



Caracterización cuantitativa y semicuantitativa de la actividad eléctrica cerebral de boxeadores de alto rendimiento

Quantitative and semiquantitative characterization of brain electrical activity in high-performance boxers

Marta Brown Martínez^{1*}, Rafael Lerena Nápoles¹, Diosdado Mojena Lachay¹,
Bárbara Aymeé Hernández Hernández², Raúl Mendoza Quiñones², Magaly Fuentes Parra¹,
Trinidad Virués Alba²

¹ Instituto de Medicina Deportiva. La Habana, Cuba.

² Centro de Neurociencias de Cuba. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: brownmarta70@gmail.com

Cómo citar este artículo

Brown Martínez M, Lerena Nápoles R, Mojena Lachay D, Hernández Hernández BA, Mendoza Quiñones R, Fuentes Parra M, Virués Alba T: Caracterización cuantitativa y semicuantitativa de la actividad eléctrica cerebral de boxeadores de alto rendimiento. Rev haban cienc méd [Internet]. 2026 [citado]; 25. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/6253>

Recibido: 11 de diciembre de 2025

Aprobado: 03 de abril de 2026

RESUMEN

Introducción: La caracterización semicuantitativa del análisis visual del electroencefalograma (EEG) de reposo, y sus parámetros cuantitativos, pueden aportar información en el seguimiento evolutivo funcional de atletas de boxeo.

Objetivo: Caracterizar de manera semicuantitativa y cuantitativa la actividad electroencefalográfica en boxeadores de alto rendimiento e identificar diferencias de los indicadores del EEG entre boxeadores y sujetos no atletas.

Material y Métodos: Se obtuvieron registros convencionales de EEG en 33 boxeadores y 37 sujetos sanos no entrenados, los cuales fueron evaluados mediante una escala semicuantitativa y el análisis cuantitativo del EEG. Se compararon los indicadores del EEG entre boxeadores con y sin alteraciones electroencefalográficas y sujetos no entrenados.

Resultados: Los boxeadores presentaron mayor frecuencia de modificaciones patológicas y de alteraciones en la organización del EEG. En boxeadores con EEG anormal se observó disminución de la frecuencia pico del espectro, aumento del poder theta y alfa lento en regiones anteriores y medias, y disminución del poder alfa rápido y beta en regiones posteriores. En boxeadores con EEG normal se observó disminución del poder theta fronto-temporal izquierdo y aumento del poder beta centro-parietal bilateral.

Conclusiones: Se evidenció la existencia de modificaciones de naturaleza patológica y adaptativa en el EEG cuantitativo de boxeadores de alto rendimiento. Además, se obtuvieron indicadores cuantificables del EEG de reposo, que caracterizaron individualmente a los atletas. Estos datos constituyen un punto de referencia para una evaluación sistemática personalizada de la función cerebral, lo cual permite establecer una metodología que mejora la calidad de la atención médica a estos atletas.

ABSTRACT

Introduction: The semi-quantitative characterization of resting electroencephalogram (EEG) visual analysis, and its quantitative parameters, can provide information for monitoring the functional evolution of boxing athletes.

Objective: To perform a semi-quantitative and quantitative characterization of the electroencephalographic activity of high-performance boxers, as well as to identify differences in EEG indicators between boxers and non-athletes.

Material and Methods: Conventional EEG recordings were obtained from 33 boxers and 37 healthy, untrained subjects, which were evaluated using a semi-quantitative scale and quantitative EEG analysis. EEG indicators were compared between boxers with and without electroencephalographic alterations and untrained subjects.

Results: Boxers showed a higher frequency of pathological changes and modifications in EEG organization. In boxers with abnormal EEG, a decrease in peak spectrum frequency, increased theta and slow alpha power in anterior and central regions, and decreased fast alpha and beta power in posterior regions, were observed. In boxers with normal EEG, a decrease in left frontotemporal theta power and an increase in bilateral centroparietal beta power were observed.

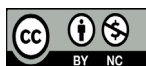
Conclusions: The existence of pathological and adaptive modifications in the quantitative EEG of high-performance boxers was evidenced. Furthermore, quantifiable resting EEG indicators were obtained, which individually characterized the athletes. These data constitute a reference point for a personalized, systematic evaluation of brain function, allowing for the establishment of a methodology that can improve the quality of medical care for these athletes.

Palabras Claves:

Electroencefalograma, ondas cerebrales, neurociencias, boxeo, conmoción encefálica.

Keywords:

Electroencephalography, brain waves, neurosciences, boxing, brain concussion.



INTRODUCCIÓN

Los atletas de boxeo están expuestos durante su vida deportiva a impactos repetitivos en la cabeza y pueden sufrir traumas craneales de diversa intensidad, siendo la conmoción cerebral la más frecuente. Se ha demostrado que la exposición a estos traumas de manera reiterada puede traer consecuencias negativas en la salud de estos atletas, a corto y largo plazos. Estos atletas pueden presentar problemas de salud mental, fundamentalmente depresión, ansiedad, irritabilidad, e impulsividad; problemas cognitivos con disminución de capacidades de memoria y atención, control ejecutivo; así como diversas enfermedades neurológicas, especialmente, enfermedades neurodegenerativas, entre las que destaca la Encefalopatía Traumática Crónica.^(1,2)

