



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

**Tiempo de reacción motora frente a
estímulos visuales en deportistas**

Presentado por: Ainara Carrera Silva

Tutelado por: Irene Sánchez Pavón y María Luisa Tesón Yudego

Tipo de TFG: ☐ Revisión ☒ Investigación

En Valladolid a, 14 de febrero de 2025

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. MATERIAL Y MÉTODO	6
2.1. Diseño	6
2.2 Medidas experimentales	7
2.2.1. Medida de los tiempos de localización y reacción	8
2.3 Análisis de resultados	9
3. RESULTADOS	10
4. DISCUSIÓN	12
5. CONCLUSIONES	16
6. BIBLIOGRAFÍA	17
ANEXOS	19
Anexo I. Informe favorable del comité ético de investigación clínica.....	19

RESUMEN

Introducción: Los tiempos de reacción determinan la diferencia entre el deportista aficionado y el deportista de alto rendimiento. La optometría ha desarrollado entrenamientos enfocados en la mejora del proceso cognitivo con el fin de obtener una reducción en los tiempos de localización y de reacción. El objetivo de esta investigación es evaluar el tiempo de localización/reacción en deportistas y compararlo con no deportistas con el propósito de conocer las diferencias entre ambas poblaciones.

Material y método: Los pacientes fueron seleccionados teniendo en cuenta que eran deportistas de alto rendimiento y que estaban federados en su disciplina. Se les realizó una revisión optométrica para comprobar los criterios de inclusión/exclusión y se tomaron 4 medidas, de distintas características, con el software VSport. Este software emite estímulos visuales de distinta velocidad, posición y mide el tiempo que la persona tarda en identificar el estímulo correcto, teniendo en cuenta también los posibles fallos cometidos. Se tuvieron en cuenta las variables recogidas en la evaluación optométrica, además de los resultados del VSport. Se recogieron los datos en un archivo Excel para su posterior análisis con SPSS 26, realizando correlaciones y comparaciones.

Resultados: Únicamente los tiempos de localización tanto estáticos sin distractores ($p=0,04$), como con distractores ($p=0,04$) y los tiempos de localización dinámicos sin distractores ($p=0,97$) fueron menores en deportistas de alto rendimiento frente a los no deportistas, de la misma manera que los fallos realizados por los deportistas de alto rendimiento durante la prueba estática sin distractores ($p=0,06$) y la prueba estática con distractores ($p=0,14$) fueron menores que los no deportistas.

Conclusión: Los deportistas de alto rendimiento obtienen menores tiempos de localización, tanto en las pruebas estáticas sin distractores como con distractores, y en las pruebas dinámicas sin distractores, con mayor diferencia de tiempos en las pruebas estáticas. Pero existe un resultado claro y evidente, en general, los pacientes no deportistas obtienen mejores resultados en los tiempos analizados.

Palabras clave: tiempo premotor, tiempo de localización y tiempo de reacción.

ABSTRACT

Purpose: Reaction times determine the difference between amateur athletes and high-performance athletes. Optometry has developed training focused on improving the cognitive process in order to achieve a reduction in localization and reaction times. The objective of this research is to evaluate the localization/reaction time in athletes and compare it with non-athletes in order to understand the differences between both populations.

Material and method: The patients were selected based on the fact that they were high-performance athletes and were federated in their discipline. An optometric examination was conducted to verify the inclusion/exclusion criteria, and 4 measurements of different characteristics were taken using the VSport software. This software emits visual stimuli of varying speed and position and measures the time it takes for the person to identify the correct stimulus, also taking into account any possible errors made. The variables collected during the optometric evaluation were considered, in addition to the results from VSport. The data was recorded in an Excel file for subsequent analysis with SPSS 26, performing correlations and comparisons.

