

Evaluación de la respuesta electroencefalográfica en la actividad física aeróbica y las técnicas de relajación en pacientes con epilepsia

Stephanie Pino Salgado¹, Luis Urban^{1, 2}, Andrea Mattiozzi D'Arcangelo³,
Mónica Viñoles Britos³, María Pagés González², Paola Soares de Lima²,
Patricia Braga¹, Sofía González Azziz³

Resumen

Introducción: el impacto de la actividad física en las crisis epilépticas y las descargas epileptiformes interictales (DEI) es controvertido. En este artículo se propuso evaluar la eventual modulación de DEI en pacientes con epilepsia durante diferentes tipos de actividad física (ejercicio aeróbico no extenuante y técnicas de relajación).

Materiales y métodos: estudio cuasiexperimental con medidas repetidas, en adultos con epilepsia activa, con un protocolo de cinco períodos de 15 minutos bajo electroencefalograma (EEG): reposo, ejercicio aeróbico (EA) con test de Ruffier-Dickson modificado, posejercicio (PEA), técnicas de relajación activa (RA) con prueba de Jacobson, *biofeedback* y pos-RA. Se contabilizaron las DEI en ventanas de tres minutos, realizando una comparación intraindividual entre períodos (prueba de Anova) y con respecto al basal (IC 95% de la diferencia). Se analizó la variación de la frecuencia cardíaca en EA y la coherencia cardíaca en *biofeedback*.

Resultados: se incluyó a 20 pacientes (11 hombres, 9 mujeres), 30 ± 7 años, 18 con epilepsia focal y donde 11/20 eran farmacoresistentes. De 13 pacientes con DEI, 8 presentaron modulación con el ejercicio. De estos hubo variación significativa en las DEI comparado con el reposo en 5 casos y modulación entre las etapas del protocolo de actividad física en 6, sea mostrando inhibición o activación. Se observaron tres inhibiciones significativas en EA y una pos-RA, así como una activación en RA y dos pos-RA, en comparación con reposo. En la comparación intraindividual, cinco pacientes activaron pos-EA vs. EA y dos inhibieron pos-RA vs. RA. Finalmente, tres pacientes con insuficiente coherencia cardíaca en *biofeedback* presentaron una baja variación de frecuencia cardíaca en EA.

Discusión: la disminución de DEI durante el EA es acorde a otros trabajos, en tanto el aumento de DEI pos-ejercicio puede relacionarse con las crisis del período de relajación vespertino frecuente en la clínica. Este protocolo de relajación activa raramente modificó las DEI.

Conclusiones: el presente trabajo aporta un marco metodológico para el estudio de la respuesta electroencefalográfica a la actividad física en pacientes con epilepsia, proporcionando evidencia de inhibición de descargas interictales durante la actividad física aeróbica no extenuante, en torno al 20% de los pacientes.

Palabras clave: epilepsia, ejercicio físico, relajación, electroencefalografía, estilo de vida, psicología del deporte.

Evaluation of electroencephalographic response in aerobic physical activity and relaxation techniques in patients with epilepsy

Abstract

Introduction: The impact of physical activity on the frequency of seizures and interictal epileptiform discharges (IEDs) remains controversial. We aimed to evaluate the modulation of IEDs in patients with epilepsy during different types of physical activity (non-strenuous aerobic exercise, relaxation techniques).

Materials and Methods: Quasi experimental, repeated measures study, in adults with active epilepsy. A standardized protocol under EEG monitoring was applied, including 5 periods of 15 minutes: rest; aerobic exercise (AE) –modified Ruffier-Dickson; post-exercise (PAE); active relaxation technique (AR); Jacobson and Biofeedback; post AR. IEDs were counted in 3-minutes time windows exploring significant differences between periods (ANOVA), and between rest and each period (95% CI of the difference), for each patient. Heart rate variation during AE vs rest, and cardiac coherence in biofeedback were analyzed.

- 1 Sección Epilepsia, Instituto de Neurología, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
- 2 Departamento de Neurofisiología Clínica, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
- 3 Servicio Medicina del Deporte, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Correspondencia/Correspondence:

Stephanie Pino Salgado, Instituto de Neurología, Hospital de Clínicas, piso 2, avenida Italia s/n, 11600, Montevideo, Uruguay.
Correo-e: Stephaniepino89@gmail.com

Historia del artículo/Article info

Recibido/Received: 4 de mayo, 2024
Revisado/Revised: 1 de diciembre, 2024
Aceptado/Accepted: 10 de marzo, 2025
Publicado/Published online: 23 de abril, 2025

Citation/Citación: Pino Salgado S, Urbán L, Mattiozzi D'Arcangelo A, Viñoles Britos M, Pages Gonzalez M, Soares de Lima P, et al. Evaluación de la respuesta electroencefalográfica en la actividad física aeróbica y las técnicas de relajación en pacientes con epilepsia. *Acta Neurol Colomb.* 2025;41(1):e1857.
<https://doi.org/10.22379/anc.v41i1.1857>



Results: We included 20 patients (M11/F9), age 30+7 years old (17–45), 18 with focal epilepsy; 11/20 with drug-resistant epilepsy. Among 13 patients with IEDs, 8 showed modulation: 5 compared to rest and 6 in the intraindividual analysis between periods, showing either activation or inhibition. Compared to rest, significant inhibition was seen in 3 during AE and in 1 post-AR; activation occurred during AR (1) and post-AR (1). In the interindividual comparison, 5 activated post-EA, 2 inhibited post-AR vs AR. Three patients with insufficient cardiac coherence presented low heart rate variation during AE.

Discussion: IEDs inhibition during AE is supported by literature. Increase in IEDs immediately after the AE may be related with seizure occurrence during relaxation periods, frequently described in the outpatient setting. IEDs were rarely modified during this AR protocol.

Conclusions: The present study provides a methodological frame to evaluate the electroencephalographic response to physical activity in epilepsy patients, supplying new evidence of inhibition of interictal discharges during non-strenuous physical activity in around 20% of patients.

