del test básico y el primer escalón adicional de los test diseñados según las categorías de peso y especialidades de combate.

Como puede observarse se lograron pendientes de carga por escalones con una homogeneidad adecuada entre los diferentes deportes. Puede apreciarse también como, a partir de la estructura ergométrica de los protocolos según deportes, quedaron constituidos como protocolos de cargas incrementales, pero decrecientes en escalones sucesivos de carga.

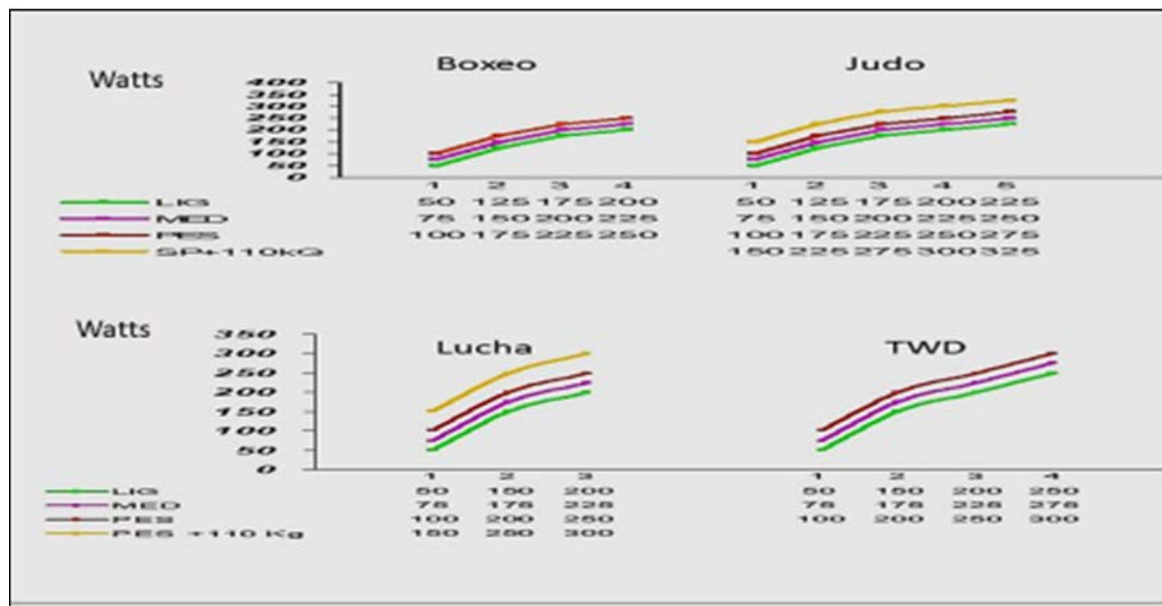


Fig. 2.- Pendientes de carga en los escalones del test básico y el primer escalón adicional de la prueba de esfuerzo, por categorías de peso y especialidades deportivas.

La Figura 3 muestra el valor promedio del Índice carga/ peso en el último escalón del “test básico” según categorías de peso y especialidades de combate.

