



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
LEÓN**

TEMA:

“Eficacia del entrenamiento cognitivo visual y somatosensorial para el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades motrices en el deporte.”

MODALIDAD DE TITULACIÓN:

Diplomado de actualización profesional

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciado en Fisioterapia

P R E S E N T A

De La O García Fátima Teresa

TUTOR:

Tutor: Dra. Aline Cristina Cintra Viveiro

Asesor: Dr. Mauricio Alberto Ravelo Izquierdo





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	7
MARCO TEÓRICO	9
Cognición y deporte.....	9
Imágenes motoras, fisiología y aplicación clínica.....	15
Neurofeedback en el deporte.....	23
Neurofeedback en procesos de atención.....	24
Entrenamiento cognitivo por neurofeedback.....	25
Evaluación del entrenamiento cognitivo mediante imágenes motoras y neurofeedback.....	29
ANTECEDENTES	31
JUSTIFICACIÓN	34
Pregunta de investigación.....	35
Objetivos.....	35
METODOLOGÍA	36
Fuentes de información.....	37
Estrategia de búsqueda.....	37
Selección de estudios.....	38
Extracción de datos.....	38
Lista de datos.....	38
Calidad metodológica.....	40
Resultados de la búsqueda.....	41
Resultados de calidad metodológica.....	41
Características de los estudios.....	43
RESULTADOS	44
Entrenamiento cognitivo visual.....	44
Entrenamiento cognitivo por neurofeedback.....	51
Entrenamiento cognitivo visual y neurofeedback aplicado en conjunto.....	54
DISCUSIÓN	56
Imaginería motora para el desarrollo de habilidades cognitivas superiores.....	56
Imaginería motora para la mejora del rendimiento físico deportivo.....	56
Aprendizaje motor por imaginería motora en tercera persona.....	57
Neurofeedback por regulación de ondas Theta/Beta.....	57
Neurofeedback por regulación de ondas Alfa.....	57
Uso combinado de neurofeedback e imaginería motora.....	58
CONCLUSIÓN	59
BIBLIOGRAFÍA	60

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme guiado y cuidado en cada paso de esta etapa.

A mis padres, por ser siempre mi red de apoyo incondicional, por darme la motivación, cariño y herramientas para poder llegar hasta donde estoy el día de hoy.

A mi alma máter, la Escuela Nacional de Estudios Superiores, unidad León, siempre UNAM, siempre Puma.

A mi tutora, mentora y amiga, la Dra. Aline Cintra Viveiro, por transmitirme el amor hacia la neurociencia y brindarme día a día un sinfín de conocimientos y motivación para mejorar.

DEDICATORIA.-

A mis padres, Alipio y Guadalupe, porque cada uno de mis logros fueron, son y serán siempre por y para ellos. Les agradezco por haberme dado la fortuna de poder tener la herencia de la educación, por apoyarme en mis momentos de debilidad, por ser mi principal motivación hoy y siempre hacia la superación, por ser acreedores de toda mi admiración, cariño y amor.

A mi nene panzón, mi ángel y cuidador desde el cielo, por siempre haber creído en mis capacidades, por demostrarme día con día su amor incondicional al recibirme con una sonrisa en mis momentos más difíciles.

A mi hermano Jorge y mi sobrina Ximena, por motivarme y siempre recibirme con esa enorme sonrisa que me alegra la vida.

A mis principales mentores, la Dra. Aline Viveiro, el Dr. Jesús Barrera Reséndiz y la Dra. Cristina Carrillo, por haberme transmitido el amor que le tienen a la docencia, investigación y práctica clínica en el ámbito neurológico pediátrico y adulto.

A mis amigos, Regina, Karen, Diana, Edna, Charly, Noah, George e Israel, por ser mi apoyo, motivos de muchas alegrías y cómplices de miles de aventuras; se quedan en un pedazo de mi corazón.

RESUMEN. -

INTRODUCCIÓN.- El entrenamiento deportivo se define como la adquisición y perfeccionamiento de habilidades motoras al trabajar un conjunto de procesos internos y externos para mejorar la eficiencia del movimiento, exigiendo el esfuerzo y el compromiso de los atletas en todos los niveles al involucrar al ejercicio físico y al entrenamiento mental para un óptimo desarrollo psicológico.

OBJETIVOS.- Demostrar la eficacia del entrenamiento cognitivo visual y somatosensorial para la adquisición y/o desarrollo de las principales habilidades cognitivas y físicas necesarias para un mayor rendimiento deportivo.

METODOLOGÍA.- Se realizó una revisión sistemática sobre la eficacia del entrenamiento cognitivo visual y neurofeedback somatosensorial para el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades motrices con evidencia a partir del año 2016 a 2022. Se incluyeron un total de 45 investigaciones científicas, de las cuales 28 estuvieron relacionadas al uso de la imaginería motriz y entrenamiento visual para mejora del rendimiento deportivo, 9 al uso de neurofeedback sensorial para la mejora del rendimiento deportivo y 8 relacionados al uso combinado de imaginería motriz y biofeedback sensorial.

RESULTADOS.- Tras la investigación se encuentra que tanto el uso de imaginería motora como neurofeedback para el perfeccionamiento motriz son eficaces cuando se utilizan tanto de manera aislada como conjunta, mejorando tanto los procesos cognitivos de atención, disminución del estrés, mejora en la toma de decisiones, velocidad de reacción cognitiva y motivación, como las habilidades físicas como la fuerza, flexibilidad, agilidad y potencia muscular. En cuanto al aprendizaje motriz se encontró que la terapia cognitiva más idónea es el uso de imaginería motora utilizada en tercera persona y con niveles de complejidad bajos.

DISCUSIÓN.- El entrenamiento cognitivo por imaginería motriz y neurofeedback sensorial son eficaces para el perfeccionamiento de ciertas habilidades cognitivas como la atención, la precisión, toma de decisiones y control de inhibición motriz, así como para el aumento del rendimiento deportivo al mejorar las capacidades de fuerza, flexibilidad, velocidad y potencia muscular. Sin embargo existe muy poca evidencia sobre la eficacia de ambas técnicas aplicadas de manera conjunta.

CONCLUSIÓN.- Ambas intervenciones son eficaces para la mejora del rendimiento deportivo mediante el perfeccionamiento motriz y desarrollo de habilidades cognitivas.

PALABRAS CLAVE.- *motor imagery training, sports, neurofeedback training.*

ABSTRACT.-

INTRODUCTION.- Sports training is defined as the acquisition and improvement of motor skills by working a set of internal and external processes to improve the efficiency of movement, requiring the effort and commitment of athletes at all levels by involving physical exercise and mental training for optimal psychological development.

OBJECTIVES.- To demonstrate the effectiveness of visual and somatosensory cognitive training for the acquisition and/or development of the main cognitive and physical skills necessary for uploading sports performance.

METHODOLOGY.- A systematic review was carried out on the effectiveness of visual cognitive training and somatosensory neurofeedback for the development and improvement of motor skills with evidence from 2016 to date. A total of 45 scientific investigations were included, of which 28 were related to the use of motor imagery and visual training to improve sports performance, 9 to the use of sensory neurofeedback to improve sports performance, and 8 related to the combined use of imagery, motor and sensory biofeedback.

RESULTS.- After the investigation, it is found that both the use of motor imagery and neurofeedback for motor improvement are effective when used both in isolation and together, improving both cognitive attention processes, stress reduction, improvement in decision making, speed of cognitive reaction and motivation, as well as physical abilities such as strength, flexibility, agility and muscular power. Regarding motor learning, it was found that the most suitable cognitive therapy is the use of motor imagery used in the third person and with low levels of complexity.

DISCUSSION.- Cognitive training by motor imagery and sensory neurofeedback are effective for the improvement of certain cognitive skills such as attention, precision, decision making and motor inhibition control, as well as for the enhancement of sports performance by improving strength, flexibility, speed and muscle power. However, there is very little evidence on the efficacy of both techniques applied together.

CONCLUSION.- Both interventions are effective on improving sports performance through motor improvement and cognitive skills development.

KEY WORDS.- *motor imagery training, sports, neurofeedback training*

INTRODUCCIÓN.-

Hace unos años, los atletas se describían únicamente en términos de capacidad física, dejando de lado a los factores cognitivos involucrados en el rendimiento deportivo. Neisser (1976) reconoció el problema y destacó que, a pesar de la dificultad de estudiar la cognición, los psicólogos tienen que comprenderla en diversos entornos ordinarios y en el contexto de la actividad natural, incluyendo al ámbito deportivo.

Hoy en día, es bien sabido que toda actividad deportiva llega a involucrar al ejercicio físico para la mejora de ciertas habilidades físicas como lo son la velocidad, agilidad, fuerza, potencia muscular y capacidad aeróbica, así como el entrenamiento mental y cognitivo para hacer frente a los desafíos, el estrés, la ansiedad precompetitiva, autoeficacia, la confianza en uno mismo, la motivación y la fortaleza mental.

Otro de los efectos que impactan en el desarrollo y mejoramiento de las habilidades deportivas es la experiencia de acción, incluyendo las experiencias visomotoras y su relación mediante su tiempo de desarrollo en el deporte, diferenciándose en atletas novatos, expertos, aficionados o entrenadores. Hecho por el cual, los deportistas no solo deben de tener un entrenamiento individualizado acorde a las habilidades necesarias para un óptimo desarrollo atlético, sino también acorde al tiempo de experiencia y exposición al mismo.

El propósito principal del entrenamiento deportivo, es la adquisición y perfeccionamiento de habilidades motoras, las cuales implican un conjunto de procesos internos que, en compañía de un óptimo entrenamiento motriz, mejoran la eficiencia del movimiento al integrar la información sensorial mediante el sistema nervioso central, correlacionando la mejora del rendimiento motor con cambios en las redes cerebrales funcionales que incluyen la corteza motora y premotora, el cerebelo, los ganglios basales, tálamo y tronco encefálico. (Allami, Brovelli, Hamzaoui, et al., 2014; Luo & Wei, 2010)

Los psicólogos del deporte han propuesto diferentes estrategias de entrenamiento cognitivo o entrenamiento de habilidades psicológicas, como el diálogo interno, la imaginación, la relajación, el establecimiento de metas y la biorretroalimentación, que tienen eficacia en relación con el desarrollo del jugador a largo plazo y el logro de metas en varios deportes. Estos enfoques cuando se combinan facilitan un efecto mejorado en el rendimiento deportivo. (Slimani, Maamer, Bragazzi, et al., 2016)

Hoy en día, existe una nueva modalidad de entrenamiento cognitivo, que engloba el uso de imágenes motoras o realidad virtual y la retroalimentación somatosensorial, cuyo principal objetivo, es la capacitación del participante para aprender y/o perfeccionar el dominio de múltiples factores tanto externos (ambiente) o internos (procesos emocionales o cognitivos), que puedan alterar la habilidad motriz y así, tener un mayor dominio tanto emocional como cognitivo durante la competencia.

MARCO TEÓRICO.-

Hoy en día ha sido objeto de estudio el rol de la neurociencia y la psicología cognitiva aplicado en deportes de élite, mejor conocido como “Entrenamiento Cognitivo”, el cual se encarga del desarrollo y perfeccionamiento de un rango de habilidades cognitivas que puedan influir en las respuestas fisiológicas y de percepción (Xiang, Hou, Liao, et al., 2018). Por dicha razón, el entrenamiento cognitivo se puede catalogar en dos grandes grupos: de *dominio general*, que se enfoca en el desarrollo de funciones cognitivas aplicables a una multitud de tareas, y de *contexto específico*, que entrena una habilidad cognitiva aplicada a una tarea en un contexto particular. (Ramírez Silva, 2007)

La relación entre las tareas cognitivas visuales y el desempeño motriz ha sido un foco atención para la investigación cada vez mayor en los deportes y la psicología en los últimos años al ir demostrando que los atletas profesionales logran tener un desempeño superior en tareas de control ejecutivo, de atención visoespacial y selectiva. (Ren, Wang, Zhang, et al., 2022).

Por otra parte, el entrenamiento cognitivo por retroalimentación es un método biológico empleado para enseñar a los participantes a regular el patrón de activación de sus cortezas cerebrales mediante señales electro-corticales específicas y así, la retroalimentación de su actividad cerebral se transforma oportunamente en forma visual o auditiva, con el objetivo de que los participantes puedan aprender cómo la relación de mente/cerebro se correlacionan con el control voluntario de la regulación de su cognición, emoción, comportamiento y autorregulación (Xiang, Hou, Liao, et al., 2018).

Cognición y deporte.-

El deporte se define como una situación motriz de competición en la que tiene lugar la participación de un individuo que desarrolla una actividad, en un espacio de acción y donde puede haber o no compañeros y adversarios. (Pierre, 1987)

Dentro del deporte, existen dos sub-clasificaciones acorde a la acción motriz que ejecuten, encontrándose: el deporte individual, en donde los practicantes se encuentran solos en un espacio, para vencer determinadas dificultades, superándose a sí mismo con relación a un tiempo, distancia o ejecuciones técnicas, teniendo como características principales su alta organización, poca exigencia del mecanismo de decisión y escasa exigencia del mecanismo de percepción y los deportes de adversario, que representan situaciones sociomotrices de constante interacción y tienen como características la proximidad permanente, intermitente o media de los contendientes, la iniciativa para determinar la actitud del ataque, baja organización, alto uso del esquema perceptivo, amplio repertorio técnico, muy tácticos y mejora en la capacidad de selección de decisiones, así como alta exigencia de velocidad y precisión. (Mora Mérida, Díaz Ocejo, & Elósegui Bandera, 2009)

La percepción se entiende como el proceso cognitivo por el que las informaciones procedentes del exterior se introducen mediante los diferentes sistemas sensorio-perceptivos con el objetivo estimular los umbrales de activación y campos receptores para permitir la secuenciación desde neuronas sensoriales primarias de primer orden a neuronas de segundo orden hasta llegar a los núcleos ventroposterolaterales talámicos para continuar con el proceso de transformación de información sensorial. (Munar Roca, Roselló Mir, Cela-Conde, et al., 2008).

El modelo de procedimiento de funcionalidad y rendimiento o bien, ciclo de percepción-acción se basa por la constante interacción y retroalimentación de tres mecanismos centrales: el mecanismo perceptual, el mecanismo de decisión y el mecanismo efector mediante la activación del sistema muscular, como lo muestra la figura 1.

