

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



TESIS DOCTORAL

**Evaluación de las habilidades visuales aplicadas al esgrima y
su mejora mediante entrenamiento con sistemas luminosos
con control informático**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Rafael Barañano Alcaide

DIRIGIDA POR

Ricardo Bernárdez Vilaboa
Manuel Sillero Quintana

Madrid

Universidad Complutense de Madrid

FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



Tesis doctoral

**EVALUACIÓN DE LAS HABILIDADES VISUALES APLICADAS AL
ESGRIMA Y SU MEJORA MEDIANTE ENTRENAMIENTO CON
SISTEMAS LUMINOSOS CON CONTROL INFORMÁTICO**

Memoria para optar al grado de Doctor

presentada por

Rafael Barañano Alcaide

Directores

Ricardo Bernárdez Vilaboa

Manuel Sillero Quintana

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DE LAS HABILIDADES VISUALES APLICADAS AL
ESGRIMA Y SU MEJORA MEDIANTE ENTRENAMIENTO CON SISTEMAS
LUMINOSOS CON CONTROL INFORMÁTICO**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Rafael Barañano Alcaide

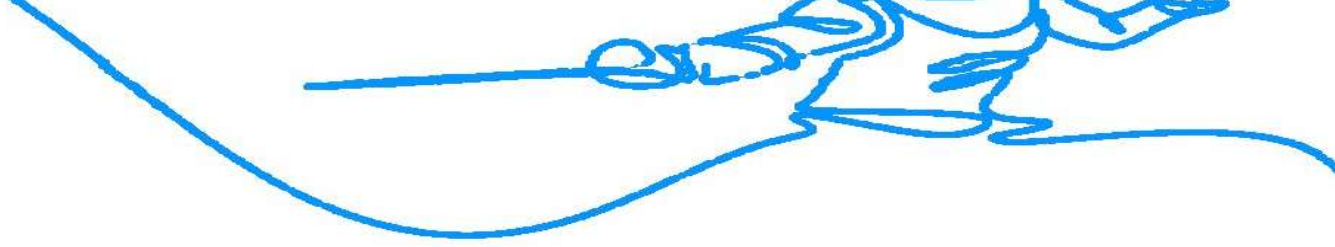
Directores

Ricardo Bernárdez Vilaboa

Manuel Sillero Quintana

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ÓPTICA, OPTOMETRÍA Y VISIÓN

AGRADECIMIENTOS



AGRADECIMIENTOS

No ha sido un camino fácil llevar a cabo una investigación y redactar una tesis doctoral, especialmente al compaginar esta tarea con mi trabajo en una clínica oftalmológica, mi participación en campeonatos de esgrima y mi vida personal. Por ello, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han acompañado y apoyado durante este proceso.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis tutores de tesis, Ricardo Bernárdez Vilaboa y Manuel Sillero Quintana, por su dedicación, compromiso y, sobre todo, por su infinita paciencia. Hemos trabajado en horarios intempestivos, a veces durante comidas y otras casi al borde del sueño, pero siempre encontraron el tiempo para guiarme y facilitarme este camino. Sin sus valiosos consejos, sugerencias y, en ocasiones, su necesaria firmeza, esta tesis no habría sido posible.

También quiero expresar mi gratitud a la educación pública, que ha sido la base de mi formación. Estudiar en un colegio y un instituto públicos, rodeado de excelentes profesores, me impulsó a continuar mis estudios en una universidad pública como la Universidad Complutense de Madrid. La educación pública ha sido un pilar fundamental en mi desarrollo académico y personal, y merece mi más profundo reconocimiento.

Desde que terminé la diplomatura, supe que mi camino formativo no había concluido. He continuado desarrollándome tanto a nivel profesional como académico. Mi trayectoria ha incluido el paso de ópticas comerciales a la clínica oftalmológica, así como la participación en investigaciones en optometría, con especial interés en el ámbito de la optometría deportiva. Académicamente, he cursado el posgrado en Óptica, Optometría y Visión, así como el curso propio de Evaluación de Capacidades Visuales en Deportistas con Discapacidad y Convencionales, ambos en la Universidad Complutense de Madrid. Este recorrido culmina ahora con la realización de esta tesis doctoral, que representa un hito en mi carrera.