Keywords: Epilepsy, Physical exertion, Relaxation, Electroencephalography, Lifestyle, Psychology-Sports.

Introducción

La epilepsia constituye una de las enfermedades neurológicas más frecuentes. Los pacientes con este diagnóstico presentan cambios en el estilo de vida, destacándose las limitaciones en las actividades durante el tiempo libre y restricciones para la actividad física. A través de los años, se ha evidenciado el efecto beneficioso de la actividad física en la función cognitiva (1–2), una reducción de la actividad epileptiforme en el electroencefalograma (EEG), un aumento del umbral de crisis y una disminución del estrés, considerado este último como uno de los principales factores desencadenantes de crisis epilépticas (3–5).

En los últimos años, se discute el rol específico de la actividad física para un mejor control de crisis epilépticas, para lo cual se han diseñado varios estudios en los cuales se evalúan diferentes tipos de actividades: las de baja intensidad, como relajación, yoga y ejercicio aeróbico con combinaciones de ejercicio cardiovascular y fuerza muscular (6–7); y las de intensidad moderada-alta, que incluyen la cinta o bicicleta ergométrica y danza en protocolos que, en su mayoría, llevan al paciente hasta el agotamiento (8–9). Los resultados han sido variables, sin embargo, la evidencia más reciente se inclina a favor de una reducción del número de crisis, así como una mejoría significativa en las escalas de calidad de vida, estado de ánimo y variables fisiológicas (10–12).

Por otra parte, se ha analizado la relación existente entre la actividad física y las descargas epileptiformes interictales (DEI), entendidas operacionalmente como los grafoelementos en el EEG que se observan fuera de las crisis epilépticas clínicas y sin constituir patrones ictales, pero que cumplen criterios de epileptogenicidad, definidos por Gloor y recientemente

actualizados (13–14). En tanto que los estudios en animales mostraron una reducción significativa de las descargas, los resultados en humanos han sido variables (15–17).

En el presente estudio se propuso evaluar la eventual modulación de descargas epileptiformes interictales en pacientes con epilepsia de cualquier tipo, durante diferentes tipos de actividad física habitual (ejercicio aeróbico no extenuante y técnicas de relajación). Este análisis permitiría generar recomendaciones relacionadas al ejercicio físico.

Materiales y métodos

Es un estudio cuasiexperimental con medidas repetidas. Se compararon los resultados de la medición basal de DEI antes de la intervención (actividad física) con la medición durante la actividad física y luego en el período inmediatamente posterior a esta, donde cada paciente fue su propio control. Asimismo, se incluyeron dos tipos de actividad física que fueron presentados en forma de bloques secuenciales de 15 minutos de duración y en orden fijo: actividad física aeróbica (prueba de Ruffier Dickson) y ejercicios de relajación activa, que incluyeron la prueba de Jacobson y un ejercicio de *biofeedback* (figura 1).

Criterios de inclusión

Diagnóstico de epilepsia activa (18), edades entre 18 y 45 años, y capacidad de realizar las pruebas correctamente.

Criterios de exclusión

Presencia de comorbilidades cardiovasculares, historia previa demostrada de crisis epilépticas des-

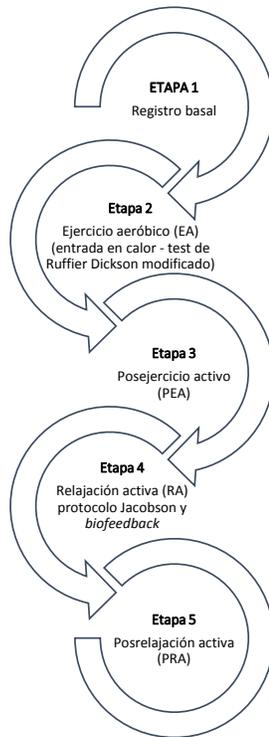


Figura 1. Protocolo de actividad física bajo EEG, donde cada etapa tiene una duración de 15 minutos

Fuente: elaboración propia.

encadenadas por ejercicio físico, discapacidad intelectual severa que impida el seguimiento del plan de ejercicios establecidos, discapacidad motriz severa que impida la realización de la intervención y embarazo en curso.

La inclusión de los casos se realizó mediante un muestreo por conveniencia durante el período de octubre 2020 hasta julio 2022, que incluyó a todos los pacientes coordinados para video-EEG en el programa de cirugía de epilepsia y a los pacientes valorados en la policlínica de epilepsia del Hospital de Clínicas, previa firma del consentimiento informado. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital de Clínicas.

Se realizó una entrevista clínica inicial por el equipo neurológico, con un cuestionario preestablecido que incluía variables clínicas, de la epilepsia y demográficas. El equipo de medicina del deporte valoró el nivel de actividad física previa de cada individuo mediante

el cuestionario *IPAQ* (siglas en inglés para el cuestionario de aptitud de actividad física). En función de la respuesta de cada paciente a siete preguntas que exploraron el tiempo que han estado sentados, caminando, realizando actividad física moderada o intensa, durante los últimos siete días, estos son clasificados en inactivos, con actividad física de nivel moderado o de nivel alto (19). Este es un cuestionario ampliamente utilizado y validado en su versión en español. En esta instancia se realizó una valoración inicial y una explicación de las diferentes actividades incluidas en el protocolo de investigación.

La fase cuasiexperimental se realizó en la Unidad de Monitoreo de Video-EEG Prolongado, tanto para los pacientes en monitoreo para evaluación prequirúrgica como para los pacientes ambulatorios. Esto permitió contar con un mayor espacio físico y cables extensores que facilitaron el desplazamiento del paciente durante el protocolo de estudio, minimizando la pérdida de calidad del registro. Asimismo, la actividad física propuesta se adaptó no solo a las restricciones técnicas vinculadas a minimizar artefactos del registro EEG, sino a las condiciones de la sala de registro para minimizar el riesgo de caídas durante el mismo, en caso de presentar una crisis epiléptica.