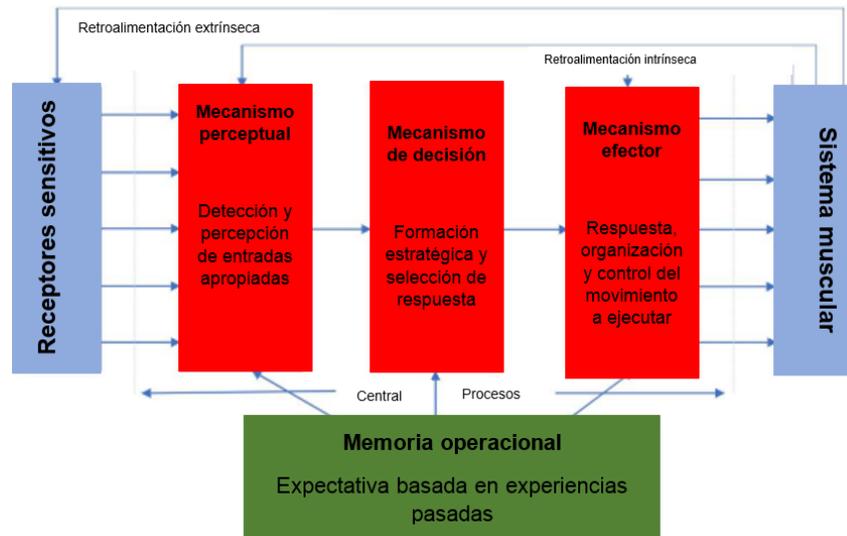


Figura 1. El modelo de procedimiento de funcionalidad y rendimiento o bien, ciclo de percepción-acción (traducido de Fuster, 1990)

La mayoría de los deportes modernos requieren que los atletas se desempeñen tanto física como cognitivamente, ocasionando que tanto la demanda física como la demanda sobre el sistema perceptivo-cognitivo del atleta pueda variar de acuerdo con los diferentes deportes, posiciones y situaciones y, así, los atletas se ven obligados a prestar atención a las señales de información relevantes en el entorno, interpretar esa información en el contexto de la situación actual y las experiencias pasadas, y posteriormente, usarla para anticipar las intenciones y acciones de sus contrincantes para que puedan tomar la mejor decisión de acción. (Belling & Ward, 2015).

Las funciones cognitivas de nivel superior, están involucradas en el control y la regulación del comportamiento y los procesos cognitivos que son necesarios para el procesamiento básico de la información; las tres funciones ejecutivas fundamentales son: memoria de trabajo, que permite procesar información y manipularla dinámicamente, control de inhibición, que selecciona nuestra atención y comportamientos para resistir los impulsos internos y reaccionar con acciones controladas, y flexibilidad cognitiva, que es la capacidad de cambiar las perspectivas espaciales o interpersonales y focos de atención, con el objetivo de mantener el enfoque durante los períodos de sobrecarga sensorial (Koch & Krenn, 2021)

El rol de la neurociencia y la psicología cognitiva aplicado en deportes de elite, mejor conocido como “Entrenamiento Cognitivo”, se encarga del desarrollo y perfeccionamiento de un rango de habilidades cognitivas como la atención y la toma de decisiones, mediante su propio entrenamiento en diferentes situaciones deportivas. (Ramírez Silva, 2007) De acuerdo con estos autores, las principales habilidades cognitivas enfocadas al deporte se encuentran:

- *Atención sostenida*: atención consciente a uno o más estímulos que brinda una persona sobre una actividad.
- *Memoria verbal*: capacidad de memorizar información de tipo conceptual o verbal.
- *Memoria Visoespacial*: capacidad de recordar la ubicación de un objeto en un espacio determinado, así como la distribución visual de los movimientos en la resolución de un problema motriz.
- *Velocidad de procesamiento*: capacidad que una persona tiene para procesar información de manera veloz y eficiente.
- *Control inhibitorio*: capacidad que una persona tiene de inhibir respuestas en favor de otras más apropiadas para la situación.
- *Flexibilidad cognitiva*: habilidad para observar objetos y eventos desde muchos puntos de vista, con el objetivo de crear variantes ante la solución de un problema.
- *Auto-monitoreo*: habilidad para monitorear y regular los propios comportamientos que se encuentran en ejecución, con el objetivo de identificar posibles errores para su futura corrección.

Las habilidades perceptivo-cognitivas se relacionan con la capacidad de identificar y adquirir información ambiental para integrarla con el conocimiento existente, de modo que se puedan seleccionar y ejecutar las respuestas apropiadas, incluyendo los procesos de anticipación, toma de decisiones, tareas de búsqueda visual, recuerdo y reconocimiento de patrones, entre otros. (Zentgraf, Heppe, & Fleddermann, 2017)

La capacidad de seleccionar estímulos y comprender las acciones de los demás es crucial en el deporte, razón por la cual, cada atleta debe poder cambiar su atención a los puntos más convenientes para seleccionar información útil del entorno y así comprender las acciones futuras tanto de los oponentes como de los compañeros de equipo. Para hacer esto, los atletas parecen enfocarse, analizar y reconocer cualquier índice cinemático sutil mucho antes de tomar cualquier acción (Russo & Ottoboni, 2019).

Para clasificar los deportes en función de sus demandas cognitivas, se puede utilizar la clasificación de Poulton y Knap (1957) quienes diferenciaron entre movimientos de habilidad abierta y habilidad cerrada, estableciendo que en deportes de habilidades abiertas se tienen una influencia externa, por lo que los atletas deben ser capaces de reaccionar y adaptarse a un entorno dinámico y en constante cambio y, por el contrario, los deportes de habilidades cerradas son en su mayoría a su propio ritmo, siguen patrones de movimiento predeterminados y se llevan a cabo en un entorno predecible y estable.

En el campo del deporte, la atención sostenida y memoria visoespacial para recordar información relevante se considera uno de los requisitos cognitivos básicos para los deportes de equipo e interceptivos, cuyos atletas requieren habilidades abiertas al tener que procesar la información multisensorial ante cualquier cambio dinámico ambiental, en comparación con los deportes enfocados a mantener habilidades cerradas, cuyos atletas son altamente predecibles, repetitivos y con patrones de movimiento únicos. (Russo, Bigliassi, Ceciliani, & Tessari, 2022).

Otra de las funciones ejecutivas más utilizadas en deportes es el control inhibitorio, el cual, se puede dividir en dos subtipos principales: *el control de la interferencia*, es decir, la atención selectiva y la inhibición emocional, y *la inhibición de la respuesta*, es decir, la supresión del comportamiento impulsivo; los deportes de habilidades abiertas exigen más la inhibición de la respuesta debido a la necesidad de ajuste por los cambios en el entorno y, por el contrario, los deportes de habilidad cerrada requiere confiar en el control de interferencias para suprimir la sensación de fatiga (Ludyga, Mücke, Andrä, Gerber, & Pühse, 2022),.

La mayoría de los estudios que examinan el ejercicio físico y la cognición revelan una influencia del ejercicio en el rendimiento cognitivo, indicando una influencia en el tiempo de respuesta/reacción de los participantes en tareas de tiempo de reacción simples y de elección, toma de decisiones complejas y resolución de problemas complejos, al modificar la velocidad de procesamiento de la información. (Schapschröer, Baker, & Schorer, 2016)

El tiempo de reacción se define como la cantidad de tiempo que existe entre la percepción sensorial y la respuesta motora ante el estímulo ingresado, el cual está ligado a la respuesta periférica ojo-mano/ ojo-pie, que se basa en la sincronización de las respuestas motoras de las extremidades con base a los cambios de estímulos visuales repentinos. (Erickson, 2022)

El entrenamiento cognitivo se puede catalogar en dos grandes grupos: de *dominio general*, que se enfoca en el desarrollo de funciones cognitivas aplicables a una multitud de tareas, sustentando su efecto en los conceptos neuroplásticos, al afirmar que la masa cerebral puede modificarse y adaptarse a nuevas situaciones, así como una posible expansión regional acorde a la funcionalidad y complejidad de las tareas, teniendo como principal objetivo la mejora de una función cognitiva utilizada en alguna acción motriz específica para su perfeccionamiento, y de *contexto específico*, que entrena una habilidad cognitiva aplicada a una tarea en un contexto particular. (Ramírez Silva, 2007)

De igual forma, se han identificado cinco áreas de trabajo neurocognitivo en la literatura deportiva: (1) motivacional específica, que se refiere a toda aquella actividad desencadenada en un triunfo o éxito, (2) motivacional general-dominio, que involucra el dominio sensoriomotriz ante situaciones desafiantes, (3) motivacional general-excitación, que comprende el control emocional ante diversas situaciones, (4) cognitiva específica, que abarca toda aquella tarea motriz desencadenada con un solo objetivo y (5) cognitiva general, que se refiere a la suma de funciones cognitivas específicas para lograr un desempeño motriz más evolucionado. (Rogers, 2006)

Imágenes motoras, fisiología y aplicación clínica.-

Stephen Kosslyn (2007) define el entrenamiento mental como la presencia de una representación mental mientras el estímulo no está siendo realmente percibido, teniendo las características similares y dando una experiencia subjetiva de percepción gracias a las huellas sensoriales previas registradas en el sistema nervioso central con el objetivo de lograr una interacción motriz. (Tamayo Martínez, 2014). Se ha demostrado que existen más de 30 áreas involucradas en el procesamiento visual para una óptima integración de toda la información, así como una adecuada ejecución de un mecanismo de respuesta. (Munar Roca, Roselló Mir, Cela-Conde, et al., 2008)

Por otra parte, la imaginación motora se considera como la capacidad mental de realizar una simulación mental de un movimiento sin la ejecución física de dicho movimiento, todo esto, siendo relacionado con una planificación previa a la ejecución, además de la preparación para la ejecución de la acción a realizar. La imaginación motora posee 4 factores: control motor, claridad (se denominan implícitas), modalidad sensorial (visual o cinestésico) y agencia (desde perspectiva de primera persona y tercera persona). (Ladda, Lebon, & Lotze, 2021)

Es bien conocido que el mecanismo perceptual de la información visual comienza mediante la captación de estímulo por la retina, la cual, se traduce y viaja hacia el cuerpo geniculado lateral y, posteriormente, al córtex visual, en donde se dividen en las siguientes dos vías neuronales para poder brindar información adicional de las señales captadas: una vía dorsal que brinda información en relación a las propiedades espaciales y, por tanto, ayuda en la coordinación de las transformaciones visomotoras al codificar la información espacial necesaria para elaborar las acciones motoras más precisas, y un camino ventral que se dirige hacia el área temporal inferior, que nos brinda información en relación a la identificación de formas y objetos ambas vías convergen en el área prefrontal y parietal posterior para auxiliar en la toma de decisiones motrices. (Erickson, 2022)

Hoy sabemos que tanto la vía dorsal como la ventral del sistema visual cuentan con inputs de ambos canales, que, además de esta información, la corteza recibe información desde el colículo superior y pasando por los núcleos pulvinar y lateral posterior del tálamo, proyecciones de nuestro sistema visual tectopulvinar, el cual, está especializado en la localización espacial, estipulando que cada una de estas vías trabaja con una interacción y reciprocidad constante ante cualquier cambio de estímulo (Munar Roca, Roselló Mir, Cela-Conde, et al., 2008).

Un método que favorece los procesos de neuroplasticidad y mejora de dominio general y específico, es el uso de imágenes motoras para el aprendizaje de la acción, las cuales desencadenan la activación de estructuras cerebrales que comparten redes neuronales similares con la ejecución motora, como lo son las redes específicas de modalidad sensorial, es decir, regiones predominantemente occipitales y los lóbulos parietales superiores para imágenes visuales, así como estructuras asociadas con lo motriz y el lóbulo parietal inferior para imágenes cinestésicas, aparentando una plasticidad similar a la potenciación de largo plazo con una estimulación constante, tal como se llegaría a obtener con la ejecución motriz como lo muestra la Figura 2. (Jeunet, Glize, McGonigal, et al., 2019)

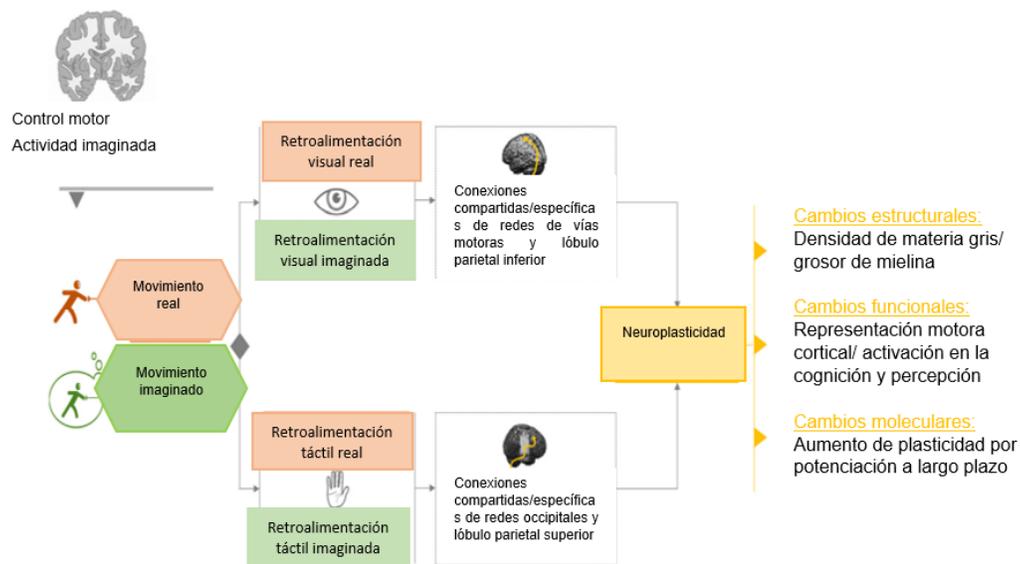


Figura 2. Esquema comparativo traducido en la activación cortical ante un movimiento real y movimiento imaginario. (Jeunet, Glize, McGonigal, et al., 2019)

La relación entre las tareas cognitivas visuales y el desempeño motriz ha sido un foco atención para la investigación cada vez mayor en los deportes y la psicología en los últimos años al ir demostrando que los atletas profesionales logran tener un desempeño superior en tareas de control ejecutivo, de atención visoespacial y selectiva, razón por la cual, se piensa la atención visual juega un papel fundamental en la realización de movimientos voluntarios. (Ren, Wang, Zhang, et al., 2022).

Se ha demostrado que el sistema visual es el más utilizado en el procesamiento de información de habilidades de carácter abierto, y por tanto el sistema dominante en el proceso de optimización del rendimiento deportivo. Dado que el ser humano tiene una capacidad limitada en cuanto al procesamiento de la información del entorno, el deportista se ve obligado a reducir y seleccionar solo aquellas partes relevantes del ambiente, razón por la cual, la toma de decisiones y la predicción son un factor determinante en el rendimiento y para afrontar con éxito la práctica deportiva. (Wilke, Vogel, & Ungricht, 2020)

Rosetti y Pisella (2002) proponen que, tanto la representación sensoriomotora de la vía dorsal, como la perceptivo-cognitiva de la ventral, intervienen directamente en la programación de la acción, hecho que se correlaciona con la eficacia de perfeccionamiento motriz a través del entrenamiento cognitivo visual.

La observación de acciones y las imágenes motoras pueden desempeñar un papel importante durante las primeras etapas del aprendizaje motor de una nueva tarea motora especializada si se ha tenido experiencia previa a la habilidad, ya que, similar al aprendizaje mediante ejecuciones reales, durante la etapa rápida del aprendizaje motor existe menor activación del sistema de acción, sin embargo, se ha demostrado que la observación de la acción durante la etapa lenta de aprendizaje dependiente a la experiencia, aumenta la excitabilidad de la corteza motora que inerva los músculos activados durante la ejecución de la acción, hecho contrario al aprendizaje lento mediante ejecuciones reales, en donde la activación cortical disminuye acorde a la experiencia y exposición a la tarea. (Tsukazaki, Uehara, Morishita, et al., 2012) .

