

Entrenamiento perceptivocognitivo con el Neurotracker 3D-MOT para potenciar el rendimiento en tres modalidades deportivas

Perceptual-cognitive Training with the Neurotracker 3D-MOT to Improve Performance in Three Different Sports

LLUIÇA QUEVEDO JUNYENT

Facultad de Óptica y Optometría
Universitat Politècnica de Catalunya (España)
Centre de Visió del Centre d'Alt Rendiment de Sant Cugat del Vallès (España)

ANNA PADRÓS BLÁZQUEZ

Centre Optomètric 7 de Visió (España)
Universitat Politècnica de Catalunya (España)

JOAN SOLÉ I FORTÓ

Institut Nacional d'Educació Física - Centre de Barcelona (España)
Centre d'Alt Rendiment de Sant Cugat del Vallès (España)

GENÍS CARDONA TORRADEFLOT

Facultad de Óptica y Optometría
Universitat Politècnica de Catalunya (España)

Correspondencia con autora

Lluïsa Quevedo Junyent
quevedo@oo.upc.edu

Resumen

El objetivo de este estudio ha sido el análisis de la eficacia de un nuevo programa de entrenamiento hecho con el Neurotracker 3D-MOT, un aparato de tecnología tridimensional donde se trabajan varias habilidades perceptivocognitivas siguiendo un principio de progresión que implica elementos visuales, posturales y técnicos. Se ha utilizado un diseño casi-experimental de tipo pre-post test. Un total de 37 deportistas de élite de waterpolo, taekwondo y tenis han participado en este estudio desarrollado en el Centro de Alto Rendimiento (CAR) de Sant Cugat del Vallès. En una primera fase se evaluaron la agudeza visual estática y dinámica, la sensibilidad a los contrastes, los movimientos sacádicos cerca-lejos, el tiempo de respuesta a estímulos periféricos, la estereopsis y la atención selectiva focalizada. También, jugadores y entrenadores valoraron el rendimiento deportivo mediante los parámetros concentración, velocidad perceptiva y visión periférica, que se concretan en escalas visuales analógicas elaboradas con dicha finalidad. En una segunda fase de intervención se llevaron a cabo 26 sesiones de entrenamiento con el Neurotracker repartidas de la manera siguiente: 14; sentado; 6, de pie y 6, de integración comprometiendo el equilibrio. Adicionalmente, tanto el deportista como su entrenador siguieron llenando el mencionado cuestionario para valorar la progresión. Por último, se repitieron las pruebas del pretest. Los resultados obtenidos indican que el programa de entrenamiento proporciona mejoras estadísticamente significativas en la mayor parte de habilidades evaluadas (agudeza visual estática, estereopsis, sensibilidad a los contrastes y sacádicos), potenciando así mismo el rendimiento deportivo.

Palabras clave: habilidades perceptivocognitivas, Neurotracker 3D-MOT, visión periférica, atención selectiva, deportes de élite

Abstract

Perceptual-cognitive Training with the Neurotracker 3D-MOT to Improve Performance in Three Different Sports

The purpose of this study was to analyse the effectiveness of a new training programme to improve sports performance using the Neurotracker 3D-MOT instrument. This device uses 3D technology and is designed to work on different perceptivocognitive skills of elite athletes following a progression principle which involves visual, postural and technical elements. A quasi-experimental pre-post test design was utilised. A total of 37 water polo, taekwondo and tennis athletes took part in the study, which was carried out at the High Performance Centre (CAR) in Sant Cugat del Vallès, Spain. The following visual skills were evaluated in the first phase: static and dynamic visual acuity, visual contrast sensitivity, saccadic fixations at distance and near, response time to peripheral stimulus, stereopsis and selective focused attention. Furthermore, coaches and athletes used a visual analogical scaled questionnaire to analyse the athletes' visual concentration, perception speed and peripheral vision in order to determine their level of performance. The second phase consisted of 26 training sessions with the Neurotracker 3D-MOT, performed in the following way: 14 seated, 6 standing up and 6 in an integrated position where balance was necessary. At the same time, athletes and their coaches completed the questionnaire to evaluate their subjective improvement. Finally, the pre-test exams were repeated. The results of the study indicated that the training programme led to a statistically significant improvement in most visual skills (visual acuity, stereopsis, contrast sensitivity and saccadic movements), as well as some transference to sports performance.

Keywords: *perceptive-cognitive skills, Neurotracker 3D-MOT, peripheral vision, selective attention, elite athletes*

Introducción

En los últimos años, dentro del contexto del rendimiento deportivo, se ha acentuado el interés por la estructura perceptivocognitiva de los deportistas. La selección de la información, la atención-concentración y la atención dividida, el procesamiento de la información, la toma de decisiones y los comportamientos tácticos resultan decisivos para conseguir el máximo rendimiento. El deportista de élite depende tanto de las habilidades perceptivas y cognitivas como de las capacidades físicas y motoras (Williams, Davids, & Williams, 1999).

En el ámbito de la optometría o ciencia de la visión, hay una especialización llamada Visión y Deporte que colabora en el estudio y optimización de estos procesos asegurando que el deportista reciba la estimulación visual de manera adecuada. Los deportes suelen diferenciarse, a grandes rasgos, entre colectivos e individuales, teniendo en cuenta las singularidades que conllevan. Así, la capacidad visual necesaria para desarrollar una actividad deportiva dependerá de muchos factores, como por ejemplo el movimiento de los objetos y los jugadores, el tamaño de la pelota, la iluminación, el contraste, la velocidad de juego, las dimensiones del campo, etc. Una buena visión no se reduce a una buena agudeza visual estática (AVE), sino que están implicadas otras muchas habilidades inherentes a las características del deporte practicado, como la agudeza visual dinámica (AVD); los movimientos oculares, la sensibilidad a los contrastes; la flexibilidad acomodativa o capacidad de cambiar rápidamente y efectiva de distancia de enfoque; la visión periférica; la estereopsis o percepción de la profundidad; la estimación de las velocidades de desplazamiento; el tiempo de reacción visual, etc. Múltiples capacidades, ya sean visuales o perceptivocognitivas, que tendrán que proporcionar respuestas motoras adecuadas (Erickson, 2007).

El especialista en optometría deportiva no se limita a neutralizar los defectos refractivos de los deportistas, ya sea con lentos de contacto o gafas, sino que, entre otros, puede entrenar las habilidades visuales mencionadas con el objetivo de potenciar el rendimiento deportivo (Coffey & Reichow, 1995; Kirschner, 1993; Knudson & Kluka, 1997; Lasky & Lasky, 1990; Long & Riggs, 1991; Quevedo & Solé, 1995; Quevedo & Solé, 2007; Quevedo, Solé, & Palomar, 2002). Precisamente sobre la cuestión de si el entrenamiento y mejora de las habilidades visuales tiene transferencia al rendimiento deportivo, se tiene que destacar el debate y falta de consenso entre los conocedores de la materia. Así, mientras un numeroso grupo de autores defienden que, efectivamente, la potenciación de las habilidades visuales específicamente relacionadas con las diferentes

modalidades deportivas pueden incrementar el rendimiento deportivo (Antúnez, 2003; Fradua, 1993; Quevedo & Solé, 1995; Vivas & Hellín, 2007; Wilson & Falkel, 2004), otro conjunto de investigadores que se ha centrado a determinar las diferencias visuales entre deportistas expertos y noveles, cuestionan la existencia de cualquier tipo de relación entre el entrenamiento visual y el rendimiento deportivo (Abernethy, 1986; Garland & Barry, 1990; Williams, Davids, Burwitz, & Williams, 1994; Ferreira, 2002; Ludeke & Ferreira, 2003; Williams & Grant, 1999). En sus estudios concluyen que no son las habilidades visuales, como la AVE, la AVD, la visión periférica o la función binocular, las que marcan las diferencias entre deportistas expertos, deportistas noveles y sedentarios, sino la forma como la información captada es procesada a nivel cognitivo. En este sentido, Williams, Davids, Burwitz y Williams (1992), denominan *hardware* visual a las habilidades que son poco específicas de la disciplina deportiva en cuestión, mencionadas anteriormente y que se evalúan con instrumentos y técnicas optométricas más o menos estandarizadas, y *software* o aspectos cognitivos del análisis, selección, codificación, recuperación y manejo general de la información visual disponible, a la percepción visual, estrategia de busca visual, atención, anticipación, memoria visual, y visualización. La evaluación de estas habilidades parece más complicada, y todavía faltan esfuerzos para diseñar métodos científicos objetivos, válidos y fiables para medirlas (Voss, Kramer, Prakash, Roberts, & Basak, 2009; Williams & Grant, 1999), a pesar de las nuevas aportaciones como por ejemplo los modernos sistemas de Eye trackers (Sun, Fisher, Wang, & Martins Gómez, 2008).

