

**COMPORTAMIENTO ELECTROENCEFALOGRÁFICO DE LAS ONDAS BETA EN
EJERCICIO FÍSICO, ESFUERZO MENTAL Y TRABAJO COORDINATIVO: UNA
REVISIÓN DOCUMENTAL**

Grupo de investigación : GICAEDS grupo de investigación en ciencias aplicadas al estudio
del deporte y la salud.

Línea de Investigación : Fisiología del ejercicio físico y entrenamiento deportivo.

Autores :

David Vanegas Albarracín - 2261830

Brahian Camilo Suarez Linares - 2273611

Universidad Santo Tomás de Colombia

División de ciencias de la salud

Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación

Bogotá D.C

Mayo de 2023

TRABAJO COORDINATIVO**Tabla de contenido**

Resumen	2
Abstract	3
Introducción	4
Planteamiento del problema	8
Pregunta de Investigación	9
Objetivos.....	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
Justificación	11
Marco Legal	12
Plan de analisis	13
Metodologia.....	15
Resultados.....	19
Discusion.....	28
Conclusiones.....	29
Referencias.....	31
Anexos.....	38

TRABAJO COORDINATIVO

Resumen (abstract) y Palabras clave

El presente estudio tiene como objetivo revisar en la literatura científica para lograr conocer el comportamiento electroencefalográfico de las ondas beta al momento de ejecutar actividades que demanden algún grado de esfuerzo mental, bajo la práctica de ejercicio físico y cuando está realizando actividades que requieran trabajo coordinativo. El motivo de esta revisión es aumentar la cantidad de información disponible en la literatura educativa colombiana, frente a la aplicación de electroencefalograma en actividades relacionadas con la acción motriz, la cual es el objeto de estudio el programa de cultura física, deporte y recreación de la universidad Santo Tomás. Se revisaron, analizaron y sintetizaron las evidencias encontradas en más de 30 artículos revisados en base de datos como lo son Pubmed, Google Académico, Redalyc, Scielo, Doaj, Latindex, ScienceDirect. El enfoque que se plantea a lo largo de este documento es de carácter cualitativo, la evaluación de la información hasta su transmisión, a través del método de revisión documental con matrices. Los resultados evidencian que el comportamiento de las ondas beta bajo estos estímulos, resulta ser llamativo debido a su alta presencia y el poder de sus ondulaciones. Se puede establecer una relación directa entre la actividad de las ondas beta, los aumento de demandas cognitivas causado por diferentes grados de esfuerzo mental, también causado por el incremento de la practica de ejercicio físico o por la inclusión del trabajo coordinativo, estos, demostrando ser estímulos beneficios debido al aumento de la actividad eléctrica cerebral.

Palabras clave: Electroencefalograma, ondas beta, ejercicio físico, trabajo coordinativo, esfuerzo mental

TRABAJO COORDINATIVO**Abstract**

The present study aims to review the scientific literature and seeks to know the electroencephalographic behavior of beta waves when carrying out activities that require some degree of mental effort, while practicing physical exercise and when carrying out activities that require coordination work. . The reason for this review is to increase the amount of information available in the Colombian educational literature, compared to the application of electroencephalograms in activities related to motor action whose object of study is the physical culture, sport and recreation program of the Universidad Santo Thomas. The evidence found in more than 30 articles reviewed in databases such as Pubmed, Google Scholar, Redalyc, Scielo, Doaj, Latindex, ScienceDirect were reviewed, analyzed and synthesized. The approach that is proposed throughout this document is of a qualitative nature, from the evaluation of the information until its transmission, through the documentary review method with matrices. The results show that the behavior of beta waves under these stimuli turns out to be striking due to its high presence and the power of its undulations. A direct relationship can be established between the activity of beta waves, the increase in cognitive demands caused by different degrees of mental effort, also caused by the increase in the practice of physical exercise or by the inclusion of coordination work, these, proving to be Beneficial stimuli for increased brain electrical activity.

Keywords: Electroencephalogram, beta waves, physical exercise, coordination work, mental effort

TRABAJO COORDINATIVO

Introducción

- **Electroencefalografía y ondas beta**

La electroencefalografía corresponde a una técnica de exploración funcional del sistema nervioso central. El electroencefalograma (EEG) es capaz de identificar la actividad neuronal, que resulta de los potenciales postsinápticos excitatorios e inhibitorios; por lo tanto, un registro de EEG es el resultado de múltiples frecuencias creadas por la actividad eléctrica de grupos de neuronas que se activan al tiempo. Esta técnica suele ser no invasiva, ya que generalmente los electrodos se posicionan sobre el cuero cabelludo de acuerdo al sistema internacional 10-20 el cual hace referencia al porcentaje (10 y 20) de distancia en la que deben estar colocados los electrodos en la parte frontal, temporal, central, parietal y occipital del lado derecho donde los números son pares y del lado izquierdo del cráneo, los números son impares. Cada sitio tiene una letra para identificar el lóbulo y un número para identificar la ubicación del hemisferio. y se ubican sobre el cuero cabelludo (aunque en ocasiones es posible ubicarlos en la corteza cerebral o intracraneal) y registra la actividad neuronal en tiempo real (Ramos, Morales, Egozcue, Pabón y Alonso, 2009).

Como lo expresa Devibiss et al.(2019) las grabaciones de EEG miden la actividad eléctrica por medio de grandes poblaciones de neuronas en la corteza a lo largo del tiempo y reflejan los cálculos neuronales en curso y el procesamiento de información del cerebro, esto por medio de los montajes que son los distintos pares de electrodos organizados de varias formas (bipolar o monopolar) el primero registra la diferencia de voltaje entre los electrodos ubicados ambos en zonas de actividad cerebral, mientras que el monopolar, refleja la diferencia de voltaje entre un electrodo ubicado en una zona de actividad cerebral, con otro

TRABAJO COORDINATIVO

donde no hay. Basándose en Ramos et al. (2009) la señal de EEG contiene un espectro de frecuencias que se han dividido en varias ondas o bandas de frecuencia crecientes, delta (0.5–4 Hz), theta (4.5–8 Hz), alfa (8.5–13 Hz), beta (13.5–30 Hz), y gamma (30.5–100 Hz), donde las ondas alfa y beta se subdividen en alfa 1 (8.5–10 Hz), alfa-2 (10–13 Hz), beta-1 (12–15 Hz), and beta-2 (15–20 Hz).

Estas ondas se pueden identificar en diferentes instancias del sujeto al que se le realizan las mediciones, dependiendo de la actividad que esté realizando, según Hosang et al. (2022) “Las ondas delta son ondas de frecuencia lenta normalmente asociadas con etapas de sueño profundo, las ondas theta indican que un individuo se encuentra en un estado de relajación profunda, como meditar o cuando experimenta momentos de relajación emocional.” Además para Hosang et al. (2022) las ondas Alfa se pueden reconocer en un EEG cuando la persona está en un momento de relajación y de calma mental, cuando se encuentra en un estado de vigilia con actividades, para ser más específicos, las ondas alfa-1 (8,5 a 10 Hz) se observan a menudo cuando una persona está en un estado de alerta pero relajado, mientras que las ondas alfa-2 (10 a 13 Hz) se observan durante la relajación profunda. Las ondas beta, las cuales son el objeto de estudio del presente trabajo, se caracterizan por ser rápidas y desincronizadas, lo que significa que las neuronas en la corteza cerebral están disparando de manera rápida e independiente entre sí.

