

Neurooptimetría Deportiva *Sports Neuro-Optometry*

Ricardo Bernárdez Vilaboa, Prof^{1*}

1: Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Optometría y Visión. España.

* ricardob@ucm.es

Enviado: 5 de julio del 2022

Aceptado: 1 de septiembre del 2022

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: Presentación de una nueva disciplina para presentar una combinación de áreas de gran aplicación como es la Optometría deportiva y la neurooptimetría con interacción profesional de dos sectores como son la Optometría (baja visión y optometría deportiva) y la neurooftalmología. Se aportan datos para explicar el término.

Resumen: La neurooptimetría deportiva es un conjunto de disciplinas para atender al deportista contemplando visión desde la mejor posible hasta la ceguera total pero con resto visual, de valores por debajo de 2,6 logMAR. En caso de problemas visuales con afectación neurológica se activa el protocolo completo con examen optométrico para la refracción básica, medida de la visión binocular y acomodación pero también cualquier otra prueba que aporte y aclare a qué nivel neurológico se encuentra con posibilidades de tratamiento para mejorar rendimiento deportivo.

Palabras clave: Optometría Deportiva, Ceguera, Neurooptimetría, Neurooftalmología, Neurooptimetría Deportiva.

Relevance: Introduction of a new discipline combining highly applicable areas such as sports optometry and neuro-optometry, with professional interaction between two sectors: optometry (low vision and sports optometry) and neuro-ophthalmology. Data is provided to explain the term.

Summary: Sports neuro-optometry is a set of disciplines aimed at addressing athletes' vision, ranging from the best possible vision to total blindness with remaining visual function, with values below 2.6 logMAR. In cases of visual problems with neurological involvement, a comprehensive protocol is activated, including an optometric examination for basic refraction, measurement of binocular vision and accommodation, as well as any other tests that clarify the neurological level and treatment possibilities to improve sports performance.

Keywords: Sports Optometry, Blindness, Neuro-optometry, Neuro-ophthalmology, Sports Neuro-optometry

INTRODUCCIÓN

Esta combinación de términos, Neurooptimetría deportiva, enmarca una nueva actividad de evaluación y tratamiento de problemas visuales que implican problemas neurológicos en deportistas. Etimológicamente, Neuro del griego νευρο- neuro- significa 'nervio' o 'sistema nervioso', optometría, del griego οπτος optós 'visible' y -metría o medida del ojo y deportiva, adjetivo perteneciente o relativo al deporte (RAE, 2022).

Es una especialidad de la optometría donde son nece-

sarios optometristas especialistas en baja visión y de optometría deportiva y de la oftalmología, en concreto de la neurooftalmología. Estos especialistas deben combinar sus esfuerzos para lograr analizar en profundidad la medida de la refracción combinada con un estudio de la visión binocular y acomodación, las habilidades visuales adaptadas al deportista con deficiencia visual o no, la pérdida visual en baja visión y su tratamiento, siendo importante un estudio oftalmológico de los problemas neurológicos y su extensión, así como las posibilidades de permitir el tratamiento más completo que dé dependencia desde el deportista con buena visión hasta el deportista con ceguera. El espectro de agudeza visual

hasta un 2,6 logMar también diferencia a las clases de deportistas y permite que compita con iguales condiciones de ceguera en el límite de su capacidad visual.

La neurooptometría deportiva va dirigida a deportistas con problemas neurológicos y visuales también si no tienen problemas y debemos conocer estos deportistas en general y desde la: optometría deportiva, baja visión para deficiencia visual hasta ceguera y neurooptometría medida por el óptico-optometrista en colaboración con el neurooftalmólogo.

En un número elevado de publicaciones en optometría deportiva destaca siempre que los atletas profesionales muestran mejores habilidades visuales en comparación con los no profesionales (1-3).

Funciones cognitivas en atletas permiten un rendimiento superior en tareas que miden la atención y las habilidades sensoriomotoras (4, 5).