Así, se sustituyó la opción de aplicar *steps* al trabajo en plano, con exigencias equivalentes y, en conjunto con el equipo de medicina del deporte, se diseñó con este fin una modificación del test de Ruffier-Dickson, prueba utilizada para evaluar la capacidad de recuperación cardíaca y la condición física de forma segura, considerada especialmente en personas con alguna limitación física, la cual consiste en la realización de 30 sentadillas en 45 segundos, flexionando las rodillas a 90 grados mientras se mantiene la espalda recta y los brazos extendidos hacia adelante. Previo y posterior al ejercicio, el paciente se recupera en decúbito y durante toda la prueba se registra la frecuencia cardíaca y su variación, medida como intervalos entre latidos (20).

En esta adaptación, que denominamos Test de Ruffier-Dickson modificado, la fase posterior a las sentadillas fue de recuperación activa con una caminata de 2 minutos y 15 segundos; además, el monitoreo de la frecuencia cardíaca se realizó a través del equipo de video-EEG, bajo la supervisión del personal de medicina del deporte. La secuencia de actividades físicas se detalla en la figura 1.

Intervención

Protocolo de EEG con actividad física y técnicas de relajación activa (figura 1): se realizó un registro de video-EEG, con 21 electrodos de superficie colocados de acuerdo con el sistema internacional 10-20. Se utilizó un equipo Nihon-Kohden de 32 canales, donde uno de los canales se destinó a registro de EKG simultáneo.

Etapas 1: registro EEG basal. Sentado con ojos abiertos durante 15 minutos.

Etapas 2: ejercicio aeróbico (EA). Registro EEG en actividad física aeróbica de 15 minutos de duración, que incluyó un período de entrada en calor (caminata de seis minutos) seguida de tres ciclos del test de Ruffier-Dickson modificado (sentadillas realizadas con el máximo esfuerzo durante 45 segundos y recuperación con caminata durante 2 minutos y 15 segundos), totalizando nueve minutos de actividad física (20).

Etapas 3: posejercicio aeróbico (PEA). Registro de EEG posejercicio, sentado con ojos abiertos durante 15 minutos.

Etapas 4: relajación activa (RA). Registro de EEG de 15 minutos durante las técnicas de relajación activa, guiadas por profesionales del equipo de psicología del deporte. Se incluyó: A) un proceso de relajación muscular progresiva (RMP con protocolo de Jacobson) consistente en contraer y relajar en forma secuencial y guiada por audio, 16 grupos musculares, los cuales se distribuyeron en sentido cefalocaudal. Se aplicó durante 12 minutos (21-22); y B) protocolo de *biofeedback* con el *software* EmWave: duración de 3 minutos (23).

Etapas 5: posrelajación activa (PRA). Registro EEG posterior a toda la actividad, sentado con ojos abiertos, durante 15 minutos.

Medición de variables relacionadas al procedimiento

Los datos de cada paciente se cargaron en una base de datos digital anonimizada, incluyendo datos clínicos precodificados y el resultado del registro EEG.

A) Medición de parámetros de intensidad del ejercicio durante la etapa de EA

Medida de frecuencia cardíaca (FC) basal y al final de cada ciclo de ejercicio, con base en el registro EEG-EKG (21). Se realizó el cálculo de la

FC máxima esperada según el American College of Sports Medicine (ACSM) ($210-0,5 \times \text{edad}$). Se identificó la FC máxima registrada efectivamente durante el ejercicio, para luego realizar el cálculo del porcentaje de FC máxima esperada que se alcanzó, ajustada según la valoración de percepción del esfuerzo físico realizada por cada paciente, mediante la escala de Borg, al final de cada ciclo del circuito.

- B) Medición de parámetros de eficiencia de *biofeedback*: el rendimiento en esta prueba se evaluó mediante la coherencia cardíaca, que se obtuvo con el *software* EmWave.
- C) Medición de la variable dependiente: descargas epileptiformes (DEI) en el EEG de superficie.

Se consideraron las DEI y los patrones ictales. En relación con el conteo de descargas, se incluyeron solo aquellas que cumplían con los criterios de Gloor en su operacionalización revisada (13-14), incluyendo espigas, puntas, polipuntas, complejos espiga-onda lenta, punta-onda lenta y polipunta-onda lenta. En caso de salvos o brotes de DEI, se contabilizaron cada una de las puntas o espigas, replicando la metodología publicada para la comparación de frecuencias de DEI entre períodos de exposición y ajustando por la variabilidad basal individual, se realizó la cuantificación del número de DEI en períodos ventana de tres minutos dentro de cada una de las diferentes etapas del estudio. La frecuencia basal de DEI se calculó como la media y su respectivo intervalo de confianza (IC) del 95% para las cinco ventanas de tiempo consecutivas de tres minutos de duración durante las condiciones basales (24-25).

Evaluación del *outcome* primario

Se definió que la activación o inhibición significativa de las DEI en una determinada condición estaba presente cuando el número de DEI durante ese período de 15 minutos estaba por encima o por debajo del IC del 95% individual para los DEI de referencia, respectivamente (24-25). Las crisis epilépticas y los patrones ictales subclínicos que surgieran durante la actividad física, también se consideraron como activación. Para cada paciente se exploraron las diferencias significativas de las DEI entre las condiciones mediante Anova y se analizaron las diferencias entre el período de reposo basal y cada condición, así

como entre las condiciones consecutivas, mediante la prueba T de Student y el IC del 95% de la diferencia. El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS, versión 21.0).

Análisis en relación con parámetros cardiovasculares

Se estimó la variabilidad de la frecuencia cardíaca comparando la misma al final de cada período de actividad física aeróbica, con el reposo, definiéndose operacionalmente como significativo un aumento del 25%. Se evaluó la existencia de asociación del parámetro de coherencia cardíaca (clasificado por el *software* EmWave en categorías ordinales: insuficiente, principiante, bueno y muy bueno), con la variación de la frecuencia cardíaca del ejercicio aeróbico predefinida operacionalmente como adecuada o insuficiente, mediante la prueba U de Mann-Whitney ($\alpha=0,05$).