Dentro de las principales áreas cerebrales activadas durante la observación de la acción incluyen: la corteza premotora ventral y dorsal , el lóbulo parietal inferior, el lóbulo parietal superior, el surco temporal superior y la corteza prefrontal dorsolateral, las cuales, se denominan red de observación de acción y su activación depende de la capacidad visual de cada persona, su velocidad de reacción y comprensión verbal y no verbal, así como la calidad de las imágenes motoras, en las cuales se ha demostrado una mejora con señales sensoriales apropiadas como: señales propioceptivas, entradas táctiles o visuales, al producir un aumento en la excitabilidad corticoespinal y la actividad en las regiones parietales frontales durante la imaginación motora. (Mizuguchi & Kazuyuki, 2017)

De acuerdo a Richard Ridderrinkhof (2015), el uso de imaginación motora segmenta la idea y procedimiento del efecto de la acción deseada, desencadenando un proceso inconsciente de captura ideomotora y consecuencias sensoriales de la acción, bastante similar a cómo se desarrollan las cosas en el desempeño motor, hecho que, mediante el entrenamiento cognitivo, ocasiona una modificación durante las representaciones mentales de la acción, ayudando a generar una serie de aspectos visuales y cinestésicos relacionados al movimiento.

Es por esto que el uso de imágenes motoras durante la práctica mental impacta tanto en la cognición como en la motivación, razón por la cual, existen diversas teorías en las cuales se intentan explicar la mejora de la conducta o acción motriz en base al uso de imágenes durante el entrenamiento: la teoría psiconeuromuscular, que afirma que la práctica mental fortalece la memoria muscular al activar los músculos en la secuencia correcta para un movimiento, sin ejecutar el movimiento en sí, y la segunda teoría, es que la práctica mental de imágenes produce planos mentales para patrones de movimiento y que el ensayo mental de los planos permite que los movimientos se vuelvan familiares y automáticos ante diversas situaciones. (Rogers, 2006).

Otra de las teorías más utilizadas para explicar la fisiología del entrenamiento visual cognitivo es la teoría de simulación motora, que postula que la imaginería motora y la planificación de la acción comparten una representación mental común, así como que el sistema motor es parte de una red cognitiva que incluye procesos de simulación como imaginería motora y observación de acciones, hecho que se ha confirmado mediante el uso de resonancias magnéticas y, finalmente, postula que todas las acciones motoras tienen una etapa que implica una representación del futuro que incluye el fin de la acción, los medios para alcanzarlo y sus consecuencias sobre el organismo y el mundo exterior, mediante una simulación mental previa a la ejecución. (Moran , Campbell, & Toner, 2019).

Por otra parte, Holmes y Collins (2001) desarrollaron el enfoque PETTLEP, el cual propone que para la implementación efectiva de la intervención de imágenes motoras y una coincidencia conductual entre la imagen y la acción , las intervenciones deben tener en cuenta cada uno de los siguientes aspectos durante su entrenamiento: "P" se refiere a la respuesta física del atleta a la situación, "E" es el entorno en el que se realizan las imágenes, "T" es la tarea imaginada, "T" se refiere al tiempo o ritmo en el que se realiza, "L" es un componente de aprendizaje o memoria de la visualización, "E" se refiere a las emociones provocadas y "P" se refiere al tipo de perspectiva de imágenes visuales que utiliza el practicante, ya sea en primera o en tercera persona (Wakefield, Smith, Moran, et al., 2012).

El uso de imágenes ha ayudado a la adquisición de habilidades motoras, las cuales implican un conjunto de procesos internos que mejoran la eficiencia del movimiento, como la velocidad, la precisión, la automaticidad y la adaptabilidad, habilidades que los deportistas deben tener en constante entrenamiento para lograr un mejor rendimiento motriz. (Luo & Wei, 2010)

Uno de los principales beneficios que se encontraron al estudiar el entrenamiento cognitivo por medio de imágenes motoras, es la activación de la corteza intraparietal anterior ya que esta se encarga principalmente de comprender la naturaleza de la acción al trabajar en conjunto con la corteza visual y el proceso de la atención y la exposición previa a la habilidad motriz. (Mizuguchi & Kazuyuki, 2017).

De igual forma, Nadie Allami et al (2014) demostraron que, durante el ensayo mental, las regiones las áreas premotoras experimentan cambios neuronales que hacen que la práctica física sea más efectiva para inducir cambios neuronales que median el aprendizaje motor, logrando acelerar el proceso cognitivo, así como un incremento en la modulación cortical la ejecución del movimiento, mediante la precisión y la velocidad, hecho que puede conducir a una activación selectiva de los procesos de transformación visomotora necesarios para realizar el movimiento y, posiblemente una predicción y procesamiento de los errores motores para su futura corrección.

Otra de las habilidades motoras que se ven beneficiadas mediante el uso de imágenes motoras, es la capacidad predictiva y toma de decisiones ante situaciones reales e incluso estresantes, como lo mencionan Patrick Belling et al (2015) en un estudio enfocado a la medición de la predicción y toma de decisiones mediante el uso de imágenes motoras en jugadores de fútbol novatos (grupo control) en comparación con jugadores de fútbol profesionales (grupo experimental), encontrando que el grupo experimental tuvo un menor tiempo en la toma de decisiones y mayor predicción y anticipación al movimiento del jugador contrario, debido a un posible análisis postural y mejor manejo ante el estrés.

Dentro del mecanismo de percepción visual se incluyen la velocidad de movimientos oculares y su duración en fijación visual, razón por la cual, los movimientos sacádicos oculares, que se definen como micro-movimientos ejecutados de manera rápida e inconsciente con el objetivo de mantener una óptima fijación visual, resulta ser esencial para permitir un óptimo procesamiento de la información visual en algunos deportes. (Erickson, 2022)

En un estudio realizado por Ripoll Hubert et al (1995), se estudió la toma de decisiones, la codificación cinemática y las estrategias de búsqueda visual, mediante el uso de imágenes cinestésicas motoras para ejecutar el contraataque más eficiente al oponente mostrado en el video, en donde se encontró que los expertos tenían una habilidad superior, quienes a través de su experiencia, demostraron que su fijación visual era prolongada y se enfocaba en la cabeza, el brazo y el tronco, de manera de “Pivote” haciendo movimientos visuales rápidos que les permitieran tener una percepción más amplia del cuerpo y movimientos del oponente, llegando a la conclusión de que las fijaciones y la precisión están correlacionadas de tal forma que, cuanto más larga es la fijación, más precisa es la información visual que se puede extraer.

Por otra parte, Alessia Tessari et al (2012) investigaron el estímulo-respuesta espacial entre atletas de boxeo, los autores concluyeron que los participantes expertos codificaron los golpes de manera diferente a los menos experimentados y no atletas, al mostrar que los boxeadores de nivel intermedio respondieron con mayor precisión y menor tiempo de reacción en comparación con novatos y expertos, hechos que fueron argumentados por los autores al decir que los atletas de boxeo intermedios, simulaban una única acción de defensa, mientras que los atletas expertos tomaron más tiempo para analizar la postura del cuerpo de su oponente y así encontrar la mejor manera de ejecutar un contra-ataque.

Los deportistas a menudo se enfrentan a situaciones desafiantes que requieren la ejecución simultánea de una tarea motora y cognitiva o el procesamiento simultáneo de ambos tipos de información, experimentando una superposición de las tareas involucradas. Es por esto por lo que el rendimiento deportivo ya no solo está limitado por la capacidad física o cognitiva de manera individual, sino que también depende de la eficacia con la que gestionemos las interacciones de proceso de ambas tareas. (Wollesen, Janssen, Müller, et al., 2022)

El control postural y equilibrio se refiere al proceso cognitivo y selectivo de los cambios de información sensorial repentinos, que ocasionan una respuesta de anticipación muscular y una retroalimentación constante durante las acciones motrices ante los cambios de factores externos, incluyendo a factores visuales, vestibulares y somatosensoriales. (Erickson, 2022)

Una de las principales razones por las cuales se ha implementado el entrenamiento cognitivo visual al deporte es explicado mediante la teoría del modelo central de capacidad compartida, que asume que los recursos asignados entre tareas son limitados, y cuando las personas realizan dos tareas simultáneamente, estas deben procesarse con recursos cerebrales compartidos, para generar cambios en los procesos de atención, efectividad motriz y estabilidad postural. Dicho hecho, conlleva a la hipótesis de que mejorar el entorno visual podría mejorar efectivamente la capacidad de control postural de las personas, y por tanto, el trabajar las tareas duales perceptivo-cognitivas con enfoque visual puede ayudar a fortalecer la atención de los atletas de fútbol y mejorar la estabilidad de sus movimientos para prevenir lesiones. (Ren, Wang, Zhang, et al., 2022).

Leonardo Fortes et al (2021), estudiaron la eficacia de la realidad virtual en comparación con el entrenamiento mental mediante imágenes motoras dinámicas en 2D para la mejorar en la toma de decisiones, el comportamiento de búsqueda visual y el rendimiento del control inhibitorio en jugadores de fútbol, encontrando una mejora en las habilidades previamente mencionadas en el grupo de realidad virtual, ya que al ser un abordaje mas inmersivo, se simulaba un campo de competencia real y por ende, un mayor desarrollo de enfoque atencional.

Neurofeedback en el deporte.-

Para comprender el rendimiento deportivo, existe la teoría del control motor, la cual argumenta que la actuación de un experto se basa en la programación precisa de los movimientos durante las etapas finales de preparación para la acción, y, a su vez, postula la hipótesis de la eficiencia psicomotora, la cual, se refiere a que la supresión de los procesos irrelevantes para la tarea y la mejora de los procesos relevantes para la tarea, están asociados con un procesamiento cognitivo-motor superior en relación con la experiencia, proporcionando una perspectiva más específica para profundizar la comprensión del procesamiento cortical enfocado a la mejora del rendimiento deportivo (Xiang, Hou, Liao, et al.,2018).

La unión perceptual se refiere a un proceso selectivo en el cual se elige y procesa la información de importancia para poder realizar un mecanismo de decisión en un menor tiempo de reacción y, posteriormente, ejecutar una respuesta mediante un mecanismo efector a las señales sensoriales encontradas, proceso que es mediado principalmente por la corteza prefrontal y parietal posterior, ya que dichas estructuras se encargan de desarrollar los modelos predictivos de “estímulo-respuesta” mediante la memoria de trabajo. (Erickson, 2022)

Sin embargo, en deportes con cambios dinámicos la unión perceptual también necesita a la interacción supresiva, ya que este reduce la magnitud de la respuesta debido a la simultaneidad de estímulos mediante el efecto “gating”, el cual, se define por la diferencia entre la intensidad de activación de la estimulación simultánea y la suma de las intensidades de ambas estimulaciones por separado, haciendo que la interacción entre estos logre modular la respuesta motriz del deportista y, a su vez, esta interacción supresiva puede llegar a incrementar o disminuir su efecto de acuerdo con la tarea solicitada, mediante un control prefrontal y cerebelar para la predicción de las consecuencias sensoriales de los movimientos (Munar Roca, Roselló Mir, Cela-Conde, et al., 2008).

Por este motivo, Paul Davis et al (2022), evaluaron las variaciones en los estados de orientación, esfuerzo percibido y respuestas fisiológicas, poniendo a prueba la agilidad, la planificación motora, toma de decisiones, percepción espacial y la atención visoespacial, así como la memoria de trabajo con el objetivo de que los atletas mostraran su reactividad y control inhibitorio frente al estrés, así como sus procesos de atención. Los autores encontraron que la precisión en las tareas duales tuvo un peor rendimiento deportivo al presentar alta reactividad contra el estrés y un menor enfoque atencional, en comparación con tareas sobre una situación estática. Motivando a los investigadores a enfocar el entrenamiento neurocognitivo a una mejora de la reactividad psico-emocional y procesos de atención deportiva.

Otra de las habilidades ejecutivas más utilizadas en el ámbito deportivo es la modulación de la atención, cuyo desarrollo se da mediante un entrenamiento específico que abarque la modulación de la información visual, control inhibitorio a emociones fuertes o estresantes y captación somatosensorial de los cambios en los estímulos que rodean el ambiente, cuyo óptimo desarrollo ayuda a obtener un mejor mecanismo de decisión y, por tanto, un mejor proceso de percepción-acción motriz. (Erickson, 2022)

Neurofeedback en procesos de atención.-

Una de las teorías que explica la relación que existe entre la atención y la retroalimentación sensorial, es la teoría premotora de la atención, que establece que el fenómeno atencional es un efecto de la activación de circuitos sensoriomotores mediante los procesamientos visomotores y sensoriales que ocurren en la vía dorsal, estipulando que es la acción y su retroalimentación la que facilita la percepción selectiva y consciente.

Por otra parte, Roca Munar et al (2008) mencionan que la existencia de una conectividad efectiva entre las áreas prefrontales, que es donde se origina una modulación atencional y las áreas dorsolaterales junto con la vía dorsal, hace que el enfoque atencional esté ligado con la información somatosensorial no solo visual al ser retroalimentado por la información de la corteza visual primaria, sino también, puede detectarse la información subcortical procedente del núcleo geniculado lateral, e incluso en el pulvinar o en el colículo superior, provocando así, que al dirigir la atención a un determinado objeto, se incremente la respuesta neural y se logre extender de forma distribuida, tanto para los sentidos no activados con el objetivo de su inhibición de la creación de potenciales distractores, como para los estimulados para lograr una mejora atencional.

Una de las ramas de entrenamiento cognitivo que cumplen dichos objetivos, es el neurofeedback somatosensorial que tiene como objetivo mejorar la conciencia de las experiencias internas y entrenar la regulación adaptativa ante diversas situaciones, en las cuales, se han diseñado diferentes programas de entrenamiento mediante la modulación del ritmo sensoriomotor, las cuales son capaces de proporcionar retroalimentación sobre los cambios fisiológicos de eficiencia neurocognitiva, es decir, tiempos de respuesta en condiciones estresantes y recursos de atención en diversos estímulos objetivo. (Crivelli, Fronda, & Balconi, 2019)

Entrenamiento cognitivo por neurofeedback.-

El entrenamiento cognitivo por retroalimentación es un método biológico empleado para enseñar a los participantes a regular el patrón de activación de sus cortezas cerebrales mediante señales de electro-corticales específicas y así, la retroalimentación de su actividad cerebral se transforma oportunamente en forma visual o auditiva, con el objetivo de que los participantes puedan aprender cómo la relación de mente/cerebro se correlacionan con el control voluntario de la regulación de su cognición, emoción, comportamiento y autorregulación. (Xiang, Hou, Liao, et al., 2018)

La eficacia del neurofeedback para mejorar el rendimiento motriz ha sido un tema en estudio desde 1991, en donde Landers et al, (1991) investigaron la eficacia del entrenamiento con neurofeedback mediante el apoyo de electroencefalogramas, para el control de la movilidad visual, la percepción y la autorregulación y motivación específica, teniendo como resultado que los participantes en el grupo experimental aumentaron significativamente su rendimiento desde antes hasta después de la intervención, mientras que el grupo de control activo mostró una disminución en el rendimiento y el grupo de control pasivo no mostró diferencias en el rendimiento entre antes y después de la intervención.