Según Ince et al. (2021) Las ondas beta fueron descubiertas y nombradas por Hans Berger el padre del electroencefalograma, en 1924. Estas ondas muestran una actividad eléctrica irregular y fluctuante, según Hills (2022) las ondas beta se clasifican en beta baja (16-21 hz) presente mayormente en procesos atencionales, ejecutivos, donde existe una demanda cognitiva y hay una inhibición selectiva de los estímulos y en beta alta (21-38 hz) donde

TRABAJO COORDINATIVO

existe una activación intensa, hay agitación y una mayor demanda de planificación motora. El estudio de estas ondas toma lugar cuando el sujeto se encuentra en estado de vigilia, bajo actividad mental y atención focalizada, y es importante su reconocimiento y estudio, ya que según MacLean et al. (2012) comportamientos óptimos del nivel y funcionamiento de las ondas beta, están relacionados con un estado de atención focalizada y procesamiento cognitivo, porque las ondas beta están relacionadas con la actividad de las regiones corticales superiores del cerebro, dichas regiones están involucradas en procesos cognitivos complejos, como el razonamiento, la solución de problemas y la toma de decisiones. Para Blasi (2019) el estudio de las ondas beta es primordial, ya que se ha demostrado que alteraciones en la misma, puede ser causante de trastornos neuropsiquiátricos, como la enfermedad del parkinson, el trastorno de déficit de atención por hiperactividad y la depresión. El autor clasifica estas ondas de manera diferente, mostrando un espectro más grande donde hay Beta 1 (de 12-15 Hz), Beta 2 (de 15-22 Hz) y Beta 3 (de 22-30 Hz) así mismo, sostiene que “Un exceso de Beta consume mucha energía. El mapa cerebral de un paciente con trastorno de ansiedad puede mostrar un exceso de Beta 2 o 3, lo cual implicaría una falta de regulación. Con Neurofeedback, se puede regular y disminuir la proporción de ondas Beta y conseguir así la mejoría de la ansiedad.” Blasi (2019) Las ondas beta son el objeto de estudio de Neurofeedback es una técnica en la que los individuos aprenden a regular su actividad cerebral en tiempo real mediante la retroalimentación visual o auditiva de su propio EEG, motivo por el cual estudiar las características de las ondas beta puede mejorar la eficacia de estas intervenciones terapéuticas, reconociendo así la importancia de las mismas para la vida en general.

TRABAJO COORDINATIVO

- **Ejercicio físico, esfuerzo mental y trabajo coordinativo**

Para comenzar identificar el **ejercicio físico**, según Guzmán y Morales (2019) es necesario primero reconocer que es la actividad física, la cual la definen como toda actividad realizada por el organismo, libre y voluntariamente, que es planificada, estructurada y repetitiva, con un mayor o menor consumo de energía es decir generando una modificación en la tasa metabólica basal y cuya finalidad es la de producir un mejor funcionamiento del propio organismo como, por ejemplo: correr, saltar, lanzar, ejercicios gimnásticos, nadar, esquiar, montar en bicicleta, levantar peso, luchar, remar, golpear objetos, caminar, etc. El ejercicio físico entraña la realización de estas actividades con una mayor o menor periodicidad y sin establecer competencias y, aunque se pueden practicar en grupo, no es necesario ni imprescindible la presencia de otras personas para su realización. (Ortega, 1992, p.65). Para Vega et al. (2017) “ Una actividad física como caminar, se convierte en ejercicio físico al programar su intensidad, duración y frecuencia”. La práctica de ejercicio físico puede ser muy variada, y se enmarca en dos aspectos generales, el ejercicio físico aeróbico, que también está dividido entre dinámico e isotónico y el anaeróbico, que puede ser láctico y aláctico.

Las actividades que usualmente los sujetos deben completar en su día a día contienen exigencias físicas y mentales, cuando es predominante lo muscular se habla de esfuerzo físico; por el contrario, cuando se implica un mayor esfuerzo intelectual se está refiriendo a esfuerzo mental, este **esfuerzo mental** según García et al. (2002) se define como el grado de dificultad con el que se realizan ciertas actividades a las que el sujeto se ve sometido a completar, puede ser bajo, aceptable, moderado, elevado y máximo. Es importante reconocer que en las funciones ejecutivas es cuando más cerca se está del esfuerzo mental, estas

TRABAJO COORDINATIVO

funciones son, actividades mentales complejas, necesarias para planificar, organizar, guiar, revisar, regularizar y evaluar el comportamiento necesario para adaptarse eficazmente al entorno y para alcanzar metas (Bauermeister, 2008). Las cuales se pueden mencionar como, memoria del trabajo, planificación, razonamiento, flexibilidad, inhibición, toma de decisiones, ejecución temporal, ejecución dual y multitarea.

Para cumplir con funciones tan continuamente demandantes es necesario para el sujeto lograr un **trabajo coordinativo** óptimo, el cual se puede definir como la capacidad de ordenar y organizar las acciones motrices orientadas hacia un objetivo determinado con precisión, eficacia, economía y armonía, lo que demanda una actividad del sistema nervioso que integra todos los factores motores sensitivos y sensoriales necesarios para la realización adecuada de movimientos. (Vidarte et al. 2018) El trabajo de la capacidad coordinativa ha demostrado ser beneficioso tanto para el aspecto físico “puede estar asociados a valores más elevados de actividad física y ser un factor preventivo del desarrollo de exceso de peso” como el aspecto psíquico ya que su práctica aumenta los niveles de atención, hay agitación y una mayor demanda de planificación motora.

Es importante reconocer la interacción de los conceptos previamente mencionados, ya que su relación es la que le otorga un sentido al presente documento, la práctica de ejercicio físico, el esfuerzo mental, y la demanda de trabajo coordinativo se ha de ver reflejada en la electroencefalografía, especialmente en las ondas beta de la misma.

Planteamiento del problema

En la actualidad existen muchas herramientas tecnológicas que permiten reconocer el comportamiento del cuerpo humano bajo diferentes condiciones, el electroencefalograma es

TRABAJO COORDINATIVO

una práctica que ayuda a identificar la actividad eléctrica del encéfalo, y así mismo permite generar conclusiones sobre su funcionamiento, en el territorio nacional Colombiano la práctica de electroencefalografía tiende a ser más de entorno médico, y de manera curativa, usualmente y según la manera de presentar el servicio de las clínicas, cuando el sujeto se realiza un examen de este estilo, puede ser porque sufre de deterioro del estado de conciencia, presenta confusión mental, somnolencia excesiva, desvanecimientos. Puede ser porque presenta pérdida de las funciones cognitivas, sufre de amnesia, demencia, alteraciones del comportamiento. Otros motivos usuales para que una persona pida este tipo de estudios es que sufre de convulsiones y cuadros severos de epilepsia, padece de enfermedades cerebrales como el Alzheimer, ha sufrido algún traumatismo craneal, ha padecido un infarto cerebral, quiere evaluar posibles trastornos del sueño como el insomnio o la narcolepsia, o ha tenido una infección como la meningitis que puede afectar al cerebro. Cuando el paciente es un niño usualmente es para realizar el diagnóstico de posibles malformaciones congénitas o de problemas en el desarrollo del cerebro.

La práctica de electroencefalografía no es común en otros espacios, fuera del médico, es poco lo que se encuentra en la literatura Colombiana sobre el uso de esta práctica en actividades que involucren el ejercicio físico, el esfuerzo mental o el mismo trabajo coordinativo. Se reconoce que estas son actividades demandantes tanto física como mentalmente, por este motivo se establece una relación con las ondas beta, porque en la lectura del electroencefalograma se puede encontrar con mayor prevalencia este tipo de ondas.

Estos son los motivos por los cuales como futuros profesionales de la cultura física, el deporte y la recreación ha surgido la pregunta de ¿Cómo se ve afectado el comportamiento

TRABAJO COORDINATIVO

de las ondas beta medidas a través del electroencefalograma durante la realización de trabajo coordinativo, ejercicio físico y esfuerzo mental ?

Objetivos**Objetivo general:**

Realizar una revisión documental y describir el comportamiento electroencefalográfico de las ondas beta durante el ejercicio físico, el esfuerzo mental y el trabajo coordinativo.

Objetivos específicos:

- Identificar los estudios previos que han investigado el comportamiento electroencefalográfico de las ondas cerebrales durante el ejercicio físico.
- Revisar la literatura científica existente sobre el comportamiento electroencefalográfico de las ondas beta durante el esfuerzo mental, físico y coordinativo.
- Analizar los resultados de los estudios que han investigado el comportamiento electroencefalográfico de las ondas beta durante el esfuerzo mental, físico y coordinativo.
- Comparar los hallazgos de los diferentes estudios y extraer conclusiones sobre el comportamiento electroencefalográfico de las ondas beta en los distintos tipos de actividad.