Resultados

Se incluyeron a 20 pacientes, 9 de sexo femenino y 11 de sexo masculino, con una edad promedio de 30 + 7,7 años (18– 45 años).

En cuanto al tipo de epilepsia, 18 casos fueron epilepsias focales, 1 fue de tipo generalizada y 1 de tipo indeterminada. La duración promedio de la epilepsia fue de 15 ± 13 años (1–44 años) y la frecuencia mensual promedio de crisis fue de 20 por mes (1–

120 por mes), predominando las crisis focales con compromiso de conciencia (15 pacientes). 11 pacientes resultaron ser farmacoresistentes (55%) y en cuanto al uso de fármacos anticrisis epilépticas, 2 estaban en monoterapia, 10 en biterapia y 8 consumían tres o más fármacos.

En cuanto a la valoración por el *IPAQ* (para medir el índice de actividad física habitual) se encontraron: seis pacientes sedentarios, seis con índices leves y ocho con índices moderados.

Del análisis de los registros de EEG, 13 pacientes presentaron DEI y, de estos, en ocho casos se encontró modulación de las descargas en forma significativa. Del análisis de estos se destaca que, comparados con el reposo (tabla 1), cinco pacientes mostraron modulación: tres tuvieron inhibición significativa durante el EA y uno de ellos durante el período PRA; además, tres pacientes mostraron una activación significativa, uno durante la RA y dos en la PRA.

En la comparación intraindividual entre condiciones consecutivas (EA–PEA / RA–PRA) se verificó la modulación en seis casos (tabla 2) y se observó que en cinco pacientes se activaron las DEI de forma significativa en PEA comparado con EA, en tanto que en dos pacientes se inhibieron las descargas durante la PRA, comparado con la RA. De estos últimos, es de destacar que en el caso #7 se observó una modulación variable en las dos actividades (figura 2). Adicionalmente, un paciente (caso #9), bajo descenso de medicación que no realizó el ejercicio activo, presentó crisis durante el período PRA.

Tabla 1. Análisis de datos de DEI en cada condición (frecuencia promedio) comparados con el reposo en pacientes con modulación significativa (IC 95% de la diferencia)

# Caso	Descargas epileptiformes interictales (DEI)												
	Basal	EA	IC 95%	P *	Post-EA	IC 95 %	P*	RA	IC 95 %	P*	Post RA	IC 95 %	P*
Caso 2	39	15	13.5 a 34.5	0.003*	29.5	-1.7 a +20	0.085	27.8	-1.4 a +23.8	0.076	27	-1.4 a +26	0.073
Caso 4	7.8	2.4	-2.2 a +13	0.137	6.8	-9 a +11	0.83	19.6	-21 a -1.6	0.028	1.6	-1.2 a +13.7	0.088
Caso 7	19.2	11.2	-1.6 a +17	0.093	22.6	-12 a +5	0.334	25.4	-16 a +3	0.168	15.9	-5 a +12	0.433
Caso 9	0							7.20	-19 a +5	0.192	4.4	-13 a +4 CRISIS	0.242
Caso 11	7.6	0	2 a 13	0.02*	16.2	-20 a +3	0.133	12,2	-21 a +12	0.511	24.6	-26 a -8	0.003*
Caso 13	18.6	7.4	2.1 a 20.3	0.023*	11.8	-4.8 a +18	0.202	11.5	-5 a +29	0.32	6	2.8 a 22	0.021*

Nota: DEI: número (#) de descargas epileptiformes; EA: ejercicio aeróbico; RA: relajación activa; PEA: posejercicio aeróbico; PRA: posrelajación activa; (*P estadísticamente significativa $\leq 0,05$); : activación de DEI; : inhibición de DEI.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Análisis de datos de DEI en las comparaciones de condiciones consecutivas en pacientes con modulación significativa

# Caso	Descargas epileptiformes interictales (DEI)							
	EA	Post-EA	IC 95%	P*	RA	Post-RA	IC 95 %	P*
Caso 2	15	29.4	-22.6 a -6.15	0.008*	26.8	27.8	-12 a +14	0.87
Caso 4	2.4	4.68	-14 a +5	0.33	19.6	1.6	8.6 a 27.3	0.004*
Caso 5	1.4	5.67 a 9	0.018*	4.2	6.8	-7,0 a +1.8	0.208	
Caso 7	11.2	22.6	-18 a -4	0.007*	25.4	15.8	4 a 17.8	0.027*
Caso 11	0.00	16.2	-28 a -3	0.022*	12.2	24.6	-29 a +4.6	0.125
Caso 19	3.4	7.2-7.5 a -0.05	0.048	4.6	7.2	-9.4 a +4.2	0.37	

Nota: DEI: frecuencia promedio del número (#) de descargas epileptiformes; EA: ejercicio aeróbico; RA: relajación activa; PEA: posejercicio aeróbico; PRA: posrelajación activa; (* p ≤0,05); : activación de DEI; : inhibición de DEI.

Fuente: elaboración propia.