El entrenamiento con neurofeedback proporciona a las personas información en tiempo real con el apoyo de la electroencefalografía colocado en el cuero cabelludo para realizar mediciones sobre su nivel de actividad cortical a través de sonidos o pantallas visuales, que, basado en principios de la teoría del aprendizaje operante, se proporciona un refuerzo positivo gratificante como un cambio en el tono auditivo cuando se alcanza un nivel deseado de actividad cortical. Dichas señales de emitidas por electroencefalógrafo se forman a través del flujo iónico de grandes grupos de dendritas debido a la transmisión sináptica, y la alternancia entre los potenciales postsinápticos excitadores e inhibidores en estas sinapsis produce la señal oscilatoria familiar al cuerpo. (Mirifar, Beckmann, & Ehrlenspiel, 2017)

Mediante dicho entrenamiento, la actividad cerebral del participante es retroalimentada de múltiples maneras, como por ejemplo, el participante puede escuchar su actividad cerebral, al traducirse la intensidad cerebral en una señal auditiva, o bien, se puede mostrar al participante su actividad cerebral como una bola de realidad virtual que se acerca o se aleja de un objetivo, teniendo como objetivo establecer una relación entre la actividad cerebral de los participantes y los eventos de la tarea (Loriette, Ziane, & Hamed, 2021).

Existen varios tipos de frecuencia que han sido utilizadas para el entrenamiento cognitivo neurofeedback somatosensorial, identificando: *rango Alfa*: relacionado con un estado de atención relajada, *rango Theta*: activado en procesos con bajos procesos atencionales, *rango Gamma*: que están asociadas con la actividad cognitiva en procesos de atención y memoria de trabajo, *rango Beta*: que está relacionado con la resolución de problemas, actividad intelectual y relación con el medio exterior, *ritmo motor sensorial*: que se asocia con la ejecución de una tarea se asocia con atención relajada y disminución de la impulsividad al tener una disminución de la actividad motora voluntaria y *rango Delta*: que se relaciona durante el sueño con procesos de memoria y, en vigilia con déficit de aprendizaje (Mirifar, Beckmann, & Ehrlenspiel, 2017).

La frecuencia alfa, que generalmente se asocia con la inhibición de la corteza para ejercer un control cognitivo de la ejecución final, se encuentra en altas cantidades cuando existe una inhibición oportuna de algunas de las regiones corticales irrelevantes para la tarea y, en disminución, cuando se necesita una falta de inhibición de las regiones relevantes para la tarea pueden estar relacionadas con el desarrollo de la acción. (Xiang, Hou, Liao, et al., 2018). De igual forma, se ha argumentado que cuando una persona realiza una tarea bien practicada y sobreentrenada, se puede encontrar una potencia elevada en la frecuencia Alfa, lo que refleja una disminución del procesamiento cortical y un aumento de la etapa "automática" en lugar de la etapa "cognitiva" acorde a la teoría de adquisición de habilidades sensoriomotoras. (Mirifar, Beckmann, & Ehrlenspiel, 2017)

Sin embargo, existen teorías recientes que mencionan que altas cantidades de frecuencias alfa a nivel cognitivo aparecen cuando se ejecutan tareas dirigidas internamente, como visualizar mentalmente un estímulo, y disminuyen cuando se requiere la atención a un estímulo presentado externamente, concluyendo que la frecuencia alfa juega un papel en la inhibición de la información interna, para poder tener un mejor proceso de atención relacionada con la tarea externa, provocando una eficiencia neuronal y un procesamiento cognitivo más eficiente. (Berger & Davelaar, 2018)

Dentro de las principales diferencias encontradas entre atletas expertos y novatos en el entrenamiento cognitivo por retroalimentación, es que los atletas expertos suelen exhibir una mayor especificidad cortical en comparación con los novatos al planificar y ejecutar movimientos, tales como actividad reducida en las regiones temporales analítico-verbales, en comparación con los atletas novatos, cuya activación temporal va en disminución conforme mejoran su rendimiento deportivo, razón por la cual, se ha sugerido que la adquisición de habilidades psicomotoras podría mejorarse entrenando a las personas para que imiten el patrón de actividad cortical asociado con un desempeño psicomotor exitoso (Ring, Cooke, Kavussanu, et al., 2015)

Para mostrar la eficacia del entrenamiento cognitivo por medio del neurofeedback, se puede utilizar una banda de frecuencia de la corteza sensoriomotora, la cual, está inversamente relacionada con la actividad cortical y talámica, indicando que la actividad del núcleo talámico está relacionada con una menor interferencia del procesamiento somatosensorial. Dicho hecho, crea una posible teoría de que los procesos de atención mental adaptativos relacionados con la tarea ante un deporte de habilidad abierta, requiere un menor control consciente asociado al desempeño motor automático (Xiang, Hou, Liao, et al., 2018).

De igual forma, se ha demostrado que mediante el entrenamiento cognitivo por medio de neurofeedback somatosensorial, existe una activación de la plasticidad cerebral tanto funcional al presentar un aumento de la mielinización de la materia blanca, como estructural al manifestar un aumento de volumen cortical en las redes funcionales involucradas en la atención sostenida mediante estudios de resonancia magnética (Loriette, Ziane, & Hamed, 2021).

Evaluación del entrenamiento cognitivo mediante imágenes motoras y neurofeedback.-

Existen múltiples formas de evaluar la eficacia en las pruebas de entrenamiento perceptivo-cognitivo relacionadas al deporte, sin embargo, todas ellas tienen tres principales objetivos acorde a Jan Wilke et al (2020): en primer lugar, deben realizarse junto con movimientos rápidos de las extremidades superiores y/o inferiores, ya que su aparición ocurre en la mayoría de las situaciones en los deportes, en segundo lugar, deben basarse en el procesamiento de la información visual y somatosensorial, ya que se puede esperar que ambos representen la mayor cantidad de información aferente y, en tercer lugar, se deben evaluar las habilidades cognitivas específicas en cualquier deporte.

Una de las principales formas de medir el rendimiento es mediante la herramienta MIDA, la cual mediante una serie de subtarearías evalúa diferentes aspectos de las habilidades de atención y control ejecutivo: *vigilancia básico*, en la que los participantes deben reaccionar a un estímulo simple, *atención selectiva*, en la que los participantes deben responder a un estímulo complejo, *atención espacial extendida*, en la que los participantes deben de reaccionar a múltiples estímulos que aparecen en diferentes ubicaciones, y *habilidades de discriminación e inhibición perceptiva*, en la que los participantes tienen que detectar y discriminar dos estímulos diferentes y responder solo a uno de ellos, midiendo los tiempos de reacción, pérdidas momentáneas de la atención, respuestas tempranas, falta de control del comportamiento y por último, la medición de la impulsividad y falta de inhibición. (Crivelli, Fronda, & Balconi, 2019).

De igual forma, el FitLight Trainer es un sistema de evaluación motriz-cognitivo que mediante 8 sensores inalámbricos se busca la desactivación de las luces mostradas por los mismos, variando el orden de activación, tipo de luz, tiempo de espera a un estímulo auditivo, o bien, la capacidad de atención selectiva por control inhibitorio al presentar dos estímulos (visual y auditivo) de manera simultánea y ordenar una respuesta ante uno de los estímulos presentados para adaptar un simulacro o una prueba específicos. (Wilke, Vogel, & Ungricht, 2020).

Otra de las herramientas utilizadas para la medición de las habilidades ejecutivas, en especial para el control inhibitorio y la atención selectiva, es la tarea de Stroop, la cual, requiere que los participantes lean los nombres de colores escritos de las palabras independientemente del color escrito, en donde comúnmente se establece una discrepancia entre el nombre del color y el color impreso, con el objetivo de poder provocar un retraso en el tiempo de reacción. Los estímulos varían entre congruentes (palabra y color tienen el mismo significado), incongruentes (palabra y color tienen un significado diferente) y control (rectángulo de color con uno de los colores de la prueba: rojo, verde, azul y negro). (Fortes, Almeida, Praca, et al., 2021).

El Design Fluency test (DFT) es una prueba psicomotora no verbal que mide la inhibición de respuesta y la flexibilidad cognitiva al consistir en la conexión de diversos puntos, a través de una cantidad específica de líneas con el objetivo de crear tantas combinaciones como sea posible en un tiempo determinado. (Koch & Krenn, 2021).

Para medir la eficacia del entrenamiento cognitivo por medio de la retroalimentación, es importante tomar en cuenta dos factores dado que la esencia es mejorar el rendimiento deportivo a través de los cambios de electro-corticales, por lo cual, se debe medir tanto en los cambios en la actividad cortical de referencia como en los resultados manifestados del comportamiento social, el pensamiento, la percepción y la experiencia. (Xiang, Hou, Liao, et al., 2018)

ANTECEDENTES.-

La adquisición de habilidades motoras implica un conjunto de procesos internos que mejoran la eficiencia del movimiento, los cuales organizan e integran la información sensorial y motriz mediante el sistema nervioso central, correlacionando la mejora del rendimiento motor con cambios en las redes cerebrales funcionales que incluyen la corteza motora y premotora, el cerebelo, los ganglios basales, tálamo y tronco encefálico. (Allami , Brovelli, Hamzaoui, et al., 2014) (Luo & Wei, 2010)

Debido a las diferentes modalidades deportivas encontradas hoy en día, Gabriele Russo et al, (2019) decidieron investigar las posibles diferencias entre un grupo de atletas de habilidad abierta y un grupo de atletas de habilidad cerrada en relación a las siguientes capacidades cognitivas y/o ejecutivas: capacidad de búsqueda visual, la memoria de trabajo visual y el razonamiento mediante la toma de decisiones, encontrando que los deportes de habilidades abiertas parecen estar asociados con habilidades superiores de búsqueda visual y memoria de trabajo en comparación con los deportes de habilidades cerradas.

Al ser el sistema visual la aferencia más utilizada en deportes de habilidades cerradas, Gaoxia Wei et al (2010), estudiaron la eficacia y respuesta postural y dinámica de un grupo de buceadores durante el entrenamiento cognitivo mediante imágenes motoras, encontrando que los expertos en deportes revelaron un patrón de actividad cerebral especial adaptado a la tarea motora relacionada con la experiencia, que se presentó principalmente como una fuerte activación en el parahipocampo, estructura que ha demostrado que, además de ser activado mediante la experiencia y memoria a largo plazo de la acción, puede brindar una orientación espacial del movimiento, así como una activación en el área pre-frontal, sugiriendo que lograron desarrollar una consciencia en el control de los movimientos durante el entrenamiento.

Siguiendo con el entrenamiento visual, en el 2012 Kozo Funase et. Al (2012), investigaron si el efecto de la observación activa, es decir, el aprendizaje de una tarea motriz a través de la visualización de imágenes motoras, realizada de manera previa a la ejecución de la actividad logra mejorar la acción motriz, encontrando en los estudios de imágenes cerebrales evidencia de un sistema de neuronas espejo en las cortezas frontal inferior y parietal inferior que se activa durante los paradigmas de observación y ejecución, activación de la corteza frontal inferior durante la observación y la imitación del movimiento en aquellos sujetos cuya exposición a la tarea se había realizado de manera previa a la evaluación indicando que en los primeros sujetos se activó la memoria motora explícita.

Por otra parte, Nadia Alami et. Al (2014) decidieron combinar la imaginación motriz con su acción para evaluar si las actividades motrices mejoran mediante la presencia previa de imágenes motoras, encontrando que la práctica mental junto con la práctica física condujo a una mejora en el rendimiento y aprendizaje, lo cual quiere decir que el ensayo mental ayuda a mejorar el rendimiento y velocidad del movimiento en una menor cantidad de repeticiones físicas.

Otro de los puntos a investigar en relación al aprendizaje motriz por medio de la observación, fue la eficacia del mismo mediante movimientos realizados por expertos y novatos, en donde Hassan Rohbanfard et al (2011) encontraron que el efecto del aprendizaje mediante la observación de un movimiento realizado por un experto era mayor en comparación con la ejecución del mismo por un novato, sin embargo, se demostró que aquellos que aprendieron el movimiento por medio de novatos y expertos, fue más eficaz que el resto de los grupos experimentales.

De igual forma, se ha encontrado que la calidad de las imágenes motoras mejora con señales como propioceptivas, táctiles y visuales al producir un aumento en la excitabilidad corticoespinal y la actividad en las regiones parietales frontales durante la imaginación motora (Mizuguchi N. , Sakamoto, Muraoka, et al, 2009) (Mizuguchi N, Sakamoto, Muraoka, et al., 2012)

En relación al entrenamiento cognitivo aplicado al perfeccionamiento de la acción motriz mediante la aplicación de señales somatosensoriales, establece que la mejora de la actividad en las regiones sensoriomotoras probablemente refleja una expansión de los mapas motores y somatosensoriales que representan partes específicas del cuerpo, siendo posible diferenciar dos acercamientos con respecto a la metodología de entrenamiento: el entrenamiento de contexto específico, donde las ejercitaciones se ejecutan sobre acciones o situaciones propias del deporte en cuestión y el entrenamiento de contexto general, que afirma que el entrenamiento y desarrollo de una función cognitiva en un entorno general se traduce directamente a un resultado favorable en competencia al momento de utilizar la función cognitiva en cuestión. (Mizuguchi & Kazuyuki, , 2017)

Durante las actividades deportivas, las funciones cognitivas gestionan una parte de nuestras acciones, razón por la cual, se han establecido protocolos para modular la actividad cerebral, dentro de las que destacan, la aplicación de entrenamiento cognitivo por medio del neurofeedback, la cual, pretende regular la actividad cerebral para así, optimizar el aprendizaje de alguna habilidad motriz, o bien, mejorar el rendimiento deportivo y, hoy en día, dicha técnica ha demostrado tener mejores resultados con el acompañamiento de la realidad virtual o demostración de imágenes motoras, sin embargo, el uso y eficacia de ambas técnicas aplicadas de manera en conjunto, aún sigue siendo objeto de estudio (Perrey & Besson, 2018).

JUSTIFICACIÓN.-

El entrenamiento cognitivo y psicológico en el deporte ha sido un tema altamente estudiado en la última década con el objetivo de mejorar el rendimiento motriz en aquellos atletas que practican deportes de habilidades abiertas, ya que se requiere una atención sostenida para el procesamiento de información de un entorno dinámico y, por ende, un óptimo desarrollo del modelo de percepción-acción para una mejora de la respuesta motriz ante situaciones competitivas.

Hoy en día existen diversos medios por los cuales se puede mejorar el rendimiento del atleta principalmente en lo que se refiere los deportistas del alto rendimiento que son aquellos atletas que físicamente están muy preparados para ejecutar sus funciones y actividades motrices. Conocer estos otros mecanismos es fundamental para promover al equipo el diferencial y modificar los resultados esperados.

Se ha demostrado que el sistema visual es el más utilizado para la recreación de una retroalimentación somatosensorial constante entre las acciones motrices y los cambios en el ambiente, permitiendo una corrección y activación de funciones ejecutivas para una pronta respuesta al tener una óptima consciencia corporal y conocimiento de la habilidad motriz, razón por la cual, el entrenamiento por imaginación motora en deportistas ha sido utilizado con mayor frecuencia en los últimos años, ya que se ha demostrado que ayuda no solo a la mejora de la acción motriz y rendimiento deportivo al incrementar habilidades externas, sino también un mejor control de procesos atencionales, disminución del tiempo de reacción y confianza.

Por otra parte, el uso de neurofeedback como entrenamiento cognitivo en deportistas ayuda al perfeccionamiento motriz mediante el trabajo de procesos internos como lo son los procesos de atención, motivación y regulación del estrés ante cambios dinámicos del ambiente en deportes de habilidades abiertas.

Pregunta de investigación

¿El uso de entrenamiento cognitivo visual y somatosensorial mejora en la adquisición y perfeccionamiento de habilidades motrices en deportistas?

Objetivos

GENERAL: Demostrar la eficacia del entrenamiento cognitivo visual y somatosensorial para la adquisición y/o desarrollo de las principales habilidades cognitivas y físicas necesarias para un mayor rendimiento deportivo.