Resumiendo, estos autores, si bien admiten que las deficiencias del *hardware* pueden constituir una limitación en el rendimiento deportivo (Ferreira, 2002), también defienden que en deportistas con un sistema visual “normal”, sería el *software* el que distinguiría entre expertos y noveles (Abernethy, 1986; Ludeke & Ferreira, 2003). Así pues, según esto, los deportistas más habilidosos son capaces de seleccionar y extraer información de las claves más relevantes, y organizarla e interpretarla de manera más rápida y eficaz, siendo estos aspectos cognitivos los que determinan las diferencias en el rendimiento deportivo y, por lo tanto, los que interesa potenciar (Ferreira, 2002).

Las técnicas desarrolladas para la mejora del rendimiento deportivo, especialmente en deportes de alto nivel, han experimentado una evolución sustancial en los últimos años, incorporando medios más sofisticados en el entrenamiento físico, táctico, técnico y psicológico. Aún así, el entrenamiento de la función visual y perceptivocognitiva

todavía no ha conseguido hacerlo, a pesar de aportaciones como las de Antúnez, Argudo, Ruiz, Arias y García (2010), Adolphe, Vickers y Laplante (1997), o Williams y Grant (1999) que, mayoritariamente, utilizan paradigmas de oclusión espacial y temporal apoyados en tecnología audiovisual. Esto es especialmente paradójico, teniendo en cuenta que según los autores citados anteriormente (Garland & Barry, 1990; Ferreira, 2002; Abernethy, 1986; Ludeke & Ferreira, 2003), son estas habilidades pertenecientes al software visual las que pueden proporcionar al deportista una sustancial ventaja respecto a los otros.

El Neurotracker 3D MOT (NT) (www.cognisens.com) está concebido precisamente para el entrenamiento de estas habilidades perceptivocognitivas en atletas de élite. El entrenamiento se centra en potenciar la capacidad del atleta para asimilar el complejo proceso de movimiento y distribución de sus recursos atencionales, a través del campo visual. De este modo, podrá disminuir su tiempo de respuesta y aumentar la capacidad de reacción en las opciones de juego (Garland & Barry, 1990).

La técnica del NT se basa en 4 factores característicos para lograr una condición óptima de entrenamiento: 1) atención distribuida en diferentes elementos dinámicos separados entre sí, conocidos como MOT (Trayectoria Múltiple del Objeto); 2) un campo visual amplio; 3) umbrales de velocidad (limitación de percepción efectiva) y 4) estereopsis o percepción de la profundidad.

La utilización de la tarea MOT, de rastrear múltiples elementos al mismo tiempo, fue introducida por primera vez por Pylyshyn y Storm (1988). Investigaciones posteriores proponen que este mecanismo de atención multifocal constituya una parte del entrenamiento del procesamiento de la información (Cavanagh & Álvarez, 2005), de forma que estos objetos diversos simulen la posición de los jugadores y la pelota. Otros trabajos (Faubert, 2002; Fougne & Marois, 2006) corroboran la capacidad de controlar un máximo de 4 o incluso 5 elementos, dependiendo de las condiciones externas y de las características de los participantes. Otros estudios muestran que la diferencia entre el deportista de élite y el de subélite está, precisamente, en la habilidad de centrar la mirada en una dirección y simultáneamente atender a la información del entorno, lo que se podría traducir en controlar la pelota y observar movimientos clave en el cuerpo del contrincante que permitiría la anticipación de la próxima acción en el juego (Nagano, Kato, & Fukuda, 2006). El umbral de velocidad se utiliza como variable dependiente dentro del sistema del NT, y sirve como control de registros de un mismo deportista y entre diferentes jugadores. Según varios experimentos (Tinjust,

Allard, & Faubert, 2008), la visión tridimensional ayuda a lograr un mejor umbral de velocidad.

Ante la conveniencia de aportar nuevos sistemas para integrar elementos en el entrenamiento deportivo con el fin de potenciar el rendimiento, hemos desarrollado el trabajo siguiente con el objetivo de determinar si el entrenamiento de las habilidades perceptivocognitivas con el Neurotracker influencia en la funcionalidad del sistema visual y atención selectiva y, muy especialmente, si hay transferencia al rendimiento deportivo.

Método

El presente estudio utiliza un diseño casi-experimental (pre-post test) de tres fases: evaluación inicial, tratamiento o entrenamiento y evaluación final. La efectividad del programa de entrenamiento se ha valorado a partir de la comparación de los resultados de los exámenes visuales antes y después del tratamiento y con el análisis de las puntuaciones de un breve cuestionario consistente en tres escalas visuales analógicas (Hiskisson, 1974), diseñado por este fin y completada por cada deportista y su entrenador de manera individual. Así, la variable independiente fue el programa de entrenamiento perceptivocognitivo llevado a cabo, y las variables dependientes, el rendimiento deportivo operativizado en las valoraciones de tres parámetros (atención selectiva, velocidad de procesamiento de la información y visión periférica) en forma del mencionado cuestionario, los registros obtenidos con el NT y las habilidades visuales evaluadas.

Participantes

Un total de 37 deportistas de élite del Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallès, (CAR) 23 hombres y 14 mujeres, de edades comprendidas entre los 15 y 24 años (media de edad: 18,3; DS: 3,0), de diferentes disciplinas participaron en nuestro estudio. Del total de deportistas: 13 (46 % hombres, 54 % mujeres) eran waterpolistas, 12 (58 % hombres, 41 % mujeres) taekwondistas, y 12 (83 % hombres, 17 % mujeres) tenistas.

Los criterios de inclusión en la muestra serían: *a)* ser un deportista de élite dentro de las disciplinas deportivas escogidas, *b)* tener unas habilidades visuales dentro de la normalidad, *c)* no presentar ninguna patología ocular y *d)* ser escogido por el propio entrenador, según diversas prioridades en función de las diferentes modalidades.

En el caso del waterpolo, se valoró la posición de juego en el equipo: porteros y boyas, que son jugadores que requieren de una óptima y rápida visión general del juego,

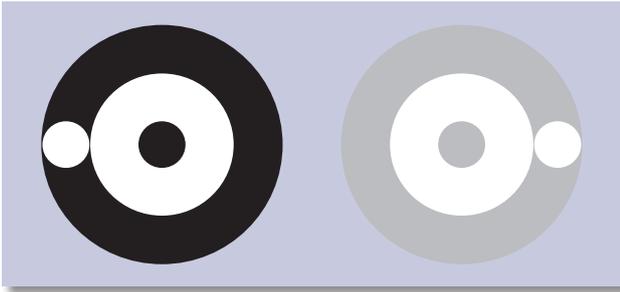


Figura 1. Optotipos de Palomar con contraste alto y contraste bajo



Figura 2. AcuVision 1000

así como jugadores más susceptibles de mejorar la concentración, atención y visión periférica. Concretamente, en el caso de los porteros, se tuvo muy en cuenta los diversos estudios que defienden la importancia de la visión en su rendimiento (Antúnez, 2003; Quevedo et al., 2002).

Los deportistas de taekwondo escogidos fueron aquellos que los entrenadores consideraron que tenían que desarrollar más la concentración y atención durante los combates. Por último, con respecto al tenis, se seleccionaron la totalidad de jugadores residentes en el CAR, dado que son un número reducido.