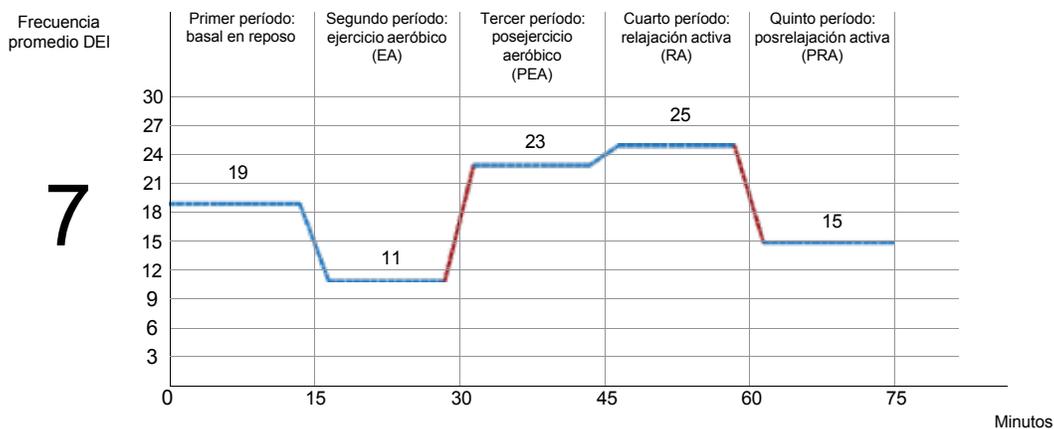


Figura 2. Modulación de descargas epileptiformes interictales (DEI) en el caso # 7 en condiciones consecutivas

Fuente: elaboración propia.

Con relación a la distribución de los factores clínicos en estos pacientes, si bien no hubo asociaciones significativas, se destaca que los tres casos con inhibición de descargas epileptiformes interictales durante el ejercicio (EA) no eran farmacorresistentes. Por otra parte, los dos casos con activación de su actividad epileptiforme interictal al final del protocolo, posrelajación activa (PRA), eran sedentarios.

En relación con los parámetros cardiovasculares, se analizaron las variaciones de frecuencia cardíaca en

el EA con métodos no estandarizados (medición de FC con equipo de video-EEG). La FC máxima promedio fue de 122/min. El porcentaje de la FC máxima alcanzado promedialmente en el grupo de pacientes fue del 68% (tabla 3) y la variación de la FC durante el ejercicio fue menor del 25% en 7 de los 19 pacientes que realizaron la tarea de EA: 2 con epilepsia focal multilobar, 4 con epilepsia focal unilobar (2 frontales y 2 temporales) y 1 paciente con epilepsia generalizada idiopática. No se encontró una relación de la variación de la FC con las variables demográficas

Tabla 3. Registro de FC en las diferentes condiciones durante la actividad física aeróbica y las técnicas de relajación

Paciente	FC promedio (latidos por minuto)					
	FC reposo	FC máxima	FC MÁX (ACSM)	FC RMP1	FC RMP2	Biofeedback
Caso 1	66	108	187	66	66	66
Caso 2	102	150	169	96	84	92
Caso3	60	145	190	66	66	70
Caso 4	66	96	187	66	72	66
Caso 5	66	108	187	84	89	89
Caso 6	66	114	187	72	66	66
Caso 7	84	126	178	90	96	84
Caso 8	84	114	178	78	84	84
Caso 9			102	70	66	
Caso 10	65	102	187			79
Caso 11	102	138	169	84	84	81
Caso 12	90	150	175	84	80	79
Caso 13	96	132	172	78		75
Caso 14	84	114	178	84	84	81
Caso 15	54	120	193	60	66	63
Caso 16	72	184	78	62	79	
Caso 17	96	114	172	78	78	74
Caso 18	72	114	184	90	90	87
Caso 19	72	162	184	90	80	81
Caso 20	96	108	172	88	72	83

Nota: ACSM: American College of Sports Medicine; FC: frecuencia cardíaca; RMP: relajación muscular progresiva.

Fuente: elaboración propia.

cas ni con las modulaciones de las DEI. En la RMP no se encontraron grandes variaciones de FC, siendo en la mayoría similar al estado de reposo.

En cuanto a la percepción del ejercicio con la escala de Borg, la media fue de $5 \pm 1,7$ (Mdn 5), lo cual permitió corroborar la realización de un ejercicio no extenuante. No se encontró tampoco una relación significativa entre el *IPAQ* y la percepción del ejercicio a través del Borg.

Del análisis de la relación entre el *IPAQ* y la variación de la frecuencia cardíaca durante el test de ejercicio de Ruffier–Dickson, se evidenció una relación directa: a mayor *IPAQ*, mayor variabilidad de la FC (tabla 4).

En cuanto a la coherencia cardíaca en los pacientes que realizaron el *biofeedback* (tabla 5), se destaca que la mayoría obtuvo un rendimiento en nivel principiante (55%), donde un 30% de los pacientes alcanzaron un nivel de bueno a muy bueno de coherencia cardíaca y solo un 15% mostró un nivel insuficiente.

Además, se analizó la relación entre una variabilidad de FC menor al 25% en el ejercicio, con la coherencia cardíaca en la técnica de *biofeedback*, la edad, el sexo y la politerapia. Los tres pacientes que tuvieron una insuficiente coherencia cardíaca también tuvieron una variabilidad menor al 25% en el ejercicio (prueba U de Mann–Whitney, $p = 0,010$) (casos #7,

Tabla 4. Actividad física habitual según el IPAQ y la variabilidad estimada de la FC con el ejercicio

Número de pacientes (#)	IPAQ	Variabilidad de FC
5	Sedentarios	21,7% ± 13%
6	Leve	25,3% ± 21%
8	Moderado	48,4% ± 25,8%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Resultados de datos de coherencia cardíaca en técnicas de biofeedback

Coherencia cardíaca		
Paciente	Puntaje	Nivel
Caso 13	2,0	Muy bueno
Caso 1	1,0	Bueno
Caso 3	1,1	Bueno
Caso 10	1,9	Bueno
Caso 16	1,9	Bueno
Caso 19	1,7	Bueno
Caso 2	0,9	Principiante
Caso 4	0,9	Principiante
Caso 6		0.9 Principiante
Caso 5	0,8	Principiante
Caso 9	0,9	Principiante
Caso 11	0,5	Principiante
Caso 12	0,7	Principiante
Caso 14	0,9	Principiante
Caso 15	0,7	Principiante
Caso 18	0,7	Principiante
Caso 20	0,6	Principiante
Caso 7	0,1	Insuficiente
Caso 8	0,1	Insuficiente
Caso 17	0,4	Insuficiente

Nota: 0,5-0,9 básico principiante; 1,0-1,9 bueno; 2,0-2,9 muy bueno y 3,0 excelente.