Results: Only the localization times, both static without distractors ($p=0,04$) and with distractors ($p=0,04$), as well as the dynamic localization times without distractors ($p=0,97$), were lower in high-performance athletes compared to non-athletes. Similarly, the errors made by high-performance athletes during the static test without distractors ($p=0,06$) and the static test with distractors ($p=0,14$) were fewer than those of non-athletes.

Conclusions: High-performance athletes achieve shorter localization times, both in static tests without distractors and with distractors, as well as in dynamic tests without distractors, with a greater difference in times observed in the static tests. However, there is a clear and evident result: in general, non-athlete patients obtain better results in the analyzed times.

Key words: premotor time, localization time, and reaction time.

1. INTRODUCCIÓN

El deporte de alto nivel requiere de un minucioso trabajo en todos los ámbitos en los cuales el deportista trabaja para adquirir su mayor rendimiento. Antiguamente, el trabajo solamente estaba enfocado en la mejora de las cualidades físicas (fuerza, resistencia, flexibilidad y velocidad), pero actualmente, nuevas ramas de la ciencia han pasado a formar parte de la preparación del deportista de élite (psicología, neurociencia, optometría, etc.).¹ Actualmente, la importancia que se le ha atribuido al deporte en pleno siglo XXI ha provocado que se busquen nuevas formas de optimizar los tiempos de reacción con el fin de mejorar el rendimiento en las diferentes disciplinas deportivas que existen.¹ El tiempo de reacción es una variable fundamental que permite comprender los sucesivos episodios del procesamiento de la información que nuestro sistema nervioso lleva a cabo ante la aparición de un estímulo. Para comprender esto es importante tener en cuenta que todas las medidas psicofísicas, entre las que se incluye el tiempo de reacción, combinan efectos derivados de diferentes factores y, por tanto, no se debe tener en cuenta que la respuesta que tiene lugar es el resultado directo del sistema sensorial estudiado.^{2,3}

Teniendo en cuenta la hipótesis básica de la teoría de la detección de señales,⁴ podemos asumir que las respuestas psicofísicas están formadas por un componente sensorial y uno del tipo decisional. Esto da lugar a que la psicología experimental disponga de modelos que le permitan separar los distintos componentes implicados en el procesamiento de la información, consiguiendo identificar con mayor precisión el origen de la variabilidad que suele encontrarse en las medidas de los tiempos de reacción.⁵

Nikolai Bernstein⁶ dividió los tiempos de reacción en tiempos premotores y motores, definiendo el concepto de tiempo premotor como el intervalo de tiempo que tiene lugar desde la aparición del estímulo hasta la aparición de un aumento en la actividad muscular, lo que en nuestra disciplina podría llamarse, y asimilarse y medirse como, tiempo de localización del estímulo; mientras que el concepto de tiempo motor fue definido por Botwinick & Thompson⁶ como el período desde el cambio de potencial de acción hasta la ejecución de la acción, es decir, el intervalo que transcurre desde que un estímulo es percibido por el deportista hasta que este responde ejecutando una acción, lo que en nuestra

disciplina podría llamarse tiempo de reacción. En este estudio se asimila el tiempo premotor al tiempo de localización, como el tiempo que transcurre desde que el estímulo aparece hasta que el ojo lo detecta; mientras que, el tiempo que transcurre desde que el sistema nervioso central envía la orden y comienza la acción muscular que implica el movimiento, corresponde con el tiempo de reacción. Numerosos estudios investigan sobre los diferentes factores (factores físicos y psicológicos, naturaleza del deporte, edad, nivel de entrenamiento, genética, presencia o no de oxígeno, factores optométricos, concentración y condición física) que pueden provocar un aumento o disminución del tiempo premotor; y también, que el entrenamiento es determinante para mejorar los tiempos de reacción, es decir, para disminuirlos.^{1,6,7,8,9} Desde el punto de vista optométrico, también existen factores que pueden afectar a los tiempos de reacción, aspectos visuales como el brillo, el contraste, la frecuencia espacial, el movimiento o la orientación.⁸