Material e instalaciones

En la realización de la exploración ocular general se utilizó el material básico propio de una consulta optométrica. Destacamos la Carta de Palomar (Palomar, 1991) para valorar la agudeza visual estática, así como el programa informático DinVA 3.0. (Quevedo, 2007; Quevedo, Aznar-Casanova, Merindano, Cardona & Solé, 2012), para evaluar la agudeza visual dinámica (AVD), determinada en condiciones de alto y bajo contraste (fig. 1).

Por otra parte, el programa informático Clínico Software FSC (Rodríguez Vallejo, 2010) fue utilizado para determinar la Función de Sensibilidad al Contraste Espacial (FSC). Las Tablas de Hart (Hart, 1994; Revien & Gabor, 1981), para visión próxima y lejana, fueron utilizadas para la determinación de movimientos oculares sacádicos cerca-lejos.

El AcuVision 1000 (International AcuVision Systems Intl.) (fig. 2) sirvió para la valoración de la capacidad de respuesta a estímulos periféricos, involucrando una tarea central de control visual (Quevedo, Cardona, Solé & Bach, 2001).

Finalmente, se empleó el test de Titmus-Wirt (Bernell Corporation) con gafas polarizadas para la obtención de la esteroagudeza a 40 cm y el test de atención D2 (Brickenkamp, 1966) para evaluar la atención selectiva focalizada.

La totalidad de exámenes fueron hechos en el Centro de la Visión del CAR por un único optometrista especializado en visión deportiva.

Con respecto al control del rendimiento deportivo, operativizta en las variables de concentración visual, rapidez perceptiva y visión periférica, se utilizó un cuestionario elaborado con esta finalidad, formado por escalas visuales analógicas (Hiskisson, 1974) y rellenado aisladamente por duplicado por el deportista y el entrenador.

El entrenamiento perceptivocognitivo realizó mediante el Neurotracker 3D MOT.

En la figura 3 se describen las diferentes tareas llevadas a cabo en una sesión de entrenamiento con el NT con el programa CORE, de entrenamiento básico y/o general: 1.a) presentación del conjunto de las esferas distribuidas

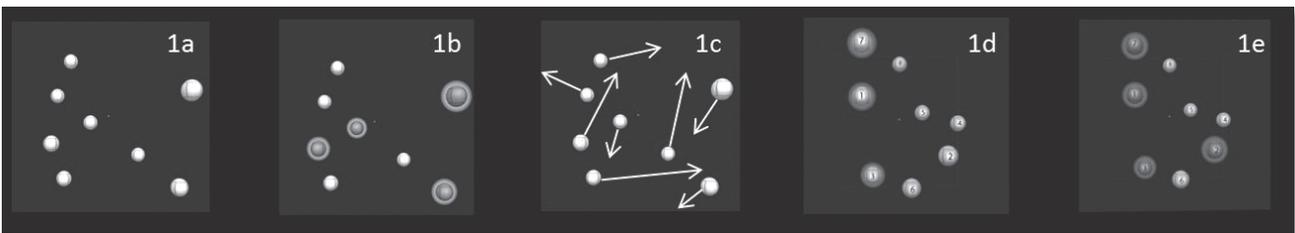


Figura 3. Resumen gráfico de las aplicaciones del NT

aleatoriamente en un espacio virtual; 1.b) un grupo de 4 esferas cambia de color durante un reducido periodo de tiempo (2 segundos), indicando que se tienen que seguir durando el proceso; 1.c) las esferas vuelven al color inicial y empiezan a producirse los movimientos e interacciones dinámicas entre las esferas, que pueden chocar entre ellas y, consecuentemente, cambiar de trayectoria; 1d) finalmente, las esferas dejan de moverse y, después de un tiempo predeterminado, el observador tiene que identificar las esferas inicialmente marcadas, formándose una aureola alrededor; 1.e) presentación de las respuestas correctas con retroacción, cambiando otra vez de color.

Procedimiento

Un día antes del inicio del programa de entrenamiento se informó a cada deportista sobre las características de las pruebas y entrenamientos que llevarían a cabo y se obtuvo un documento de consentimiento informado. Todas las pruebas se hicieron en las condiciones visuales habituales (usuario de gafas o lentes de contacto) de la práctica deportiva

Durante el pretest, para determinar el AVE, el deportista se situaba a 5 m, y se observaba hasta qué línea era capaz de distinguir la situación del punto blanco del anillo de Palomar. En la medida de la agudeza visual dinámica se utilizó un paradigma de detección forzada entre 8 alternativas, indicando la apertura del estímulo con el símbolo correspondiente del teclado numérico. Se midió en condiciones de máximo y mínimo contraste. La distancia de observación del test fue de 2 m (Quevedo, 2007; Quevedo et al, 2012).

Para la valoración de los movimientos oculares sacádicos binoculares con las Tablas de Hart, la mesa de lejos estaba situada a 5 m, mientras la cercana a 40 cm, y el participante tenía que hacer el máximo de ciclos (leer la letra de lejos y la cercana) durante un minuto.

La evaluación de la sensibilidad a los contrastes se hizo a una distancia de 2 m, a través de la identificación con la elección obligada entre 3 alternativas (para señalar la orientación de las franjas sinusoidales), mediante las teclas centrales del teclado numérico del PC.

Para analizar la velocidad de respuesta a estímulos periféricos con el AcuVision 1000 el participante se colocaba a una distancia de 65 cm del centro del instrumento y tenía que reaccionar, siempre fijando el punto central, a las diferentes luces del panel, tocándolas, si el punto central estaba iluminado y evitando hacerlo, si no lo estaba. El aparato cuantifica el número de respuestas

correctas y penaliza las respuestas incorrectas dentro del intervalo temporal, así como las respuestas tardías.

A continuación se medía la estereopsis y la atención selectiva focalizada. Esta última tarea consistía al revisar un total de 14 líneas con 47 caracteres (letras “d” o “p”, acompañadas de 1, 2, 3 o 4 rayas), entre los cuales se tenían que marcar únicamente las que contenían 2 rayitas, que podían estar arriba o abajo de la letra.

El cuestionario con 3 escalas visuales analógicas (Hiskisson, 1974), correspondientes a las 3 variables (concentración visual, rapidez perceptiva y visión periférica) con qué vamos operativizar ciertos aspectos del rendimiento deportivo, consiste en 3 líneas verticales de 10 centímetros cada una, en cuyos extremos se encuentran las expresiones límites (ausencia en el inferior y máxima en el superior) de cada habilidad. Se pidió a los deportistas y entrenadores que marcaran en la línea el punto que indicaba el nivel de rendimiento que consideraban que se lograba en el momento de rellenar el cuestionario (al terminar las sesiones siguientes: 0, 5, 10, 12, 15, 17, 20, 23 y 26), y se registraba el valor en milímetros. Bajo cada línea a marcar tenían una definición de la variable a evaluar.

Para el entrenamiento perceptivocognitivo cada participante se situaba dentro de una sala (cubo de inmersión) de 3×3 m, a oscuras y con gafas estereoscópicas. Se presentaban un grupo de 8 esferas en un espacio en 3D. La tarea del deportista consistía a controlarlas visualmente mientras focalizaba la visión en un punto verde central. Las esferas se cruzaban al azar en los ejes *x*, *y* y *z*, y chocaban ocasionando cambios en su trayectoria. La velocidad de estas esferas variaba según el nivel. Si el observador identificaba las 4 esferas correctamente, se repetía el proceso a mayor velocidad. En el supuesto de que se equivocara, se repetía el ejercicio a una velocidad inferior, hasta determinar el umbral del observador.

El entrenamiento con el NT se dividió en las tres fases que describe el protocolo CORE (básico), consistiendo en:

- Entrenamiento general (14 sesiones): CORE sentado.
- Entrenamiento más específico (6 sesiones): CORE de pie.
- Entrenamiento integrado involucrando algún aspecto propio del deporte (6 sesiones): CORE + acción específica.