Hay factores importantes en el deporte, de optimización del estado de recuperación-estrés. La recuperación efectiva de las intensas cargas de entrenamiento que a menudo enfrentan los atletas de élite a menudo puede determinar el éxito o el fracaso deportivo. Los factores más relevantes son el sobre entrenamiento, la fatiga, las lesiones, las enfermedades y el agotamiento. Un instrumento de seguimiento y sencillo a la vez es un cuestionario de estrés de recuperación para atletas que proporcione información del estado de recuperación percibido (6). Por tanto, deberíamos incluir este tipo de preguntas en una anamnesis optométrica normal, para descartar problemas visuales a la vez que indagamos cuestiones personales respecto a los antecedentes familiares y actividad deportiva o elemento diferenciador entre atletas y no atletas.

La infancia es un período importante y sensible para el desarrollo cognitivo. Se demuestra la influencia de la actividad física en la salud, especialmente una correlación positiva entre el deporte y las funciones cognitivas, utilizando las áreas de atención, pensamiento, lenguaje, aprendizaje y memoria en relación con el deporte y la infancia. La práctica de deportes en la infancia tardía influye positivamente en las funciones cognitivas y emocionales (7).

Destacamos la infancia como un grupo donde se demuestra la correlación positiva entre la actividad física y las funciones cognitivas, pero si lo pensamos en el análisis optométrico, los beneficios de un primer examen optométrico son incalculables, nos permiten comprobar ese estado visual básico con visión binocular y acomodación, para de inmediato con una anamnesis abierta pasar a conocer el estado de las habilidades visuales más relevantes que permitan clasificar el rendimiento visual de cualquier niño y ver su evolución tanto incluyendo ejercicios visuales en las secuencias de entrenamiento físico y estratégico de sus entrenadores como insistir en

definir el mejor tratamiento con gafas especiales, lentes de contacto y entrenamiento visual para mejorar acomodación y visión binocular además de recuperar una ambliopía perfectamente clasificada, un estrabismo acomodativo, reducir adecuadamente la aniseiconía, mejorar la estereopsis como valor diagnóstico y definitivo del proceso de recuperación visual.

En relación con el problema visual encontrado, es interesante comprobar parte de lo publicado por términos, así iniciamos este análisis con el término neurooptometría para profundizar, ahora si, en los principales problemas neurológico. Después, siguiendo con la misma idea, tratar de mostrar un abanico de trabajos sobre optometría deportiva, por separado, comprobando la entidad de cada bloque.

Hacemos enseguida una exposición de los trabajos de la combinación. Por ello iniciamos con la neurooptometría.

Neurooptometría

La neurooptometría se ocupa del diagnóstico y tratamiento de problemas relacionados con la visión, comúnmente en la población con lesión cerebral (por ejemplo, conmoción cerebral y accidente cerebrovascular). Se "aborda el procesamiento de información oculomotor, acomodativo, visomotor, binocular, vestibular, perceptivo/visual y específico de las secuelas oculares/neurobiológicas de esta población". Algunos de estos problemas incluyen una marcada sensibilidad a la luz y al movimiento visual, disfunción de vergencia, lectura oculomotora, desenfoque, déficits de integración sensorial multimodal y planificación y ejecución visomotora deficiente. El tratamiento incluye terapia visual, lentes, prismas, oclusión selectiva y tintes/revestimientos de lentes. La rehabilitación neurooptométrica sigue los principios científicos de neuroplasticidad, incorporando los principios de aprendizaje perceptivo y motor. Las posibles áreas incluyen:

- Desarrollo y uso de filtros de espectro muy estrecho y digital cromático personalizado.
- Software de dispositivo para el tratamiento de la condición común de fotosensibilidad y sensibilidad al movimiento visual.
- Desarrollo y uso de gafas con prismas.
- Sistema de control del movimiento ocular simple y compacto basado en video proporcionando una señal auditiva cuando se interrumpe la fusión.
- Realidad virtual/aumentada para evaluar y tratar las disfunciones de percepción comunes (8).

Es importante incluir un neurooptometrista como miembro del equipo de pacientes con trastornos del equilibrio. Los mareos, los problemas de equilibrio y la sensación de que el mundo espacial se mueve (vértigo) son uno de los problemas más comunes en la práctica médica general. Las personas con una lesión del sistema

nervioso central u otras causas idiopáticas de problemas de procesamiento visual o que tienen problemas de visión funcional, a menudo experimentan dificultades extremas con el equilibrio y el movimiento, así como con su percepción del espacio. En consecuencia, el paciente a menudo experimenta dificultades para funcionar en un entorno con estimulación visual excesiva. Los síntomas de desequilibrio, problemas vestibulares y de equilibrio son comúnmente un problema del oído interno y una binocularidad inestable. La combinación de terapia rehabilitadora neurooptométrica y terapia de equilibrio resultará en un tratamiento efectivo para reducir o resolver estos síntomas (9).