Los tiempos de localización y reacción son determinantes en cualquier deporte, ya que establecen la rapidez con la que un deportista puede responder a estímulos específicos, como señales visuales, auditivas o táctiles, diferenciando a un deportista de alto rendimiento con un deportista aficionado. Este tiempo de respuesta puede variar significativamente dependiendo de varios factores físicos como la naturaleza del deporte, la edad, el nivel de entrenamiento o la genética, y psicológicos como el estado anímico, el descanso, la fatiga o la motivación.^{7,8} Por ese motivo en este trabajo se propone medir los tiempos de localización y de reacción frente a estímulos visuales en sujetos sanos, deportistas y no deportistas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Diseño

El estudio llevado a cabo es un estudio prospectivo observacional, para el que se reclutarán voluntarios mayores de edad, deportistas y no deportistas entre la población universitaria. Serán excluidos del estudio aquellos voluntarios con alguna sintomatología visual o patología ocular, ambliopía, estrabismo mayor a 10 dioptrías prismáticas, discapacidad mental o daño cognitivo y/o voluntarios que no quieran participar en el estudio. En primer lugar, se realizó una

exploración optométrica (detallada en el siguiente apartado) y medidas de tiempos de reacción con el software VSport.

Todos los voluntarios que participaron en el estudio fueron correctamente informados del proceso, se les explicó verbal y debidamente, resolviendo todas sus dudas, en qué consistía dicho estudio a través de una hoja informativa y un consentimiento informado. En dicha hoja, se les informaba de la voluntariedad del estudio, del carácter no invasivo del mismo y del tipo de pruebas que se les iba a realizar. Así mismo, el Comité Ético de investigación que atiende a la Universidad de Valladolid aprobó el protocolo del estudio.

2.2 Medidas experimentales

En la exploración optométrica que se llevó a cabo se realizaron las siguientes pruebas, a mayores de tener en cuenta la edad y sexo y el estado refractivo de los voluntarios:

- Agudeza visual: Fue tomada de manera monocular en visión lejana y en visión próxima.¹⁰
- Refracción objetiva mediante retinoscopia sin ciclopejia: Se realizó una estimación de la esfera, el cilindro y su orientación con retinoscopio BETA 200 de Heine.¹⁰
- Amplitud de acomodación: Se tomo la medida de la amplitud de acomodación con el método de acercamiento.¹⁰
- MEM: Se determinó de manera objetiva el retraso acomodativo de manera monocular.¹⁰
- Flexibilidad acomodativa: Se determinó la habilidad del sistema acomodativo de manera binocular mediante flippers de +2,00D.¹⁰
- Cover test: Se realizó tanto en visión próxima como en visión lejana para descartar que el voluntario tuviera tropias superiores a 10 dioptrías prismáticas.¹⁰
- Maddox: Se utilizó este método para la medida de la foria (o tropia si la tuviera) tanto en horizontal como en vertical, así como en visión próxima y en visión lejana.^{10,11}
- Motilidad ocular extrínseca: Se exploraron las versiones desde la

posición primaria de la mirada en las nueve posiciones diagnósticas.

- Motilidad ocular intrínseca: Se evaluaron los reflejos pupilares tanto directos como consensuados de ambos ojos.¹⁰
- Punto próximo de convergencia: se registró el punto de rotura y de recobro.¹⁰
- Medida de la estereo agudeza: Para explorar la estereoagudeza de los pacientes en este estudio se utilizó el test de puntos aleatorios Random dot 1s.^{10,11}

Además, realizó un breve cuestionario a los voluntarios para conocer su actividad deportiva y laboral con relación a la carga visual que conlleve y la intensidad del ejercicio.

2.2.1 Medida de los tiempos de localización y reacción

Para la evaluación de los tiempos de reacción se utilizó la gafa de realidad virtual VIVE pro eye que incluye eyetracker con el fin de poder hacer un seguimiento de los movimientos de los ojos para determinar el tiempo en el que se localiza el estímulo correcto en cada prueba.