TRABAJO COORDINATIVO**Justificación**

La electroencefalografía en la literatura científica colombiana suele encontrarse con prevalencia en el área de la salud, espacio del cual hace parte el programa de cultura física, deporte y recreación, aunque, en este mismo, no es común la práctica del electroencefalograma, es una oportunidad para el presente documento promover el uso de esta herramienta tecnológica en temas relacionados al deporte, al ejercicio físico y a espacios más cercanos de la acción motriz. Hay muestras del uso de electroencefalograma en psicología, como el estudio realizado por Ramos et al. (2018) donde se midió la actividad cerebral eléctrica de los ex participantes del conflicto armado colombiano con trastorno de personalidad antisocial, en reposo. El uso de esta herramienta también se encuentra en la robótica, con el estudio realizado por Balanta et al. (2021) donde se realizó el análisis de las señales del electroencefalograma con potencial de uso en el control de una mano robótica, el control de esta mano se hacía por medio de la aplicación de imaginación motora, en el espacio local cercano a la actividad física se encuentra el estudio realizado por Serna et al. (2021) el cual tiene como título “Cognición, respuesta electroencefalográfica y su relación con la variabilidad de la frecuencia cardíaca”. Este documento presenta en sus datos la reducción de la actividad parasimpática y un aumento de la actividad simpática asociado a

TRABAJO COORDINATIVO

actividad theta de la corteza orbitofrontal. Es por estos motivos que el presente estudio toma relevancia al continuar dentro del área de la salud, pero adquirir la temática hacia el enfoque de la cultura física, el deporte y la recreación

Marco Legal

El ejercicio físico y actividad física en sus múltiples aplicaciones o variables han tomado fuerza a través de los años por los diferentes beneficios que han denotado científicamente y experiencial, aunque existen un porcentaje de inconvenientes en su práctica y es por ello que se han creado leyes, cartas, decretos entre otras figuras legales que han tenido que intervenir para regular y no tener aumento de complicaciones en su práctica o desarrollo ya que las repercusiones en la salud cuando no se realiza de manera adecuada y supervisada por profesionales han llegado a causar efectos letales inclusive hasta la muerte, en este sentido se encuentra en la Carta Internacional de la Educación Física, la Actividad Física y el Deporte en el principio número 7 habla sobre la responsabilidad de los profesionales y los practicantes de la educación física y el deporte en la promoción de la salud y la seguridad:

"Los profesionales de la educación física, la actividad física y el deporte tienen la responsabilidad de velar por la salud y la seguridad de las personas que participan en sus actividades. Esta responsabilidad incluye la aplicación de principios de seguridad apropiados y la identificación y evaluación de los riesgos potenciales para la salud asociados con la práctica de la actividad física y el deporte." (UNESCO,2015.p.4)

TRABAJO COORDINATIVO

Por otra parte, esta revisión documental que implica la práctica de ejercicio físico y la revisión de las ondas cerebrales que son reproducidas mediante un electroencefalograma, este último elemento electrónico mencionado, en la comunidad científica han generado cierto interés como lo especifica (Friedrich et al., 2021. p.17 citando a Stephen Rainey et al.2021.p.6) en su estudio que se abordan cuestiones legalmente relevantes relacionadas con los datos y el consentimiento en los dispositivos de registro neuronal, además se discute si la regulación actual de protección de datos es adecuada. Concluyen que los dispositivos de lectura del cerebro presentan problemas de consentimiento difíciles para los consumidores y desarrolladores de la tecnología. También son un desafío potencial para los estándares europeos actuales de protección de datos. Su uso puede volverse legalmente problemático, si la naturaleza del dispositivo resulta en una incapacidad para que el usuario ejerza sus derechos. Entendiendo así la normatividad que se puede manejar en los diferentes campos que abarca esta revisión sistemática y su importancia en la actualidad para la aplicación en futuras investigaciones o revisiones como lo es en este caso.

Plan de análisis

En este proceso investigativo, inicialmente se utiliza e investiga sobre el título entregado como trabajo de investigación por parte de la institución Universitaria para validación como trabajo de grado, se desglosa las categorías : ejercicio físico, esfuerzo mental, trabajo coordinativo y electroencefalograma. Se organizan de manera separada y posteriormente conjunta al observar la literatura con estas características se realizó una búsqueda ardua en donde en primer lugar se analiza la bibliografía que existe en español y se concluye que es poca la información encontrada, así que se realizó la respectiva traducción en inglés para

TRABAJO COORDINATIVO

abarcar mayores estudios y la bibliografía se expandió, las siguientes combinaciones en los buscadores que se realizaron para la búsqueda y análisis de título fueron las siguientes:

Ejercicio físico y Electroencefalograma/ EEG	Physical exercise and Electroencephalogram/EEG
Trabajo coordinativo y Electroencefalograma /EEG	Coordinative work and Electroencephalogram / EEG
Esfuerzo mental y encefalograma / EEG	Mental effort and encephalogram/EEG

Durante la investigación se pudieron observar que el uso de la sigla EEG pudo llegar a generar una cantidad de artículos con mayor relevancia a la revisión documental, además en algunos estudios se observaron que en su título no denotaba características de las palabras clave mencionada con anterioridad pero la información detallada de los artículos revisados fue relevante para complementar ideas o conceptos clave. En segundo lugar, se realizó una matriz en hoja de cálculo en el programa Microsoft EXCEL donde se ubican todos los artículos recolectados y se realizó una selección de los mismos delimitando según sus características que aportaran de manera adecuada y revisando si podrían ser incluidos o excluidos según criterios expuestos en la revisión documental. A partir de la matriz realizada se realizó la búsqueda detallada de la información de cada artículo y se agregaron las citas con citas textuales o parafraseadas adecuada para esta revisión documental.

TRABAJO COORDINATIVO**Metodología**

En la revisión documental de este estudio de literatura científica se analizaron y sintetizaron las evidencias encontradas en 40 artículos revisados en base de datos como lo son Pubmed, Google Académico, Redalyc, Scielo, Doaj, Latindex, ScienceDirect, utilizando los siguientes criterios de búsqueda:

- Artículos iguales o superiores al año 2010 en español, inglés y portugués.
- Descriptores científicos como lo son DeCS/ MeSH como estrategia de búsqueda.
- Artículos científicos que tengan relación con el ejercicio físico y el EEG, además de las ondas cerebrales emitidas en los diferentes lóbulos por el cerebro y su comportamiento en diferentes actividades, así como investigaciones que se relacionen con el trabajo coordinativo.
- Electroencefalografía: Se utilizaron términos como "electroencefalografía", "EEG" y "actividad cerebral" para identificar estudios que involucraran la medición de la actividad eléctrica del cerebro.

TRABAJO COORDINATIVO

- Ondas beta: Se utilizaron términos como "ondas beta" y "frecuencia beta" para encontrar estudios que se centraran en las características y el comportamiento de las ondas beta en el cerebro.
- Ejercicio físico: Se emplearon términos como "ejercicio físico", "actividad física" y "entrenamiento" para buscar investigaciones que exploren los efectos del ejercicio físico en la actividad cerebral y las ondas beta.
- Esfuerzo mental: Se utilizaron términos como "esfuerzo mental", "cognición" y "tarea cognitiva" para encontrar estudios que investigan cómo el esfuerzo mental y las tareas cognitivas podrían influir en las ondas beta.
- Trabajo coordinativo: Se emplearon términos como "trabajo coordinativo", "habilidades motoras" y "coordinación motriz" para buscar investigaciones que exploren la relación entre el trabajo coordinativo y las ondas beta en el cerebro.

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- Estudios en humanos de ambos sexos y de cualquier edad.
- Estudios que evalúen el comportamiento electroencefalográfico de ondas beta en relación al ejercicio físico, esfuerzo mental y trabajo coordinativo.
- Estudios que utilicen técnicas de registro de electroencefalograma para medir la actividad de las ondas beta.
- Estudios que proporcionen datos suficientes para permitir la extracción de estadísticas de interés, como el tamaño del efecto o la magnitud de la diferencia entre grupos.
- Estudios que evalúen el comportamiento electroencefalográfico de ondas beta en relación al ejercicio físico, esfuerzo mental y trabajo coordinativo.

TRABAJO COORDINATIVO

- Estudios que utilicen técnicas de registro de electroencefalograma para medir la actividad de las ondas beta.
- Estudios que proporcionen datos suficientes para permitir la extracción de estadísticas de interés, como el tamaño del efecto o la magnitud de la diferencia entre grupos.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Estudios que no abordan específicamente el comportamiento electroencefalográfico de ondas beta.
- Estudios que utilicen técnicas de registro diferentes al electroencefalograma para medir la actividad de las ondas beta.
- Estudios que se centren en poblaciones especiales, como deportistas de élite, personas con trastornos neurológicos o enfermedades crónicas.
- Estudios que utilicen intervenciones no relacionadas con el ejercicio físico, el esfuerzo mental o el trabajo coordinativo.
- Estudios que no proporcionen suficiente información para permitir la extracción de estadísticas de interés.