El seguimiento visual predictivo, evaluado mediante la tecnología de seguimiento ocular, puede diferenciar los déficits en las funciones oculomotoras en personas con y sin conmoción cerebral. La tecnología de seguimiento ocular puede servir como una herramienta objetiva rápida para detectar y controlar los déficits neuronales debido a una lesión cerebral traumática (Traumatic Brain injury- TBI) (10).

Además la estimulación de la retina puede influir en la función cerebral a través del tratamiento con gafas tanto a nivel subcortical como cortical. Haciendo uso del registro de electroencefalografía (EEG) antes y después de que el paciente use gafas, se analizaron la electroencefalografía cuantitativa equivalente (QEEG). Con las gafas puestas, se encontró que las lecturas de los participantes estaban más cerca de la base de datos normalizada. La prueba Z-bellSM identificó lentes para influir en la actividad cerebral neurotípica, lo que respalda el paradigma de que las gafas se pueden utilizar como una intervención terapéutica. El análisis QEEG y las imágenes cerebrales derivadas de EEG en los esfuerzos de investigación neurooptométrica para afectar la función cerebral pueden tener un papel preponderante en neurooptometría (11).

Aparte de definiciones, futuras investigaciones y detalles de la importancia de un neurooptometrista así como fórmulas de medida útiles en los registros de problemas neurológicos, vemos a continuación enfermedades o anomalías relevantes en neurooptometría a buscar y evaluar para mejor tratar. Se trata de la ambliopía, pacientes afectados de Parkinson, pacientes con conmoción cerebral, la migraña, la enfermedad de Alzheimer, la anisocoria, el DEM asociado a la lesión cerebral adquirida leve y los dolores de cabeza asociados a la lesión cerebral.

La ambliopía es una anomalía del neurodesarrollo asociada con déficits en una amplia gama de tareas visuales de bajo y alto nivel. Esto es particularmente cierto en la ambliopía estrábica donde la fijación es inestable y hay una mayor frecuencia de micro sacadas. El aumento de la latencia para los movimientos sacádicos y el tiempo de respuesta manual con la visión del ojo ambliope es

consistente con la atención distraída por movimientos oculares de fijación no deseados (12).

La disminución de la visión asociada con la dificultad para leer (40 %) fue común en los pacientes con Parkinson. En términos de restricción de la mirada, la afectación de la mirada vertical (35%) fue mayor que la afectación horizontal (7%). La insuficiencia de convergencia (IC) fue la disfunción de la visión binocular más frecuente (30 %), seguida de la IC con disfunción oculomotor (14 %) y parálisis de la mirada vertical (18 %). La disfunción de la visión binocular es altamente prevalente entre los pacientes con Enfermedad de Parkinson. Estos datos brindan evidencia que respalda la idea de que el tratamiento para la IC sintomática debe investigarse en personas con EP (13) (14).

Se encontró endoforia de cerca en cerca del 25% de la muestra de pacientes con conmoción. Dos mecanismos propuestos basados en el sistema oculomotor con relación a estos pacientes endofóricos sintomáticos incluyeron descompensación de foria y exceso de vergencia acomodativa (15).

Se encontró que el rendimiento del movimiento ocular de lectura usando ReadAlyzer disminuyó en la lesión cerebral traumática. La evaluación de la lectura puede servir como una medida clínica para comprender el sistema oculomotor después de una lesión cerebral traumática (16).

La migraña es otro trastorno neurovascular común, crónico, multifactorial, caracterizado típicamente por ataques recurrentes de dolor de cabeza pulsátil unilateral y disfunción del sistema nervioso autónomo. La migraña también puede estar asociada con el aura; aquellos síntomas neurológicos focales que pueden preceder o, a veces, acompañar al dolor de cabeza. La relación entre las migrañas y las anomalías de la pupila, los defectos del campo visual y el patrón de deslumbramiento es sólida. Se describe el uso terapéutico de gafas polarizadas con precisión para reducir el patrón de deslumbramiento (estrés visual) y para ayudar a algunos pacientes con migraña (17).