Fuente: elaboración propia.

#8 y #17, tablas 5 y 6), y no se encontró una relación significativa con la edad, el sexo y la politerapia. En cuanto a los pacientes con rendimiento de principiante en la técnica de *biofeedback*, los mismos no presentaron una relación significativa con la variabilidad de la FC en el ejercicio (tabla 6).

Discusión

En este estudio se encontró una modulación de las DEI durante la realización de actividad física, destacando el hallazgo de una disminución en las DEI durante el EA no extenuante en aproximadamente el 20% de los casos, y sin evidencia de su aumento durante la actividad física, es decir, en ningún caso se observó, lo cual es concordante con los resultados de estudios previos (15–17). Hay que mencionar que estos estudios se realizaron en una población heterogénea de pacientes con diferentes tipos y etiologías de epilepsia, por ejemplo, en niños con epilepsia refractaria (15), pacientes con epilepsia del lóbulo temporal (16) y epilepsia mioclónica juvenil (17).

Los mecanismos fisiológicos que relacionan la disminución de DEI durante la actividad física no han sido dilucidados, siendo una de las teorías postuladas el aumento de endorfinas y cambios en el pH sanguíneo (4).

Otro hallazgo fue el aumento de DEI en PEA comparado con EA, que se observó en cinco pacientes; esto también ha sido descrito en otro estudio (15), donde 4/26 pacientes presentaron un aumento en las DEI mayor al 30% posterior a un EA. Los autores de dicho estudio plantearon hipótesis tales como: bajos niveles de valor de pH, aumento de catecolaminas, hipertermia e hiperventilación como inductores posibles de un aumento de las DEI.

Además de lo descrito en actividad física, se analizó la variación en las DEI durante técnicas de RA, que incluyeron una prueba de RMP y una técnica de *biofeedback*. De la revisión de la literatura, en un ensayo clínico controlado aleatorizado describieron una reducción de crisis epilépticas con técnicas de RMP durante 12 semanas (22). En cuanto al *biofeedback* validado con el *software* EmWave, no hubo reportes en la literatura en valoración de frecuencia de crisis o modulación de DEI.

En este estudio se encontraron resultados variables, con aumento (3/20 pacientes) o inhibición (3/20 pacientes) de DEI en PRA y en RA, comparados con reposo y actividades consecutivas.

En otro estudio (25) se describió la presencia de inhibición de DEI frente a ciertas tareas cognitivas en algunos pacientes con epilepsia mioclónica juvenil, postulándose un rol de la atención en este fenómeno inhibitorio, el cual podría compararse con los hallazgos del presente estudio, debido a que la RMP constituye una actividad de seguimiento de ór-

Tabla 6. Relación variabilidad de FC y coherencia cardíaca (n=19)

Variabilidad de FC	Coherencia cardíaca			Total
	Insuficiente	Principiante	Buena o muy buena	
Menor al 25 %	3	4	0	7
Mayor al 25 %	0	6	6	12

Nota: FC: frecuencia cardíaca.

Fuente: elaboración propia.

denes y concentración en la contracción-relajación de movimientos corporales en sentido cefalocaudal y el *biofeedback* es una actividad de concentración y atención en un paisaje. Por otra parte, el aumento en las DEI en esta condición en algunos pacientes podría equipararse a lo observado posrealización de tareas cognitivas en estudios previos (24–25).

Los datos de FC durante el test de EA y la realización de la escala de Borg (escala de percepción subjetiva de ejercicio) ayudaron a confirmar que los pacientes realizaron un ejercicio no extenuante. En ese sentido, la presente investigación no es comparable con otros trabajos, ya que en la mayoría de los estudios descritos (8) se buscó alcanzar el agotamiento, en tanto que en esta oportunidad se buscó priorizar la posible aplicación de los hallazgos a actividades que pudieran realizarse luego de forma ecológica. De todas formas, constatamos que el efecto sobre las descargas interictales de la actividad física no extenuante es similar al referido en la literatura para el ejercicio extenuante.

Se ha descrito una disminución en la variabilidad de la FC en personas con epilepsia, particularmente farmacorresistentes del lóbulo temporal y postulándose un rol en la muerte súbita inesperada en epilepsia o SUDEP (siglas en inglés para *sudden unexpected death in epilepsy*) (23).

El estudio de variabilidad de FC se realiza usualmente a través de dispositivos de registro continuo durante actividad basal, pero en esta investigación se realizó una estimación basada en promedios de FC alcanzada en diferentes tipos de actividad física, sin contar con valores de referencia con esta metodología ni durante el ejercicio físico, para establecer comparaciones válidas. Al tener en cuenta estas limitaciones, se encontraron elementos sugestivos de una reducción en la variabilidad de la FC, a través de una estimación operacional, en 7 de 19 pacientes,

sin relación significativa con el tipo o la topografía de origen de la epilepsia, ni con el *IPAQ* previo, y se presentó en un grupo heterogéneo de pacientes. Se destaca que los métodos no estandarizados utilizados para medir la FC y la coherencia cardíaca durante el ejercicio y el *biofeedback* pudieron limitar la validez de estos datos y su interpretación. La profundización del análisis de estas variables requerirá de estudios específicamente diseñados para este objetivo central, con mayor tamaño muestral y con un grupo control de individuos sin epilepsia, para fortalecer los hallazgos.

A través de la aplicación de técnicas de *biofeedback*, se obtuvieron datos de coherencia cardíaca y se encontró, como hallazgo significativo, que 3/20 pacientes que presentaban baja variabilidad de FC (cambio con el ejercicio menor a un 25%), tenían menor rendimiento en el *biofeedback*, con puntajes menores a 0,5 en coherencia cardíaca. Estos datos abren la puerta para considerar la variación de la FC y la coherencia cardíaca como potenciales biomarcadores de riesgo de SUDEP (23).