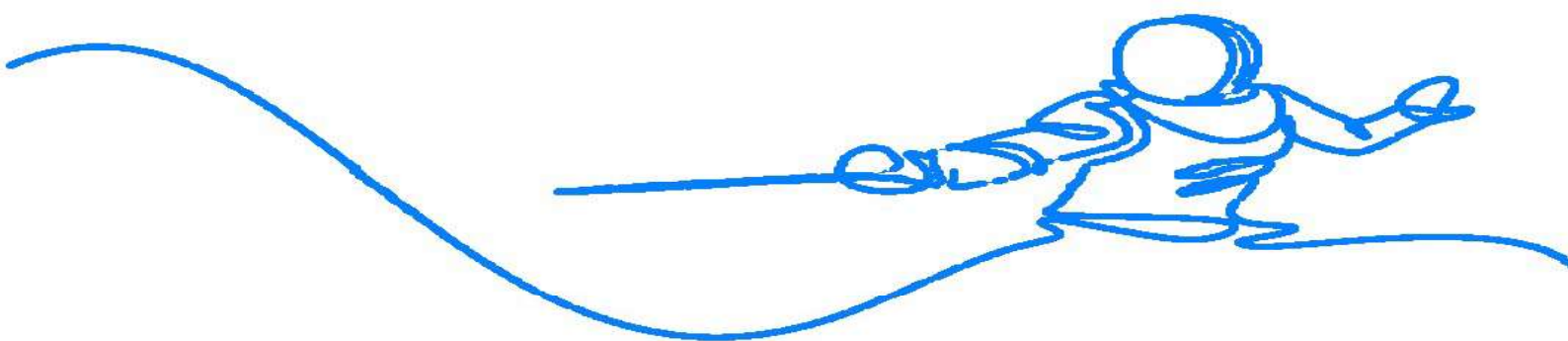
Quiero dedicar un agradecimiento especial a la Sala de Esgrima Almedina de Córdoba, que me brindó el apoyo necesario al poner a mi disposición a sus tiradores, sus instalaciones y su colaboración en el diseño de los ejercicios incluidos en esta investigación.

En particular, agradezco al maestro de florete Emilio Quintela, al maestro de espada Roberto Moreno y al maestro de sable Eros Calcara por su constante apoyo y disposición. Y por supuesto quiero agradecer la ayuda de mis compañer@s de armas de la sala por su paciencia y prestarse a mis torturas.

Por último, pero no por ello menos importante, quiero rendir homenaje al pilar fundamental de mi vida: mi esposa Macarena y mi hija Jimena. Ellas han sido mi mayor fortaleza y el apoyo más sólido durante este largo viaje. Con infinita paciencia, han soportado las exigencias de este proceso y, con su amor y aliento, me han impulsado a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Y por supuesto a mis padres, sin su esfuerzo no habría sido posible realizar todo lo que se ha pasado por mi imaginación.

A todes, mi más sincero agradecimiento por su ayuda, su apoyo y por haber estado a mi lado en este camino.