La evidencia acumulada ha demostrado que la retina podría proporcionar información valiosa sobre los primeros diagnósticos de la enfermedad del Alzheimer (EA). Las imágenes microvasculares y estructurales neuronales de la retina mediante OCT/OCTA son potencialmente útiles para respuestas de detección de la población a gran escala a las terapias en pacientes con EA. Los hallazgos sobre la pérdida neuronal retiniana y el daño microvascular en defecto cognitivo leve (DCL) o incluso en pacientes con EA preclínica están relacionados con la progresión del deterioro cognitivo y pérdida vascular/neuronal cerebral en pacientes con EA individuales (18).

La anisocoria puede implicar una patología subyacente grave, por lo que son primordiales una prueba precisa de la pupila y una observación astuta. Esta revisión analiza el diagnóstico diferencial de una pupila grande (anisocoria más evidente en la luz) y una pupila pequeña (anisocoria más evidente en la oscuridad), y analiza el defecto pupilar aferente relevante, en el que no hay anisocoria pero ambas pupilas reaccionan de manera diferente, según el ojo que se ilumine (19).

El uso de la prueba de Desarrollo del Movimiento Ocular (DEM) en la población adulta con lesión cerebral adquirida leve puede cuantificar clínicamente los efectos de la terapia de visión/visión oculomotora controlada. El programa de entrenamiento oculomotor (fijación, movimientos sacádicos, persecución y lectura simulada) en ordenador se hace durante ocho semanas (9,6 h en total) con y sin retroalimentación auditiva. La medida del resultado clínico fue la puntuación de la prueba de Desarrollo del Movimiento Ocular (DEM) (proporción, errores) tomada antes, a la mitad e inmediatamente después del entrenamiento. Se produjeron mejoras considerables en la puntuación de la prueba DEM después del entrenamiento, lo que refleja un seguimiento sacádico más preciso y óptimo (20).

Optometría deportiva

Se distinguen tres tipos de deportes: deporte estático, interceptivo y estratégico. Los deportes estáticos involucran situaciones altamente consistentes y a su propio ritmo (por ejemplo, correr y nadar); los deportes interceptivos requieren la coordinación de varias partes del cuerpo o un implemento sostenido para atrapar o alcanzar un objeto que pasa en el entorno dinámico (por ejemplo, tenis, esgrima y boxeo); los deportes estratégicos requieren el procesamiento simultáneo de una cantidad sustancial de información, como compañeros de equipo, oponentes, posición en el campo y pelota, y a menudo implican situaciones muy variadas (por ejemplo, voleibol, baloncesto, fútbol, hockey, hockey sobre césped y waterpolo). El entrenamiento de la visión para el rendimiento deportivo sigue siendo una cuestión abierta si puede tener una transferencia a habilidades específicas del. Se probó el efecto de programas de entrenamiento de optometría deportiva durante 6 semanas en un contexto no específico del deporte en comparación con un tercer grupo que realiza entrenamiento del deporte tradicional en un contexto específico del deporte.

Antes y después del período de entrenamiento, se evaluó la precisión de las habilidades específicas del deporte y el rendimiento cognitivo (tiempo de reacción, control ejecutivo, velocidad de percepción) de los sujetos. La precisión de las habilidades específicas del deporte analizado mejoró después del entrenamiento tradicio-

nal con respecto a los grupos de entrenamiento visual. Por el contrario, los grupos de entrenamiento visual mejoraron el rendimiento cognitivo (tiempo de reacción, control ejecutivo y velocidad de percepción), en comparación con el grupo de entrenamiento tradicional. Los resultados han demostrado que el entrenamiento de la visión en un contexto no específico del deporte (tanto genérico como con acciones motoras específicas) mejoró el rendimiento cognitivo, pero parece ser menos efectivo para mejorar las habilidades específicas del deporte. El entorno de los ejercicios juega un papel clave para mejorar la percepción y la acción en las habilidades específicas del deporte, apoyando el enfoque ecológico del aprendizaje deportivo (4, 21),