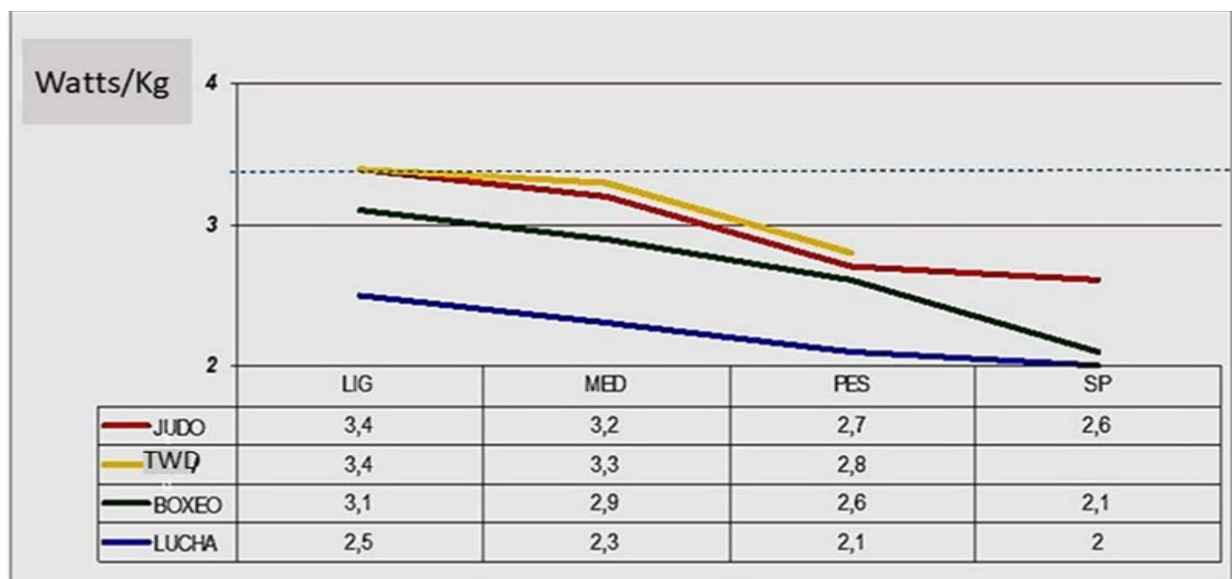


Fig. 3.- Valores promedio del Índice Carga/peso según especialidades de combate y categorías de peso al final del “test básico” de los protocolos ergométricos diseñados.

En la Figura 4 se muestra la cantidad de sujetos (%) que lograron cumplimentar los escalones del test básico, así como escalones adicionales, al inicio de la etapa de preparación general.

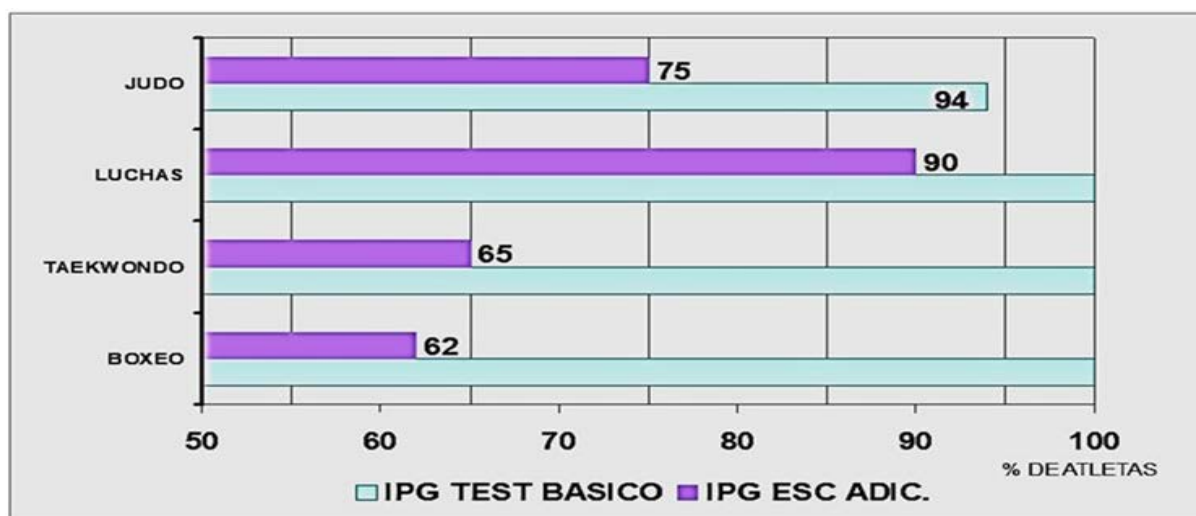


Fig. 4.- Porcentaje de sujetos que cumplimentaron el test básico y un número de escalones adicionales al IPG.

Se observa que el 100% de los atletas de todas las disciplinas, excepto del judo, cumplimentaron todos los escalones del test básico. Igualmente se observa que un elevado porcentaje de atletas de todas las especialidades también lograron cumplimentar escalones adicionales de los test diseñados.