Una vez definidos los criterios de inclusión y exclusión, se procedió a realizar una búsqueda sistemática en las bases de datos seleccionadas. Para ello, se utilizaron las siguientes palabras clave: "actividad física", "electroencefalograma", "ondas cerebrales", "lóbulos cerebrales", "esfuerzo mental" y "trabajo coordinativo". Estas palabras clave se combinaron utilizando los conectores "AND" y "OR" según fuera necesario, con el fin de limitar la búsqueda a los estudios relevantes además de la búsqueda de las mismas palabras cambiando al idioma inglés para ubicar una mayor cantidad de estudios ya que en español resulta poca la literatura. Una vez identificados los estudios relevantes, se extrajeron los datos necesarios para realizar un análisis detallado de los mismos. Para ello, se creó una base de datos en Microsoft Excel

TRABAJO COORDINATIVO

en la que se registraron los siguientes datos: título del artículo, año, autores de publicación, esfuerzo físico, esfuerzo mental, trabajo coordinativo, EEG/ Ondas beta, tipo de población, resumen, metodología y resultados.

Una vez que se completó la extracción de datos, se procedió a realizar un análisis crítico de la calidad de los estudios incluidos. Para ello, se utilizaron las herramientas de evaluación que detallan la calidad metodológica de los estudios disponibles en la literatura científica, esta herramienta AMSTAR 2 la cual lo define Shea et al. (2017) como AMSTAR 2 (AMeasurement Tool to Assess systematic Reviews) herramienta de evaluación de la calidad de las revisiones sistemáticas desarrollada por la Joanna Briggs Institute en 2017. Esta herramienta consta de 16 ítems agrupados en siete dominios para evaluar la calidad metodológica y la transparencia de las revisiones sistemáticas. AMSTAR 2 está diseñado para ser utilizado por revisores sistemáticos, gestores de investigación y editores de revistas científicas para evaluar críticamente la calidad de las revisiones sistemáticas y metaanálisis en la investigación en salud. La herramienta es recomendada por organizaciones líderes en el campo de la salud, como el Cochrane Collaboration, para evaluar la calidad de las revisiones sistemáticas. La tabla AMSTAR 2 se expresa en la tabla 1 la cual presenta los artículos enumerados en fila y en la columna las preguntas de los 7 dominios correspondientes a la herramienta AMSTAR 2. Cabe resaltar que tiene un enfoque por los artículos de revisión sistemática y metaanálisis, algunos autores afirman que podría aplicarse para otro tipo de artículos debido a que sus preguntas son aplicables sin obtener un sesgo o incoherencia en cuanto a la rigurosidad y el objetivo que se desea con esta herramienta.

Tabla 1.

TRABAJO COORDINATIVO

	ARTICULOS CIENTIFICOS ENUMERADOS																											
7 ITEMS AMSTAR2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1. ¿La investigación tiene una pregunta claramente definida?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
¿Se proporciona una lista de los estudios incluidos/excluidos en la revisión?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
¿Se evaluó la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
¿Se proporciona una síntesis de los hallazgos de los estudios incluidos en la revisión?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
¿Se proporciona una declaración de los conflictos de interés?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
¿Se realizó una combinación apropiada de los estudios incluidos en la revisión?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
¿Se evaluó la probabilidad de sesgo en los estudios incluidos en la revisión?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Se codifican las respuestas de la tabla con los siguientes valores: 1 y 0, el número uno representa “SI” y el cero “NO” .

Además de ello, como grupo investigador se integró una tabla que se encontrara en el enunciado de anexos, la cual consta de cuatro variables que son importantes para esta revisión, la cual se compone de esfuerzo físico, esfuerzo mental, trabajo coordinativo, EEG/ Ondas beta esto ‘permite observar cada artículo tenga las características suficientes para participar de la revisión.

Resultados

Ondas beta y Ejercicio físico

En lo que respecta a la revisión documental sobre el ejercicio físico y ondas beta se encuentra en las primeras búsquedas donde describe que el EEG como la herramienta menos invasiva, más económica y más accesible para medir la actividad cerebral. Lo hace registrando las descargas eléctricas de los procesos biológicos que ocurren a nivel celular cuando un grupo

TRABAJO COORDINATIVO

de neuronas se activa. Otras herramientas más relacionadas con la conductividad también pueden medir la actividad cortical, incluyendo el campo magnético resonante y el electroencefalograma, donde su medición permite determinar la inclusión del ejercicio físico el cual se asocia con mejoras en la cognición (Pedroso et al., 2021)."

Por otra parte, durante muchos años, el EEG se consideró inadecuado para el análisis de la actividad cerebral durante el ejercicio. La razón de esto es que a los participantes del estudio generalmente se les pidió que se sentaran relativamente quietos en un ambiente tranquilo, para minimizar los artefactos de movimiento (Hosang et al. 2022, citando a Enders & Nigg, 2016). Los avances tecnológicos recientes han hecho que EEG sea mucho más adecuado para la recopilación de registros durante actividades cerebrales dinámicas (Bigliassi et al., 2021). Por ejemplo, los sensores EEG permiten que la señal se amplifique en la fuente, son más resistentes al ruido (frente al ruido en la señal eléctrica) y de menor tamaño. Además, el número de sensores EEG aplicados se ha incrementado de 32 a rejillas de alta densidad compuestas por hasta 264 electrodos (Castermans et al., 2014), lo que permite una mayor sensibilidad y una mejor localización de la fuente. Un avance importante para el campo del deporte y la ciencia del ejercicio fue la adopción del EEG seco a principios de la década de 1990 (Di Flumeri et al., 2019). Las ventajas de este método incluyen una mejor relación señal-ruido, así como la ausencia de requisitos para la preparación de la piel (p. ej., afeitado del cuero cabelludo) o la aplicación de pasta conductora (Taheri et al., 1994) . Esta característica del EEG seco significó que los experimentos requirieron menos tiempo de configuración, ya que la limpieza de los electrodos se hizo mucho más fácil. Además, el EEG seco ha demostrado ser menos sensible a la intrusión electromagnética del ruido exterior (Hinrichs et al., 2020), lo que ha facilitado una serie de estudios en entornos del mundo real

TRABAJO COORDINATIVO

(p. ej., paisajes urbanos, Tilley et al., 2017; carreteras, Protzak & Gramann, 2018; pistas de atletismo, Bigliassi et al., 2019).

Así entendemos una pequeña relación del EEG con el ejercicio físico ya que puede llegar a significar beneficioso para los diferentes escenarios del ejercicio físico. En los últimos años, se ha investigado la actividad cerebral durante actividades locomotoras como la marcha y el trote. Los estudios se han centrado principalmente en la marcha humana erguida y el trote lento. Se ha descubierto que las señales cerebrales de baja frecuencia registradas por el EEG pueden utilizarse para inferir la posición y el movimiento de las articulaciones durante la marcha. Además, se ha observado que diferentes regiones del cerebro exhiben patrones de frecuencia temporal relacionados con el movimiento. También se ha encontrado que el EEG muestra diferencias entre la marcha activa y pasiva, y que la retroalimentación interactiva durante la marcha mejora áreas cerebrales involucradas en la planificación y la intención motora. Estos hallazgos demuestran que la actividad cerebral responde a los cambios en los parámetros de la tarea, lo que sugiere que el EEG puede utilizarse para estudiar el control neural durante la locomoción humana. (Enders et al., 2016) Siguiendo esta línea, en el

TRABAJO COORDINATIVO

caso específico de Ciclistas de ruta Hottenrott et al. (2013) investigó ciclistas de alto rendimiento de diferentes modalidades, donde en la práctica, los ciclistas se desempeñan mejor a cadencias altas (90 rpm) a muy altas (110 rpm). Por lo tanto, el mejor rendimiento cuesta arriba se logra con una mayor cadencia. En el ciclismo en pista, una cadencia extremadamente alta también permite al atleta rendir al máximo. A pesar de los efectos negativos sobre la economía del movimiento, se necesita una cadencia alta para una producción de potencia alta en los deportes competitivos. En este contexto, el análisis de la actividad cortical del cerebro podría conducir a nuevos conocimientos sobre la relación entre potencia y cadencia. En el resultado de este estudio la potencia espectral del EEG aumentó de forma estadísticamente significativa ($p \leq 0,01$) en todos los rangos de frecuencia analizados desde la condición de reposo hasta el calentamiento (theta: +251 %, alpha-1: +182 %, alpha-2: +149 %; beta-1 : +131 %, beta-2: +157 %). Durante el ejercicio, la potencia espectral del EEG fue significativamente mayor en casi todos los rangos de frecuencia a 120 rpm en comparación con 60 rpm. Los cambios de cadencia se reflejan en la potencia espectral del EEG. Según lo expresado anteriormente observamos la variabilidad del deporte y

TRABAJO COORDINATIVO

cómo influye en la interpretación de las ondas en el EEG en las diferentes fases que tiene un deportista en su actividad que desempeña.