Figura 1: Gafa de realidad virtual VIVE pro eye. Imagen extraída de la página web de Visionary.

El software utilizado para manejar esta gafa de realidad virtual fue VSport (VisionaryTool, S.L.). indicado para la mejora de las habilidades visuales, pero en este caso se ha utilizado para evaluar los tiempos de respuesta frente a diferentes estímulos visuales. Se realizarán cuatro pruebas:

- Tiempo de localización y reacción sin distractores y estímulos visuales estáticos.
- Tiempo de localización y reacción con 4 distractores y estímulos visuales estáticos.
- Tiempo de localización y reacción sin distractores y estímulos visuales dinámicos.
- Tiempos de localización y reacción con 4 distractores y estímulos visuales dinámicos.

La duración de cada prueba era de un minuto. Se realizaba un primer minuto de prueba para familiarizarse con el entorno VR. La duración de las pruebas se estima en 10 minutos con los tiempos de carga de cada prueba.

2.3 Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tendrán en cuenta todos los resultados de tiempo obtenidos con el software VSport a través de la gafa de realidad virtual: tiempo total, tiempos de reacción, el tiempo de localización, el número de fallos del test y el número de intentos realizados que proporciona el software mencionado, también se tendrá en cuenta el deporte practicado y el número de horas dedicado al entrenamiento de dicho deporte. El análisis estadístico se realizó con SPSS 26.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) para Windows. Se verificó una distribución paramétrica con la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0.05$ indica que los datos presentan una distribución no paramétrica). Se presentan la media junto con su desviación estándar y rango para cada parámetro analizado. La comparación entre el grupo de deportistas y el grupo de las personas que no practican deporte de forma habitual se realizó con la prueba U de Mann-Whitney, considerando $p < 0.05$ la significancia estadística.

3. RESULTADOS

Se recogieron datos de 45 sujetos de los cuales, 18 de ellos deportistas de alto rendimiento, y 27 no lo practicaban. Los resultados muestran (tabla 1) que no existen diferencias estadísticamente significativas en las variables clínicas entre ambos grupos, como son la AV, la refracción la estereopsis, la flexibilidad acomodativa o la amplitud acomodación ($p>0,16$). Sin embargo, si se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre el retraso acomodativo de los deportistas y los no deportistas ($p<0.01$), teniendo estos un promedio de retraso acomodativo más próximo a la media como muestra la tabla 1.

Parámetro medido	Deportistas (n 18)	No deportistas (n 27)	P
AV OD	0,96±0,27 (0,30 – 1,40)	1,01 ± 0,14 (0,70 – 1,25)	0,82
AV OI	0,96±0,32 (0,20 – 1,60)	1,00 ± 0,14 (0,50 – 1,25)	0,80
AV vp OD	0,99±0,05 (0,8 – 1,0)	0,99 ± 0,04 (0,8 – 1,0)	0,77
AV vp OI	0,99±0,05 (0,8 – 1,0)	0,99 ± 0,05 (0,8 – 1,0)	0,81
Estereopsis	84,44 ± 53,85 (63 - 250)	70,19 ± 36,67 (63 - 250)	0,16
AA OD	10,44 ± 2,41 (7 - 15)	9,43 ± 2,96 (5 - 15)	0,40
AA OI	10,61 ± 2,36 (7,00 – 15,00)	9,83 ± 3,30 (6 - 18)	0,62
MEM OD	0,54 ± 0,65 (-1,00 – 2,00)	1,38 ± 0,85 (0 - 4)	<0,01
MEM OI	0,60 ± 0,56 (-1,00 – 2,00)	1,36 ± 0,79 (1 - 4)	<0,01
F Ac	11 ± 4,07 (5 -18)	10,96 ± 4,20 (1 - 21)	0,76

Tabla 1. Resultados de las variables recogidas en la evaluación optométrica inicial.