ESPECÍFICOS:

1. Describir las aplicaciones y los beneficios del entrenamiento cognitivo visual para la mejora de habilidades cognitivas y/o ejecutivas en el ámbito deportivo.
2. Describir la eficacia del entrenamiento cognitivo por medio de neurofeedback somatosensorial y visual para la mejora de habilidades cognitivas y/o ejecutivas en el ámbito deportivo.
3. Describir la eficacia del entrenamiento cognitivo visual y somatosensorial aplicados conjuntamente en la mejora del rendimiento deportivo.

METODOLOGÍA.-

Se trató de una revisión sistemática realizada a través de la búsqueda y análisis de trabajos publicados en las bases de datos electrónicas PubMed y ScienceDirect, en las cuales se buscaron investigaciones sobre la eficacia del entrenamiento cognitivo visual y somatosensorial para el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades motrices, mediante el uso de las siguientes palabras clave: *motor imagery training AND sports, neurofeedback training AND sports; entrenamiento visual//retroalimentación, habilidades cognitivas-ejecutivas, deporte.*

Los criterios de elegibilidad fueron los siguientes:

- **Criterios de inclusión**
 - Artículos científicos que se encuentren en idioma inglés y/o español.
 - Artículos científicos que se encuentren de libre acceso.
 - Artículos científicos de tipo: ensayo clínico y ensayo clínico aleatorizado enfocados al entrenamiento cognitivo visual y/o somatosensorial para la mejora de habilidades motrices en el deporte.
- **Criterios de exclusión:**
 - Investigaciones que se enfoquen en el entrenamiento cognitivo como método para disminuir trastornos psicológicos.
 - Investigaciones que tengan como población sujetos con deficiencia visual severa.
- **Criterios de eliminación:**
 - Investigaciones repetidas en otras bases de datos.
 - Investigaciones que no cumplieron con la información completa en las secciones de metodología y resultados.

Fuentes de información

Se realizó una búsqueda de artículos científicos que fueron publicados desde enero 2016 hasta agosto 2022 dentro de las plataformas PubMed y ScienceDirect.

Estrategia de búsqueda

Dentro de la búsqueda se implementaron los siguientes términos libres en las bases de datos mencionadas: “training”, “sports” y “cognitive” y los términos Mesh “neurofeedback” y “motor imagery”.

Específicamente en las bases de datos utilizadas se usaron las siguientes combinaciones:

PubMed

Se aplicaron los filtros de: “publicación desde 2016 hasta 2022”, “estudios de tipo: ensayo clínico y ensayo clínico aleatorizado”.

1. “motor imagery” AND
 - a. “Training”
 - b. “Cognitive” AND “sports”
2. “neurofeedback” AND
 - a. “training”
 - b. “Sports”
3. “neurofeedback” AND “motor imagery” AND
 - a. Sports

ScienceDirect

Se aplicaron los filtros de: “publicación desde 2016 hasta 2022”, estudios de tipo: ensayo clínico y ensayo clínico aleatorizado”.

1. “motor imagery” AND
 - a. “Training”
 - b. “Cognitive” AND “sports”
2. “neurofeedback” AND
 - a. “training”
 - b. “Sports”
3. “neurofeedback” AND “motor imagery” AND
 - a. Sports

Selección de estudios

Posterior a la búsqueda se registró por orden alfabético el nombre del ensayo en una bitácora para continuar con la eliminación de los artículos doblemente publicados. Posteriormente, se aplicó el primer cribado al leer los títulos de cada ensayo y, después, se continuó con la lectura del abstract para seleccionar aquellos artículos que cumplieran con todos los criterios de elegibilidad establecidos. Por último, se realizó una lectura completa del artículo y se eliminaron aquellos cuya población no se enfocara en sujetos sanos sin ningún tipo de discapacidad.

Extracción de datos

De los estudios incluidos en la revisión, se extrajo el nombre de los autores, el año de publicación, el objetivo principal del estudio, tamaño de la muestra, tipo, frecuencia y duración de la intervención, resultados obtenidos y la conclusión a la que llegaron.

Lista de datos

Las variables medidas en los resultados son:

- Rendimiento motor: se define como el resultado de una acción, para poder realizar una tarea lo mejor posible, donde influyen factores de aprendizaje como la experiencia, atención, disposición al esfuerzo, talento, creatividad y preparación psicológica. (Pacheco & Gómez, 2005)
 - Experiencia deportiva:
 - Sports improvement measuement (SIM-60): test diseñado para monitorear la mejora en atletas, al valorar el bienestar físico, capacidad de concentración, afrontamiento, estabilidad emocional, intuición, creatividad y rendimiento orientado a objetivos. (Rijken N. H., y otros, 2016)
 - Free-Throw self-efficacy (FTSE): escala que mide la autoeficacia de lanzamiento libre de pelota en basquetbolistas, en la cual, se le pide que imagine que lanza 100 tiros y ellos deben comentar cuántos de estos fueron eficaces. (Fatemeh, Morris, Watt, & Maher, 2022)

- Time to Exhaustion Test (TTE): prueba diseñada para evaluar la condición física que tienen los atletas, la cual consiste en permanecer la mayor cantidad de tiempo posible a un 65%-80% de la potencia máxima de cada deportista. (Fateme, Morris, Watt, & Maher, 2022)
 - Sel-reported Performance (NRS): escala de autoevaluación del rendimiento deportivo con puntaje de 0-10. (Rijken N. H., y otros, 2016)
- Atención: atención consciente a uno o más estímulos que brinda una persona sobre una actividad.
 - The Vienna Test System (VST): prueba por computadora al medir la velocidad de reacción a los estímulos visuales, en donde debes presionar una tecla específica en el teclado con la mano derecha o izquierda en el momento que aparece el estímulo, contando la media de velocidad de reacción, respuestas correctas e incorrectas. (Maszczyk, y otros, 2019)
- Creatividad cognitiva: capacidad mental de realizar una simulación mental sin la ejecución física de dicha acción, siendo relacionado con una planificación previa a la ejecución, además de la preparación para la ejecución de la acción a realiza.
 - Flexible Thinking Test (FTT): test encargado de valorar la fluidez espontánea al agrupar 7 elementos en diferentes formas, fluidez de ideas mediante la descripción de un objeto con el mayor número de adjetivos posibles y originalidad por medio de la cantidad de objetos que pueden mencionar al mezclar 2 o más cosas de una lista. (May J. , y otros, 2020)
 - Abbreviated Torrance Test for Adults (ATTA): test que consiste en tres actividades con 3 minutos de duración; calificando la originalidad, fluidez, elaboración y flexibilidad para posteriormente agruparlas en una de las 7 categorías. (May J. , y otros, 2020)

- Manejo psicológico:
 - The Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI): test diseñado para evaluar la calidad de sueño, consiste en 19 preguntas divididas en 7 dominios : calidad del sueño, latencia de sueño, duración de sueño, eficiencia y problemas de sueño, uso de medicación para dormir o enfermedad diagnosticada en el último mes. La puntuación mayor a 5 puntos indica problemas de sueño. (Rijcken N. , y otros, 2016)
 - The Recovery-Stress for Athletes (RESTQ-Sport): consta de 76 ítems que evalúa la capacidad de descanso y control del estrés, en el cual, entre más alta sea la puntuación significa mejor control del estrés. (Rijcken N. , y otros, 2016)

Calidad metodológica

Para la medición de la calidad metodológica de cada estudio incluido en la presente revisión, se utilizó la escala PEDro, la cual se conforma por 11 ítems que evalúan: 1.- criterios de selección especificados, 2.- asignación aleatoria de la muestra, 3.- asignación oculta de la muestra, 4.- homogeneidad en los grupos, 5.- cegamiento de los participantes, 6.- cegamiento del intervenidor, 7.- cegamiento de los evaluadores, 8.- resultados del más del 85% de los sujetos iniciales, 9.- resultados de todos los participantes, 10.- Comparación estadística y 11.- medidas puntuales. Cada ítem se puntúa con 1 en caso de que lo tenga o 0 en caso de que no, a excepción del primer ítem, ya que este solo se requiere para ver la elegibilidad del ensayo para la presente revisión, siendo un puntaje máximo de 10 puntos y, posteriormente, cada artículo será clasificado acorde al puntaje obtenido, siendo ensayos con puntuaciones menores a 4 de calidad metodológica pobre, 5 de calidad aceptable, 6-8 de buena calidad y 9-10 de excelente calidad metodológica.

Resultados de la búsqueda

Al final de la búsqueda se encontró un total de 441 investigaciones, de las cuales se obtuvieron 75 investigaciones aplicables a nuestros criterios de inclusión y al aplicar criterios de exclusión, quedaron un total de 29 artículos, de los cuales, 3 fueron eliminados al tratarse de deportistas con discapacidad visual severa y ser utilizados como métodos de rehabilitación en deportistas. De esas 30 investigaciones, 18 están relacionadas al uso de la imaginación motriz y entrenamiento visual para mejora del rendimiento deportivo, 7 al uso de neurofeedback sensorial para la mejora del rendimiento deportivo y 2 relacionados al uso combinado de imaginación motriz y biofeedback sensorial, como lo demuestra la figura 3:

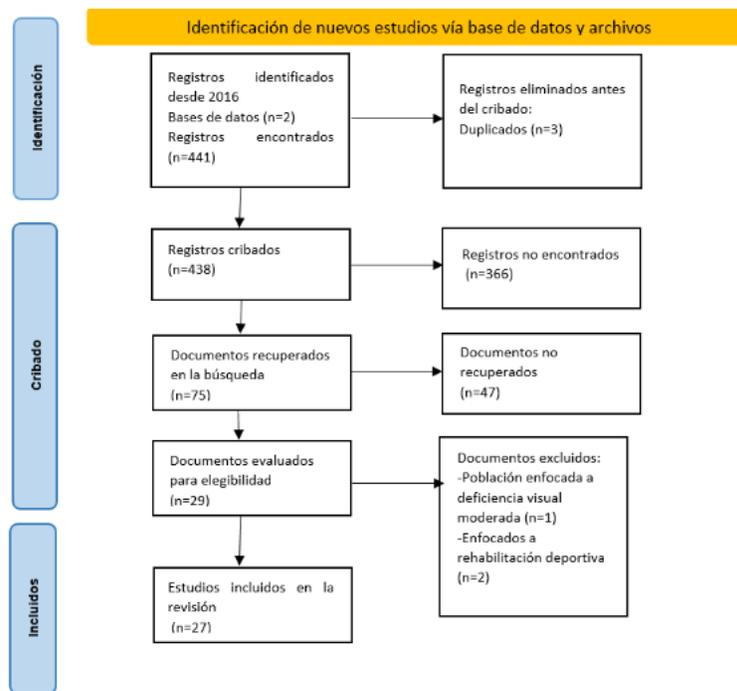


Figura 3. Diagrama de flujo acorde al método "PRISMA" implementado en la presente revisión.

Resultados de calidad metodológica

Acorde a la escala de PEDro, se obtuvo un promedio de 6 puntos y una media de 7, siendo el artículo elaborado por Adam Maszcyck et al 2018 con mayor calificación al obtener un puntaje de 10; el menor puntaje obtenido fue de 4 en los siguientes artículos: Thomas Jacquet et al 2020, Jon May et al 2020 Andreas Fink et al 2018, Kathrin CJ Eschmann et al 2020, al no presentar grupo control y experimental de manera aleatorizada y no tener similitudes en la muestra.

Referencias	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	TOTAL
Li-Kang Chi et al 2022	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Toshiyuki Aoyama et al 2020	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
sho itoh et al 2022	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
E. Weber et al 2016	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Fatemeh Fazel et al 2017	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Thomas Jacquet et al 2020	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	4
Jon May et al 2020	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	4
Nicolas Robin et al 2019	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Frank JH Lu et al 2020	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Thiago Ferreira Dias Kanthack et al 2017	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Adam J. Toth et al. 2020	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Chetwyn C.H. Chan et al 2016	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Park Hae - Jeong et al 2019	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Andreas Fink et al 2018	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	4
Roman Rozengurt et al 2017	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Nicola Luigi Bragazzi et al 2020	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Simone Montuori et al 2018	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Francesca Mottola et al 2021	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	8
Adam Maszczyk et al 2018	SI	SI	10									
Adam Maszczyk et al 2020	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6
Deniz Bedir et al 2021	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Kedi Xu et al 2022	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
Kathrin CJ Eschmann et al 2020	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	4
Antonio Dello lacono et al 2022	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7
Noortje H.Rijken et al 2016	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	5
David Crivelli et al 2019	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7

Tabla 1.- Calidad metodológica basada en la escala PEDro.. P1.- criterios de selección para la revisión; P2.- asignación aleatorizada de muestra; P3.- asignación oculta de la muestra; P4.- similitud en la muestra; P5.- muestra cegada; P6.- terapeuta cegado; P7.- evaluadores cegados; P8.- resultados con el 85% de muestra; P9.- resultados de toda la muestra; P10.- comparación estadística; P11.- variables y medidas puntuales.

Características de los estudios

En cuanto a las características de los estudios incluidos en la presente revisión, se encontró que el año con mayor número de publicaciones fue 2020, al presentar un total de 10 publicaciones y, por el contrario, el año con menor número de publicaciones fue el año 2019 con un total de 2 publicaciones encontradas. El total de la muestra utilizada en los artículos incluidos fue de 1153 participantes, de los cuales 212 fueron incluidos como grupo control y el resto como grupo experimental, enfocado a las terapias de imaginación motora progresiva, en retroceso, primera y tercera persona, así como terapia de acción-observación aislada y combinada con imaginación motora, simulación de la acción en 2D y 3D y, finalmente, neurofeedback con regulación de ondas Alfa, Theta-Beta de manera aislada y combinada con imaginación motora.

RESULTADOS.-

Entrenamiento cognitivo visual

Acorde a dos investigaciones incluidas en la presente revisión (Fazel, Morris, Watt, et al., 2022; Scott, Wright, Smith , & Holmes , 2022) se encontró que el uso de imaginiería motora en perspectiva y con aparición gradual en primera persona, no solo resulta ser eficaz para el perfeccionamiento de la acción y desarrollo de habilidades físicas y cognitivas como velocidad de reacción, procesos de atención, percepción de la fatiga, flexibilidad física y cognitiva y aumento de la fuerza muscular, sino también disminuye niveles de ansiedad, aumenta la confianza en los jugadores y les brinda la capacidad autocrítica a su propia acción.

Otro de los puntos a destacar dentro de la presente revisión, son los hallazgos mencionados con relación al uso combinado de la observación de la acción + imaginiería motriz, dónde se encontró que la aplicación de ambas intervenciones de manera conjunta demuestra mejores resultados que si se aplicaran de manera aislada. De igual forma, una de las investigaciones encontradas (Aoyama, Kaneko, & Kohno, 2020) menciona que el mantener una dificultad moderada de la tarea conlleva a mejores resultados en comparación con un alto o bajo nivel de dificultad, así como el uso de imágenes motoras congruentes a la acción solicitada y con previa experiencia a la misma, ya que se encontró que el solicitar imaginiería motriz en tercera persona de una acción previamente no realizada, es eficaz para el aprendizaje más no para el perfeccionamiento de la habilidad.

En uno de los estudios encontrados para la presente revisión (Dello Iacono, Ashcroft, & Zubac, 2021), se estudió la eficacia de la imaginiería motriz aplicada en primera persona para el mantenimiento de fuerza y potencia en atletas profesionales durante un periodo de desentrenamiento causado por COVID-19, encontrando un mantenimiento e incluso aumento del rendimiento físico entre los atletas.