Ante la diversidad de criterios existentes en la literatura en lo concerniente al diseño de protocolos para pruebas de esfuerzo, y al considerar que muchos de éstos no satisfacían los requerimientos de especificidad según deportes para poderlos aplicar en los deportistas de alto rendimiento de los deportes de combates, en el Laboratorio de Pruebas de Esfuerzo del Instituto de Medicina del Deporte se decidió asumir algunos criterios propios del laboratorio, para llevar a cabo esta tarea, sin dejar de tener en cuenta los criterios metodológicos generales señalados en la literatura para que las pruebas cumplieran con su objetivo ^{8,9,10}.

El primer criterio asumido fue el de aplicar un esquema de cargas en dependencia de las categorías de peso y que, además, fuera factible de ser ejecutado por los sujetos. Este criterio se asumió con la finalidad de que las cargas físicas aplicadas constituyeran un esfuerzo físico relativo al peso lo más homogéneo posible entre las diferentes categorías

y así tratar de minimizar la variabilidad de las respuestas que pudieran haberse producido, si se hubieran aplicado cargas físicas absolutas e iguales a sujetos con pesos corporales y masas musculares diferentes, lo que hubiera complejizado la comparación de las respuestas funcionales entre los deportistas.

El segundo criterio asumido fue concebir en la estructura ergométrica de los protocolos diseñados, una parte inicial con cargas submáximas, denominada “Test básico”, en la que se simula la estructura de asaltos y pausas de los “combates tipo”, y debían ser cumplimentadas por todos los deportistas, para poder continuar con la prueba hasta llegar al máximo esfuerzo.

La estructura ergométrica que se describe a continuación y que se mostró en la Figura 1 se corresponde con el régimen de combate establecido por los reglamentos correspondientes según deportes en el momento de llevar a cabo esta investigación.

de acuerdo con estos criterios los protocolos del test básico quedaron conformados de la siguiente forma:

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

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

Lucha: dos escalones de tres minutos de duración cada uno, con un minuto de pausas entre escalones.

Judo: cuatro escalones de un minuto de duración cada uno, con dos pausas de 15 segundos, la primera entre el segundo y tercer escalón y la segunda entre el cuarto escalón y el primer escalón adicional, pues aun cuando en el judo masculino se combate cuatro minutos continuos, es muy frecuente que esta continuidad sea interrumpida por la solicitud de “tiempos” por parte de los deportistas para ajustes del judogi, así como para recuperarse, por lo que en este trabajo, esta característica también fue tomada en cuenta. El tercer criterio para comprobar que las cargas preestablecidas en el Test básico resultaban submáximas para los atletas, fue establecer que el valor del índice carga/peso

en el último escalón del “test básico” se encontrara por debajo de 4 vatios/kg valor considerado como límite de exigencia para un test esfuerzo en sujetos entrenados¹¹.

En todos los protocolos de esfuerzo diseñados, el valor de este índice quedó en un rango entre 2 y 3,5 vatios/kg; es decir, por debajo del valor establecido para un esfuerzo máximo en sujetos entrenados.

El objetivo que se perseguía con este diseño era el de poder evidenciar durante el test básico, las adaptaciones funcionales provocadas por el entrenamiento que se lleva a cabo en la etapa de preparación general de un macrociclo, mientras que la continuación de este protocolo hasta el agotamiento del atleta, perseguía evidenciar una respuesta fisiológica lo más parecida posible al esfuerzo máximo que se realiza durante un combate, lo que permitiría caracterizar el máximo rendimiento funcional aerobio anaerobio de los deportistas.

El cuarto criterio fue que el tiempo de duración de la prueba submáxima no sobrepasara los 12 minutos, tal como se recomienda en este tipo de pruebas ^{9,10} para evitar que el cansancio de las piernas acelere la fatiga e impida llegar al esfuerzo máximo. En todos los casos la duración total de los test básicos estuvo por debajo 11 minutos, que fue la duración obtenida para el test básico del boxeo.