Ante esta situación, resulta conveniente realizar evaluaciones sistemáticas que permitan detectar de manera precoz alteraciones estructurales y/o funcionales cerebrales y facilitar así la aplicación de intervenciones terapéuticas oportunas. Varios métodos novedosos, bioquímicos y de neuroimagen, han demostrado su utilidad en este contexto, pero su costo y accesibilidad limitan su uso amplio.⁽³⁾ El electroencefalograma (EEG) puede ser un método alternativo valioso y accesible, ya que constituye una herramienta diagnóstica no invasiva, con una alta resolución temporal, que posibilita el monitoreo de la función cerebral en estos atletas.⁽⁴⁾

Los métodos de análisis del EEG incluyen su inspección visual, realizado habitualmente en el contexto clínico y el análisis cuantitativo del EEG. Ambos enfoques pueden ser utilizados en este contexto, aunque varios estudios destacan el potencial del EEG cuantitativo como herramienta de evaluación en atletas con traumas craneales y/o con síntomas persistentes, posteriores a una conmoción cerebral.^(4,5,6)

No obstante, para poder emplear este método con mayor precisión en la evaluación funcional de atletas expuestos a traumas, es importante disponer de valores de referencia individuales, derivados tanto del análisis visual del EEG, como de su análisis cuantitativo, obtenidos previo a la ocurrencia de traumas deportivos. En base a lo anterior, esta investigación tiene como objetivo caracterizar la actividad electroencefalográfica en boxeadores masculinos de alto rendimiento, así como identificar diferencias entre atletas y sujetos sanos no entrenados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional descriptivo de corte transversal, durante el período de enero de 2022 a marzo de 2023. Se llevó a cabo en el laboratorio de Neurofisiología Clínica del Instituto de Medicina Deportiva, La Habana, Cuba.

La muestra estuvo constituida por todos los atletas de la Academia Nacional de Boxeo de Cuba. Como criterio de inclusión se consideraron la edad mayor o igual a 18 años, sin límite superior, el sexo masculino y el consentimiento de los atletas a participar en la investigación. Como criterios de exclusión se consideró el estado neurológico inestable, presencia de impedimentos físicos o médicos que impidieran la realización del EEG o la colocación de electrodos, historial reciente de lesiones graves o conmociones cerebrales en los últimos 6 meses que puedan alterar significativamente las características del EEG y uso de medicación que altere el estado de vigilia. Se estudiaron 51 boxeadores, de los cuales se descartaron 20, por cumplir con los criterios de salida de no completamiento de datos; 18, al causar baja de la academia y 2 por no obtenerse en ellos registros de EEG de buena calidad. La muestra de atletas quedó constituida por 31 boxeadores.

El grupo control se conformó por 37 sujetos sanos, provenientes de la base de datos institucional del Proyecto Cubano de Mapeo Cerebral Humano, del Centro de Neurociencias de Cuba. La selección fue realizada mediante muestreo por conveniencia, considerando solamente y de manera consecutiva, todos los sujetos con edades comparables a la de los atletas y con registros de buena calidad.

Mediante evaluación clínica a los atletas se obtuvieron los datos sobre su edad biológica y deportiva, así como sobre antecedentes de traumas craneoencefálicos y otras enfermedades en los últimos 6 meses. Se realizó además una breve evaluación neurocognitiva mediante la aplicación de la Herramienta de evaluación de conmoción cerebral en el deporte. (Versión 5).

Los estudios de EEG fueron realizados en el horario de la mañana, en la etapa de preparación general de los atletas, para evitar el efecto de estresores físicos y psíquicos sobre la actividad electroencefalográfica. Los registros de EEG se obtuvieron en estado de vigilia en reposo (5 minutos con ojos cerrados, 3 minutos con ojos abiertos, 3 minutos de hiperventilación y 11/2 minuto de fotoestimulación intermitente) en condiciones adecuadas y con los procedimientos estandarizados para el mismo.⁽⁷⁾ Se empleó el electroencefalógrafo Fénix 5 (Neuronic S.A.) y las derivaciones del sistema internacional 10/20 de colocación de electrodos (Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, F7, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 y O2).

Los registros de EEG fueron analizados visualmente por un evaluador, empleando el montaje monopolar de registro, con referencia biauricular y los montajes bipolares, longitudinal y transversal. Las características del EEG observadas fueron ponderadas mediante una escala semicuantitativa, elaborada por los autores. (Tabla 1).

La escala incluyó los aspectos convencionalmente considerados en la evaluación clínica del EEG de vigilia. La puntuación total se obtuvo mediante la sumatoria del resultado de todos los ítems, añadiendo un punto, con lo que se obtuvo un rango de puntuaciones de normal (1) a marcadamente alterado (26).

Tabla 1. Escala semicuantitativa de EEG	
Parámetros	Rango
1. Gradiente antero-posterior	0: Adecuado; 1: Conservado; 2: Ausente
2. Simetría Interhemisférica	0: Adecuada; 1: Ausente
3. Frecuencia de la actividad rítmica de base	0: > 9 Hz; 1: 8-9 Hz; 2: 7-8 Hz; 3: 6-7 Hz; 4: 4-6 Hz; 5: Ninguna
4. Reactividad de la actividad rítmica de base	0: normal; 1: disminuída a la apertura ocular, 2: ausente a la apertura ocular
5. Actividad paroxística en reposo	0: ausente; 1: Esporádicas (<10); 2: Frecuentes (11-40); 3: Muy Frecuentes (>40) 4: Descargas generalizadas.
6. Actividad lenta en reposo	0: ausente; 1: Sobreimpuesta; 2: Fluctuante; 3: Intermitente; 4: Subcontinua; 5: Continua; 6: Difusa
7. Hiperventilación	0: Sin cambios o cambios fisiológicos; 1: Aparición de alteraciones (por primera vez); 2: Aumento ligero de alteraciones; 3: Aumento marcado de alteraciones
8. Fotoestimulación	0: Sin cambios o cambios fisiológicos; 1: Aumento de amplitud y frecuencia de paroxismos; 2: Respuesta fotoparoxística; 3: Respuesta fotoconvulsiva; 4: Alteraciones unilaterales