En cuanto a los resultados de los parámetros medidos con la gafa de realidad virtual, se tuvieron en cuenta las medidas obtenidas de las siguientes pruebas; se midió el tiempo total, el tiempo de reacción, el tiempo de localización, los fallos del test y el número de intentos realizados. De cada uno de ellos los resultados obtenidos fueron estáticos y dinámicos y a su vez con distractores y sin distractores y se muestran en la tabla 2. Se han encontrado tiempos menores en los no deportistas en el tiempo total de cada intento y en los tiempos de reacción

con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$). Sin embargo, los deportistas tienen tiempos de localización menores que los no deportistas en el test estático con y sin distractores ($p = 0,04$). Sin diferencias estadísticamente significativas en el número de fallos y el número de intentos realizados en el minuto que dura el test ($p > 0,06$).

Parámetro medido	Deportistas (n 18)	No deportistas (n 27)	P
T. total estático sin distractores	997,28 ± 186,30 (535 - 1315)	837,89 ± 100,12 (649 - 1065)	<0,01
T. reacción estático sin distractores	693,89 ± 150,46 (425 - 979)	494,30 ± 73,67 (338 - 635)	<0,01
T. localización estático sin distractores	303,39 ± 70,77 (110 - 422)	343,59 ± 62,77 190 - 464	0,04
Fallos test estático sin distractores	1,06 ± 1,47 (0 - 5)	1,70 ± 1,44 (0 - 5)	0,06
Nº de intentos test estático sin distractores	30,22 ± 1,44 (27 - 34)	29,48 ± 1,50 (26 - 33)	0,06
T. total estático con distractores	1838,61 ± 426,87 (1011 - 2449)	1388,37 ± 112,61 (1135 - 1565)	<0,01
T. reacción estático con distractores	1101,33 ± 351,45 565 - 1596	597,07 ± 99,62 (357 - 809)	<0,01
T. localización estático con distractores	737,28 ± 159,34 (200 - 915)	791,30 ± 114,62 (630 - 1034)	0,04
Fallos test estático con distractores	2,83 ± 2,33 (0 - 7)	4,04 ± 2,70 (0 - 11)	0,14
Nº de intentos test estático con distractores	24,06 ± 1,47 (22 - 28)	23,56 ± 1,01 (22 - 26)	0,34
T. total dinámico sin distractores	1099,67 ± 237,89 (557 - 1505)	900,89 ± 111,94 (674 - 1074)	<0,01
T. reacción dinámico sin distractores	746,94 ± 169,39 491 - 1003	537,67 ± 86,70 (354 - 669)	<0,01
T. localización dinámico sin distractores	352,72 ± 101,12 (41 - 502)	363,22 ± 58,24 (215 - 479)	0,97
Fallos test dinámico sin distractores	1,06 ± 1,26 (0 - 4)	0,89 ± 1,19 (0 - 5)	0,68
Nº de intentos test dinámico sin distractores	29,50 ± 1,65 (27 - 34)	28,59 ± 1,59 (26 - 32)	0,08
T. total dinámico con distractores	1935,11 ± 397,69 (986 - 2413)	1389,67 ± 181,61 (990 - 1929)	<0,01
T. reacción dinámico con distractores	1116,89 ± 377,61 (465 - 1488)	588,11 ± 124,08 (326 - 902)	<0,01
T. localización dinámico con distractores	818,22 ± 203,90 (144 - 1106)	801,56 ± 112,42 (620 - 1032)	0,25
Fallos test dinámico con distractores	3,67 ± 1,61 (0 - 6)	3,29 ± 2,64 (0 - 10)	0,26
Nº de intentos test dinámico con distractores	23,56 ± 1,50 (21 - 28)	23,63 ± 1,36 (21 - 27)	0,66

Tabla 2. Resultados de los tiempos (T) de reacción recogidos con el VSport.