Es importante mencionar que la progresión del entrenamiento general al específico coincidió con una semana de parada del programa a causa de la llamada Semana

Blanca (parada académica durante la cual muchos deportistas no se hallan en el CAR).

En el entrenamiento visual integrado se añadieron diferentes elementos o acciones, con el fin de conseguir que la mejora del rendimiento visual tuviera transferencia real en el rendimiento deportivo. Así, los jugadores de waterpolo llevaron a cabo esta fase sentados sobre una pelota *fit ball*, con la que se intentaba simular la inestabilidad propia del medio acuático. En el caso de los deportistas de taekwondo, el ejercicio visual se hacía mientras el deportista llevaba a cabo unos saltos (*steps*) sobre sí mismo. Se trata de una posición básica en este deporte, tanto mientras el luchador está en actitud defensiva como cuando se prepara para atacar. Finalmente, la situación de los tenistas también se relacionó con el equilibrio, ejecutaban la rutina haciendo el movimiento propio de piernas de este deporte. Cada semana se hacían entre 2 y 4 sesiones de 6 a 8 minutos de duración, y el programa completo duró 3 meses. Cada sesión se subdividía en 15 presentaciones continuadas de 30 segundos.

Para acabar, se repitió toda la serie de exámenes llevados a cabo durante el pretest y en iguales condiciones. O sea, en el mismo orden y sin descansos puesto que son pruebas rápidas que difícilmente ocasionan fatiga perceptiva.

Resultados

De los 37 deportistas que tomaron parte en el estudio solo 20 completaron estrictamente el protocolo de la investigación. Las pruebas postest fueron completadas por la totalidad de los participantes a pesar de que solo se tuvieron en cuenta para el estudio los datos de los deportistas que habían seguido todo el programa de entrenamiento.

A continuación, presentamos los resultados obtenidos en tres secciones de acuerdo con los objetivos planteados: habilidades visuales y atencionales, valoración del rendimiento deportivo y resultados obtenidos en las sesiones de entrenamiento con NT. En todos los casos los datos han sido analizados mediante el programa estadístico SPSS v19, comprobando inicialmente la normalidad de las distribuciones con el test de Kolmogorov-Smirnov

para decidir la aplicación de estadística paramétrica (test de t de Student de muestras apareadas) o no paramétrica (test de Wilcoxon de muestras apareadas) para evaluar las diferencias pre-post en las diversas variables.

1. Habilidades visuales y atencionales: la prueba de Wilcoxon evidencia como estadísticamente significativas las mejoras logradas en AVE ($p < 0,01$), estereopsis ($p < 0,01$), FSC 6 ciclos/grado ($p < 0,05$) y FSC 12 ciclos/grado ($p < 0,01$). Por el resto de variables la prueba estadística t de Student de medidas repetidas resulta en $p < 0,001$, tanto por los movimientos sacádicos como la atención selectiva focalizada, constatando la significancia estadística de las diferencias antes-después del tratamiento.

2. Valoración del rendimiento deportivo (concentración visual, velocidad perceptiva y visión periférica).

Las figuras 4.a), 4.b), 4.c), 4.d) y 4.e) muestran la evolución de estas variables, medidas a partir de los cuestionarios del entrenador y deportista antes de empezar el programa (pretest), durante el periodo de entrenamiento (sesiones 5, 10, 12, 15, 17, 20, 23), y al finalizarlo (postest).

Se obtienen diferencias estadísticamente significativas antes-después en Concentración visual valorada por los deportistas [$t(18) = -2,72; (p = 0,014)$] y entrenadores [$t(18) = -3,85; (p = 0,001)$], y en Velocidad perceptiva por los deportistas [$t(18) = -3,85; (p = 0,001)$]. En cuanto a las variables no paramétricas, la prueba de Wilcoxon evidencia que todas las variables de rendimiento mejoran de forma estadísticamente significativa. Así, encontramos una $p < 0,001$ entre antes y después del entrenamiento en la variable Velocidad perceptiva y Visión periférica valorada por los entrenadores, y en la Visión periférica pre-post valorada por el deportista ($p = 0,001$).

Adicionalmente, para determinar la relación entre las valoraciones referentes a las tres variables definidas, tanto del pretest como del postest, entre deportistas y entrenadores, hemos calculado el coeficiente de Spearman (ρ), resultando la mayor parte de las correlaciones entre moderadas y altas y estadísticamente significativas en todos los casos (tabla 1).

Comparación parejas	ρ	p	Comparación parejas	ρ	p
CVO _{deportista} -CVO _{entrenador}	0,514	0,002	CV26 _{deportista} -CV26 _{entrenador}	0,811	<0,001
RPO _{deportista} -RPO _{entrenador}	0,607	<0,001	RP26 _{deportista} -RP26 _{entrenador}	0,73	<0,001
VPO _{deportista} -VRP _{entrenador}	0,627	<0,001	VP26 _{deportista} -VP26 _{entrenador}	0,74	<0,001

CV: concentración visual; RP: velocidad perceptiva; VP: visión periférica; 0: sesión 0; 26: sesión 26.

Tabla 1. Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, en relación con las 3 variables, en el pre y postest, entre deportistas y entrenadores