A cada registro de EEG se le realizó la extracción de artefactos de manera automatizada, mediante el análisis de componentes individuales del programa Matlab, versión R2015a (<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>). Posteriormente, se realizaron los pasos habituales para el análisis cuantitativo de los mismos (selección de fragmentos de análisis de 2.56 segundos, libres de artefactos remanentes, actividad paroxística, y períodos de somnolencia, y aplicación de la transformada rápida de Fourier), en el estado de ojos cerrados, utilizando el montaje monopolar con referencia baural, en el rango de frecuencias entre 0.78-19.11 Hz, con resolución espectral de 0.39 Hz (programa Análisis Cuantitativo, Neuronic SA). De esta forma, se obtuvieron de cada atleta, los espectros de densidad de poder, derivados del modelo de análisis de banda estrecha, y los correspondientes valores Z. Dichos valores Z representan la desviación estándar de los espectros, con respecto a la base normativa de la población cubana.⁽⁸⁾ La frecuencia pico del espectro (frecuencia con el poder máximo del espectro) fue obtenida automáticamente en cada atleta, mediante este análisis. Un boxeador no pudo ser incluido en este procesamiento por presentar alteraciones del EEG incompatibles con el análisis cuantitativo.

Los datos de cada atleta referentes a la edad biológica y deportiva, así como la frecuencia pico fueron almacenados en la base de datos para análisis posterior. Los datos referentes a los valores Z fueron automáticamente almacenados en un archivo individual de cada sujeto para ser utilizados posteriormente en el análisis estadístico.

Procedimientos de análisis de los datos

Las variables dependientes del estudio fueron: las puntuaciones de la escala de alteraciones del EEG, analizadas en medianas y rangos; los valores Z y la frecuencia pico del EEG, analizados en promedios y desviaciones estándar (DE). Estas variables fueron comparadas entre boxeadores con y sin alteraciones del EEG, y entre estos y los sujetos controles. El análisis de la distribución de datos, mediante el Test de Shapiro-Wilk, mostró una distribución normal solo para la edad biológica de los sujetos controles, por lo que las comparaciones entre grupos de la edad biológica, las puntuaciones de la escala semicuantitativa del EEG y de la frecuencia pico fueron realizadas mediante la prueba de Mann-Whitney. Para ello se utilizó el programa estadístico Statistic, versión 8. Para la comparación entre grupos de los valores Z se empleó la t de Student con permutaciones, como prueba estadística no paramétrica. Para ello se utilizó el programa Neuronic Estadística. En todos los casos se fijó un nivel de significación estadística menor de 0,05. Se construyeron los espectros promedios de cada grupo con el empleo del programa EEGLab para ilustrar las diferencias entre grupos de los espectros de densidad de poder.

Todos los atletas, así como los entrenadores, comprendieron la inocuidad física y psicológica de la prueba, igualmente, fueron informados sobre el manejo confidencial de los datos personales y los beneficios personales sobre su salud, derivados del estudio. Se obtuvo el consentimiento informado de los atletas para participar en el estudio. La investigación fue aprobada por el Comité Científico de la institución y se observaron los principios de la Declaración de Helsinki, así como de las normas CIOMS-OMS, para investigaciones en humanos y de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos humanos.

RESULTADOS

La edad biológica promedio de los boxeadores (24 años, DE: 4,6) y de los sujetos controles (23 años, DE: 3,9) fue similar ($p=0,77$). El tiempo promedio de práctica deportiva de los atletas fue de 12 años. El 27 % ($n=9$) de los atletas y 8 % ($n=3$) de los sujetos controles presentaron alguna alteración en el EEG. Tanto en boxeadores como en los sujetos controles, se observó la presencia de: actividad paroxística focal sin significación semiológica precisa, (11 y 7 casos, respectivamente); actividad lenta (5 y 2 casos, respectivamente), y solamente 3 boxeadores presentaron alteraciones mixtas del EEG.

Caracterización semicuantitativa del EEG

Las puntuaciones totales de la escala de alteraciones del EEG no fueron significativamente diferentes entre atletas y controles ($p=0,67$). En ambos grupos la mediana de estas puntuaciones fue 1, no obstante, se observó en los boxeadores, un rango mayor de la puntuación total de la escala (1-11), comparados con los sujetos controles (1-4), lo cual refleja una mayor frecuencia de modificaciones patológicas del EEG. (Tabla 2). La comparación de las medianas de cada ítem, no reflejó diferencias significativas entre los grupos.