ÍNDICE



INDICE

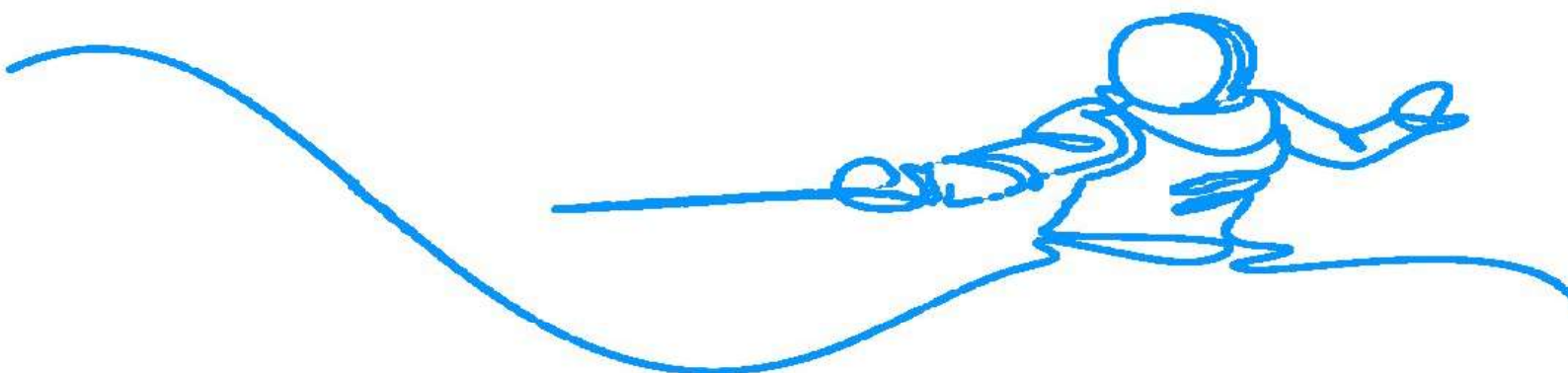
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE	8
RESUMEN	14
SUMMARY	22
GLOSARIO	30
1. INTRODUCCIÓN	34
1.1 La Esgrima.....	36
1.1.1 La Esgrima Como Disciplina Olímpica.....	37
1.1.2 Reglas Del Esgrima.....	38
1.1.3 Equipación de esgrima.....	40
1.1.4 Esfuerzo físico en la práctica de la esgrima.....	41
1.2 Optometría deportiva.....	47
1.2.1 Historia de la optometría deportiva.....	49
1.2.2 Evidencia científica de la optometría deportiva.....	51
1.3 Habilidades visuales en el deporte.....	59
1.3.1 Tiempos de reacción visual en el deporte.....	62
1.4 Tiempos de reacción requeridas en la esgrima.....	63
1.4.1 Tiempo de reacción simple. (TRS).....	64
1.4.2 Tiempo de reacción electivo “Go/no go”.....	68
1.5 Dispositivos de ayuda al entrenamiento visual.....	71
1.5.1 Gafas Estroboscópicas.....	71
1.5.2 Sistemas de Realidad Virtual. (RV).....	74
1.5.3 Videojuegos.....	76
1.5.4 Dispositivos con luces montados en tableros.....	79
1.5.5 Dispositivos de entrenamiento con luces integradas.....	81

1.5.6 Dispositivos específicos para la esgrima.....	83
1.6 Aplicación de los sistemas de luces de reacción en el deporte.....	86
1.6.1 entrenamiento deportivo con luces de tiempo de reacción.....	88
1.6.3 Otros usos de luces de tiempo en el deporte.....	92
1.6.4 Uso de luces de tiempo de reacción en la esgrima.....	93
2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	96
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	102
3.1 Hipótesis principales del estudio.....	104
3.2 Objetivos del estudio.....	104
3.2.1 Objetivos principales.....	104
3.2.2 Objetivos secundarios.....	104
4. MATERIALES Y MÉTODOS	106
4.1 Muestra.....	108
4.2. Materiales.....	111
4.4 Metodología.....	112
4.4.1 Ejercicio 1: Tiempo de Reacción Simple. (TRS).....	114
4.4.2 Ejercicio 2: Tiempo de Reacción Electivo. (TRE).....	116
4.4.3 Ejercicio 3: Tiempo de Reacción Electivo Ir/No Ir. (G/NG).....	117
4.4.4 Ejercicio 4: Tiempo de toma de decisiones. (TD).....	118
4.5 Metodología del Segundo estudio: Evaluación en tres fases del entrenamiento.....	120
4.6 Análisis estadístico.....	121
4.7 Limitaciones del estudio.....	123
4.8 Investigaciones futuras.....	124
4.9 Aplicaciones prácticas.....	125
5. RESULTADOS	127
5.1 Resultados Generales.....	129
5.2 Resultados por Sexo.....	130
5.3 Resultados por Arma.....	131