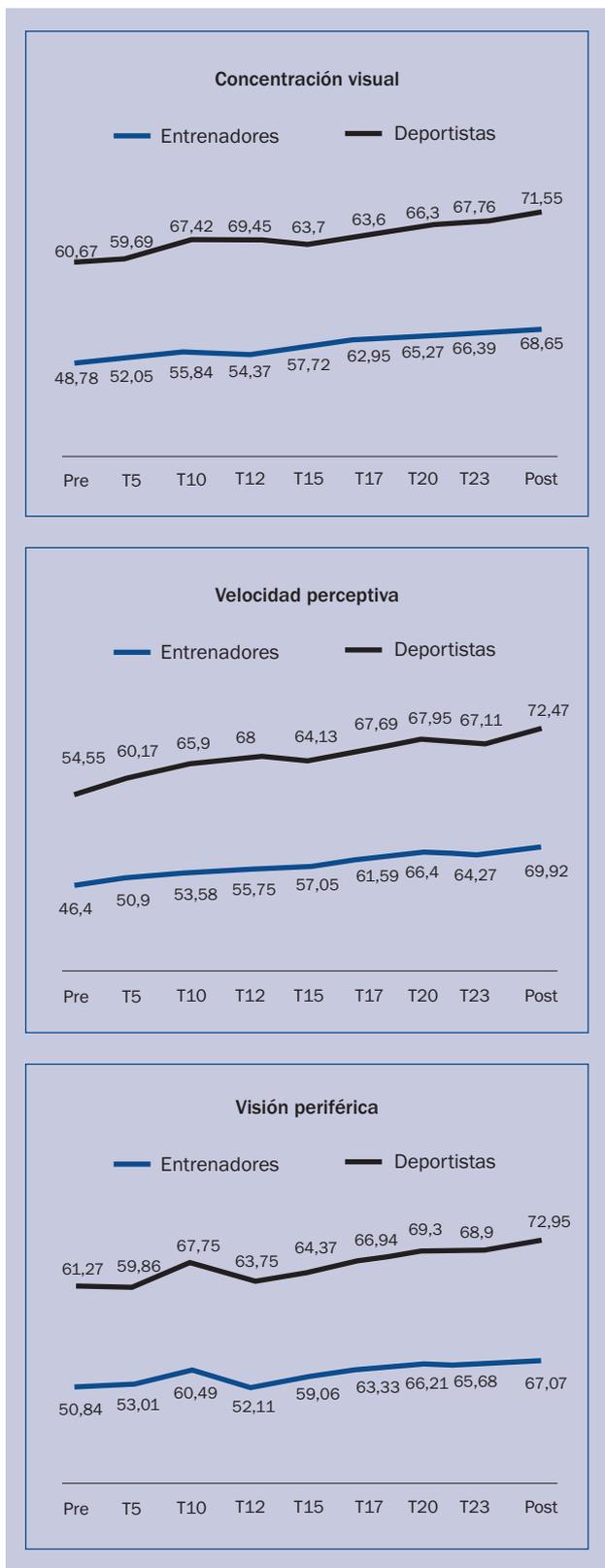


Figura 4a. Evolución de las variables a nivel global

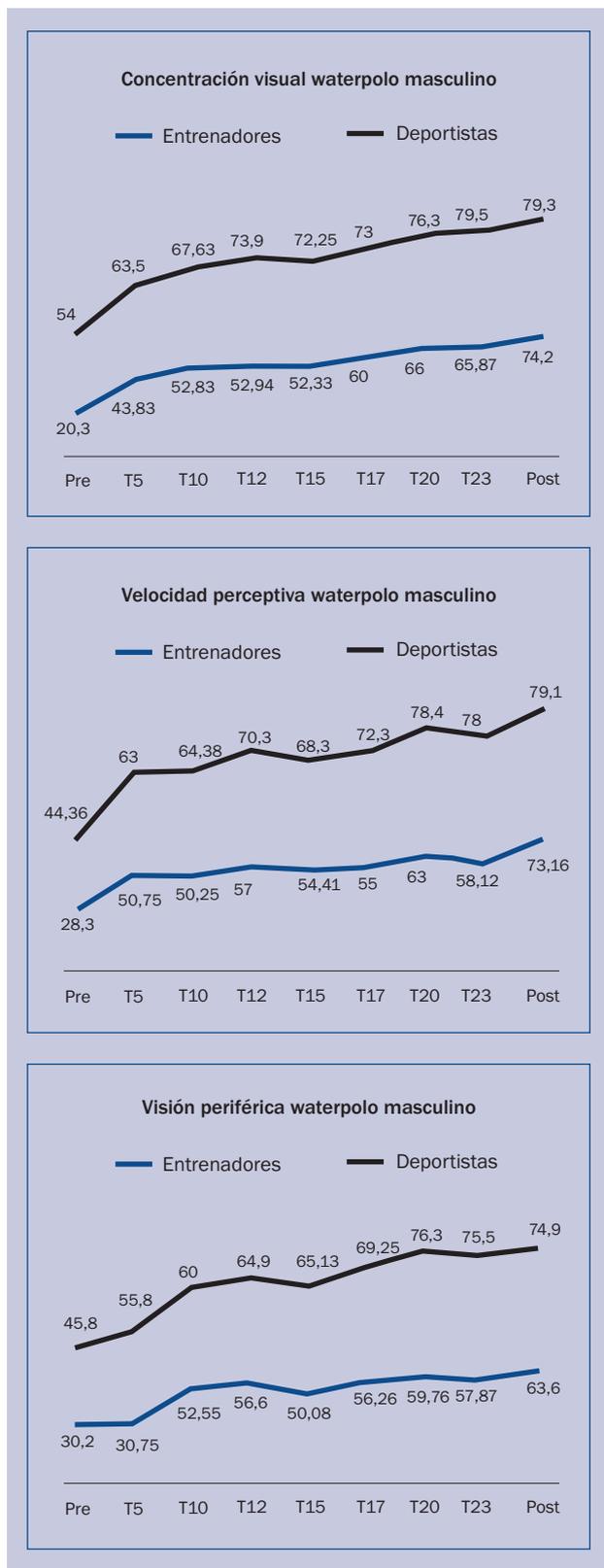


Figura 4b. Evolución de las variables en el waterpolo masculino (n=6)

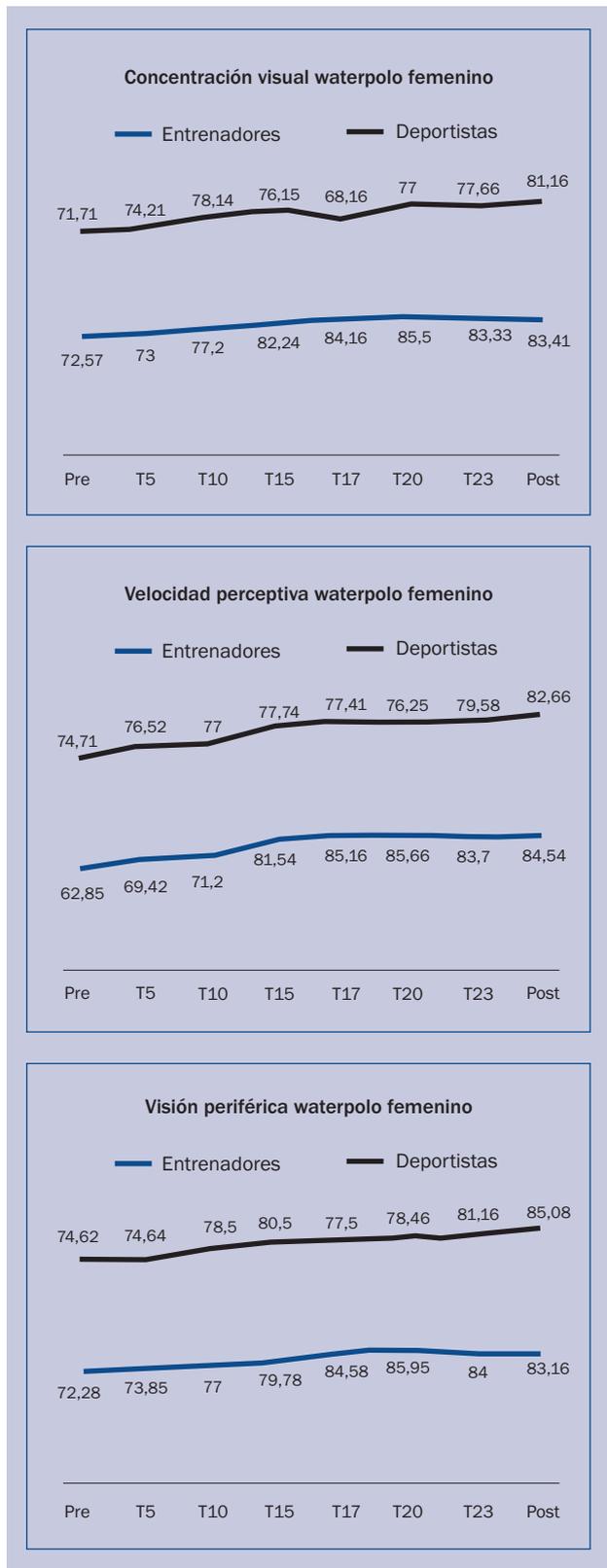


Figura 4c. Evolución de las variables en el waterpolo femenino (n=6)