- 6 de los estudios mencionan beneficios en las siguientes habilidades cognitivas superiores: control de ansiedad durante eventos deportivos al tener un aumento en la efectividad de tiro y salto y aumento de confianza al entrenar mediante imaginería motriz en primera persona (Chi, Chen, Chen, & Chien, 2022), , aumento de creatividad y pensamiento flexible al usar imaginería mental con una duración a corto plazo (May, y otros, 2020), habilidades que, en deportes de habilidades abiertas, son necesarias para la toma de decisiones, razón por la cual, se ha demostrado que el uso de imaginería motora en primera persona conlleva un aumento de ondas Alfa y, por ende, mayor habilidad creativa y motivacional (Fink, y otros, 2018) . De igual forma se ha encontrado una mejora en la percepción del esfuerzo al producir un entrenamiento mental previo a la acción (Jaquet , y otros, 2021), aumento de la confianza y desempeño deportivo al utilizar imaginería en primera persona (Lu F. , y otros, 2020) y un aumento de enfoque atencional al presentar un aumento de ondas Theta durante la ejecución del entrenamiento. (Weber & Doppelmayr, 2016) (tabla 2).
- 6 estudios mencionan la eficacia del uso de imágenes motoras para una mejora del rendimiento deportivo en comparación con imágenes motoras estáticas (Chi, Chen, Chen, & Chien, 2022) (Fatemeh, Morris, Watt, & Maher, 2022), con una dosificación ideal de 4 veces por semana, para evitar fatiga mental (Itoh, Morris , & Spittle, 2022), mejora en la puntería tanto en el uso de imágenes internas como externas (Lu F. , y otros, 2020) aumento en la flexibilidad durante los estiramientos activos al tener mayor rango de movimiento posterior a la imaginería motora (Dias Kanthack , y otros, 2017), agilidad al demostrar mayor velocidad en tenistas posterior a un trabajo mental en comparación al grupo control (Bragazzi, y otros, 2020)y fuerza muscular, en donde se demostró que ante la falta de entrenamiento físico, el entrenamiento mediante imaginería motora ayuda a mantener y aumentar la capacidad de fuerza y rendimiento físico (Dello Iacono, Ashcroft, & Zubac, 2021). (tabla 3)

- 4 estudios establecen la eficacia del uso combinado de acción-observación con imaginería motora para mejora de habilidades deportivas (Robin, Toussaint, Charles-Charlery, & Coudevylle, 2019) encontrando que el uso de acción-observación combinado con imágenes motoras con nivel de dificultad moderado, es más eficaz con un nivel de intensidad más alto (Toshiyuki, Kaneko, & Kohno, 2020); de igual forma, Adam J. Toth et al (2020) demostró que el uso combinado y simultáneo de AO+MI mejora la comprensión del movimiento de manera previa a su ejecución, sin embargo, el uso de realidad virtual acompañado con imaginería motora resulta ser más eficaz para el perfeccionamiento motriz en comparación con la acción-observación e imaginería conjunta en 2D. (Bedir & Erhan, 2021) (tabla 4)
- 2 establecen la eficacia del uso de imaginería motora en tercera persona para el aprendizaje motor (Montouri, y otros, 2018) y, además, el uso de imaginería en tercera persona al implicar la visualización de los demás y del entorno es relevante para los atletas de deportes abiertos, mientras que la imaginería en primera persona, al estar más orientado a sí mismo, es más relevante para los atletas de deporte abierto y cerrado. (Chetwyn, y otros, 2016) (tabla 5).

Imaginería motora para el desarrollo de habilidades cognitivas superiores						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
Li-Kang Chi et al	2022	Evaluar si la imaginería progresiva, regular y en retroceso, son eficaces para el rendimiento motor y el estado de atención y confianza	N=45	Se administró tres veces por semana durante 4 semanas, un total de 12 sesiones de entrenamiento de imágenes.	PI y RETI mejoraron significativamente el rendimiento de carrera, salto y tiro, (2) RI y PI redujeron significativamente el estado de ansiedad de los jugadores, (3) RI y PI mejoraron significativamente la confianza en sí mismos de los jugadores	El uso de RI mejora la autoconfianza y la disminución de la ansiedad, más no mejora el desempeño motriz, mientras que el uso de RETI si mejora el desempeño motriz y PI trabaja ambos aspectos.
Jon May et al	2020	Evaluar la efectividad de una serie de talleres diseñados para desarrollar habilidades metacognitivas en el uso de imágenes mentales para apoyar la creatividad coreográfica	n=240	Existieron 2 grupos, el experimental con el uso imágenes metacognitivas por 3 sesiones. Los participantes completaron una prueba de creatividad y de pensamiento flexible antes de los talleres, así como un año posterior a la intervención.	El grupo experimental mostró mejora en el pensamiento flexible a creatividad específica a largo plazo más no de manera inmediata.	La creatividad específica y flexibilidad cognitiva se puede mejorar a través del uso de imágenes mentales.
Thomas Jacquet et al	2020	Confirmar que cuando se prolonga el uso de imágenes motoras se induce un estado de fatiga mental y aumento del esfuerzo percibido durante la acción.	n=13	Existieron dos grupos; el experimental realizó 200 extensiones isométricas imaginarias de extensión de rodilla y el grupo control vio un documental; posteriormente ambos realizaron 10 extensiones de rodilla isométricas reales.	La percepción del esfuerzo en el ejercicio físico aumenta en presencia de fatiga mental.	La fatiga mental inducida por imágenes motoras altera el comando motor y afectar la ejecución real.
Frank JH Lu et al	2020	Examinar los efectos de las imágenes internas y externas en los tiros de tres puntos de los jugadores de baloncesto.	N=49	Existieron 3 grupos, uno enfocado al uso de imágenes internas (n = 15), otro a imágenes externas (n = 14) y grupo control (n = 20) durante 8 semanas, 2 veces por semana acompañado de ejercicio físico.	No hubo diferencia entre las imágenes internas y las imágenes externas en el rendimiento del tiro de tres puntos en baloncesto, pero si se encontró que al imaginar su propio desempeño hay un aumento de confianza y capacidad de autocorrección.	Las características de la tarea motora y el nivel de habilidad de los participantes influyen en la perspectiva de las imágenes.
E. Weber et al	2016	Investigar los cambios inducidos por el entrenamiento MI combinado con neurofeedback con regulación en la actividad theta.	N=43	Existieron dos grupos con 15 sesiones para cada participante, en el experimental se realizó imaginería motora cinestésica acompañado de neurofeedback y posteriormente la ejecución de la acción y al grupo control se le pidieron tareas irrelevantes y luego la ejecución de la acción.	El grupo experimental produjo una mejora en comparación al grupo control y aumento de la onda Theta en la línea media central y área cingulada anterior como resultado de mayor enfoque atencional	El entrenamiento por MI conduce a una mejora del rendimiento durante el lanzamiento de dardos, acompañado de un aumento de la onda theta para mejorar el enfoque atencional
Andreas Fink et al	2018	Investigar los cambios relacionados con la tarea de la potencia alfa durante la imaginería motora de movimientos creativos en situaciones de toma de decisiones de fútbol.	N=43	Existió un grupo experimental en el cual, se presentaron videoclips de una escena de fútbol y los participantes tenían que imaginarse a sí mismos como jugadores y pensar en un movimiento creativo que pudiera conducir a un gol o bien, defenderlo.	El desempeño de la tarea defensiva provocó disminuciones de potencia alfa en los sitios parietal y occipital, lo que indica altas demandas de procesamiento visoespacial, por el contrario, ante necesidades creativas hubo un aumento de ondas alfa.	La toma de decisiones involucra el trabajo de múltiples áreas como la atención visoespacial e imágenes cinéticas, hecho que se ve mejorado al potenciar la onda alfa.

Tabla 2. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de imaginería motora para el entrenamiento de habilidades cognitivas superiores aplicadas al deporte. PI: imágenes progresivas; RI: imágenes regulares; RETI: imágenes colocadas en retroceso.

Imaginería motora para mejora del rendimiento deportivo						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
Li-Kang Chi et al	2022	Evaluar si la imaginería progresiva (PI), regular (RI) y retrógrada (RETI) son eficaces para el rendimiento motor y el estado de atención y confianza	N=45	Se administró tres veces por semana durante 4 semanas, un total de 12 sesiones de entrenamiento de imágenes.	PI y RETI mejoraron significativamente el rendimiento de carrera, salto y tiro, (2) RI y PI redujeron significativamente el estado de ansiedad de los jugadores, (3) RI y PI mejoraron significativamente la confianza en sí mismos de los jugadores	El uso de RI mejora aumenta la autoconfianza y disminución de la ansiedad, más no mejora el desempeño motriz, mientras que el uso de RETI si mejora el desempeño motriz y PI trabaja ambos aspectos.
Faemeh Fazel et al	2018	Examinar la eficacia de un programa de PI, RETI, RI presentado a jugadores de baloncesto altamente calificados en competencias de liga.	n=5	Existieron 4 grupos: imaginería progresiva, imaginería en retrospectiva, imaginería estática y grupo control. La intervención duró 4 semanas, 3 sesiones a la semana.	La intervención por medio de RETI demostró tener mejores resultados en el aumento de la eficacia de lanzamientos libres, seguido de PI.	Los jugadores con poca experiencia se benefician más de imágenes regresivas que progresivas o regulares.
sho itoh et al	2022	Examinar el efecto de diferentes frecuencias de imágenes (3, 4, 5 sesiones de imágenes por semana) en el rendimiento de tiro de baloncesto.	n=40	Se asignaron 4 grupos a cuatro condiciones: 3 sesiones de imágenes por semana, 4 sesiones de imágenes por semana, 5 sesiones de imágenes por semana y un grupo control. Las 3 condiciones de imágenes duraron 4 semanas.	La condición de 4 sesiones de imágenes por semana tuvo las medias de capacidad de tiro más altas en la prueba posterior y en la prueba de retención.	Entrenar con imaginería motora 4 veces por semana para mejorar la capacidad de tiro en basquetbolistas.
Frank JH Lu et al	2020	Examinar los efectos de las imágenes internas y externas en los tiros de tres puntos de los jugadores de baloncesto.	N=49	Existieron 3 grupos, uno enfocado al uso de imágenes internas (n = 15), otro a imágenes externas (n = 14) y grupo control (n = 20) durante 8 semanas, 2 veces por semana acompañado de ejercicio físico.	No hubo diferencia entre las imágenes internas y las imágenes externas en el rendimiento del tiro de tres puntos en baloncesto, pero si se encontró que al imaginar su propio desempeño hay un aumento de confianza y capacidad de autocorrección.	Las características de la tarea motora y el nivel de habilidad de los participantes influyen en la perspectiva de las imágenes.
Thiago Ferreira Dias Kanthack et al.	2017	investigar los efectos de la práctica de MI durante el estiramiento sobre la flexibilidad y sus correlatos neurofisiológicos	N=30	Existió un grupo control y uno experimental acompañado del uso de imaginería para aumento de flexibilidad en isquiotibiales. Con una única sesión dividida en dos bloques, el primero con estiramiento activo y el segundo posterior a la imaginería.	Existió menor activación en el músculo recto femoral e isquiotibiales en el grupo experimental.	Existe un aumento de flexibilidad en estiramientos activos debido a la mejor de inhibición recíproca mediante el uso de imaginería motora.
Nicola Luigi Bragazzi et al	2020	Explorar si un programa de entrenamiento que incorpora imágenes motoras tiene un efecto sobre los resultados del rendimiento físico en una muestra de atletas de tenis	n=27	Al grupo de control se le mostraron videos y el grupo experimental siguió un programa de entrenamiento basado en imágenes motoras, 3 veces por semana, durante 1 mes.	El grupo experimental mejoró la agilidad, velocidad y tiempo de reacción a pesar de estar en ayuno Ramadán.	El entrenamiento por medio de imágenes motoras es una estrategia efectiva para optimizar el desempeño de tenistas durante el ayuno de Ramadán al tener un menor gasto calórico que la ejecución física como tal.
Antonio Dello Iacono et al	2021	Investigar los efectos del entrenamiento de IM en el rendimiento de la fuerza y la potencia de los atletas profesionales durante un período de desentrenamiento	N=30	tres grupos: dos grupos de entrenamiento de MI, que completaron el entrenamiento de imágenes con un 85% RM u OPL y un grupo control, por 6 semanas, 2 veces a la semana.	Ambos grupos experimentales demostraron desarrollaron más la fuerza y potencia en comparación al grupo control.	El uso de imaginería motora es una herramienta viable para el mantenimiento y aumentar la capacidad de rendimiento físico.

Tabla 3. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de imaginería motora para la mejora del rendimiento físico deportivo. PI: imágenes progresivas; RI: imágenes regulares; RETI: imágenes colocadas en retroceso; RM: repetición máxima; OPL: cargas óptimas de potencia.

Uso combinado de acción-observación e imaginiería motora para rendimiento deportivo						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
Nicolas Robin et al	2021	Investigar el efecto de las imágenes motoras dinámicas combinadas con la práctica física en el rendimiento de tiros libres de jugadores de baloncesto avanzados en dos condiciones: con y sin un video de un modelo.	N=46	Existieron 3 grupos: control, imaginiería y acción-observación + imaginiería, con una duración de 5 semanas, 1 sesión por semana.	los grupos de imaginiería y acción-observación, junto con el grupo de imaginiería, tuvieron un mayor rendimiento de tiros libres en la prueba posterior que en la prueba previa	El uso combinado de imaginiería motora más observación de la acción, n solo mejora la eficacia de lanzamiento de tiros, sino también la velocidad en la que se realiza.
Toshiyuki Aoyama et al	2020	Investigar si las habilidades motoras cercanas a un estado de meseta se pueden mejorar aún más mediante MI+ AO	n=40	Los sujetos fueron divididos aleatoriamente en cuatro grupos (n=10 por grupo): el grupo de control y tres grupos de MI combinados con entrenamiento de observación de acción (MI + AO) con diferentes niveles de dificultad.	Mejora después del entrenamiento MI + AO fue significativamente mayor en el grupo de dificultad moderada que en el grupo de control y un nivel de dificultad más alto.	El entrenamiento por MI + AO. con una complejidad moderadamente superior a la capacidad de un deportista promueve un mejor desempeño de la acción.
Adam J. Toth et al	2019	Demostrar los beneficios de rendimiento del putt de golf.	n=44	Se dividió en dos, un grupo control y otro grupo con AOMI en una única sesión con evaluación pre y post intervención.	la presencia de AO con MI aumenta la relevancia de las señales cinestésicas al controlar aspectos específicos de la tarea motora.	El uso combinado de AO con MI mejora la capacidad de comprensión del movimiento, que puede ayudar en la ejecución del mismo.
Deniz Bedir et al	2021	Examinar el efecto de los programas de entrenamiento de imágenes basadas en realidad virtual (VRBI) en el rendimiento de tiro.	n=34	Existieron 3 grupos; dos grupos experimentales, uno con realidad virtual e imaginiería, otro con imaginiería y acción-observación y el grupo control, durante 4 semanas, 3 veces por semana.	A pesar de que ambos grupos mejoraron su rendimiento motriz, el grupo experimental con realidad virtual tuvo una mayor eficacia en la mejora del rendimiento al tener una mayor adaptabilidad en menor tiempo.	El programa VRBI es más eficiente en términos de rendimiento de disparos y habilidades de imágenes que VMBR + VM, que es el modelo de entrenamiento de imágenes más utilizado.