El quinto criterio asumido tomó como base algunos antecedentes referidos en trabajos previos, realizados en deportes de combate en el Instituto de Medicina del Deporte y en los que se reflejó como una característica universal de los “combates tipos” la disminución de la intensidad relativa de los combates a medida que progresaba éste, como consecuencia del cansancio producido por las acciones¹². De acuerdo con esto, los protocolos se idearon como protocolos de cargas incrementales, pero decrecientes en escalones sucesivos de carga, como elemento que sirviera para remedar la característica referida.

Como se observó en la Figura 2 la adecuada proporcionalidad de los incrementos de carga por escalones, en cada categoría de peso, a medida que avanza el protocolo de esfuerzo quedó resuelto para este criterio.

Como último criterio se determinó que a partir de la carga del último escalón submaximal, y en dependencia la carga establecida en el último escalón del protocolo básico, la carga se continuara incrementando en 50 vatios (en el primer escalón adicional del judo) y 25 vatios en las restantes disciplinas y a partir de estos valores continuar incrementando 25 vatios cada minuto para así llegar al agotamiento máximo de forma progresiva, pero lo más rápido y homogéneamente posible.

Para el diseño de esta investigación se valoró que, en los casos de la lucha y el judo, aunque oficialmente no existía la categoría de superpesados, por el hecho de contar en estos deportes con sujetos dentro de la categoría de pesados, con pesos muy por encima del valor promedio del resto de los integrantes de la categoría (124 kg. vs. 93,8 kg. promedio) en la lucha, y (117 kg vs. 92.7 kg promedio en el judo), se tomó la decisión de separarlos como una subcategoría aparte del resto de los sujetos pesados, y fue así que se conformó en estas especialidades, la categoría de Pesados de más de 110 kg. (Tabla I), aplicando en ellos un esquema de cargas tal y como se reflejó en la Figura 2, tratando con esto que el test submaximal terminara con un Índice carga peso, lo más cercano posible al valor prefijado.

No obstante haber tenido esta consideración, debido a los altos valores de peso corporal promedio de los luchadores en todas las categorías, especialmente en medianos, pesados y pesados de más de 110 kg, así como por ser el protocolo con el menor número de escalones y por tanto alcanzar un menor valor de carga para el último escalón del protocolo básico, el Índice carga/peso al final del Test básico, fue el más bajo de todos los grupos estudiados, como pudo apreciarse en la Figura 3, en la que se refleja el valor de este índice al final del test submáximo según categorías de peso y deportes.

El alto peso corporal de los boxeadores superpesados también influyó notablemente en el valor del Índice carga/peso al final del test submaximal realizado, alcanzando conjuntamente con la lucha, los valores más bajos del índice carga/peso al finalizar esta primera parte de la prueba de esfuerzo. Ya en investigaciones previas algunos autores han demostrado que posee el impacto negativo del peso en el VO₂ relativo ^{13,14}.

No obstante, se consideró que la limitación que los elevados valores de peso corporal promedio impusieron al diseño, no constituía un impedimento para poder llevar a cabo el diagnóstico del rendimiento en estos deportistas, lo que sería resuelto en alguna medida aumentando la frecuencia de pedaleo durante la prueba (80-90 revoluciones/min); con ello se produciría un mayor esfuerzo biológico en estos sujetos ¹¹.

Finalmente, el porcentaje elevado de deportistas en todas las disciplinas deportivas incluidas en el estudio, que logró vencer el test básico, constituye una evidencia de las posibilidades de ejecución de estos protocolos y por lo tanto demuestra la utilidad de la metodología para alcanzar los objetivos para los que fue diseñada.

Conclusiones

Se puede concluir que se cumplieron en su mayoría los criterios preestablecidos para el diseño de los protocolos básicos, siendo el valor del índice carga/peso en el último escalón del test submaximal, el criterio más difícil de satisfacer, debido a los diferentes valores de peso promedio presentados por los deportistas en cada una de las categorías, así como al número diferente de escalones concebidos para los protocolos en correspondencia con las diferentes especialidades de combate. El alto porcentaje de sujetos capaces de cumplimentar la prueba de esfuerzo constituyó un elemento probatorio de la utilidad de la metodología para lograr los objetivos para los que fue diseñada.