Tabla 2. Resultados de la escala semicuantitativa de EEG, expresados en porcentajes de sujetos con alteraciones por ítems y la puntuación total de la escala					
Escala semicuantitativa de EEG	Boxeadores		Controles		p*
	No.	%	No.	%	
Gradiente antero-posterior	1	3	0	0	0,82
Simetría interhemisférica	0	0	0	0	0,17
Frecuencia del ritmo alfa	6	19	0	0	0,73
Reactividad del ritmo alfa	1	3	3	8	0,16
Actividad paroxística en reposo	11	36	7	19	0,44
Actividad lenta en reposo	4	13	2	5	0,56
Alteraciones en hiperventilación	5	16	10	27	0,82
Alteraciones en la Fotoestimulación	1	3	0	0	0,82
Puntuación total de la escala (clases)					
1-3 puntos	23	74	33	90	-
4-6 puntos	6	19	4	11	
7-9 puntos	0	0	0	0	
≥10 puntos	2	7	0	0	

Legenda: valor de p = Test de Mann-Whitney.

La Figura 1 muestra los resultados en un caso típico, expresados en desviaciones estándares con respecto a sujetos sanos de igual edad y sexo. Con los valores Z se construye un mapa cerebral para presentar espacialmente estas características en cada frecuencia del EEG.

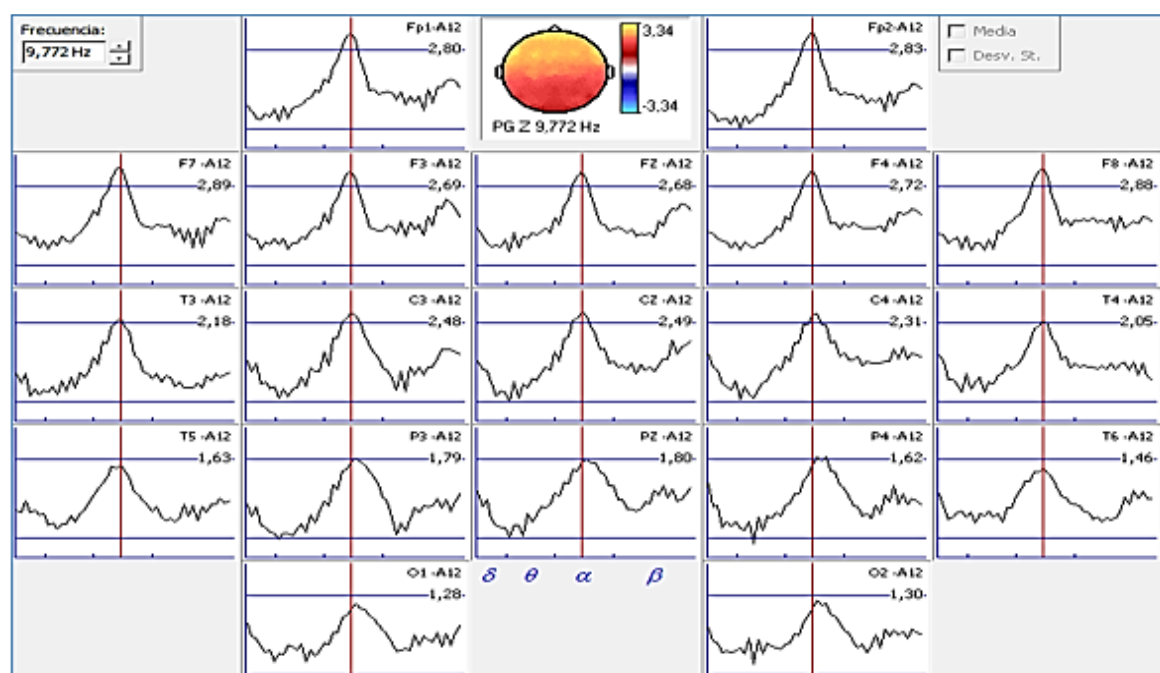


Figura 1: Espectros de densidad de potencia del EEG de un atleta, en cada derivación. Nótese los valores Z superiores a la norma (>2 DS) en la frecuencia 9.7 Hz en derivaciones fronto-centro-temporales y su representación en colores amarillos en el mapa cerebral

La comparación de los valores Z entre boxeadores con EEG normal y con EEG patológico, reflejó en estos últimos, un aumento significativo difuso del poder en el rango de frecuencias 5.9 - 8.2 Hz ($p < 0.001$) y una disminución significativa del poder en el rango de frecuencias 11.3-14.4 Hz ($p < 0.001$), en derivaciones occipitales. La frecuencia pico promedio del espectro de estos atletas fue significativamente menor comparado con aquellos con EEG normal (9.2 Hz vs 10.1 Hz; $p = 0.04$). Teniendo en cuenta estas diferencias, la comparación con el grupo control se realizó en cada grupo de atletas por separado.

Comparados con los sujetos controles, los boxeadores con EEG normal, mostraron una disminución significativa del poder theta (5.5-7.2 Hz) en derivaciones frontales y temporal posterior izquierdas (figura 2 A), y un aumento del poder beta en regiones centro-parietales, predominantemente izquierdas, que alcanzó significación estadística en la frecuencia 14.5 Hz en derivaciones Cz y Pz (Figura 2 B). La frecuencia pico promedio fue 10.1 Hz en ambos grupos. Estas diferencias pueden observarse en la figura 3 A.