Tabla 4. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de imaginiería motora combinada con entrenamiento acción-observación para la mejora del rendimiento deportivo. VRBI: terapia de acción-observación mediante realidad virtual; VM: acción-observación en 2D; AO: acción-observación; MI: imaginiería motora; AOMI: acción-observación + imaginiería motora.

Aprendizaje motor por imaginaria en tercera persona						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
Simone Montuori et al	2018	Evaluar si existe una diferencia funcional entre la visualización de una secuencia de movimientos en la perspectiva de primera o tercera persona	N=48	Existieron 3 grupos: grupo experto, grupo novato y grupo sin práctica de pilates con un abordaje de imaginaria motora tanto en primera como en tercera persona, durante 2 semanas, 1 intervención por semana.	En imaginaria en primera persona el tiempo de ejecución e imaginación fueron similares en el grupo de expertos y en novatos y sin práctica fue menor en imaginación. En la imaginaria externa, el tiempo de imaginación fue menor que el de ejecución en expertos, mientras que en novatos ocurre lo contrario.	La visualización en primera persona sirve para entrenar un gesto ya interiorizado y en tercera persona es útil para aprender y mejorar la secuencia de movimientos recién adquiridos.
Chetwyn C.H. Chan et al	2016	Comparar el uso de imágenes visuales externas contra imágenes visuales internas en los diferentes tipos de deporte.	n=72	Se realizaron dos grupos aleatorizados con deportistas de habilidades abiertas y cerradas para el uso de imaginaria externa o interna, durante aproximadamente 20 horas en una semana.	Los deportistas de habilidad abierta tenían un porcentaje de precisión más altos al realizar visualización de imágenes externas e internas.	EVI implica la visualización de los demás y del entorno, y sería relevante para los atletas de mayor nivel de habilidad que practican deportes abiertos. IVI, por el contrario, tiende a estar más orientado a sí mismo y sería relevante para la utilización por parte de atletas de mayor nivel de habilidad, independientemente del tipo de deporte.

Tabla 5. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de imaginaria motora en tercera persona para el aprendizaje motor. EVI: imaginaria externa o en tercera persona; IVI: imaginaria interna o en primera persona.

Entrenamiento cognitivo por neurofeedback

De las 9 investigaciones restantes incluidas en la presente revisión, 7 se enfocaron en la eficacia del neurofeedback para la mejora del rendimiento deportivo, encontrando mejoras en la fijación visual (Maszczyk, y otros, 2020), disminución del estrés, (Crivelli, Fronda, & Balconi, 2019), atención selectiva (Mottola, Blanchfield, Hardy, & Cooke, 2021) prevención de lesiones e incluso trabajo del equilibrio dinámico mediante la regulación del equilibrio entre ondas Theta y Beta (Maszczyk, y otros, 2019)

Dichas investigaciones establecen que a mayor activación ondas y bandas Beta y alfa, mayor uso de procesos cognitivos superiores, como lo son la atención y fijación visual a estímulos, así como la activación de ondas Theta está relacionado un incremento en la motivación y reducción de estrés previo al movimiento. De igual forma, en uno de los artículos encontrados, (Crivelli, Fronda, & Balconi, 2019) se establece que la intervención por neuroretroalimentación es eficaz para mejorar los procesos atencionales no solo por la regulación de las ondas Beta y alfa, sino también por la mejora constante del potencial N2, el cual es un marcador de los procesos de la regulación de atención.

En tan solo una investigación (Domingos, Peralta, Prazeres, et al., 2021) se estudió si existen diferencias entre realizar dos sesiones o tres sesiones por semana en la mejora de la actividad alfa y la mejora de la cognición, encontrando que el entrenamiento con neurofeedback con tres sesiones por semana resulta ser más efectivo en el aumento de la amplitud alfa durante el entrenamiento con neurofeedback que con dos sesiones por semana.

- 4 de ellos trabajaron mediante la regulación de ondas theta-beta para lograr un aumento en procesos de atención y rendimiento ante una tarea motora (Rozengurt, Shtoots, Sheriff, Sadka, & Levy, 2017), de igual forma se encontró disminución en el tiempo de reacción y mejora en el equilibrio dinámico al mejorar el procesamiento visual inhibiendo las ondas theta (Maszczyk, y otros 2018; 2020) así como una mejora del rendimiento motor disminuyendo la sensación de fatiga (Eschmann, Bader, & Mecklinger, 2020)

- 3 estudios se enfocaron en la activación de ondas Alfa con el objetivo de aumentar los procesos de atención selectiva (Balconi, Fronda, & Crivelli, 2019), mejorar la acción motriz a ejecutar al aumentar la motivación y resistencia en ciclistas (Mottola, Blanchfield, Hardy, & Cooke, 2021), así como mejorar la calidad de sueño y aumentar el porcentaje de motivación (Rijken, y otros, 2016).

Neurofeedback por regulación ondas Beta/Theta						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
Roman Rozenfurt et al	2017	Usar neurofeedback para aumentar selectivamente la potencia theta o beta en sus espectros de EEG después de la fase de adquisición del aprendizaje de la secuencia motora	N=50	Existieron 3 grupos: grupo experimental con neurofeedback a regulación theta, regulación beta y grupo control. A los 3 se les valoró el rendimiento en una tarea motora antes y después del entrenamiento, al día y a la semana.	Una mejora significativamente mayor en el rendimiento inmediatamente después de NFB en el grupo theta que en el grupo beta, relacionado al proceso de consolidación de aprendizaje.	La regulación de ondas theta mejora la consolidación sináptica y por ende, el aprendizaje de actividades motoras.
Adam Maszczyk et al	2018	Investigar y determinar el impacto del entrenamiento con neurofeedback en el equilibrio dinámico en el judokas	n=18	Existieron dos grupos, el grupo experimental, a los cuales se les brindó neurofeedback por regulación de ondas theta-beta durante diez sesiones por 5 semanas y el grupo control que recibió neurofeedback simulado.	Existe una disminución de los valores theta y alfa y un aumento del grupo Beta, lo que mejora el equilibrio dinámico.	El entrenamiento con neuroretroalimentación puede mejorar el equilibrio dinámico de los judokas.
Adam Maszczyk et al	2020	Analizar el efecto del entrenamiento con neurofeedback basado en la amplificación de ondas beta e inhibición de ondas theta en la eficiencia del procesamiento visual de los atletas de judo.	N=12	Existieron dos grupos: al experimental se le aplicó un entrenamiento beta/theta, destinado a aumentar la concentración y atención limitada por parte de los atletas durante 15 sesiones, una por día seguido de un descanso de 2 semanas y continuación de 15 sesiones adicionales, 1 por día; el grupo control no tuvo retroalimentación	El grupo experimental mostró una reducción estadísticamente significativa en el tiempo de reacción después del entrenamiento en comparación con el grupo de control.	Mediante el NFB los atletas son capaces de controlar las ondas cerebrales para aumentar su concentración y velocidad de reacción.
Kathrin CJ Eschmann et al	2020	Investigar si la neuroretroalimentación theta mejora la experiencia de flujo, situación autonómica y sin fatiga de movimiento además del rendimiento motor.	N=46	Se realizaron dos grupos, una con neuroretroalimentación y otro grupo control durante 7 sesiones.	El grupo experimental mostró una mejor recuperación en sesiones de ejercicio posteriores a la intervención,	La neuroretroalimentación ayuda a obtener un mejor rendimiento motor y experiencia de flujo al trabajar en la memoria corporal, después del entrenamiento que los participantes que no mejoraron su actividad theta.

Tabla 6. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de neurofeedback por medio de la regulación ondas theta/beta en el deporte. EEG: electroencefalograma; NFB: entrenamiento por medio de neurofeedback.

Neurofeedback por regulación ondas Alfa						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
David Crivelli et al	2019	Probar la viabilidad y el potencial de un programa intensivo para mejorar el bienestar psicológico y la regulación de la atención en contextos deportivos.	N=50	Existieron dos grupos; el grupo experimental se basó en prácticas de respiración consciente respaldadas por un neurofeedback portátil, mientras que el control activo incluyó solo prácticas de respiración, durante 4 semanas con sesiones diarias.	Hubo una reducción significativa de los tiempos de respuesta en deportistas del grupo experimental, así como una mejora constante del potencial relacionado con eventos N2, un marcador de los procesos de regulación de la atención.	La meditación plena combinada con neurofeedback es eficaz para la regulación del estrés y mejora de los procesos de atención.
Francesca Mottola et al	2021	Examinar una intervención de neuroretroalimentación para el rendimiento de resistencia de todo el cuerpo.	n=40	Existieron tres grupos, 2 experimentales dedicados a aumentar la actividad cortical izquierda y derecha y el grupo control, por 2 sesiones.	El equipo con intervención de neuroretroalimentación cortical izquierda pedaleó un 30% más que el resto de los grupos.	La intervención de neuroretroalimentación izquierda provocó mejora el rendimiento del ejercicio de resistencia y aumentó la duración en el pico de esfuerzo máximo al dar mayor motivación al estar esta zona más asociada a la motivación y procesos de atención en la corteza prefrontal dorsolateral izquierda.
Noortje H.Rijken et al	2016	Investigar los efectos de una intervención que consiste en entrenamiento mental combinado con neurofeedback de potencia alfa frecuencia cardiaca para controlar estrés, rendimiento, recuperación y calidad del sueño en deportistas de élite.	N=21	Se realizaron dos grupos con cuatro sesiones de entrenamiento mental durante 5 semanas combinadas con biorretroalimentación HRV diaria y bioretroalimentación en combinación con neurofeedback diaria	Existe una mejora de estabilidad emocional y reducción del estrés al utilizar las terapias combinadas.	Un programa de entrenamiento mental combinado con retroalimentación de potencia alfa y cardiaca puede conducir a mejores resultados relacionados con el rendimiento y reducción del estrés.

Tabla 7. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de neurofeedback por medio de la regulación ondas alfa en el deporte. HRV: ritmo cardiaco; N2: componente bioquímico cerebral.

Entrenamiento cognitivo visual y neurofeedback aplicado en conjunto

Finalmente, los 2 estudios restantes se enfocan en el uso combinado de la imaginación motora + neurofeedback con el objetivo de optimizar el rendimiento deportivo mediante el trabajo de habilidades motoras y cognitivas.

Dichos estudios mencionan que el uso combinado de ambas técnicas resulta ser de mayor utilidad al presentar un aumento en la activación corticoespinal, mayor reclutamiento de fibras musculares relacionadas a la tarea, mayor procesamiento visoespacial y aumento en la capacidad de imaginación motora. Sin embargo, existe muy poca evidencia aún para poder avalar la eficacia de la intervención combinada para deportistas.

En la tabla 3 se muestra una agrupación de los estudios encontrados en los principales hallazgos mencionados por autores:

- 2 artículos utilizaron el entrenamiento de imaginación motora en tercera persona y neurofeedback por activación alfa para el perfeccionamiento motriz mediante la regulación del comportamiento (Zhou, Cheng, Yao, Ye, & Xu, 2022); así como mejora en la precisión motora al obtener un aprendizaje más eficaz con la técnica de imaginación motora en primera persona y neurofeedback con regulación de ondas alfa (Lee, Jang, & Park, 2019).

Imaginería motora combinada con Neurofeedback por regulación ondas Alfa						
Autores	Año	Objetivo	Muestra	Intervención	Resultados	Conclusión
Kedi Xu et al	2022	Investigar el efecto de un protocolo de entrenamiento de neurofeedback basado en la regulación positiva de la banda alfa para el aumento del rendimiento de imaginería motora.	N=18	Se hicieron dos grupos, uno control y otro con retroalimentación ante imágenes motoras, 8 sesiones durante 1 día.	El grupo experimental ayudó a aumentar la potencia del ritmo alfa y mejorar su rendimiento deportivo.	El neurofeedback a través de la regulación de ondas alfa ayuda a mejorar la función cognitiva y de comportamiento
Park Hae - Jeong et al	2019	Realizar aprendizaje con neurofeedback e imaginería motora en lugar de imaginería motora aislada.	n=20	Existieron dos grupos; el grupo experimental realizó dos sesiones de práctica mental motora antes y después de una sesión de entrenamiento de neurofeedback y el grupo control únicamente realizó sesiones repetitivas de imaginería motora.	El grupo experimental mostró efectos significativamente más altos del entrenamiento con neurofeedback al tener una mejor eficiencia de activación de patrones neuronales específicos en comparación al grupo de control.	Una experiencia de aprendizaje por medio de neurofeedback y MI es más efectiva que una práctica constante de la acción al tener una mayor conectividad funcional durante una práctica motora mental.

Tabla 8. Incluye síntesis de artículos que se enfocaron en el estudio de neurofeedback por medio de la regulación ondas alfa e imaginería motora en el deporte.

DISCUSIÓN.-

Imaginería motora para el desarrollo de habilidades cognitivas superiores

En un estudio realizado por Anatoly Vasilyev et al., (2017) evaluaron la eficacia de las imágenes motoras por medio de la interfaz cerebro-computadora, encontrando que los sucesos neurofisiológicos y psicológicos varían notablemente entre los individuos, las cuales se atribuyen comúnmente a la experiencia en habilidades motoras de los sujetos o a la presencia de una determinada predisposición para realizar imágenes mentales. Razón por la cual, el entrenamiento por imaginería motora para la mejora del rendimiento motriz, es ideal para aquellos que cuentan con una experiencia previa al deporte y con una óptima capacidad de imaginería motriz para que el tratamiento sea eficaz.

Imaginería motora para la mejora del rendimiento físico deportivo

Otro de los artículos que sustentan el uso de la imaginería motora para la mejora de las habilidades deportivas y por ende del rendimiento deportivo, es el de los autores Dias Kanthack et al., (2017), quienes estudiaron la eficacia de la imaginería motriz para el entrenamiento de la flexibilidad en deportistas con enfoque en habilidades abiertas, encontrando que durante el estiramiento activo, la demanda de fuerza sobre el músculo agonista está relacionada con la amplitud del reflejo de estiramiento y la coordinación agonista/antagonista, factores que son trabajados mediante el uso de la imaginería motriz al obtener un mayor efecto cortical sobre los reflejos espinales.

Hoy en día se han descrito las múltiples modalidades del uso de imaginería motora, dentro de las que destacan: modalidad en primera persona, tercera persona, imágenes de rutina, imágenes progresivas, capacitación de estímulo y respuesta en capas e imaginería retrógrada. En el 2022 Fatemeh Fazel et al. (2022) investigaron la eficacia del uso de las imágenes progresivas para la mejora del rendimiento de tiros libres en baloncesto, encontrando que puede ser efectivo en el contexto del mundo real de la competencia de una temporada al brindarle los estímulos somatosensoriales y cognitivos necesarios para un mayor entrenamiento.

Aprendizaje motor por imaginación motora en tercera persona

Complementando al estudio de los diversos tipos de imaginación motora, Frank J.H. Lu et al., (2020) realizaron un estudio comparativo entre la intervención de imaginación motora y ejecución mediante videos con percepción en primera persona en comparación a la percepción en tercera persona, encontrando que ambos tipos de imágenes mejoraron el rendimiento sin diferencia entre las imágenes internas y externas, sin embargo, el uso de imágenes externas llegan a brindar mejores funciones cognitivas y motivacionales.