Referencias bibliográficas

1. Wen D, Utesch T, Wu J, Robertson S, Liu J, Hu G, Chen H. Effects of different protocols of high intensity interval training for VO₂max improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials. J Sci Med Sport. 2019;22(8):941–7. doi:10.1016/j.jsams.2019.01.013
2. Spyrou K, Freitas TT, Marín-Cascales E, Alcaraz P. Physical and physiological match-play demands and player characteristics in futsal: A systematic review. Front Psychol. 2020;11:569897. doi:10.3389/fpsyg.2020.569897

3. Vidal L, Díaz-Lara FJ, Andrade A, Magnani-Branco BH. Physical and physiological profiles of Brazilian Jiu-Jitsu athletes: a systematic review. *Sports Med Open*. 2017;3(1):9. doi:10.1186/s4098-016-0069-5
4. Plush MG, Guppy SN, Nosaka K, Barley OR. Developing a comprehensive testing battery for mixed martial arts. *Int J Exerc Sci*. 2021;14(4):941–61.
5. Gonçalves, A.F., Miarka, B., Maurício, C.dA., Teixeira, R.P. A, Brito, C.J., Valenzuela-Pérez, I.D, Slimani,M., Znazen, H., Bragazzi, N.L., Reis, V.M. (2024), Enhancing performance: unveiling the physiological impact of submaximal and supramaximal tests on mixed martial arts athletes in the -61 kg and -66 kg weight divisions. *Frontier in Physiology*. 14:1257639. [https:// doi: 10.3389/fphys.2023.1257639](https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1257639).
6. Bouzas-Rico S, De Dios-Álvarez V, Suarez-Iglesias D, Ayán-Pérez C. Field-based test for assessing fitness in referees: A systematic review. *Res Sports Med*. 2022;30(4):439–5doi:10.1080/15438627.2021.1895787
7. Cuenca-García M, Marín-Jiménez N, Pérez-Bey A, Sánchez-Oliva D, Camiletti-Moirón D, Álvarez-Gallardo IC, et al. Reliability of field-based fitness tests in adults: A systematic review. *Sports Med*. 2022;52(8):1961–79. doi:10.1007/s40279-021-01635-2
8. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ. The physiological basis of laboratory-based cycling performance testing. *Sports Med*. 2012;42(3):249–62.
9. MacDougall JD & Howard AW. (2012) The purpose of physiological testing. In: MacDougall JD, Howard AW, Howard JG. (Eds). *Physiological testing of the high-performance athletes* (p.1-5). Canadian Association of Sports Sciences Human Kinetics.
10. American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (11th ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
11. Kennedy MD, Lampe WN. Applied ergonomics of cycling performance. In: Hong Y, editor. *Routledge handbook of ergonomics in sport and exercise*. London: Taylor & Francis Group; 2014. p. 115–27.

12. González-Revuelta ME. Pruebas funcionales respiratorias en reposo y durante el esfuerzo físico. La Habana: Editorial Deportes; 2018.
13. Lee J, Zhang X. Is there really a proportional relationship between VO₂max and body weight? A review article. PLoS One. 2021;16(12):e0261519. doi:10.1371/journal.pone.0261519
14. Vivek, P., Arifuddin, M.K., Nagalakshmi, P., Basavaraju, D. (2021). Effect of Body Mass Index on Peak Oxygen Consumption (VO₂max) in Young Healthy Males. Scholars International Journal of Anatomy and Physiology, 4(6): 86-89. <https://10.36348/sijap.2021.v04i06.005>

Declaración de Autoría

María Elena González Revuelta: Aporto la idea al diseño del estudio y al análisis e interpretación de los resultados; participó en la búsqueda bibliográfica. Realizó la redacción final del artículo. Aprobó la versión final del manuscrito para su publicación.

María Evelina Almenares Pujadas y Sofía León Pérez: Aportaron ideas para el diseño del estudio y el análisis de los resultados.

William Carvajal Veitía: Participó en la revisión final del artículo. participó en la búsqueda bibliográfica. Aprobó la versión final del manuscrito para su publicación.

Los restantes autores ; Aprobaron la versión final del manuscrito para su publicación.

Conflicto de Interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.