Las acciones controladas visualmente se basan en tres sistemas: el sistema de la mirada responsable de localizar y fijar objetos relevantes para la tarea, el sistema motor de las extremidades para realizar la tarea y el sistema visual para proporcionar información a los otros dos. Los tres sistemas están bajo el control de un cuarto sistema, el sistema de esquemas, que especifica la tarea actual y planifica la secuencia general de acciones. Estos cuatro sistemas tienen representaciones corticales separadas pero interconectadas. Las secuencias de acción complejas consisten en una sucesión de acciones individuales relacionadas con el objeto, cada una de las cuales normalmente implica un giro hacia el objeto, seguida de fijación y manipulación supervisada por la visión. La mirada a menudo pasa al siguiente objeto justo antes de que se complete la manipulación.

Las fijaciones simples tienen funciones identificables (ubicar, dirigir, guiar y verificar) relacionadas con la acción que se va a realizar. Se discuten varias variantes del esquema de acción básico relacionado con el objeto, incluidos los eventos de una sola acción en los deportes de pelota que involucran solo un cambio de mirada anticipatorio, bucles de producción continuos en la lectura de texto y música, y la alternancia de acción de almacenamiento en tareas de copiado, como dibujar retratos (22).

Las habilidades visuales en el deporte se consideran variables relevantes del rendimiento deportivo, de ellos la estereopsis en el rendimiento deportivo son aún escasos y dispersos en la literatura. La estereopsis dinámica está involucrada principalmente en las acciones de captura o interceptación en deportes de pelota, mientras que los deportes estratégicos utilizan diferentes habilidades visuales (visión periférica y espacial). Los atletas profesionales como los no profesionales deben entrenar sus habilidades visuales con estaciones sensoriales y sistemas de luces. Los atletas no profesionales utilizan las entradas visuales como método principal para programar gestos motores y deportistas profesionales integran la

información visual con la experiencia deportiva, por lo que codifican el partido (o el rendimiento deportivo) a través de un sistema de integración visomotor más complejo (1).

Ciertas habilidades visuales como la percepción periférica o la reacción de elección son entrenables. Se puede lograr una mejora automática de otras habilidades visuales como resultado del entrenamiento, como la capacidad de seguir simultáneamente diferentes objetos en el campo visual central y periférico y para identificar y distinguir objetos individuales, como lo es en el tarea de seguimiento de múltiples objetos (23).

Un programa de entrenamiento visual de seis semanas en los entrenamientos de pretemporada tiene un impacto positivo en las habilidades visuales que son importante en hockey incluyendo las binoculares básicas, habilidades de visión como tiempo de reacción visual. La gran mayoría de los jugadores sintieron la capacitación de forma efectiva en su tiempo de práctica asignado (24).

En los deportes de equipo, la visión periférica puede ser útil para comprobar simultáneamente los movimientos de los oponentes y compañeros de equipo. El uso de la visión periférica por parte de los defensas centrales depende de la posición del balón y de la posición del adversario directo. Se demostró que los jugadores usan una estrategia de pivote, en la que con frecuencia miran al oponente directo si no está en posesión del balón, además de hacer movimientos sacádicos para controlar a otros jugadores, o emplean una estrategia más directa, en la que la mirada es anclada en esta ubicación, evitando movimientos sacádicos y controlando a los otros jugadores con visión periférica (25).

La visión estroboscópica puede usarse para inducir errores de rendimiento durante la práctica para estimular mayores efectos de entrenamiento, particularmente en jugadores más hábiles (26).

Los ejercicios oculares se han diseñado para brindar a los atletas la oportunidad de practicar las habilidades visuales esenciales para las actividades deportivas. Son ejercicios que enfatizan el reconocimiento visual, la coordinación motora y la concentración. Los ejercicios que se emplean incluyen el cordón de Brock, cartas de Hart o flippers, la pelota de Marsden, el taquistoscopio y el Wayne Saccadic Fixator®. Se pueden emplear lentes positivas y negativas, prismas gemelos y luces estroboscópicas para mejorar la concentración mientras se realiza el ejercicio (27).