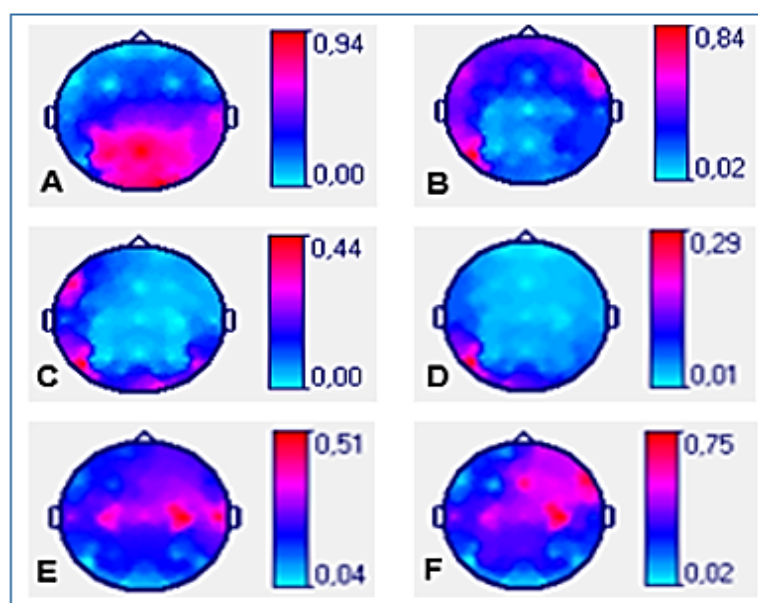


Figura 2: Mapa de significación estadística global de las diferencias entre atletas y controles. A: disminución del poder theta frontal y temporal posterior izquierdos y B: aumento del poder beta centro-parietal bilateral, en boxeadores con EEG normal. C: aumento del poder theta rápido, D: aumento del poder alfa lento, E y F: disminución del poder alfa rápido y beta respectivamente, en regiones posteriores, en boxeadores con EEG patológico (La barra de color indica los valores de p)

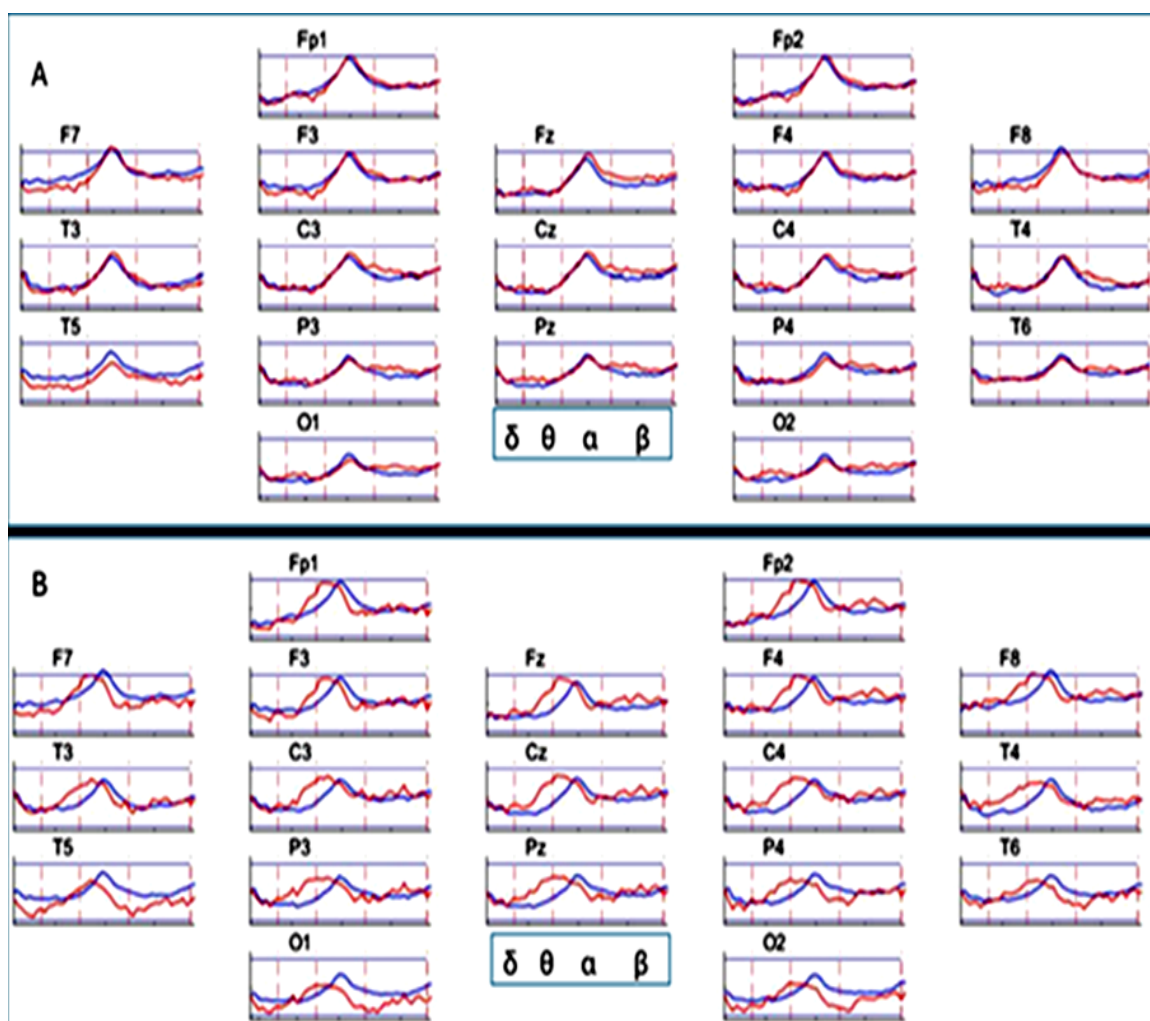


Figura 3: Comparación de los espectros promedios (valores Z) entre boxeadores y controles. **Legenda:** Los trazos azules corresponden a los sujetos controles y los rojos a los boxeadores. **A:** boxeadores con EEG normal, **B:** boxeadores con EEG patológico