Entendiendo los efectos que puede tener el ejercicio físico y su relación con el EEG que expresan los diferentes autores, se entiende que en los últimos veinte años la promoción del ejercicio se ha convertido en un importante mensaje de salud pública. Esto se puede atribuir principalmente al impacto del ejercicio en los parámetros metabólicos y cardiorrespiratorios y su influencia en la salud física, además de esos cambios periféricos, la evidencia reciente sugiere que también hay una gran influencia del ejercicio en la función cortical del cerebro que parece estar relacionada con cambios en el rendimiento cognitivo, la excitación general y el bienestar. En general, se acepta que existen cambios temporales en las actividades de los EEG α y β causados por el ejercicio. Estos cambios se informaron por primera vez en la década de 1950 y se considera que reflejan un estado de relajación acumulada. En este estudio se trabajaron con un grupo de deportistas los cuales utilizaron 3 tipos de actividades como lo fueron: cinta rodante, manivela y ejercicio en bicicleta. Los resultados revelaron un aumento en la actividad α frontal inmediatamente después del ejercicio, mientras que los aumentos después del ejercicio en bicicleta se localizaron en las regiones parietales. Los tres tipos de ejercicio dieron como resultado un aumento de la actividad β en el área 7 de Brodmann. Quince y treinta minutos después del ejercicio, se notó un patrón de activación específico (disminución en la actividad cerebral frontal, aumento en las regiones occipitales) para la caminadora y la bicicleta, pero no para el ejercicio con manivela. Se concluye que los patrones de activación cerebral específicos están relacionados con diferentes tipos de ejercicio y las preferencias de ejercicio físico de los participantes. (Schneider et al., 2009)

TRABAJO COORDINATIVO

En otro estudio se evaluó a 14 estudiantes universitarios varones, quienes resolvieron una prueba de atención antes y después de una intervención de 30 minutos de ejercicio físico aeróbico. Para registrar su actividad cerebral se transmitió el dispositivo cerebro-interfaz. Se analizaron los registros del lóbulo frontal, temporal y occipital en el rango de frecuencia de 13 a 30 Hz (onda beta). Los resultados muestran valores de índices de Hurst (es una medida de dependencia de largo alcance) menores a 0,5, lo que muestra una actividad anti persistente, es decir, la actividad del cerebro cambia segundo a segundo durante la resolución de la prueba, situación que ocurre antes y después del ejercicio físico. Los sujetos tienden a presentar bajo número de correlaciones entre las regiones cerebrales estudiadas y parece ser que el ejercicio permite mantener un trabajo independiente de diversas regiones de la corteza, mejorando el desempeño en problemas de atención sostenida. (Ferro,Cid, Muñoz, & Aburto, 2020)

Ondas beta y Esfuerzo mental

Existe una relación directa de la activación de las ondas beta cuando el sujeto se encuentra bajo un esfuerzo mental, así lo demuestra Shoaib et al. (2023) en el estudio donde se exponen a 31 sujetos a varios estímulos lumínicos, de los sujetos de prueba la mitad había sido privada del descanso y los otros no, el estudio encontró que el color azul es el que más altera la actividad neuronal en la región prefrontal del participante sobre todo aumenta la actividad en las ondas beta. Cuando la persona no ha tenido descanso suficiente se reconoce menor actividad de estas ondas, por ende se demuestra menor estado de atención y de concentración. En el estudio de Doborjeh et al. (2019) se encuentran 18 sujetos bajo un programa llamado

TRABAJO COORDINATIVO

“Mindfulness Training” el cual consiste de tareas a ejecutar asertivamente y donde las ondas beta y las alfa fueron las que más conexiones y actividad presentaron en los diferentes grupos que tenía el experimento. Esta relación también se puede identificar cuando Kopańska et al. (2022) utiliza la terapia biofeedback la cual consta de tener un mayor control y conciencia de lo que sucede con el cuerpo del sujeto, disminuir sus niveles de estrés, de depresión y de pánico es el objetivo de esta terapia, y muestra que las ondas beta 1 y beta 2 disminuyeron significativamente tras la intervención. En el estudio de Ciria et al. (2019) el sujeto se somete al esfuerzo mental por medio del cumplimiento de una tarea “oddball” que trata de una estimulación viso manual, los participantes mientras realiza ejercicio físico (cicloergómetro) de moderada a alta intensidad o de intensidad ligera , debe encontrar dos objetivos específicos de tres posibles, los cuales se le van presentando en la pantalla. El sujeto debe accionar el botón conectado al manillar del cicloergómetro con el pulgar de su mano dominante y abstenerse de responder cuando se muestran los estímulos que no eran el objetivo. Se animó a los participantes a responder con la mayor precisión posible, esto demostró en las ondas beta bajas (14- 20 hz) un aumento de actividad cuando estaban bajo una intensidad ligera y disminuyó cuando se encontraban bajo una intensidad de moderada a alta. Las funciones ejecutivas se pueden reconocer como una actividad que demanda cierto grado de esfuerzo mental, así lo demuestra Wu et al. (2019) donde 35 adultos jóvenes divididos en grupos con diferente prescripción de ejercicios físico, tenían la tarea de completar el “ task-switching test “ el cual consiste en 6 bloques de 64 tareas ejecutivas, donde a la hora de medir electroencefalografía los resultados demuestran más aciertos y más actividad en la corteza cerebral en las personas que realizaron ejercicio físico. En la revisión sistemática realizada por Pan et al. (2018) se habla de control mental el cual se puede relacionar con el esfuerzo mental, durante la práctica del Tai Chi el sujeto está recibiendo

TRABAJO COORDINATIVO

tanto un estímulo físico, como un estímulo cognitivo. Esta revisión encontró que existe una relación entre la práctica de esta modalidad de ejercicio físico, el esfuerzo y control mental con una mayor amplitud y presencia de las ondas beta en el EEG de los sujetos, en especial de las personas que son recurrentes con esta práctica. En otro estudio realizado por Klados et al. (2016) en adultos mayores, se encontró que luego de una intervención de esfuerzo mental inducido por procesamiento auditivo y memoria del trabajo, más el ejercicio físico, está directamente relacionado con un mayor número de conexiones bilaterales en las regiones occipital, parietal, temporal y prefrontal de las ondas beta. La relación que existe entre el esfuerzo mental y el aumento de potencia, aumento de la presencia de las ondas beta se refleja en el estudio realizado por Wollseiffen et al. (2016) donde a 50 personas se les aplicó la prueba d2-R (el cual es un test que evalúa la atención selectiva, mediante una tarea de cancelación y tiene un tiempo limitado) y dos tareas cognitivas disponibles comercialmente, además de estas, se divide el grupo para realizar las intervenciones del ejercicio físico. Los resultados demostraron que hubo un aumento considerable de las ondas beta y alfa durante la práctica cognitiva que demandaba cierto grado de esfuerzo mental. En la revisión documental realizada por Cid et al. (2018) se encontró un estudio donde 30 personas de 18 a 30 años, realizaban la prueba de trazado de estrella frente al espejo, una acción que demanda cierto grado de esfuerzo mental, y sus resultados fueron, mayor actividad alfa y beta en el hemisferio izquierdo y en la corteza occipital durante el registro EEG. En el estudio realizado por Albuquerque et al. (2019) se estableció una carga de trabajo mental, por medio de “The Multi-Attribute Task Battery (MATB-II)” la cual demanda cierto nivel de esfuerzo mental en los participantes, más diferentes prescripciones de ejercicio físico, el estudio reconoció un aumento considerable en la actividad mental, al momento de aplicar la (MATB-II) pero identificó aún más demanda cognitiva al momento de implementar ejercicio

TRABAJO COORDINATIVO

físico de intensidad media y alta, un aumento en la actividad física requiere subjetivamente más recursos mentales, lo que aumenta aún más la carga de trabajo mental y activa diferentes regiones del cerebro, el estudio observa una supresión de la actividad de la banda alfa y un aumento de la actividad de la banda beta en respuesta al aumento de la carga de trabajo. Los sujetos del estudio de Mehren et al. (2019) tenían trastorno por déficit de atención con hiperactividad, estos se dividieron en grupo experimental y de control, fueron sometidos a la prueba “Go/ No-go” la cual demanda cierto grado de esfuerzo mental para ser completada, además se añadió la práctica de ejercicio físico a las pruebas, los resultados de este estudio reflejaron diferencias en los valores de las ondas beta máximos entre el grupo de ejercicio y el de control, se relaciona positivamente con mejoras asociadas al ejercicio en el rendimiento conductual.