Es fundamental comprender qué procesos visuales se pueden alterar a través del entrenamiento y cuáles no. Con entrenamiento estroboscópico hay mejoras en detección de movimiento y atención central, pero no en atención sostenida. Se encontraron efectos después de 2 días de entrenamiento y después de 10 días presentes

para los no atletas y la División de la NCAA. Una pequeña mejora porcentual en la percepción del movimiento y la atención enfocada puede significar un mundo a un atleta comprometido en un deporte competitivo. El entrenamiento visual estroboscópico puede proporcionar una medios específicos para mejorar las habilidades cognitivas visuales (28).

Comparando deportistas de voleibol, de Badminton y un grupo control a los que se les completaron evaluaciones cognitivas sobre atención espacial, memoria sensorial, flexibilidad cognitiva, inhibición motora y redes de atención, se observó que los atletas tuvieron un rendimiento superior en dominios cognitivos selectivos en comparación con los controles sanos. Jugadores de voleibol mostraron superioridad en la memoria icónica, el control inhibitorio de la acción y las alertas atencionales, mientras que los jugadores de bádminton mostraron ventajas en la memoria icónica y la velocidad de procesamiento básica.

Los jugadores de voleibol superaron a los de bádminton en aquellas tareas que requieren atención visual e inhibición motora impulsadas por estímulos, probablemente debido a las diferentes modalidades de entrenamiento y características de especialidad que involucran procesos cognitivos aún más complejos. La plasticidad cognitiva puede ser impulsada por el entrenamiento deportivo en la experiencia deportiva en equipo/individual, manifestando un perfil cognitivo en la experiencia deportiva con distintas modalidades de entrenamiento (4).

En los deportes de equipo, la coordinación interpersonal está basada en la habilidad de los jugadores para identificar y calibrar información específica para las capacidades de acción de compañeros y oponentes (21). Otro ejemplo es el tiro olímpico o deporte con altas exigencias de precisión. Se llegaron a evaluar once variables visuales en cuatro grupos de habilidades como la agudeza visual, heteroforia, funciones de acomodación entre otras. En general, los tiradores tenían valores de agudeza visual más altos que los no deportistas $p < 0,001$, y los tiradores de élite presentaban valores de acomodación más altos que los no deportistas $p < 0,05$. Los tiradores de élite emplean estrategias o habilidades visuales diferentes a las de los tiradores que no son de élite y que la actividad de tiro está estrechamente relacionada con algunas habilidades visuales específicas.

La actividad de tiro parece mejorar las habilidades de agudeza visual, el tiempo visual binocular y la coordinación ojo-mano en tiradores que no son de élite, y acomodación y coordinación ojo-mano en tiradores de élite inmediatamente después de la simulación de competición (29).

Neurooptometría deportiva

Se ha demostrado que las medidas basadas en

la visión son marcadores útiles en la esclerosis múltiple (EM), el Alzheimer y la enfermedad de Parkinson. Por lo tanto, estos paradigmas de prueba pueden tener aplicaciones para poblaciones que explican el traumatismo craneal repetitivo que se ha asociado con secuelas neurodegenerativas a largo plazo. Se investigó la estructura de la retina y la función visual en atletas profesionales de deportes interceptivos comparados con participantes de control de la misma edad y raza. Se midió tomografía de coherencia óptica (OCT) de dominio espectral de la capa de fibras nerviosas retinales peripapilares (RNFL) y el espesor del complejo de células ganglionares maculares (GCC = células ganglionares + capas plexiformes internas). Se midió la agudeza visual de alto contraste (nivel del 100 %), agudeza de letras de bajo contraste (LCLA) (niveles de 1,25 % y 2,5 %) y la prueba King-Devick de desempeño rápido en la denominación de números. Se evaluaron las medidas de calidad de vida (QOL) específicas de la visión. La pérdida axonal y neuronal de la retina está presente entre los atletas de deportes interceptivos, con diferencias más notables observadas en los boxeadores. Estos hallazgos van acompañados de reducciones en la función visual y la calidad de vida, similares a los patrones observados en la esclerosis múltiple, las enfermedades de Alzheimer y Parkinson (30).

Las personas ambulatorias con lesión de la médula espinal dependen más de la visión para cruzar obstáculos y muestran deficiencias en los parámetros clave de la marcha necesarios para cruzar obstáculos con éxito. Los déficits propioceptivos deben tenerse en cuenta en los programas de rehabilitación destinados a mejorar la movilidad funcional en personas ambulatorias con lesión de la médula espinal (31).