En los boxeadores con EEG patológico se observó un desplazamiento hacia la izquierda del espectro de potencias con aumento significativo del poder theta (6.6-7.2 Hz), en derivaciones fronto-temporales derechas, centro-parietales bilaterales y de línea media (figura 2C), así como un aumento más difuso del poder de frecuencias 7.2-8.4 Hz (Figura 2D). Además, se observó una disminución significativa del poder alfa rápido (11.3-12.5 Hz) y beta (12.9-13.2 Hz) en derivaciones temporal posterior y occipitales bilaterales (figura 2 E y F). Estas diferencias pueden observarse también en la figura 3 B.

DISCUSIÓN

La semicuantificación de las alteraciones electroencefalográficas encontradas, aportó una mayor objetividad y precisión del análisis visual del EEG y consideró las alteraciones derivadas de las maniobras de activación. Los autores consideran que esta metodología añade valor al análisis visual del EEG, en el contexto deportivo. Métodos similares han sido empleados con éxito en el marco clínico.^(9,10)

En todos los sujetos, se encontraron alteraciones del EEG sin traducción clínica aparente, de manera similar a lo reportado en la literatura científica. Los estudios indican que la prevalencia de anomalías en el EEG en adultos sanos varía según la edad y las características de la población, con valores de 2,45 % en niños, 0,93 % en adultos y 5,96 % en ancianos.⁽¹¹⁾ No obstante, en el presente estudio, dichas alteraciones fueron más frecuentes, en especial, en los boxeadores, y podrían constituir evidencias de anomalías cerebrales de etiología no precisada y sin manifestación clínica aparente.

Múltiples estudios han documentado una alta prevalencia de anomalías electroencefalográficas en boxeadores, aunque el tamaño de las muestras ha sido pequeño. Un metaanálisis reciente, realizado por Donelly y colaboradores, mostró una prevalencia general de 52,3 % de alteraciones de EEG y tomografía computarizada, en una muestra total de 109 boxeadores de categoría amateur o profesional.⁽¹²⁾ No obstante, no se identificaron estudios recientes que aporten datos específicos relacionados con alteraciones en la inspección visual del EEG de boxeadores.

La actividad epileptiforme benigna representa la forma más común de presentación de estas alteraciones, lo cual concuerda con los hallazgos del presente estudio. Constituyen la expresión de descargas hipersincrónicas de poblaciones neuronales que pueden provocar cambios del flujo sanguíneo cerebral, al aumentar las demandas metabólicas de dicha población neuronal.⁽¹³⁾ Aunque no se ha demostrado su relación precisa con los golpes repetidos en la cabeza, estos pueden alterar el equilibrio entre excitación e inhibición neuronal cortical y favorecer la aparición de descargas paroxísticas en el EEG.⁽¹⁴⁾ Por ello, los autores consideran que deben ser tomadas en cuenta en la evaluación funcional prospectiva de estos atletas. La evaluación semicuantitativa de estas alteraciones permite explorar su evolución temporal.

El aumento difuso del poder theta y alfa lento, así como la disminución del poder beta, en boxeadores con EEG patológico, representan modificaciones patológicas que traducen una disfunción cortical subclínica de grado ligero o incipiente. Estas modificaciones no necesariamente están relacionadas con la práctica deportiva y pueden constituir hallazgos constitucionales, o relacionarse con condiciones de salud patológicas previas, en las que se puede incluir la exposición reiterada a impactos cerebrales sufridas en su historia deportiva. Estos hallazgos son equivalentes a los encontrados en pacientes con enfermedades neurodegenerativas⁽¹⁵⁾ y con trauma craneoencefálico,⁽¹⁶⁾ lo que refuerza la idea de la naturaleza patológica de los mismos.

Los reportes sobre las modificaciones del EEG cuantitativo en atletas de combate son muy heterogéneos, derivados fundamentalmente de importantes diferencias metodológicas entre los estudios. Las conclusiones de un metaanálisis reciente, que incluyó 650 atletas de combate provenientes de 23 estudios, indicaron una asociación entre la participación crónica en deportes de boxeo, kickboxing y lucha, con una reducción en el poder de las bandas alfa y theta.⁽³⁾ En particular, algunas de las investigaciones incluidas en dicha revisión, reportaron aumento del poder alfa y beta, tanto en boxeadores como en atletas de otros deportes,^(6,17) hallazgos que fueron interpretados como expresión de adaptaciones producto de una mayor eficiencia neural en deportistas.