Este estudio presenta limitaciones como son: un bajo número de pacientes, el sesgo de selección de la muestra por un lado, y también la heterogeneidad de ésta, lo que contribuye a limitar la generalización de los resultados. De todas formas, se trata de un primer estudio, con el objetivo de validar la metodología y se piensa que puede constituir el primer paso para estudios en cohortes de pacientes mayores y con diferentes subgrupos clínicos o demográficos. No se incluyó un grupo de control, que tendría sentido si el diseño comparara la respuesta diferencial en distintos tipos de epilepsia, pero que no era el objetivo del presente estudio.

Por otra parte, la comparación de la variabilidad de las DEI en diferentes pacientes sometidos o no a intervención de ejercicio físico presentaría la mayor

dificultad sobre la extensa variabilidad interindividual en la frecuencia de DEI y en sus oscilaciones.

También se reconocen las limitaciones técnicas en la lectura del EEG durante el ejercicio aeróbico; donde para minimizar este factor, se realizó una prueba piloto para verificar la calidad del registro con diferentes patrones de ejercicio físico. En consecuencia, se modificó el test de Ruffier– Dickson para adaptarlo al registro EEG y disminuir así los artefactos que permitieran una mejor lectura. Los datos de la escala de Borg y la modificación de la FC muestran que el protocolo de ejercicio fue eficaz para alcanzar el efecto deseado. Finalmente, se asume que la realización de las diferentes actividades bajo un diseño secuencial y sucesivo puede haber influido en los resultados, particularmente en los últimos períodos del protocolo, sin embargo, esto permitió realizar la comparación entre períodos consecutivos, así como homogeneizó el período basal de referencia.

Si bien el mayor impacto de esta línea de investigación estaría en la potencialidad de incluir el ejercicio físico o ciertos tipos de actividad física en los protocolos terapéuticos en pacientes con epilepsia como medida complementaria para mejorar la frecuencia de crisis, esto requeriría de estudios con mayor número de pacientes y en exposiciones a protocolos más prolongados en el tiempo, idealmente ecológicos, con limitaciones reconocidas en el reclutamiento, la financiación y la adherencia. De los hallazgos significativos, se enfatiza que los pacientes que inhibieron las DEI durante el ejercicio aeróbico no tenían epilepsia farmacorresistente; por lo que se postula que, con las limitaciones metodológicas antedichas, este hallazgo puede sustentar un mayor rol de la actividad física como medida complementaria eficaz en el control de las crisis epilépticas en pacientes con epilepsia activa, pero no severa, que constituyen hasta el 70–80% de las personas con epilepsia, en tanto que no sería una intervención suficiente para un cambio drástico en el subgrupo de pacientes con farmacorresistencia, naturalmente más complejos y con mayor epileptogenicidad.

Si bien el número de pacientes incluidos es muy bajo para emitir conclusiones, estos resultados no permiten identificar características clínicas que se asocien a una potencial respuesta inhibitoria del ejercicio en las descargas epilépticas o crisis, especialmente en pacientes con farmacorresistencia.

Conclusión

Diferentes tipos de actividad en pacientes con epilepsia pueden causar modulación de las descargas epileptiformes interictales. En este protocolo de ejercicio físico no extenuante hubo inhibición de las descargas epileptiformes, con rápido retorno al basal, en un 20% de los casos. Las técnicas de RA raramente asociaron cambios y la relajación al finalizar el protocolo se asoció a modulación frecuente y variable.

En tanto que el presente estudio aporta un marco metodológico para el estudio de la respuesta electroencefalográfica a la actividad física en pacientes con epilepsia, se requieren estudios adicionales en poblaciones mayores o subpoblaciones específicas para definir el significado de estos hallazgos, así como su potencial influencia, contribuyendo al manejo no farmacológico en los pacientes con epilepsia.

Contribución de los autores. Stephanie Pino: conceptualización, curaduría de los datos, investigación, metodología, supervisión, administración del proyecto, visualización, escritura del borrador original; Luis Urban: conceptualización, curaduría de los datos, investigación, metodología, visualización, escritura del borrador original, revisión, edición del manuscrito, validación; Andrea Mattiozzi: investigación, metodología, administración del proyecto, recursos materiales, escritura, revisión y edición del manuscrito; Mónica Viñoles: metodología, administración del proyecto, recursos materiales, *software*; María Pagés: investigación y recursos materiales; Paola Soares de Lima: investigación, recursos materiales; Patricia Braga: conceptualización, curaduría de los datos, investigación, metodología, supervisión, administración del proyecto, visualización, análisis formal de los datos, redacción, revisión y edición; Sofia González: recursos materiales, supervisión.

Financiación. Los autores declaran que el presente estudio no contó con financiación.

Conflictos de interés. Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado al presente trabajo.

Implicaciones éticas. El protocolo de investigación se aplicó, previo consentimiento informado, a pacientes en los que estaba indicado el estudio electroencefalográfico con motivos diagnósticos asistenciales. La actividad física propuesta se adaptó a las condiciones de la sala de registro para minimizar el riesgo de caídas durante el mismo, en caso de presentar una crisis epiléptica. No se modificó la medicación habitual para este estudio, sin implicar ningún riesgo es-

pecífico por la intervención en sí misma. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital de Clínicas.

Agradecimientos. A todo el personal del Departamento de Neurofisiología, de la clínica del Hospital de Clínicas, por su apoyo durante la realización de trabajo.