4. DISCUSIÓN

La optometría deportiva es una de las nuevas disciplinas que se incluye en la preparación de los deportistas de alto rendimiento, con el fin de disminuir los tiempos de localización y por lo tanto los tiempos de reacción y en consecuencia obtener mejores resultados.

En cuanto a los resultados de este trabajo, estos no han sido los que se esperaba, ya que lo esperado eran valores menores en todos o la mayor parte de los tiempos medidos en deportistas, en comparación con los no deportistas. Los resultados obtenidos muestran que los tiempos de localización y reacción han sido similares, incluso que los no deportistas tienen mejores tiempos como ha pasado en los tiempos de reacción estáticos sin distractores ($p < 0,01$), tiempos de reacción estático con distractores ($p < 0,01$), tiempos de reacción dinámicos sin distractores ($p < 0,01$), tiempos de reacción dinámico con distractores ($p < 0,01$) y tiempos de localización dinámicos con distractores ($p = 0,25$), y en los que son superiores los deportistas, la diferencia no es determinante para poder marcar la distinción entre unos y otros ya que no hay disparidades estadísticamente, ni clínicamente significativas.

Los deportistas presentan tiempos de localización notablemente inferiores en las pruebas estáticas ($p = 0,04$) y un menor número de errores cometidos en las pruebas estáticas ($p < 0,14$). Pero en general el grupo que no practica deporte de alto rendimiento se observan mejores tiempos totales ($p < 0,01$) y tiempos de reacción ($p < 0,01$) con una diferencia notablemente más alta que la diferencia en los tiempos de localización, por lo que, de forma global, hay que concluir que nuestra hipótesis no se confirma. Los deportistas no necesariamente tienen tiempos de reacción mayores que los no deportistas. Aunque son necesarios más estudios para poder corroborar estos datos dado que el tamaño muestral de este estudio es bajo.

Es necesario destacar, que los deportistas incluidos practican deporte de forma general y están federados en ese deporte, pero no se les puede considerar deportistas de élite en su gran mayoría, ya que no se dedican al deporte en exclusivo.

Se ha revisado la bibliografía existente para analizar algunos factores que

influyen en los tiempos de localización y reacción con el objetivo de buscar respuesta a las diferencias encontradas. Existen estudios que valoran los cambios que tienen lugar en los tiempos motores y premotores con presencia o no de oxígeno.^{6,7} Un estudio aportó información relevante sobre la influencia del oxígeno en el rendimiento premotor y motor durante el ejercicio, siendo útil para los profesionales del deporte y la salud.⁷ Los hallazgos respaldan la importancia de considerar la disponibilidad del oxígeno al evaluar el rendimiento cognitivo y motor en entornos de ejercicio. Se llegó a la conclusión de que una elevada carga de trabajo en condiciones de normoxia (niveles normales de oxígeno) provoca un aumento del tiempo premotor, mientras que en condiciones de hiperoxia (niveles elevados de oxígeno), no se observaron cambios en dichos tiempos.^{6,7} Por otro lado, se estudió el efecto del oxígeno cuando la carga de trabajo era baja, observándose cambios en condiciones de hiperoxia, ya que en estas situaciones el tiempo premotor (localización) disminuía.⁷ En nuestro caso, todos los pacientes estaban en condiciones normales o de hiperoxia ya que no se realizaba ningún tipo de ejercicio físico antes o durante la prueba, por lo que puede que si existiera cierta hiperoxia y eso justifique unos tiempos de localización ligeramente mejores en el caso de los deportistas.