Los resultados de la presente investigación concuerdan parcialmente con estos reportes, especialmente, en lo que respecta a la disminución del poder theta en atletas con EEG normal. Esta característica ha sido interpretada como expresión de una mayor activación cortical en estos atletas, los cuales mantienen con mayor frecuencia un estado de hipervigilancia en reposo y una capacidad de reacción rápida, que les permite anticipar golpes y responder con reflejos veloces. También se señala que estos rasgos del EEG se relacionan con una optimización del procesamiento motor y cognitivo, que favorece una menor distracción interna y mejor control ejecutivo.^(3,6)

No obstante, existe cierta discrepancia con los resultados del presente estudio, probablemente relacionado con la distinción entre los boxeadores con y sin EEG patológico y con diferencias metodológicas en el análisis cuantitativo del EEG. En nuestro estudio se utilizó el modelo de banda estrecha, que permite discriminar, dentro de las bandas de actividad del EEG, el comportamiento diferenciado de las distintas frecuencias que las componen. Esto permitió identificar modificaciones diferentes dentro de la misma banda de frecuencia (ej. aumento del poder alfa lento y disminución del poder alfa rápido). A la par, varios estudios en pacientes con trastornos neurocognitivos, enfatizan las diferencias en el significado neurofisiológico de subbandas de frecuencias del EEG.^(18,19)

También llama la atención el aumento del poder beta en derivaciones centro-parietales, (predominantemente izquierdas) de boxeadores con EEG normal. En esta localización subyacen las áreas corticales pre y postcentrales, con funciones motoras y sensitivas implicadas en el control motor. Este resultado es congruente con los reportados por otros autores^(20,21) y está relacionado con los ritmos sensorimotores mu (10–13 Hz) y beta (13–30 Hz). Los mismos se registran sobre la corteza sensorimotora en reposo y se asocian con inhibición motora, control de movimientos finos y estados de calma atenta.⁽²²⁾ Se ha señalado que su aumento en sujetos entrenados refleja adaptaciones neurales derivadas de la práctica sistemática de ejercicios.⁽³⁾

Las **limitaciones** del presente estudio radican en el tamaño reducido de la población estudiada, al no tener acceso a atletas de otras provincias, lo que limita la generalización de los resultados comparativos. Por otro lado, los parámetros espectrales reflejan la actividad del EEG solamente a nivel del cuero cabelludo, lo que restringe la resolución espacial de esta información. Por ello, es recomendable extender el estudio a otras provincias e incluir el análisis de los generadores de la actividad del EEG, el cual permite una localización anatómica más precisa de las modificaciones encontradas en estos atletas. Lo anterior será objeto de estudio en trabajos posteriores.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demostraron la existencia de modificaciones de probable naturaleza patológica y adaptativa en el EEG de boxeadores de alto rendimiento. La caracterización del EEG de reposo, obtenida en los atletas estudiados, posibilita el desarrollo de una metodología económica y accesible para el monitoreo a corto y largo plazos de la función cerebral de los mismos. De esta forma es posible aumentar la precisión diagnóstica en el manejo del trauma craneal relacionado con el deporte y mejora la calidad de la atención médica dirigida a boxeadores cubanos de alto rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Da Broi M, Al Awadhi A, Voruz P, Nouri A, Schaller K. The spectrum of acute and chronic consequences of neurotrauma in professional and amateur boxing - A call to action is advocated to better understand and prevent this phenomenon. *Brain Spine* [Internet]. 2024 [Citado 06/02/2026];4:102743. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bas.2023.102743>
2. Harmon KG, Clugston JR, Dec K, Hainline B, Herring S, Kane SF, et al. American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine* [Internet]. 2019 [Citado 22/11/2023]; 53(4):213–25. Disponible en: <https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/53/4/-213.full.pdf>
3. Chmiel J, Nadobnik J. Application of Electroencephalography (EEG) in Combat Sports—Review of Findings, Perspectives, and Limitations. *Journal of Clinical Medicine* [Internet]. 2025 [Citado 10/11/2025]; 14(12):4113. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0383/14/12/4113>
4. Ledwidge PS, Hartland LC, Brickman K, Burkhart SO, Abt JP. Challenges and Research Opportunities for Integrating Quantitative Electroencephalography Into Sports Concussion Rehabilitation. *J Sport Rehabil* [Internet]. 2025 [Citado 10/11/2025]; 34(3):278–86. Disponible en: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jsr/34/3/article-p278.xml>
5. Corbin-Berrigan LA, Teel E, Vinet SA, B PDK, Guay S, Beaulieu C, et al. The Use of Electroencephalography as an Informative Tool in Assisting Early Clinical Management after Sport-Related Concussion: a Systematic Review. *Neuropsychol Rev*. 2023;33(1):144–59.
6. De Donato R, Maiorana NV, Vergari M, De Sandi A, Naci A, Aglieco G, et al. 'Knock down the brain': a nonlinear analysis of electroencephalography to study the effects of sub-concussion in boxers. *Eur J Neurol* [Internet]. 2025 [Citado 26/11/2025]; 32(1):e16411. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11618114/>
7. Babiloni C, Barry RJ, Başar E, Blinowska KJ, Cichocki A, Drinkenburg W, et al. International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) - EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies. *Clin Neurophysiol* [Internet]. 2020 [Citado 26/12/2020]; 131(1):285–307. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245719311642?via%3Dihub>
8. Bosch-Bayard J, Galan L, Aubert Vázquez E, Virues Alba T, Valdés-Sosa PA. Resting State Healthy EEG: The First Wave of the Cuban Normative Database. *Frontiers in Neuroscience* [Internet]. 2020 [Citado 06/02/2026]; 14. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/neuro-science/articles/10.3389/fnins.2020.555119>
9. Barcelon EA, Mukaino T, Yokoyama J, Uehara T, Ogata K, Kira J-i, et al. Grand Total EEG Score Can Differentiate Parkinson's Disease From Parkinson-Related Disorders. *Frontiers in Neurology* [Internet]. 2019 [Citado 26/11/2025]; 10:398. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2019.00398>
10. Chen H, Ju L, Ji Y, Tao L. The significance of interictal electroencephalogram analysis based on the grand total electroencephalogram score in early assessment of cognitive impairment in epilepsy patients. *Epilepsy Research* [Internet]. 2025 [Citado 06/02/2026]; 210:107506. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920121125000075>
11. Aschner A, Kowal C, Arski O, Crispo JA, Farhat N, Donner E. Prevalence of epileptiform electroencephalographic abnormalities in people without a history of seizures: a systematic review and meta-analysis. *Epilepsia* [Internet]. 2024 [Citado 26/11/2025]; 65(3):583–99. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/epi.17864>
12. Donnelly RR, Ugbohue UC, Gao Y, Gu Y, Dutheil F, Baker JS. A Systematic Review and Meta-Analysis Investigating Head Trauma in Boxing. *Clinical Journal of Sport Medicine* [Internet]. 2023 [Citado 26/11/2025]; 33(6):658–74. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/-PMC10597432/>
13. Zhong J, Li G, Lv Z, Chen J, Wang C, Shao A, et al. Neuromodulation of Cerebral Blood Flow: A Physiological Mechanism and Methodological Review of Neurovascular Coupling. *Bioengineering* [Internet]. 2025 [Citado 26/11/2025]; 12(5):442. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2306-5354/12/5/442>
14. MayHG, Tsikonofilos K, Donat CK, Sastre M, Kozlov AS, Sharp DJ, et al. EEG hyperexcitability and hyperconnectivity linked to GABAergic inhibitory interneuron loss following traumatic brain injury. *Brain Communications* [Internet]. 2024 [Citado 26/11/2025]; 6(6). Disponible en: <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcae385>
15. Keller SM, Reyneke C, Gschwandtner U, Fuhr P. Information Contained in EEG Allows Characterization of Cognitive Decline in Neurodegenerative Disorders. *Clin EEG Neurosci* [Internet]. 2023 [Citado 26/11/2023]; 54(4):391–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36069039/>
16. Lewine JD, Plis S, Ulloa A, Williams C, Spitz M, Foley J, et al. Quantitative EEG Biomarkers for Mild Traumatic Brain Injury. *J Clin Neurophysiol* [Internet]. 2019 [Citado 26/11/2023]; 36(4):298–305. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31094883/>
17. Rydzik Ł, Pałka T, Sobilo-Rydzik E, Tota Ł, Ambroży D, Ambroży T, et al. An Attempt to Develop a Model of Brain Waves Using Quantitative Electroencephalography with Closed Eyes in K1 Kickboxing Athletes-Initial Concept. *Sensors (Basel)* [Internet]. 2023 [Citado 26/11/2025]; 23(8). Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10145354/>