Ondas beta y Trabajo coordinativo

El trabajo coordinativo que el sujeto realiza ha de interferir directamente en la actividad eléctrica cerebral, la electroencefalografía demuestra que esta activación puede notarse y tomar relevancia en las ondas beta, en un estudio realizado por Amjad et al. (2019) se demuestra como la práctica del trabajo coordinativo que demandan los juegos cognitivos del xbox 360 kinect han influenciado la frecuencia y la potencia de las ondas beta y alfa en adultos mayores. Otro estudio realizado por Amjad et al. (2019) se mostró una intervención donde los sujetos eran sometidos a tareas de trabajo coordinativo como lo son los “limb exercise” los cuales tienen como objetivo desarrollar la capacidad de ejecución de tareas, la

TRABAJO COORDINATIVO

atención, las habilidades motoras finas, la coordinación mano-ojo, el tiempo de reacción, el equilibrio y la coordinación de la parte superior e inferior del cuerpo, los resultados de este demostraron que los pacientes del grupo de intervención exhibieron aumentos significativamente mayores en los valores de potencia de las ondas EEG alfa y beta en todas las áreas del cerebro, lo que sugiere que el entrenamiento con ejercicios de las extremidades tuvo un efecto positivo en la función cerebral. En el estudio realizado por Visser et al. (2022) se estableció una relación entre la práctica de ejercicios desafiantes de coordinación en entornos cambiantes, denominados ejercicios de habilidades abiertas, y estos demuestran ser beneficiosos para la función cognitiva, en especial al demostrar mayor actividad de la corteza frontal. En la revisión documental realizada por Cid et al. (2018) se buscaron artículos que hablaran de las diferentes manifestaciones del movimiento humano y su relación con la actividad eléctrica cerebral medida por electroencefalografía, los resultados de diferentes estudios mostraron que, las ondas beta, sufrían un incremento en especial en los electrodos Fp1, F3, F4 y C4, ubicados en la zona frontal, también identificaron que dicho incremento en ondas beta puede verse relacionado con el aumento de fatiga que llega a sentir el sujeto, en términos específicos de trabajo coordinativo, se puede encontrar una intervención realizada a 10 bailarines profesionales, que durante 2 minutos de imaginación de una coreografía se encontró disminución en la correlación de electrodos en ondas beta y gamma durante proceso cognitivo.

TRABAJO COORDINATIVO

Discusión

El presente documento muestra y describe el comportamiento electroencefalográfico, de las ondas beta bajo la práctica de ejercicio físico, estímulos que generen esfuerzo mental y actividades que requieran la presencia del trabajo coordinativo. Se reconoce en primer lugar que la presencia de las ondas beta o la activación de las mismas depende de la cantidad de descanso que haya presentado el sujeto que se está midiendo, si la persona que se está midiendo no ha descansado correctamente es entendible la ausencia de las ondas, porque su presencia se marca según los niveles de atención y principalmente cuando el cerebro está implicado en actividades mentales. Es importante reconocer que la presencia de las ondas beta no en todos los casos es positiva, por ejemplo en el estudio de Doborjeh et al. (2019) donde la presencia de las ondas beta es reconocido como algo bueno, ya que los sujetos se encuentran bajo estímulos que demandan cierto grado de esfuerzo mental, pero, en el estudio Kopańska et al. (2022) sucede al contrario, la falta de activación de ondas beta es algo positivo, porque el objetivo del estudio era disminuir sus niveles de estrés, de depresión y de pánico. El estudio de Pan et al. (2018) permite determinar que entre más se realice la práctica de ejercicio físico, más amplitud y poder han de mostrar las ondas betas en las mediciones por electroencefalograma. El estudio de Mehren et al. (2019) permite reconocer cómo el ejercicio físico es un potenciador de las ondas beta y estas mismas logran demostrar ser

TRABAJO COORDINATIVO

benéficas a la hora de estar bajo un esfuerzo mental, ya que son sinónimo de altos niveles de atención, se reconoce así que sería beneficioso, que la práctica de ejercicio físico, involucre algún tiempo de trabajo coordinativo, ya que en el estudio de Visser et al. (2022) se demuestra que el trabajo coordinativo promueve la potenciación de las ondas beta y este mismo aumento demuestra ser positivo para la función cognitiva, en especial al demostrar mayor actividad de la corteza frontal.

Conclusiones

El comportamiento de las ondas que se mide por medio de EEG, se ve afectado directamente durante la realización de ejercicio físico, esfuerzo mental y trabajo coordinativo, donde se observa una tendencia a tener más presencia la onda beta durante las mediciones de EEG, principalmente de beta baja. En pocos artículos se habló de presencia remarcable de beta alta, sin embargo se encontró en los artículos investigados que poseen de manera inmersas las tres características o variables de este estudio las cuales fueron donde más se reconocieron el fuerte y continuo movimiento oscilatorio de las ondas beta, de acuerdo a ello, es importante reconocer que la presencia de estas ondas es positiva únicamente en momentos donde se requiera atención especial, ya que una presencia continua de ondas beta puede ser desgastante para la persona ya que significa que mantiene un estado de alerta continuo. También podemos resaltar la importancia de las ondas α que en algunos de los estudios de esta revisión muestran su importancia en el ejercicio físico, una de sus características es que durante la realización de ejercicio físico, se observó una disminución en la $>.<$ de las ondas alfa en comparación con el reposo. Esta disminución puede indicar una mayor activación y atención focalizada durante el ejercicio. Para el caso de las ondas B su activación en el ejercicio físico están asociadas con un estado de actividad mental despierto, alerta y concentrado. Cuando se

TRABAJO COORDINATIVO

observa una mayor actividad de ondas beta en el EEG, ! Me mm az.bm. N m. puede indicar una mayor atención, procesamiento cognitivo y estado de alerta. Para finalizar se reconocen las limitaciones que se tienen al buscar en diferentes bases de datos sobre bibliografía en idioma español sobre temas relacionados con EEG y las tres variables que se manejaron en esta revisiónjq1'!???!!gz&documental, la mayoría de artículos encontrados para esta revisión fueron en idioma inglés.

Referencias bibliográficas onmm

Albuquerque, I., Tiwari, A. K., Gagnon, J., Lafond, D., Parent, M., Tremblay, S., & Falk, T. H. (2018). *On the Analysis of EEG Features for Mental Workload Assessment During Physical Activity*. <https://doi.org/10.1109/smc.2018.00101>

Amjad, I., Toor, H., Jamil, M., Afzal, H., Jochumsen, M., Shafique, M., Allen, K., Haavik, H., & Ahmed, T. (2019). Therapeutic effects of aerobic exercise on EEG parameters and higher cognitive functions in mild cognitive impairment patients. *International Journal of Neuroscience*, 129(6), 551–562. <https://doi.org/10.1080/00207454.2018.1551894>.