Referencias

1. Nakken KO. Physical exercise in outpatients with epilepsy. *Epilepsia*. 1999;40(5):643-51. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1999.tb05568.x>
2. Allendorfer JB, Arida RM. Role of physical activity and exercise in alleviating cognitive impairment in people with epilepsy. *Clin Ther*. 2018;40(1):26-34. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2017.12.004>
3. Pimentel J, Tojal R, Morgado J. Epilepsy and physical exercise. *Seizure*. 2015;25:87-94. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2014.09.015>
4. Arida RM, Guimarães de Almeida AC, Cavalheiro EA, Scorza FA. Experimental and clinical findings from physical exercise as complementary therapy for epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2013;26(3):273-8. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2012.07.025>
5. Capovilla G, Kaufman KR, Perucca E, Moshé SL, Arida RM. Epilepsy, seizures, physical exercise, and sports: a report from the ILAE Task Force on Sports and Epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(1):6-12. <https://doi.org/10.1111/epi.13261>
6. Lundgren T, Dahl J, Yardi N, Melin L. Acceptance and commitment therapy and yoga for drug-refractory epilepsy: a randomized controlled trial. *Epilepsy Behav*. 2008;13(1):102-8. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2008.02.009>
7. Sathyaprabha TN, Satishchandra P, Pradhan C, Sinha S, Kaveri B, Thennarasu K, et al. Modulation of cardiac autonomic balance with adjuvant yoga therapy in patients with refractory epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2008;12(2):245-52. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2007.09.006>
8. Fialho GL, Pagani AG, Walz R, Wolf P, Lin K. Maximal/exhaustive treadmill test features in patients with temporal lobe epilepsy: search for sudden unexpected death biomarkers. *Epilepsy Res*. 2017;133:83-8. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2017.04.014>
9. McAuley JW, Long L, Heise J, Kirby T, Buckworth J, Pitt C, et al. A prospective evaluation of the effects of a 12-week outpatient exercise program on clinical and behavioral outcomes in patients with epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2001;2(6):592-600. <https://doi.org/10.1006/ebeh.2001.0271>
10. Volpato N, Kobashigawa J, Yasuda CL, Kishimoto ST, Fernandes PT, Cendes F. Level of physical activity and aerobic capacity associate with quality of life in patients with temporal lobe epilepsy. *PLoS One*. 2017;12(7):e0181505. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181505>
11. Eriksen HR, Ellertsen B, Grønningsaeter H, Nakken KO, Løyning Y, Ursin H. Physical exercise in women with intractable epilepsy. *Epilepsia*. 1994;35(6):1256-64. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1994.tb01797.x>
12. Bjørholt PG, Nakken KO, Røhme K, Hansen H. Leisure time habits and physical fitness in adults with epilepsy. *Epilepsia*. 1990;31(1):83-7. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1990.tb05364.x>
13. Gloor P. The EEG and differential diagnosis of epilepsy. En: Van Duyn H, Donker DNJ, Van Huffelan AC (eds). *Current Concepts in Clinical Neurophysiology*. The Hague: NY Drukker Trio; 1977: 9-21.
14. Aykut Kural M, Duez L, Sejer Hansen V, Larsson PG, Rampp S, Schulz R, et al. Criteria for defining interictal epileptiform discharges in EEG: a clinical validation study. *Neurology*. 2020;94(20):e2139-47. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000009439>
15. Nakken KO, Løyning A, Løyning T, Gløersen G, Larsson PG. Does physical exercise influence the occurrence of epileptiform EEG discharges in children? *Epilepsia*. 1997;38(3):279-84. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1997.tb01118.x>
16. Vancini RL, Barbosa de Lira CA, Scorza FA, de Albuquerque M, Sousa BS, de Lima C, et al. Cardiorespiratory and electroencephalographic responses to exhaustive acute physical exercise in people with temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2010;19(3):504-8. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2010.09.007>

17. De Lima C, Vancini RL, Arida RM, Guilhoto LM, de Mello MT, Tavares Barreto A, et al. Physiological and electroencephalographic responses to acute exhaustive physical exercise in people with juvenile myoclonic epilepsy. *Epilepsy Behav.* 2011;22(4):718–22. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2011.08.033>
18. Beghi E. The epidemiology of epilepsy. *Neuroepidemiology.* 2020;54(2):185–91. <https://doi.org/10.1159/000503831>
19. Mantilla Toloza SC, Gómez-Conesa A. El Cuestionario Internacional de Actividad Física. Un instrumento adecuado en el seguimiento de la actividad física poblacional. *Rev Iberoam Fisioter Kinesiol.* 2007;10(1):48–52. [https://doi.org/10.1016/S1138-6045\(07\)73665-1](https://doi.org/10.1016/S1138-6045(07)73665-1)
20. Sartor F, Bonato M, Papini G, Bosio A, Mohammed RA, Bonomi AG, et al. A 45-second self-test for cardiorespiratory fitness: heart rate-based estimation in healthy individuals. *PLoS One.* 2016;11(12):e0168154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168154>
21. Polak EL, Privitera MD, Lipton RB, Haut SR. Behavioral intervention as an add-on therapy in epilepsy: designing a clinical trial. *Epilepsy Behav.* 2012;25(4):505–10. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2012.09.012>
22. Haut SR, Lipton RB, Cornes S, Dwivedi AK, Wasson R, Cotton S, et al. Behavioral interventions as a treatment for epilepsy: a multicenter randomized controlled trial. *Neurology.* 2018;90(11):e963–70. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000005109>
23. Myers KA, Sivathamboo S, Perucca P. Heart rate variability measurement in epilepsy: how can we move from research to clinical practice? *Epilepsia.* 2018;59(12):2169–78. <https://doi.org/10.1111/epi.14587>
24. Braga P, Mameniskienė R, Guaranha M, Zeissig EV, Samaitienė R, Özcelik EU, et al. Cognitive tasks as provocation methods in routine EEG: a multicentre field study. *Epileptic Disord.* 2021;23(1):123–32. <https://doi.org/10.1684/epd.2021.1248>
25. Beniczky S, Bittar Guaranha MS, Conradsen I, Bhushan Singh M, Rutar V, Lorber B, et al. Modulation of epileptiform EEG discharges in juvenile myoclonic epilepsy: an investigation of reflex epileptic traits. *Epilepsia.* 2012;53(5):832–9. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2012.03454.x>