18. Babiloni C, Del Percio C, Lizio R, Noce G, Lopez S, Soricelli A, et al. Functional cortical source connectivity of resting state electroencephalographic alpha rhythms shows similar abnormalities in patients with mild cognitive impairment due to Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Clin Neurophysiol* [Internet]. 2018 [Citado 10/11/2025]; 129(4):766–82. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29448151/>
19. Babiloni C, Noce G, Pennica A, Onorati P, Capotosto P, Del Percio C, et al. Cortical sources of resting state electroencephalographic rhythms probe brain function in naïve HIV individuals. *Clin Neurophysiol* [Internet]. 2018 [Citado 10/11/2025]; 129(2):431–41. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29304418/>
20. Çemç MS, Korkmaz OE. Comparison of alpha frequency band power in active amateur boxers and sedentary individuals using EEG technology. *SPORMETRE Journal of Physical Education and Sports Sciences* [Internet]. 2025 [Citado 10/11/2025]. Disponible en: <https://dergipark.org.tr/en/pub/spormetre/article/1477527>
21. Ziółkowski A, Gorkovenko A, Pasek M, Włodarczyk P, Zarańska B, Dornowski M, et al. EEG correlates of attention concentration in successful amateur boxers. *Neurophysiology* [Internet]. 2014 [Citado 26 /11/2025]; 46(5):422–7. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11062-015-9468-3>
22. Pfurtscheller G, Silva FLd. EEG Event-Related Desynchronization and Event-Related Synchronization. En su: *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* [Internet]. London: Oxford University Press; 2017 [Citado 10/11/2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/med/9780190228484-003.0040>

Financiamiento:

Esta investigación contó para su realización con los fondos del proyecto PS242LH001-004, del Instituto de Medicina Deportiva de Cuba.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflictos de intereses.

Contribución de autoría

Marta Brown Martínez: Conceptualización, investigación, curación de datos, análisis formal, metodología, supervisión, visualización, redacción del borrador original, redacción, revisión, edición.

Rafael Lerena Nápoles: Conceptualización, investigación, curación de datos.

Diosdado Mojena Lachay: Conceptualización, investigación, curación de datos.

Bárbara Aymeé Hernández Hernández: Validación, redacción, revisión, edición.

Raúl Mendoza Quiñones: Software, validación, redacción, revisión, edición.

Trinidad Alba Virués: Curación de datos, análisis formal, validación.

Magaly Fuentes Parra: Validación, redacción, revisión, edición.

Todos los autores participamos en la discusión de los resultados y hemos leído, revisado y aprobado el texto final.