Amjad, I., Toor, H., Jamil, M., Pervaiz, S., Jochumsen, M., Shafique, M., Haavik, H., & Ahmed, T. (2019). Xbox 360 Kinect Cognitive Games Improve Slowness, Complexity of EEG, and Cognitive Functions in Subjects with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial. *Games for Health Journal*, 8(2), 144–152. <https://doi.org/10.1089/g4h.2018.0029>

TRABAJO COORDINATIVO

Balanta Quintero, J. M., & López Franco, D. F. (2021). *Análisis de señales EEG con potencial uso en el control de una mano robótica por medio de la aplicación de imaginación motora.* (Tesis de pregrado). Repositorio UAN, http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/4594/3/2021_T.G.JoseBalanta.pdf

Blasi, A. (2019) ¿Qué son las ondas cerebrales? Descubre qué son las ondas cerebrales y porque su correcto funcionamiento es clave para nuestro bienestar. NeuroFeedBack Barcelona. España. <https://www.neurofeedback.cat/que-son-las-ondas-cerebrales/>

Chang, Y. K., Liu, S., Yu, H., & Lee, Y. T. (2012). Effect of Acute Exercise on Executive Function in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 27(2), 225–237. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr094>

Cid, F. M., & Ferro, E. F. (2018). Electroencefalografía (EEG) y diversas manifestaciones del movimiento: una revisión del 2000 al 2017. *EmásF: Revista Digital De Educación Física*, 51, 48–63. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6360322.pdf>

Ciria, L. F., Luque-Casado, A., Sanabria, D., Holgado, D., Ivanov, P. C., & Perakakis, P. (2019). Oscillatory brain activity during acute exercise: Tonic and transient neural response to an oddball task. *Psychophysiology*, 56(5). <https://doi.org/10.1111/psyp.13326>

Contreras-Jordán, O. R., Sánchez-Reolid, R., Infantes-Paniagua, Á., Fernández-Caballero, A., & González-Fernández, F. T. (2022). Physical Exercise Effects on University Students' Attention: An EEG Analysis Approach. *Electronics*, 11(5), 770. <https://doi.org/10.3390/electronics11050770>

TRABAJO COORDINATIVO

Devilbiss, D. M., Etnoyer-Slaski, J., Dunn, E., Dussourd, C. R., Kothare, M. V., Martino, S. J., & Simon, A. C. (2019). Effects of Exercise on EEG Activity and Standard Tools Used to Assess Concussion. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/4794637>

Doborjeh, Z. G., Doborjeh, M. G., Taylor, T., Yang, J., Wang, G. J., Siegert, R. J., & Sumich, A. (2019). Spiking Neural Network Modelling Approach Reveals How Mindfulness Training Rewires the Brain. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42863-x>

Enders, H., Cortese, F., Maurer, C., Baltich, J., Protzner, A. B., & Nigg, B. M. (2016c). Changes in cortical activity measured with EEG during a high-intensity cycling exercise. *Journal of Neurophysiology*, 115(1), 379–388. <https://doi.org/10.1152/jn.00497.2015>

Ferro, E. F., Cid, F. M., Diaz, H., & Aburto, B. N. (2020). Modificaciones neurofisiológicas de ondas beta durante un test atencional tras una intervención de. . . *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/341829489_Modificaciones_neurofisiologicas_de_ondas_beta_durante_un_test_atencional_tras_una_intervencion_de_ejercicio_fisico

Friedrich, O., Wolkenstein, A., Bublitz, C., Jox, R. J., & Racine, E. (2021b). Clinical Neurotechnology meets Artificial Intelligence. In *Advances in neuroethics*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64590-8>

TRABAJO COORDINATIVO

García, O. S. (2004). *La carga mental de trabajo*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=247011>.

Mauricio, R. E. E. (2019). *Ejercicio físico con con - ciencia*.
<http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/10301>

Hill, S. (2022, October 5). *Beta Brainwaves | What are Their Benefits & How Do You Balance Them? - Healium*. Healium.
<https://www.tryhealium.com/2022/10/04/deep-dive-into-beta-brainwaves/>

Hosang, L., Mouchlianitis, E., Guérin, S. M. R., & Karageorghis, C. I. (2022b). Effects of exercise on electroencephalography-recorded neural oscillations: a systematic review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1–54.
<https://doi.org/10.1080/1750984x.2022.2103841>

Hottenrott, K., Taubert, M., & Gronwald, T. (2013b). Cortical Brain Activity is Influenced by Cadence in Cyclists. *The Open Sports Sciences Journal*, 6(1), 9–14.
<https://doi.org/10.2174/1875399x01306010009>

Ince, R., Adanir, S. S., & Sevmez, F. (2021). The inventor of electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873–1941). *Childs Nervous System*, 37(9), 2723–2724.
<https://doi.org/10.1007/s00381-020-04564-z>.

Jiang, H., Chen, S., Wang, L., & Liu, X. (2019). An investigation of limbs exercise as a treatment in improving the psychomotor speed in older adults with mild cognitive impairment. *Brain Sciences*, 9(10), 277.

TRABAJO COORDINATIVO

Klados, M. A., Styliadis, C., Frantzidis, C. A., Paraskevopoulos, E., & Bamidis, P. D. (2016). Beta-band functional connectivity is reorganized in mild cognitive impairment after combined computerized physical and cognitive training. *Frontiers in neuroscience*, 10, 55.

Kopańska, M., Ochojska, D., Mytych, W., Lis, M. W., & Banaś-Ząbczyk, A. (2022). Development of a brain wave model based on the quantitative analysis of EEG and EEG biofeedback therapy in patients with panic attacks during the COVID-19 pandemic. *Scientific Reports*, 12(1), 14908.

Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611-1626.

MacLean, M. H., Arnell, K. M., & Cote, K. A. (2012). Resting EEG in alpha and beta bands predicts individual differences in attentional blink magnitude. *Brain and cognition*, 78(3), 218-229.

Mehren, A., Özyurt, J., Thiel, C. M., Brandes, M., Lam, A. P., & Philipsen, A. (2019). Effects of acute aerobic exercise on response inhibition in adult patients with ADHD. *Scientific Reports*, 9(1), 1-13.

Pan, Z., Su, X., Fang, Q., Hou, L., Lee, Y., Chen, C. C., ... & Kim, M. L. (2018). The effects of tai chi intervention on healthy elderly by means of neuroimaging and EEG: a systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 110.

Pedroso, R. V., Lima-Silva, A. E., Tarachuque, P. E., Fraga, F. J., & Stein, A. M. (2021). Efficacy of physical exercise on cortical activity modulation in mild cognitive

TRABAJO COORDINATIVO

impairment: a systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(12), 2393-2401.

Plattner, K., Lambert, M. I., Tam, N., Lamberts, R. P., & Baumeister, J. (2014). Changes in cortical beta activity related to a biceps brachii movement task while experiencing exercise induced muscle damage. *Physiology & behavior*, 123, 1-10.

Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., & Alonso, M. T. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. In *Anales del sistema sanitario de Navarra (Vol. 32, pp. 69-82). Gobierno de Navarra. Departamento de Salud*.

Ramos, C., Duque-Grajales, J., Rendón, J., Montoya-Betancur, A., Baena, A., Pineda, D., & Tobón, C. (2018). Cambios en el EEG en reposo de exparticipantes en el conflicto armado colombiano con trastorno de personalidad antisocial. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 47(2), 90-97.

Serna-Rojas, C., Arismendy, S. R., & Gómez, J. F. O. (2021). Revisión de electroencefalografía portable y su aplicabilidad en neurociencias. *Revista Politécnica*, 17(34), 131-152.

Shea, B., Reeves, B. C., Wells, G. A., Thuku, M., Hamel, C., Moran, J., Moher, D., Tugwell, P., Welch, V., Kristjansson, E., & Henry, D. (2017). AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*, j4008. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>

TRABAJO COORDINATIVO

Shoaib, Z., Akbar, A., Kim, E.S. et al. Utilizing EEG and fNIRS for the detection of sleep-deprivation-induced fatigue and its inhibition using colored light stimulation. *Sci Rep* 13, 6465 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33426-2>

Schneider, S., Askew, C. D., Diehl, J., Mierau, A., Kleinert, J., Abel, T., Carnahan, H., & Strüder, H. K. (2009). EEG activity and mood in health orientated runners after different exercise intensities. *Physiology & Behavior*, 96(4–5), 709–716. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.01.007>

Tsai, C. L., Pan, C. Y., Chen, F. C., & Tseng, Y. T. (2017). Open-and closed-skill exercise interventions produce different neurocognitive effects on executive functions in the elderly: a 6-month randomized, controlled trial. *Frontiers in aging neuroscience*, 9, 294.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2018), Carta Internacional de la Educación Física, la Actividad Física y el Deporte. Recuperado de: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235409_spa

Vega, R. C., & Hernández, J. Z. (2017). Ejercicio físico y actividad física en el abordaje terapéutico de la obesidad y el sedentarismo. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 8(2), 215-230.