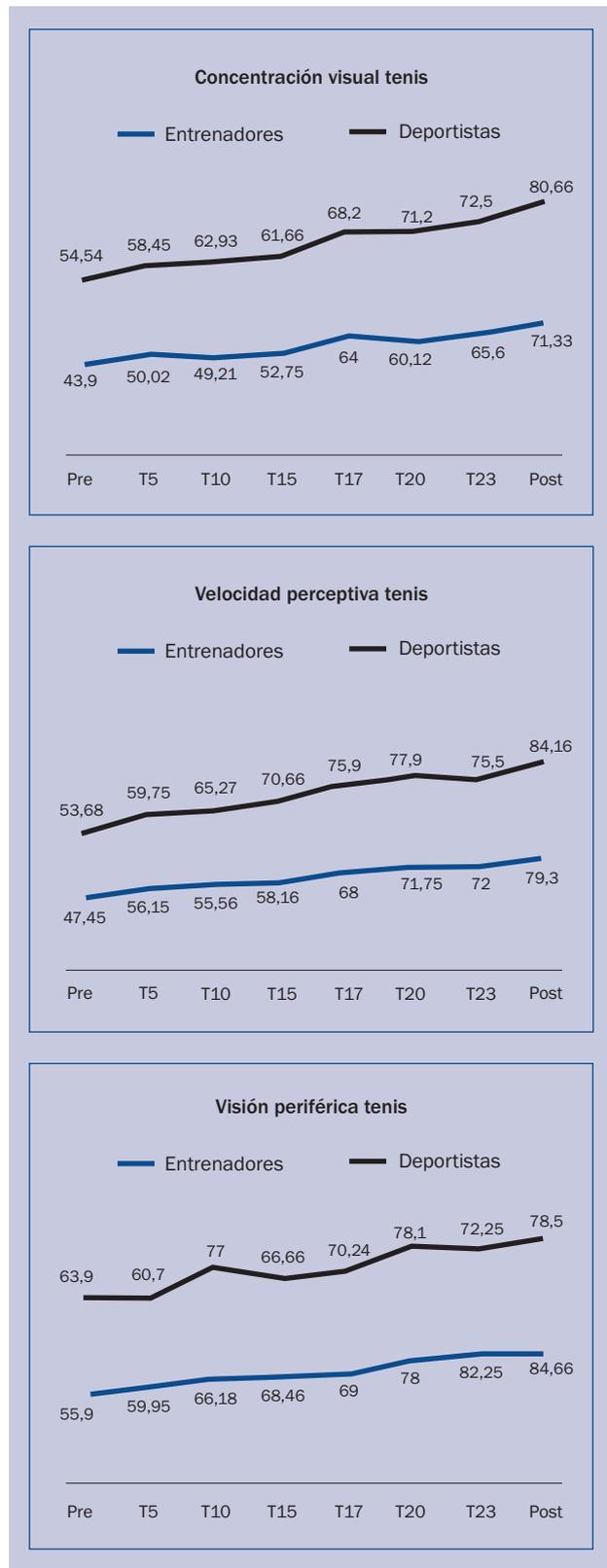


Figura 4d. Evolución de las variables en el tenis (n=3)

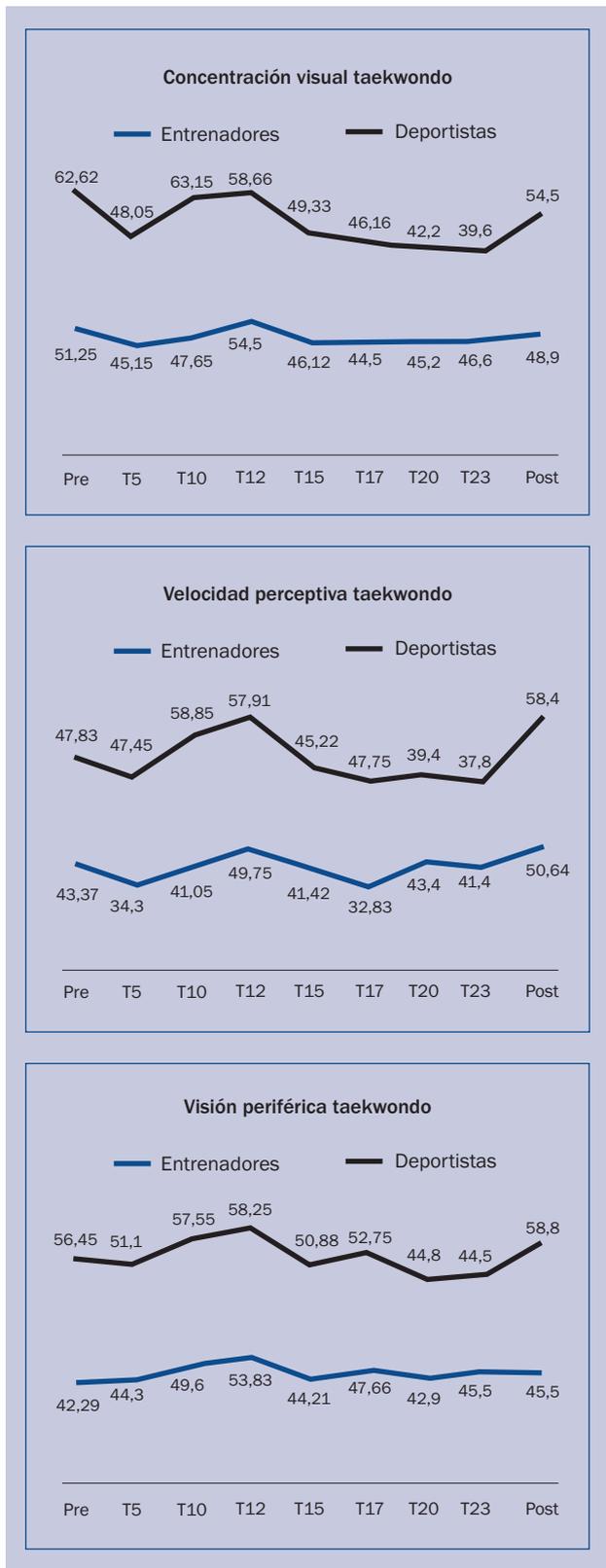


Figura 4e. Evolución de las variables en el taekwondo (n=5)

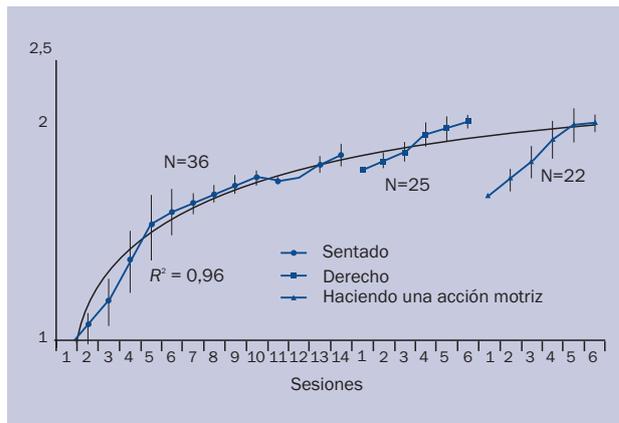


Figura 5. Valores del umbral de velocidad (en segundos) registrados

3. Registros NT: a continuación se muestra la progresión del entrenamiento, con valores de umbrales de velocidad, en segundos, y sesiones llevadas a cabo. Observamos el ajuste a la curva logarítmica de los valores ($R^2 = 0,96$) (fig. 5).

Discusión y conclusiones

A pesar de que hay bastante bibliografía especializada (Adolphe et al., 1997; Singer et al., 1994) donde se evalúan y comparan las diferentes habilidades perceptivocognitivas, todavía encontramos pocos trabajos donde se investiguen los efectos de estos tipos de entrenamiento en el rendimiento deportivo (Antúnez, 2003; Farrow & Abernethy, 2002). Además, se estudian capacidades y métodos muy diversos que hacen casi imposible contextualizar y establecer relaciones con los resultados de nuestro trabajo. Por este motivo, la discusión se centra, básicamente, en los datos obtenidos en la presente investigación.

1. Habilidades visual y atencional

Según los resultados de nuestro estudio, observamos que casi todas las habilidades han mejorado, y específicamente, de forma estadísticamente significativa la AVE, la estereopsis, la sensibilidad a los contrastes y los movimientos oculares sacádicos. Esto apoyaría las aportaciones de los autores anteriormente mencionados (Antúnez, 2003; Fradua, 1993; Quevedo & Solé, 1995; Vivas & Hellín, 2007; Wilson & Falkel, 2004), que defienden que las habilidades visuales mejoran con el entrenamiento, incluso con ejercicios que, más allá del

contexto puramente optométrico, integran elementos y acciones propias del deporte, como es en el caso que nos ocupa. De hecho, el entrenamiento llevado a cabo en este trabajo radica en el nivel del *software* y también obtenemos una mejora en el *hardware* visual, es decir, en las habilidades visuales evaluadas.

Concretamente, en el caso de la AVE, constatamos que mejora con el entrenamiento, tal como defienden varios autores (Lasky & Lasky, 1990; McKee & Westheimer, 1978; Quevedo & Solé, 1995). La estereopsis o percepción de la profundidad también se ha visto potenciada de forma estadísticamente significativa en la línea de los resultados de Saladin y Rick (1982) que demostraron que esta habilidad podía mejorar con varias técnicas de entrenamiento. Aún así, en este punto, tenemos que reconocer que el test utilizado no permite determinar valores mejores que 40" arco, lo que puede haber provocado un efecto techo que habría limitado la evaluación de la mejora en los casos en que los valores base ya eran suficientemente buenos. Posiblemente, la utilización de un test más sensible sería más indicado en caso de replicar este estudio. En cuanto a la sensibilidad a los contrastes, observamos una mejora significativa justamente en algunas frecuencias, apoyando parcialmente las aportaciones de Kluka et al. (1995).