Neurofeedback por regulación de ondas Theta/Beta

Las investigaciones encontradas establecen que a mayor activación ondas y bandas Beta, mayor uso de procesos cognitivos superiores, como lo son la atención y fijación visual a estímulos, así como la activación de ondas Theta está relacionado un incremento en la motivación y reducción de estrés previo al movimiento.

Por otra parte, el aprendizaje motor por medio de neurofeedback por regulación de ondas Theta/Beta solo fue estudiado por un Roman Rozengurt et al 2017, quienes encontraron que la regulación de ondas theta mejora la consolidación sináptica y por ende, el aprendizaje de actividades motoras. Hecho que demuestra que el uso de neurofeedback en deportistas ayuda a una mejor consolidación de la habilidad motora en menor tiempo que por la práctica física aislada.

Neurofeedback por regulación de ondas Alfa

En los estudios utilizados en la presente revisión se encontró que el uso de neurofeedback por regulación de ondas Alfa mejora el nivel de motivación y reducción del estrés en atletas tanto de deportes abiertos como cerrados, mejorando así su rendimiento deportivo.

Uso combinado de neurofeedback e imaginería motora

Finalmente, el uso combinado de neurofeedback e imaginería motora ha sido una medida de entrenamiento eficaz en los últimos años para la mejora del rendimiento deportivo, como lo mencionan Park Hae-Jong et al (2019), quienes encontraron mayores tasas de aprendizaje, las cuales, están asociadas con un mayor control atencional y eficiencia neuronal. Hecho que refleja que el uso combinado de ambas terapias, acelera las etapas de aprendizaje cognitivo y permite realizar la acción motriz con menor gasto energético y con activación cortical selectiva. Y, por otra parte, Crivelli et al (2019) demostraron un cambio generalizado del nivel de estrés, al presentar un aumento de velocidad ante la discriminación de estímulos ante altos niveles de estrés, para inhibir correctamente las respuestas y mejorar el rendimiento motor.

CONCLUSIÓN-

Con base a la literatura previamente revisada se concluye que:

- Ambas intervenciones resultan ser eficaces para la mejora del rendimiento deportivo mediante la búsqueda del perfeccionamiento motriz al trabajar habilidades físicas como: desarrollo de fuerza, potencia y flexibilidad muscular, o bien, mediante el trabajo de las habilidades cognitivas deportivas necesarias para deportes de habilidades abiertas, como: tiempo de reacción, procesos de atención, agilidad, flexibilidad cognitiva, creatividad, disminución del estrés y ansiedad.
- El uso simultáneo de ambas intervenciones con enfoque en una mejora en el rendimiento deportivo, demuestra tener mayores efectos en comparación a su uso individual.

BIBLIOGRAFÍA.-

1. Allami , N., Brovelli, A., Hamzaoui, E., Regragui, F., Paulignan, Y., & Boussaoud, D. (2014). Neurophysiological correlates of visuo-motor learning through mental and physical practice. *Neuropsychologia*(55), 6-14.
2. Allard, F., & Burnett, N. (1985). Skill in sport. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 294-312.
3. Belling, P., & Ward, P. (2015). Time to start training: A review of cognitive research in sport and bridging the gap from academia to the field. *Procedia Manufacturing*, 1219-1224.
4. Belling, P., Suss, J., & Ward, P. (2015). Advancing theory and application of cognitive research in sport: Using representative tasks to explain and predict skilled anticipation, decision-making, and option-generation behavior. *Psychology of sports and exercise*, 45-59.
5. Berger, A., & Davelaar, E. (2018). Frontal Alpha Oscillations and Attentional Control: A Virtual Reality neurofeedback study. *neuroscience*, 189-197.
6. Chiu, C., Chen, C.-Y., & Muggleton, N. (2017). *Progress in Brain Research; Cap 6, "Sport, time pressure, and cognitive performance"*. Elsevier.
7. Crivelli, D., Fronda, G., & Balconi, M. (2019). Neurocognitive Enhancement Effects of Combined Mindfulness–Neurofeedback training in sport. *Neuroscience*, 83-93.
8. Davelaar , E. (2018). Frontal Alpha Oscillations and Attentional Control: A Virtual Reality Neurofeedback Study. *NEUROSCIENCE*, 189-197.
9. Davis, P., Sörman, D., Carlberg, A., Rognsvåg, E., & Stenling, A. (2022). The psychophysiological influence of exertion and affect on sport-specific cognitive and physical performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*.
10. Dias Kanthack, T., Guillot , A., Papaxanthis, C., Guizard, T., Collet, C., & Rienzo, F. (2017). Neurophysiological insights on flexibility improvements through motor imagery. *Behavioural Brain Research*, 159- 168.
11. Ehmman, P., Beavan, A., Spielmann, J., Mayer, J., Ruf, L., Altmann, S., . . . Englert, C. (2022). Perceptual-cognitive performance of youth soccer players in a 360°-environment – An investigation of the relationship with soccer-specific performance and the effects of systematic training . *Psychology of sport and exercise*.
12. Ehmman, P., Beavan, A., Spielmann, J., Mayer, J., Ruf, L., Altmann, S., . . . Englert, C. (2022). Perceptual-cognitive performance of youth soccer players in a 360° environment- An investigation of the relationship with soccer-specific performance and the effects of systematic training. *Psychology of Sport & Exercise*.
13. Erickson, G. (2022). *Vision Care for the Enhancement of Sports Performance*. Elsevier.
14. Fazel, F., Morris, T., Watt, A., & Maher, R. (2022). Un examen del mundo real de la entrega de imágenes progresivas en el baloncesto competitivo. *Asian Journal of Sport and Exercise Psychology* 2, 106-113.
15. Fortes, L., Almeida, S., Praca, G., Nascimento-Júnior, A., Lima-Junior, D., Teixeira Barbosa, B., & C. Ferreira, M. (2021). Virtual reality promotes greater improvements than video-

- stimulation screen on perceptual-cognitive skills in young soccer athletes. *Human Movement Science*.
16. Funase, K., Ninomiya, M., Morishita, T., Uehara, K., & Tsukasaki, I. (2012). Effect of observation combined with motor imagery of a skilled hand-motor task on motor cortical excitability: difference between novice and expert. *Neuroscience Letters*, 96-100.
 17. Furley, P., & Wood, G. (2016). Working Memory, Attentional Control, and Expertise in Sports: A Review of Current Literature and Directions for Future Research. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*.
 18. Fuster, J. (1990). Prefrontal cortex and the bridging of temporal gaps in the perception-action cycle. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 318-336.
 19. GROSPRÊTRE, S., PAPAXANTHIS, C., & MARTIN, A. (2020). Corticospinal Modulations during Motor Imagery of Concentric, Eccentric, and Isometric Actions. *American College of Sports Medicine*.
 20. J.H. Lu, F., Gill, D., Lee, Y.-C., Chiu, Y.-H., Liu, S., & Liu, H.-Y. (2020). Effects of visualized PETTLEP imagery on the basketball 3-point shot: A comparison of internal and external perspectives. *Psychology of Sport & Exercise* 51.
 21. Jeunet, C., Glize, B., McGonigal, A., Batail, J.-M., & Micolaud-Franchi, J.-A. (2019). Using EEG-based brain computer interface and neurofeedback targeting sensorimotor rhythms to improve motor skills: Theoretical background, applications and prospects. *Neurophysiologie Clinique/ Clinical Neurophysiology*, 125-136.
 22. Karlinsky, A., Zentgraf, K., & Hodges, J., N. (2017). Action-skilled observation: issues for the study of sport expertise and the brain. En *Progress in brain research* (pág. volumen 234). Elsevier.
 23. Koch, P., & Krenn, B. (2021). Executive functions in elite athletes – Comparing open-skill and closed-skill sports and considering the role of athletes' past involvement in both sport categories. *Psychology of sport and exercise*.
 24. Kurzynski, M., Jaskolska, A., Marusiak, J., Wolczowski, A., Bierut, P., Szumowski, L., . . . Kisiel-Sajewicz, K. (2017). Computer-aided training sensorimotor cortex functions in humans before the upper limb transplantation using virtual reality and sensory feedback. *Computers in biology and medicine*, 311-321.
 25. Ladda, M., Lebon, F., & Lotze, M. (2021). Using motor imagery practice for improving motor performance – A review. *Brain and cognition*.
 26. Landers, D., Petruzello, S. J., Salazar, W., Crews, D., Kubitz, K., Gannon, T., & Han, M. (1991). The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 123-129.
 27. Lorient, C., Ziane, C., & Hamed, B. (2021). Neurofeedback for cognitive enhancement and intervention and brain plasticity. *Revue Neurologique*, 1133-1144.
 28. Ludyga, S., Mücke, M., Andrä, C., Gerber, M., & Pühse, U. (2022). Neurophysiological correlates of interference control and response inhibition processes in children and adolescents engaging in open- and closed-skill sports. *Journal of sports and health science*, 224-233.
 29. Luo, J., & Wei, G. (2010). Sport expert's motor imagery: Functional imaging of professional motor skills and simple motor skills. *Brain research*, 52-62.

30. Mirifar, A., Beckmann, J., & Ehrlenspiel, F. (2017). Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes performance: A systematic review with implications for future research. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 419-432.
31. Mizuguchi, N., & Kazuyuki, K. (2017). *Progress in Brain Research*. Elsevier.
32. Mizuguchi, N., Sakamoto, M., Muraoka, T., & Kanosue, K. (2009). Influence of touching an object on corticospinal excitability during motor imagery. *Experimental Brain research*, 529-535.
33. Mizuguchi, N., Sakamoto, M., Muraoka, T., Moriyama, N., Nakagawa, K., Nakata, H., & Kazuyuki, k. (2012). Influence of somatosensory input on corticospinal excitability during motor imagery. *Neuroscience letters*, 1, 127-130.
34. Mora Mérida, J., Díaz Ocejo, J., & Elósegui Bandera, E. (2009). Estudio de las estrategias cognitivas en algunos deportes con interacción motriz y sin interacción motriz. *Revista de psicología del deporte*, 165-180.
35. Moran , A., Campbell, M., & Toner, J. (2019). Exploring the cognitive mechanisms of expertise in sport: Progress and prospects. *Psychology of sports and exercise*, 8-15.
36. Munar Roca, E., Roselló Mir, J., Cela-Conde, C., Marty Broquet, G., & Nadal Roberts, M. (317-348). Percepción. Neuroimagen. Técnicas y Procesos Cognitivos. 2008.
37. Neisser, U. (1976). Cognition and reality. *San Francisco: freeman*.
38. Perrey, S., & Besson, P. (2018). *Studying brain activity in sports performance: contributions and issues*. Elsevier.
39. Petancevski, E. L., Inns, J., Fransen, J., & Impellizzeri, F. (2022). The effect of augmented feedback on the performance and learning of gross motor and sport-specific skills: A systematic review . *Psychology of Sport & Exercise*.
40. Pierre, P. (1987). Eléments de sociologie du sport. *Revue française de sociologie*.
41. Ramírez Silva, W. (2007). *La neurocognición en los procesos de entrenamiento deportivo*.
42. Ren, Y., Wang, C., Zhang, L., & Lu, A. (2022). The effects of visual cognitive tasks on landing stability and lower extremity injury risk in high-level soccer players . *Gait & Posture*, 230-235.
43. Ring, C., Cooke, A., Kavussanu, M., & McIntyre, D. (2015). Investigating the efficacy of neurofeedback training for expediting expertise and excellence in sport. *Psychology of sport and exercise*, 118-127.
44. Ripoll, H., Kerlirzin, Y., Stein, J.-F., & Reine, B. (1995). Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations. *Human Movement Science*, 325-349.
45. Rogers, R. (2006). Mental Practice and Acquisition of Motor skills: examples from sports training and surgical education. *Obstetrics and gynecology clinics of north America*, 297-304.
46. Rohbanfard, H., & Proteau, L. (2011). Learning through observation: a combination of expert and novice models favors learning. *Experimental Brain Research volume* , 183-197.
47. Rossetti, Y., & Pisella, L. (2002). Several 'vision for action' systems: a guide to dissociating and integrating dorsal and ventral functions. *Common Mechanisms in Perception and Action. Attention and performance*, 62-119.
48. Russo, G., & Ottoboni, G. (2019). The perceptual – Cognitive skills of combat sports athletes: A systematic review. *Psychology of Sport and exercise* , 60-78.

49. Russo, G., Bigliassi, M., Cecilian, A., & Tessari, A. (2022). *Exploring the interplay between sport modality and cognitive function in open- and closed-skill athletes*. *Psychology of sport and exercise*.
50. Schack, T., & Mechsner, F. (2006). Representation of motor skills in human long-term memory. *Neuroscience Letters*, 77-81.
51. Schapschröer, M., Baker, J., & Schorer, J. (2016). Effects of domain-specific exercise load on speed and accuracy of a domain-specific perceptual-cognitive task. *Human Movement Science*, 121-131.
52. Slimani, M., Bragazzi, N., Tod, D., Dellaf, A., Hué, O., Cheour, F., . . . Chamari, K. (2016). Do cognitive training strategies improve motor and positive psychological skills development in soccer players? Insights from a systematic review. *Journal of Sports Science*.
53. Tamayo Martínez, N. (2014). Imaginería mental: neurofisiología e implicaciones en psiquiatría. *Revista colombiana de Psiquiatría*, 40-46.
54. Tessari, A., Ottoni, G., Mazzantenta, A., Merla, A., & Nicoletti, R. (2012). Please Don't! The Automatic Extrapolation of Dangerous Intentions. *PLoS ONE*.
55. Tsukazaki, I., Uehara, K., Morishita, T., Ninomiya, M., & Funaze, K. (2012). Effect of observation combined with motor imagery of a skilled hand-motor task on motor cortical excitability: Difference between novice and expert. *Neuroscience letters*, 96-100.
56. Vasilyev, A., Liburkina, S., Yakovlev, L., Perepelkina, O., & Kaplan, A. (2017). Assessing motor imagery in brain-computer interface training: Psychological and neurophysiological correlates. *Neuropsychologia*, 56-65.
57. Wakefield, C., Smith, D., Moran, A., & Holmes, P. (2012). Functional equivalence or behavioural matching? A critical reflection on 15 years of research using the PETTLEP model of motor imagery. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 105-121.
58. Wilke, J., Vogel, O., & Ungricht, S. (2020). Can we measure perceptual-cognitive function during athletic movement? A framework for and reliability of a sports-related testing battery. *Physical Therapy in sport*, 120-126.
59. Wollesen, B., Janssen, T., Müller, H., & Voelcker-Rehage, C. (2022). Effects of cognitive-motor dual task training on cognitive and physical performance in healthy children and adolescents: A scoping review. *Acta Psychologica*.
60. Xiang, M.-Q., Hou, X.-H., Liao, B.-G., Liao, J.-W., & Hu, M. (2018). The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis. *psychology of sports and exercise*, 114-122.
61. Xiong, J. (2012). The Functions and Methods of Mental Training on Competitive sports. *Physics Procedia*, 2011-2014.
62. Yoxon, E., Pacione, S., Hyun Song, J., & Galés, T. (2017). The action-specific effect of execution on imagination of reciprocal aiming movements. *Human Movement Science*, 51-62.
63. Zentgraf, K., Heppe, H., & Fleddermann, M.-T. (2017). Training in interactive sports A systematic review of practice and transfer effects of perceptual-cognitive training. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 2-14.