5.4 Resultados por Nivel de Esgrimista.....	132
5.5 Resultados por grupo de edad.....	135
5.6 Aplicación de los Valores de Referencia.....	138
5.7 Efecto del entrenamiento en los tiempos de reacción.....	139
5.7.1 Pulsaciones por Minuto. (ppm).....	140
5.7.2 Saturación de Oxígeno. (SO ₂).....	140
5.7.3 Análisis de resultados generales del segundo estudio.....	141
5.7.4 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de tiempo de reacción simple. (TRS1).....	142
5.7.5 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de tiempo de reacción electivo. (TRE2).....	143
5.7.6 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de tiempo de reacción electivo ir/no ir. (G/NG3)	144
5.7.7 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones. (TD4).....	145
5.7.8 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones tocado de fondo. (TDF4)	146
5.7.9 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones tocado de marcha. (TDM4).....	147
5.7.10 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones tocado tras romper. (TDR4).....	148
5.8 Resultados por victoria.....	149
5.9 Comparabilidad de los resultados.....	149
6. DISCUSIÓN	152
6.1 Discusión de los resultados estudio 1.....	155
6.1.1 Discusión de los resultados generales.....	155
6.1.2 Discusión de los resultados por sexo.....	159
6.1.3 Discusión de los resultados por arma.....	161
6.1.4 Discusión de los resultados por nivel del esgrimista.....	162
6.1.5 Discusión de los resultados por grupo de edad.....	166

6.2 Discusión de los resultados estudio 2.....	168
6.2.1 Discusión de las pulsaciones por Minuto.....	168
6.2.2 Discusión de la saturación de Oxígeno. (SO ₂).....	169
6.2.3 Discusión de los resultados generales del estudio 2.....	171
6.2.4 Discusión de los resultados ejercicio TRS1 tras el entrenamiento.....	173
6.2.5 Discusión de los resultados ejercicio TRE2 tras el entrenamiento.....	175
6.2.6 Resultados ejercicio G/NG3 tras el entrenamiento.....	175
6.2.7 Resultados de los tres ejercicios TD4 tras el entrenamiento.....	177
6.2.8 Discusión de los resultados por victoria.....	178
7. CONCLUSIONES	180
8. BIBLIOGRAFÍA	186
9. LISTADO DE FIGURAS	216
10. LISTADO DE TABLAS	220
11. PUBLICACIONES Y COMUNICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS	224

RESUMEN



RESUMEN

Título de la Tesis

Evaluación de las habilidades visuales aplicados en la esgrima y su mejora mediante entrenamiento mediante sistemas luminosos con control informático.

Introducción

La visión es el sentido predominante en el deporte, ya que alrededor del 85% de la información sensorial que recibimos es visual. Esta información es fundamental para las respuestas rápidas a estímulos visuales, que en deportes como la esgrima requieren de tiempos de reacción especializadas para optimizar el rendimiento. La visión deportiva se enfoca en mejorar la función visual mediante el entrenamiento específico de habilidades clave como la agudeza visual, la percepción de profundidad, la coordinación ojo-mano-pie, y el procesamiento visual avanzado, que abarca la atención, la anticipación y la toma de decisiones.

Investigaciones recientes han demostrado que el entrenamiento visual específico mejora habilidades clave como la percepción de profundidad, la sensibilidad al contraste y el rendimiento deportivo en deportes de combate y de desarrollo deportivo rápido. Además, herramientas como gafas estroboscópicas y módulos de entrenamiento digital se están utilizando para perfeccionar las habilidades perceptivas-cognitivas.

El entrenamiento físico también influye en la mejora del procesamiento visual. Los estudios indican que los atletas que han entrenado físicamente presentan mejoras en la velocidad de respuesta visual y en la eficiencia durante su rendimiento deportivo. Esto subraya la importancia de incorporar programas de visión deportiva en el entrenamiento competitivo, ya que los tiempos de reacción avanzados son esenciales para un rendimiento superior.

En el caso específico de la esgrima, un deporte individual que requiere esfuerzo físico intenso y habilidades técnicas complejas, la visión juega un papel clave. Durante un asalto, el esfuerzo es mayoritariamente aeróbico, con momentos anaeróbicos breves, lo que implica un consumo de oxígeno entre el 84% y el 90% de la capacidad máxima.

La respiración es intermitente, con contenciones frecuentes que aumentan la frecuencia cardíaca y el volumen respiratorio. La esgrima exige capacidades visuales y perceptivas avanzadas, debido a la rapidez de los movimientos y las decisiones que deben tomarse en fracciones de segundo. La agudeza visual estática es fundamental, pero es el procesamiento visual dinámico y la percepción espacial lo que permite seguir los movimientos del oponente, como la posición, velocidad y dirección de sus ataques.