Otro factor que puede afectar a los tiempos de localización y de reacción es el ruido que afecta directamente al sistema nervioso, contribuyendo a la variabilidad del movimiento, y que esta variabilidad durante la preparación o cálculo del movimiento puede ser reducida con la práctica, teniendo efectos beneficiosos.⁹

Las fuentes de ruido se diferencian entre periféricas y centrales, refiriéndose como ruido central al ruido de planificación, es decir, a los procesos estocásticos que ocurren durante la preparación del movimiento. El ruido periférico, que surge de las fluctuaciones neuromusculares en la ejecución del movimiento, también se conoce como ruido de ejecución motora. Se sugiere que el ruido que afecta a la ejecución del movimiento se relaciona con la velocidad de este y que los movimientos más rápidos tienen más ruido de ejecución y por consiguiente más variabilidad. Es decir, si analizáramos el ruido que afecta a los movimientos de nuestro estudio, los movimientos más rápidos tienen más ruido de ejecución, y por lo tanto, mayor variabilidad que los movimientos que tardan más en ejecutarse; esta relación es conocida como la ley de Fitts, es la compensación

entre velocidad y variabilidad de los movimientos, basándose entre velocidad y precisión. Además, es importante mencionar que el ruido en el sistema nervioso impide que un movimiento se repita exactamente.⁹

Continuando con el estudio, en la mitad de los ensayos, se presentó un estímulo auditivo al inicio del objetivo visual con el fin de reducir el tiempo de reacción.⁹ Esta combinación de estímulos (auditivo y visual), se llevó a cabo ya que en un estudio realizado por Diederich et al.¹² se demostró que los tiempos de reacción obtenidos en combinaciones de estímulos trimodales (auditivos, visuales y táctiles) fueron inferiores a los tiempos de reacción obtenidos en combinaciones bimodales e inferiores a tiempos de reacción en estímulos unimodales. Los autores discutieron los posibles mecanismos neuronales subyacentes a estos efectos, haciendo referencia a estudios que han identificado neuronas multisensoriales en el colículo superior de gatos y monos, las cuales responden de manera más rápida a combinaciones de estímulos.¹³

Finalmente, los resultados obtenidos mostraron que la variabilidad inicial del movimiento de un ensayo a otro, al principio del movimiento, fue mayor para los movimientos con tiempos de reacción más cortos en comparación con aquellos tiempos de reacción más largos. La variabilidad de un ensayo a otro a lo largo del movimiento disminuyó suavemente. Estos resultados sugieren que el tiempo de preparación del movimiento moldea la variabilidad inicial del movimiento.⁹

El estudio de Sutter et al.⁹ podría ser el motivo que justifique que los deportistas tengan tiempos de localización inferiores y tiempos de reacción mayores, para tratar de obtener movimientos más precisos, pero en las medidas realizadas la precisión no era crítica.

Por último, en el estudio de Broggin et al.⁸ se analizaron las condiciones optométricas y como afectaban a los tiempos de reacción presentados visualmente con respecto a los generados mentalmente. Entre los resultados obtenidos en los estímulos presentados visualmente y los estímulos generados mentalmente, las diferencias apenas existían; pero sí que se observaba una disminución, tanto en los estímulos presentados visualmente como los generados mentalmente, del tiempo de reacción al aumentar la luminancia, el contraste y el movimiento visual.

Estas condiciones optométricas son factores cruciales y que resultan de interés para lograr mejoras y una disminución en los tiempos de reacción para cualquier tipo de estímulo independientemente de su origen, pero en especial resultan importantes para los presentados visualmente, los cuales son objeto de este trabajo.

En resumen, el estudio ofrece una nueva perspectiva sobre cómo el tiempo de preparación del movimiento afecta a la variabilidad inicial del movimiento, lo que sugiere que la precisión del movimiento inicial mejora con un mayor tiempo de preparación, teniendo en cuenta que solo puede mejorar hasta cierto punto.⁹ Este hallazgo tiene implicaciones importantes para comprender la relación entre el tiempo de preparación del movimiento y la variabilidad del mismo.⁹ El estudio de Sutter et al.⁹ resulta interesante para poder comprender y justificar los resultados obtenidos en los tiempos de reacción de deportistas. Un tiempo de preparación mayor mejora la precisión del movimiento, pero aumenta el tiempo de reacción total.⁹ Esto provoca que los deportistas siendo conscientes de esta habilidad obtengan movimientos más precisos pero tiempos mayores. Esto resulta una habilidad característica, pero los movimientos analizados en el estudio no requieren de precisión por lo que no resulta beneficioso.