En el caso de los movimientos oculares sacádicos, los resultados obtenidos aportan evidencias en la línea de trabajos previos que informan que, a mayor experiencia en una actividad deportiva, menor es el número y el tiempo de las fijaciones necesarias para explorar el entorno y las acciones del juego (Bardo & Fleury, 1976; Knudson & Kluka, 1997).

Investigaciones previas constatan mejoras tanto de la AVD (Long & Riggs, 1991), como de la visión periférica (Fradua, 1993; Quevedo et al, 2002) después de seguir un programa de entrenamiento visual sistemático. Por eso, resulta sorprendiendo que la AVD y la respuesta a estímulos periféricos, que son habilidades implicadas en la tarea principal del entrenamiento hecho y comúnmente relacionadas con el rendimiento deportivo (Erickson, 2007), no han mejorado de forma estadísticamente significativa, aunque sí que lo hacen clínicamente. En el caso la AVD, un constructo que engloba agudeza visual y movimientos oculares, una posible explicación radicaría en el hecho que la tarea llevada a cabo en el entrenamiento requiere de movimientos oculares para el control del desplazamiento de las esferas pero no de la visión nítida de estas. Esto explicaría los incrementos significativos logrados en el número de fijaciones sacá-

dicas y la ausencia de significación estadística por la mejora de la AVD.

Con referencia a la respuesta manual a estímulos visuales periféricos, la carencia de mejoras estadísticamente significativas puede ser debida a la inespecificidad de la medida, en el sentido de que la tarea con la Acuvision 1000 requiere de coordinación ojo-mano fina, aspecto no trabajado en el presente programa de entrenamiento. De cualquier manera, ante los resultados, los autores se plantean la idoneidad de controlar la visión periférica con instrumentos más objetivos y fiables, como por ejemplo los campímetros computerizados.

En cuanto a la atención, habilidad cognitiva básica, corroboramos que ha mejorado de forma estadísticamente significativa con el presente entrenamiento, en el que había una importante demanda de atención selectiva focalizada y dividida. El entrenamiento y mejora de las variables atencionales en el deporte ya ha sido patente por otros autores como por ejemplo Hagemann, Strauss y Cañal-Bruland (2006). Según Mann, Williams, Wall & Janelle (2007) esta habilidad es crucial para el éxito en el desarrollo de la actividad deportiva.

2. Rendimiento deportivo valorado mediante las variables concentración visual, velocidad perceptiva y conciencia periférica:

El cuestionario de escalas visuales analógicas que valoraba las tres variables mencionadas fue administrado de forma independiente a deportistas y entrenadores en 9 ocasiones diferentes, incluyendo pre y postest.

En las figuras 4.a, 4.b, 4.c, 4.d y 4.e se hace patente una mejora progresiva en las tres variables que evalúan el rendimiento deportivo de toda la muestra de deportistas y por grupos de modalidades que han participado al estudio. Debemos comentar que hacia la sesión 14 se observa una ligera bajada de los registros de todas las habilidades, que se hace más manifiesto en el caso de la visión periférica. Pensamos que este hecho podría explicarse, al menos en parte, por la coincidencia con la mencionada parada (Semana Blanca), que rompió la continuidad del programa de entrenamiento. Adicionalmente, también podemos considerar la disminución momentánea de motivación y la frustración que podía provocar el empeoramiento en la evolución de puntuación con el NT, sufrida al cambiar el protocolo y pasar de hacer el entrenamiento de sentados a hacerlo de pie.

El hecho de que la parada del programa haya implicado una disminución de la mejora nos hace pensar que, por un lado el entrenamiento tendría que tener una

duración mínima para garantizar las mejoras después de la retirada de este, y por otro lado, habría que llevar a cabo sesiones esporádicas de refuerzo, para mantener los niveles de rendimiento óptimos. Todo ello, reafirmaría las conclusiones de Antúnez (2003) o Quevedo y Solé (1995), con jugadores de balonmano y tiradores/lanzadores expertos, respectivamente.

Es interesante mencionar, asimismo, que la correlación entre las valoraciones de deportistas y entrenadores aumenta en la valoración posttest, evidenciando un considerable incremento del consenso entre ambos colectivos, posiblemente indicativos de resultados más fiables. Posteriormente hemos constatado que los adelantos que se observan visualmente en los gráficos queda establecida con mejoras significativas en todas las variables, tanto las cuantificadas por el deportista como por el entrenador.

Centrándonos en el análisis de los resultados obtenidos por cada deporte por separado, vemos que la figura 4b, correspondiendo al waterpolo masculino, muestra los incrementos de rendimiento más importantes, especialmente en la concentración visual y la velocidad perceptiva. Estos datos son los esperados si tenemos en cuenta que los jugadores de esta modalidad deportiva son los que han cumplido de manera más rigurosa con el programa de entrenamiento perceptivocognitivo. Adicionalmente, la figura 4c, de las jugadoras de waterpolo muestra una progresión más discreta pero uniforme.

En cuanto a los jugadores de tenis (fig. 4d), también vemos una mejora importante en las tres habilidades, sobre todo en la concentración visual.

Por último, las valoraciones de las respuestas de los deportistas y el entrenador de taekwondo evidencian una mayor irregularidad. Las frecuentes ausencias a las sesiones de entrenamiento, han ocasionado que, los valores de los umbrales de velocidad también empeoraran, y consecuentemente, también el rendimiento deportivo.

Con todo, podemos concluir que el programa de entrenamiento perceptivocognitivo llevado a cabo con el NT mejora la mayor parte de habilidades estudiadas (AVE, movimientos oculares sacádicos, estereopsis y sensibilidad a los contrastes de forma estadísticamente significativa y, visión periférica y agudeza visual dinámica a nivel clínico). Adicionalmente, la mejora de la atención selectiva, evaluada con el test D2 también logra significación estadística. Por otro lado, a nivel global, se constata que el programa de entrenamiento efectuado ha potenciado el rendimiento deportivo operativizado en las variables concentración visual, velocidad perceptiva y conciencia periférica en el juego.

Finalmente, y siempre con la debida prudencia, podríamos generalizar que el entrenamiento de las habilidades perceptivocognitivas con este instrumento o similares podría potenciar el rendimiento deportivo en otras disciplinas, como por ejemplo en los deportes de equipo, de raqueta o lucha, así como en otros ámbitos que impliquen situaciones donde se requiere de reacciones rápidas en entornos cambiantes como, por ejemplo, la conducción. Adicionalmente, pensamos que este tipo de entrenamiento puede resultar muy útil para los deportistas que están lesionados con el objetivo de mantenerlos psicológicamente activos y motivados, teniendo en cuenta que un entrenamiento siempre comporta un reto de mejora continuo, necesario en la rutina del deportista de élite.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Jocelyn Faubert la cesión del Neurotracker 3D-MOT, así como la colaboración de Iñaki Claverie. Por último, valoramos el entusiasmo y el apoyo técnico de los entrenadores de las diferentes disciplinas deportivas: Ferran Planes, Jordi Valls, Gabriel Esparza y Walter Navarro, sin los cuales esta investigación no hubiera sido posible.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Abernethy, B. (1986). Enhancing sports performance through clinical and experimental optometry. *Clinical and Experimental Optometry*, 5(69), 189-196. doi:10.1111/j.1444-0938.1986.tb04589.x
- Adolphe, R., Vickers, J., & Laplante, G. (1997). The effects of training visual attention on gaze behaviour and accuracy: A pilot study. *International Journal of Sports Vision*, 4(1), 8-33.
- Antúnez, A. (2003). *La interpretación en la portera de balonmano. Efectos de un programa de entrenamiento perceptivo-motriz* (Tesi doctoral). Universidad de Murcia, Murcia.
- Bard, C., & Fleury, M. (1976). Analysis of Visual Search Activity during Sport Problem Situations. *Journal of Human Movements Studies* (3), 214-222.
- Brickenkamp, R. (1966). *Le test d2 d'attention concentrée*. París: Editest.
- Cavanagh, P., & Álvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends Cognitive Science*, 9(7), 349-354. doi:10.1016/j.tics.2005.05.009
- Coffey, B., & Reichow, A. (1995). Visual performance enhancement in sports optometry. En D. Loran & Mc Ewen (Eds.). *Sports Vision*. Boston: Butterworth-Heinemann.