Un mayor porcentaje de atletas en el grupo de conmociones cerebrales no participaba en su nivel de competición deportiva percibido antes de la lesión, un año después de la conmoción cerebral relacionada con el deporte en comparación con un grupo de control sin lesiones (32).

Las funciones ejecutivas en atletas de deportes de equipo con y sin antecedentes de conmoción cerebral comprenden muchos procesos cognitivos que incluyen la memoria de trabajo, la atención y la multitarea. Las conmociones cerebrales causan dificultades en la doble tarea vestibular-visual y vestibular-auditiva. Las dos pruebas involucraron la memoria de trabajo visuoespacial (es decir, la prueba de bloque de Corsi) y la discriminación del tono auditivo. Los participantes completaron ambas tareas individualmente, luego simultáneamente. Se midieron dos variables de resultado, la capacidad de memoria del bloque de Corsi y la precisión de la discriminación del tono auditivo. Los atletas con antecedentes de conmoción cerebral tuvieron un desempeño significativamente peor en la tarea de discriminación de tono

en la condición de tarea dual. Las evaluaciones de las funciones ejecutivas y la atención dividida parecen ser útiles para discriminar a los participantes con y sin antecedentes de conmoción cerebral (33).

CONCLUSIONES

La conclusión señala la neurooptometría deportiva como necesidad a incluir en un examen optométrico más extenso pero fundamentalmente, supone una atención hacia personas con problemas y enfermedades del sistema neurológico ligado a la visión y por tanto, a la optometría deportiva, si nos centramos en los atletas y todos sus problemas visuales, cuando los tienen y las posibles causas neurológicas que los producen o viceversa.