Teniendo en cuenta que los factores mencionados previamente pueden provocar un aumento o disminución de los tiempos de reacción, la comprensión y dominancia de los factores que modifican los tiempos de reacción son claves para el diseño de programas de ejercicios y la optimización del rendimiento atlético.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio, se llega a la conclusión de que el hecho de practicar deporte de manera profesional no está relacionado con tiempos de reacción menores (tiempos de reacción estáticos sin distractores, tiempos de reacción estáticos con distractores, tiempos de reacción dinámicos sin distractores y tiempos de reacción dinámico con distractores), únicamente se relaciona con tiempos de localización menores (tiempos de localización estáticos sin distractores, tiempos de localización estáticos con distractores y tiempos de localización dinámicos sin distractores) y un menor número de fallos en las pruebas estáticas (número de fallos en el test estático sin distractores y número de fallos en el test estático con distractores).

BIBLIOGRAFÍA

1. Gordon NF, Moolman J, Van Rensburg JP, Russell HM, Krüger PE, Grobler HC, Cilliers JF. The South African Defence Force physical training programme. Part II. Effect of 1 year's military training on muscular strength, power, power-endurance, speed and flexibility. *S Afr Med J*. 1986 Apr 12;69(8):483-90. PMID: 3961644.
2. Bonnet, C. (1996). Sensory/Decisional problem: An expansion of Link theory. En S.Masin (Ed.). *Fechner Day 96* (pp. 137-142). Padoue: International society of Psychophysics.
3. Bonnet, C. y Dresch, B. (2001). Investigations of sensory magnitude and perceptual processing with reaction times. *Psychologica*, 28, 63-86.
4. Green, D.M. y Swets, J.A. (1966). Signal detection theory and psychophysics. New York: Wiley.
5. Maiche Marini, A., Fauquet, J., Estaún Ferrer, S., & Bonnet, C. Tiempo de reacción: del cronoscopio a la teoría de ondas. *Psicothema*, 2004. Vol. 16 (nº1): 149-155.
6. Botwinick, J., & Thompson, L. W. (1966). Premotor and motor components of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 71(1), 9–15.
7. Ando S, Yamada Y, Tanaka T, Oda S, Kokubu M. Reaction time to peripheral visual stimuli during exercise under normoxia and hyperoxia. *Eur J Appl Physiol*. 2009 May;106(1):61-9.
8. Broggin E, Savazzi S, Marzi CA. Similar effects of visual perception and imagery on simple reaction time. *Q J Exp Psychol (Hove)*. 2012;65(1):151-64.
9. Sutter K, Oostwoud Wijdenes L, van Beers RJ, Medendorp WP. Movement preparation time determines movement variability. *J Neurophysiol*. 2021 Jun 1;125(6):2375-2383.
10. Martín R. & Vecilla G. Manual de Optometría; Madrid: Panamericana; 2011.
11. Tittes J, Baldwin AS, Hess RF, Cirina L, Wenner Y, Kuhli-Hattenbach C, Ackermann H, Kohnen T, Fronius M. Assessment of stereovision with digital testing in adults and children with normal and impaired binocularity. *Vision Research*. 2019;164:69–82.

12. Diederich A, Colonius H. Bimodal and trimodal multisensory enhancement: effects of stimulus onset and intensity on reaction time. *Percept Psychophys* 66: 1388–1404, 2004.
13. Morrell L. Intersensory facilitation of reaction time. *Psychon Sci* 8: 77–78, 1967.