- Erickson, G. B. (2007). *Sport Vision. Vision care for the enhancement of sports performance*. Filadelfia: Butterworth & Heinemann.
- Farrow, D., & Abernethy, B. (2002). Can anticipatory skills be learned through implicit video-based perceptual training? *Journal of Sports Sciences*, 20(6), 471-485. doi:10.1080/02640410252925143
- Faubert, J. (2002). Visual perception and aging. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 56(3), 164-176. doi:10.1037/h0087394
- Ferreira, J. T. (julio 2002). Sports Vision as a Hardware and Software system. *Eyesite* (p. 40).
- Fougnie, D., & Marois, R. (2006). Distinct capacity limits for attention and working memory: Evidence from attentive tracking and visual working memory paradigms. *Psychol Science*, 17(6), 526-534. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01739.x
- Fradua, J. L. (1993). *Efectos del entrenamiento de la visión periférica en el rendimiento del futbolista* (Tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada.
- Garland, D. J., & Barry, J. R. (1990). Sports expertise: The cognitive advantage. *Perceptual Motor Skills*, 70(3), 1299-1314. doi:10.2466/PMS.70.3.1299-1314
- Hagemann, N., Strauss, B., & Cañal-Bruland, R. (2006). Training Perceptual Skill by Orienting Visual Attention. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 28(2), 200-210.
- Hiskisson, E. C. (1974). Measurement of pain. *Lancet*, 2, 1127-1131. doi:10.1016/S0140-6736(74)90884-8
- Kirscher, D. W. (1993). Sports Vision Training Procedures. *Optometry Clinics: The Official Publication of the Prentice Society*, 3(1), 171-182.
- Kluka, D. A., Love, P., Sanet, R. B., Hillier, C., Stroops, S., & Schneider, H. (1995) Contrast Sensivity function profiling: By sport and sport ability level. *International Journal of Sports Vision*, 1(2), 5-16.
- Knudson, D., & Kluka, D.A. (1997). The impact of vision and vision training in sport performance. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 68(4), 17-24. doi:10.1080/07303084.1997.10604922
- Lasky, D. I., & Lasky, A.M. (1990). Stereoscopic eye exercises and visual acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 71(3), 1055-1058. doi:10.2466/pms.1990.71.3.1055
- Long, G. M., & Riggs, C. A. (1991). Training effects on dynamic visual acuity with free-head viewing. *Perception*, 20(3), 363-371. doi:10.1068/p200363
- Ludeke, A., & Ferreira, J. T. (2003). The difference in visual skills between professional versus non-professional rugby players. *The South African Optometrist*, 62(4), 150-158.
- McKee, S., & Westheimer, G. (1978). Improvement in vernier acuity with practice. *Perception and Psychophysics*, 24(3), 258-262. doi:10.3758/BF03206097
- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology* (29), 457-458.
- Nagano, T., Kato, T., & Fukuda, T. (2006). Visual behaviors of Soccer players while kicking with the inside of the foot. *Perceptual and Motor Skills*, 102(1), 147-156. doi:10.2466/pms.102.1.147-156
- Obstfeld, H. (2003). Improving Sporting Performance. An Introduction to sports vision. *Optometry Today* (15), 18-33.
- Palomar, F. J. (1991). Anillo-Disco Palomar: Optotipo Universal para determinar la agudeza visual. *Ver y Oír* (61), 29-35.
- Polyshyn, Z. W., & Storm, R.W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spat Vis*, 3(3), 179-197. doi:10.1163/156856888X00122
- Quevedo, Ll. (2007). Evaluación de la agudeza visual dinámica: Una aplicación al contexto deportivo (Tesis doctoral). UPC Terrassa, Terrassa.
- Quevedo, Ll., Cardona, G., Solé, J., & Bach, E. (2001). Perfil Visual y auditivo de los árbitros de Primera división de la Liga Española de Fútbol. *Ver y Oír*, 156, 367-376.
- Quevedo, Ll., & Solé, J. (1995). Visual training programme applied to precision shooting. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 15(5), 519-523. doi:10.1016/0275-5408(95)00068-0
- Quevedo, Ll., Solé, J., & Palomar, F. J. (2002). Programa de entrenamiento visual específico para potenciar el rendimiento de un portero de waterpolo de la División de Honor de la liga española. *Ver y Oír*, 19(169), 282-285.
- Quevedo, Ll., & Solé, J. (2007). Visión periférica: propuesta de entrenamiento. *Apunts. Educación Física y Deportes* (88), 75-80.
- Quevedo, Ll., Aznar-Casanova, J. A., Merindano, D., Cardona, G., & Solé, J. (2012) A novel computer software for the evaluation of dynamic visual acuity. *Journal of Optometry*, 5, 131-138. doi:10.1016/j.optom.2012.05.003
- Revien, L. & Gabor, M. (1981). *Revien's Eye Exercise. Program for Athletes: Sport-Vision*. New York: Workman Publishing.
- Rodríguez Vallejo, M. (2010). Evaluación de la Curva de Sensibilidad al Contraste Espacial mediante el software Clinic FSC. *International Congress of Optometry, Contactology and Ophthalmic Optics*. Madrid: Colegio Nacional de Ópticos-Optometristas.
- Saladin, J., & Rick J. (1982). Effect of orthoptic procedures on stereoscopic acuities. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 59(9), 718-25. Recuperado de http://www.visionhelp.com/vh_resources_03_ref.html#ixzz36UhxNha9
- Singer, R. N., Cauraugh, J. H., Chen, D., Steinberg, G. M., Frehlich, S. G., & Wang, L. (1994). Training mental quickness in beginning/intermediate tennis player. *The Sports Psychologist* (8), 305-318.
- Solé, J., Quevedo, L., & Massafred, M. (1999). Visión y deporte: hacia una metodología integradora. Un ejemplo en el baloncesto. *Apunts. Educación Física y Deportes* (55), 85-89.
- Sun, Y., Fisher, R., Wang, F., & Martins Gomez, H. (2008). A computer vision model for visual-object-based attention and eye movements. *Computer Vision and Image Understanding*, 112(2), 126-142. doi:10.1016/j.cviu.2008.01.005
- Tinjust, D., Allard, R., & Faubert, J. (2008). Impact of stereoscopic vision and 3D representation of visual space on multiple object tracking performance [Abstract]. *Journal of Vision*, 8(6), 509. doi:10.1167/8.6.509
- Vivas, X., & Hellín, A. (2007). Intervención optométrica en el hockey sobre patines. *Apunts. Educación Física y Deportes* (88), 54-59.
- Voss, M., Kramer, A. F., Prakash, R. S., Roberts, B., & Basak, C. (2009) Are expert athletes "expert" in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied Cognitive Psychology*, 24(6), 812-26. doi:10.1002/acp.1588
- Wilson, T. A., & Falkel, J. (2004). *Sports Vision: Training for better performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. (1999). *Visual perception and action in sport*. New York: Routledge.
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1992). Perception and Action in Sport. *Journal of Human Movement Studies* (22), 147-204.
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies of experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly for Sport and Exercise*, 65(2), 127-135. doi:10.1080/02701367.1994.10607607
- Williams, A. M., & Grant, A. (1999). Training perceptual skill in sport. *International Journal of Sport Psychology*, 30(2), 194-220.