REFERENCIAS

1. Clark, J.F., et al., Vision training methods for sports concussion mitigation and management. *J Vis Exp*, 2015(99): p. e52648.
2. Jabnoun, S., R. Borji, and S. Sahli, Postural control of Parkour athletes compared to recreationally active subjects under different sensory manipulations: A pilot study. *Eur J Sport Sci*, 2019. 19(4): p. 461-470.
3. Romeas, T. and J. Faubert, Soccer athletes are superior to non-athletes at perceiving soccer-specific and non-sport specific human biological motion. *Front Psychol*, 2015. 6: p. 1343.
4. Meng, F.W., et al., Team sport expertise shows superior stimulus-driven visual attention and motor inhibition. *PLoS One*, 2019. 14(5): p. e0217056.
5. Nuri, L., et al., Reaction time and anticipatory skill of athletes in open and closed skill-dominated sport. *Eur J Sport Sci*, 2013. 13(5): p. 431-6.
6. Kellmann, M., Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports*, 2010. 20 Suppl 2: p. 95-102.
7. Bidzan-Bluma, I. and M. Lipowska, Physical Activity and Cognitive Functioning of Children: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*, 2018. 15(4).
8. Ciuffreda, K.J. and B. Tannen, Future directions in neuro-optometry. *Concussion*, 2020. 5(4): p. Cnc80.
9. Cohen, A.H., Vision rehabilitation for visual-vestibular dysfunction: the role of the neuro-optometrist. *NeuroRehabilitation*, 2013. 32(3): p. 483-92.
10. Hunfalvay, M., et al., Smooth Pursuit Eye Movements as a Biomarker for Mild Concussion within 7-Days of Injury. *Brain Inj*, 2021. 35(14): p. 1682-1689.
11. Zelinsky, D. and C. Feinberg, Quantitative electroencephalograms and neuro-optometry: a case study that explores changes in electrophysiology while wearing therapeutic eyeglasses. *Neurophotonics*, 2017. 4(1): p. 011013.
12. Verghese, P., S.P. McKee, and D.M. Levi, Attention deficits in Amblyopia. *Curr Opin Psychol*, 2019. 29: p. 199-204.
13. Irving, E.L., et al., Prevalence of Convergence Insufficiency in Parkinson's Disease. *Mov Disord Clin Pract*, 2017. 4(3): p. 424-429.
14. Kwan, S.C.K., et al., Ocular features of patients with Parkinson's disease examined at a Neuro-Optometry Clinic in a tertiary eye care center. *Indian J Ophthalmol*, 2022. 70(3): p. 958-961.
15. Tannen, B., et al., Prevalence of esophoria in concussed patients. *J Optom*, 2019. 12(1): p. 64-68.
16. Reddy, A.V.C., et al., Reading eye movements in traumatic brain injury. *J Optom*, 2020. 13(3): p. 155-162.
17. Harle, D.E. and B.J. Evans, The optometric correlates of migraine. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2004. 24(5): p. 369-83.
18. Zhang, Y., et al., Advances in retina imaging as potential biomarkers for early diagnosis of Alzheimer's disease. *Transl Neurodegener*, 2021. 10(1): p. 6.
19. Heath Jeffery, R.C., et al., Unequal pupils: Understanding the eye's aperture. *Aust J Gen Pract*, 2019. 48(1-2): p. 39-42.
20. Kapoor, N. and K.J. Ciuffreda, Assessment of neuro-optometric rehabilitation using the Developmental Eye Movement (DEM) test in adults with acquired brain injury. *J Optom*, 2018. 11(2): p. 103-112.
21. Formenti, D., et al., Perceptual vision training in non-sport-specific context: effect on performance skills and cognition in young females. *Sci Rep*, 2019. 9(1): p. 18671.
22. Land, M.F., Vision, eye movements, and natural behavior. *Vis Neurosci*, 2009. 26(1): p. 51-62.
23. Schwab, S. and D. Memmert, The impact of a sports vision training program in youth field hockey players. *J Sports Sci Med*, 2012. 11(4): p. 624-31.
24. Jenerou, A., B. Morgan, and R.S. Buckingham, A Vision Training Program's Impact on Ice Hockey Performance. 2015, *Optometry & visual performance*.
25. Vater, C., S. Luginbühl, and L. Magnaguagno, Testing the functionality of peripheral vision in a mixed-methods football field study. *J Sports Sci*, 2019. 37(24): p. 2789-2797.
26. Beavan, A., et al., The effect of stroboscopic vision on performance in a football specific assessment. *Sci Med Footb*, 2021. 5(4): p. 317-322.
27. Kirscher, D.W., Sports vision training procedures. *Optom Clin*, 1993. 3(1): p. 171-82.
28. Appelbaum, L.G., et al., Improved Visual Cognition through Stroboscopic Training. *Front Psychol*, 2011. 2: p. 276.
29. Mon-López, D., et al., Air shooting competition effects on visual skills depending on the sport level. *Eur J Sport Sci*, 2022. 22(3): p. 336-343.
30. Leong, D., et al., Visual Structure and Function in Collision Sport Athletes. *J Neuroophthalmol*, 2018. 38(3): p. 285-291.
31. Malik, R.N., R. Cote, and T. Lam, Sensorimotor integration of vision and proprioception for obstacle crossing in ambulatory individuals with spinal cord injury. *J Neurophysiol*, 2017. 117(1): p. 36-46.
32. Büttner, F., et al., Participation in pre-injury level sport one-year following sport-related concussion: A prospective, matched cohort study. *J Sci Med Sport*, 2021. 24(6): p. 561-566.
33. Tapper, A., et al., Executive function deficits in team sport athletes with a history of concussion revealed by a visual-auditory dual task paradigm. *J Sports Sci*, 2017. 35(3): p. 231-240.

ABREVIATURAS

- AV: Agudeza Visual
- DCL: Defecto cognitivo leve
- DEM: Developmental Eye Movement o desarrollo del movimiento ocular
- EEG: Electroencefalografía
- EA: Enfermedad del Alzheimer
- EM: Esclerosis múltiple
- EP: Enfermedad de Parkinson
- GCC: Células ganglionares + capas plexiformes internas
- IC: Insuficiencia de convergencia
- LCLA: Agudeza de letras de bajo contraste
- NCAA: National Collegiate Athletic Association o Asociación Nacional de Atletas colegiados
- OCT: Tomografía de coherencia óptica
- QEEG: Electroencefalografía cuantitativa equivalente
- QOL: Calidad de vida
- RNFL: Capa de fibras nerviosas retinales peripapilares
- TBI: Traumatic Brain injury o lesión cerebral traumática