Vidarte-Claros, J. A., Vélez Álvarez, C., & Parra-Sánchez, J. H. (2018). Coordinación motriz e índice de masa corporal en escolares de seis ciudades colombianas. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(1), 15-22.

TRABAJO COORDINATIVO

Visser, A., Büchel, D., Lehmann, T., & Baumeister, J. (2022). Continuous table tennis is associated with processing in frontal brain areas: an EEG approach. *Experimental Brain Research*, 240(6), 1899-1909.

Wollseiffen, P., Ghadiri, A., Scholz, A., Strüder, H. K., Herpers, R., Peters, T., & Schneider, S. (2016). Short bouts of intensive exercise during the workday have a positive effect on neuro-cognitive performance. *Stress and Health*, 32(5), 514-523.

Wu, C. H., Karageorghis, C. I., Wang, C. C., Chu, C. H., Kao, S. C., Hung, T. M., & Chang, Y. K. (2019). Effects of acute aerobic and resistance exercise on executive function: An ERP study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(12), 1367-1372.

Anexos

Titulo	esfuerzo físico	esfuerzo m
Exercise improves the quality of slow-wave sleep by increasing slow-wave stability	Sí, ya que el estudio investiga los efectos del ejercicio en el sueño.	No se menciona en el artículo participante esfuerzo momento d
Utilizing EEG and fNIRS for the detection of sleep-deprivation-induced fatigue and its inhibition using colored light stimulation	No se menciona explícitamente en el título del artículo o en la descripción que me has proporcionado, y es poco probable que se hayan evaluado los efectos del ejercicio en la fatiga y la inhibición de la misma utilizando la estimulación lumínica de colores.	Sí, ya que se mencionan los efectos del sueño y la fatiga cerebral utilizando fNIRS.

TRABAJO COORDINATIVO

Spiking Neural Network Modelling Approach Reveals How Mindfulness Training Rewires the Brain	No se menciona explícitamente en el título del artículo o en la descripción que me has proporcionado, y es poco probable que se hayan evaluado los efectos del ejercicio físico en la plasticidad neuronal durante la práctica de mindfulness.	Sí, ya que evalúa los efectos del mindfulness en la plasticidad neuronal y la actividad cerebral utilizando una red neuronal.
Development of a brain wave model based on the quantitative analysis of EEG and EEG biofeedback therapy in patients with panic attacks during the COVID-19 pandemic	No se menciona en el título del artículo y es poco probable que se hayan evaluado los efectos del ejercicio físico en la actividad cerebral de los pacientes con ataques de pánico durante la pandemia de COVID-19.	Sí, ya que evalúa los efectos de la biofeedback en la actividad cerebral de los pacientes con ataques de pánico.
Oscillatory brain activity during acute exercise: Tonic and transient neural response to an oddball task	Sí, ya que el estudio se centra en la actividad cerebral durante el ejercicio agudo.	Sí, ya que evalúa la actividad cerebral durante una tarea de oddball.
Effects of acute aerobic and resistance exercise on executive function: An ERP study	Sí, ya que el estudio se centra en los efectos del ejercicio aeróbico y de resistencia en la función ejecutiva.	Sí, ya que evalúa la función ejecutiva después de una función compleja.
The Effects of Tai Chi Intervention on Healthy Elderly by Means of Neuroimaging and EEG: A Systematic Review	Sí, ya que el estudio se centra en los efectos de la intervención de Tai Chi en personas mayores saludables.	Sí, ya que evalúa los efectos de Tai Chi en la actividad cerebral mediante neuroimagen.
Changes in cortical beta activity related to a biceps brachii movement task while experiencing exercise induced muscle damage	Sí, ya que el estudio se centra en el impacto del daño muscular inducido por el ejercicio en la actividad cerebral relacionada con un movimiento de bíceps braquial.	No se aborda este estudio.
Xbox 360 Kinect Cognitive Games Improve Slowness, Complexity of EEG, and Cognitive Functions in Subjects with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial	Sí, debido a que el juego implica movimientos del cuerpo y coordinación de extremidades superiores e inferiores.	Sí, ya que evalúa la mejora en la función cognitiva en sujetos con deterioro cognitivo.

TRABAJO COORDINATIVO

Beta-Band Functional Connectivity is Reorganized in Mild Cognitive Impairment after Combined Computerized Physical and Cognitive Training	Sí, el entrenamiento físico se combinó con el entrenamiento cognitivo en este estudio.	Sí, el estudio mejora de en sujetos cognitivo l
An Investigation of Limbs Exercise as a Treatment in Improving the Psychomotor Speed in Older Adults with Mild Cognitive Impairment	Sí, el ejercicio de extremidades implica esfuerzo físico.	Sí, el estudio mejora de psicomotor. mayores co cognitivo l
"Therapeutic effects of aerobic exercise on EEG parameters and higher cognitive functions in mild cognitive impairment patients"	Sí, el estudio se enfoca en el impacto del ejercicio aeróbico en la actividad cerebral y la función cognitiva.	Sí, el estudio mejora de en paciente cognitivo l
Efficacy of Physical Exercise on Cortical Activity Modulation in Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review	Sí, el estudio se enfoca en el impacto del ejercicio físico en la actividad cortical en pacientes con deterioro cognitivo leve.	Sí, el estudio mejora de en paciente cognitivo l
Open- and Closed-Skill Exercise Interventions Produce Different Neurocognitive Effects on Executive Functions in the Elderly: A 6-Month Random.a. N a d.mm. © Al. ized, v , q @. !: D	Sí, ya que se realizaron intervenciones de ejercicio físico en adultos mayores durante seis meses.	Sí, ya que funciones adultos ma
Changes in cortical activity measured with EEG during a high-intensity cycling exercise	Sí, ya que se realizó un ejercicio de alta intensidad en bicicleta.	Sí, ya que actividad c durante el se aplico n generara m
Cortical Brain Activity is Influenced by Cadence in Cyclists	Sí, ya que se realizó ejercicio en bicicleta a diferentes cadencias.	No se eval esfuerzo m pueden inf atención y

TRABAJO COORDINATIVO

d nei.j n	Sí, ya que se realizaron cortos periodos de ejercicio físico intenso durante la jornada laboral.	Sí, ya que rendimient de los part
Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis	Sí, ya que se realizaron ejercicios aeróbicos moderados en diferentes grupos de edad y condición física.	Sí, ya que funciones participant
Physical Exercise Effects on University Students' Attention: An EEG Analysis Approach	Sí, ya que se realizó ejercicio físico en los estudiantes universitarios.	Sí, ya que atención d universitar
Effects of exercise on electroencephalography-recorded neural oscillations: a systematic review	Sí, ya que se analizan los efectos del ejercicio en las oscilaciones neurales medidas por EEG	No se eval
Effects of Exercise on EEG Activity and Standard Tools Used to Assess Concussion: Efectos del ejercicio sobre la actividad del EEG y las herramientas estándar utilizadas para evaluar la conmoción cerebral	Sí, ya que se evaluó el efecto del ejercicio sobre la actividad del EEG en la evaluación de la conmoción cerebral	No se eval
Continuous table tennis is associated with processing in frontal brain areas: an EEG approach	Sí, ya que se evaluó la actividad física durante el tenis de mesa	Sí, ya que actividad c durante el
EEG activity and mood in health orientated runners after different exercise intensities	Sí, ya que se evaluó el efecto del ejercicio de diferentes intensidades en corredores	Sí, ya que del ejercici ánimo
Electroencefalografía (EEG) y diversas manifestaciones del movimiento	No se evaluó específicamente	No se eval
"On the Analysis of EEG Features for Mental Workload Assessment During Physical Activity"	Sí, ya que se midió la carga mental durante la actividad física	Sí, ya que mental dur física
Changes in brain cortical activity measured by EEG are related to individual exercise preferences	No se evaluó específicamente	No se eval

TRABAJO COORDINATIVO

Effects of acute aerobic exercise on response inhibition in adult patients with attention deficit hyperactivity disorder: An ERP study.	Sí, ya que se midió la actividad física durante el ejercicio	Sí, ya que ejecutiva
Neurophysiological modifications of beta waves during an atencional'test after an intervention of physical exercise	Sí, ya que se midió la actividad física durante el ejercicio	Si, ya que cerebral de post ejercicio