La atención y la percepción son factores psicológicos cruciales en la esgrima. La atención dirige la percepción, y ambas habilidades trabajan conjuntamente para reaccionar rápidamente ante estímulos y anticipar los movimientos del oponente. Estas habilidades son determinantes para alcanzar un alto nivel de rendimiento en esgrima, donde la capacidad mental, incluyendo la atención, inteligencia, anticipación y reacción, juega un papel fundamental.

En la actualidad, diversas tecnologías están siendo utilizadas para entrenar tiempos de reacción en atletas, y se hace necesario investigar protocolos de medición y mejora con estos dispositivos. Los sistemas luminosos con control informático son un ejemplo de tecnología innovadora en este campo. Es un sistema de entrenamiento diseñado para mejorar la velocidad de reacción, compuesto por marcadores LED controlados por una tableta electrónica. Los atletas deben activar o desactivar los marcadores según los requerimientos del programa de entrenamiento. Es portátil, fácil de configurar y recopila datos de rendimiento visual, cognitivo y dinámico.

Una revisión sistemática de la literatura científica sobre la aplicación de estos sistemas en el deporte revela su efectividad tanto para medir como

para entrenar habilidades como el tiempo de reacción, la velocidad de movimiento, la agilidad y otras capacidades sensoriales, cognitivas y motoras.

A pesar de ser un sistema relativamente nuevo, han demostrado ser una herramienta prometedora, especialmente para mejorar la velocidad de reacción. Sin embargo, se requiere más investigación para evaluar su efectividad en diversas disciplinas deportivas.

Para demostrar la efectividad de estos sistemas en el entrenamiento de la esgrima, esta tesis se organiza en dos estudios que buscan evaluar experimentalmente los tiempos de reacción claves en la esgrima y explorar su mejora mediante el uso de tecnologías innovadoras, como los sistemas luminosos controlados por ordenador.

El objetivo es proporcionar herramientas efectivas para optimizar el rendimiento de los atletas mediante el entrenamiento de tiempos de reacción avanzadas, contribuyendo a una mejor comprensión de la relación entre la visión y el rendimiento en la esgrima.

Objetivos

El objetivo principal del primer estudio es identificar los tiempos de reacción, fundamentales en el deporte de la esgrima, con el propósito de establecer valores de referencia que permitan su mejora mediante la incorporación de nuevas tecnologías en el entrenamiento.

Para ello, se diseñó una batería de pruebas con niveles progresivos de dificultad y procesamiento visual, que sirven como referencia para evaluar la capacidad de respuesta a estímulos y la toma de decisiones de los tiradores de esgrima. Además, se analizó la influencia del género, el nivel competitivo y el tipo de arma en los tiempos de reacción estudiados.

Como resultado adicional, se generaron valores de referencia específicos para evaluar los tiempos de reacción vinculados a la velocidad y

la toma de decisiones en esgrimistas, proporcionando así herramientas útiles para su desarrollo y optimización.

Tras la realización del primer estudio, se llevará a cabo un segundo estudio cuyo objetivo es analizar cómo influye la fatiga en los tiempos de reacción previamente estudiados. Este análisis permitirá establecer valores de referencia que puedan ser utilizados en el futuro por los entrenadores para cuantificar los efectos de la carga de trabajo físico sobre las capacidades perceptivas de los

Para ello, se investigó la influencia de la fatiga en tiempos de reacción relacionados con la velocidad y la toma de decisiones. Se midieron, además, la frecuencia cardíaca (FC) y la saturación de oxígeno (SO₂) como indicadores clave de la carga de trabajo físico en esgrima.

Finalmente, se explorará si existen diferencias en los tiempos de reacción de los esgrimistas ganadores y perdedores tras un asalto, con el fin de identificar posibles patrones que puedan servir para optimizar el rendimiento deportivo.

Conclusiones

Conclusiones del Primer Estudio

El estudio confirmó que los tiempos de reacción y la eficacia en la toma de decisiones están directamente relacionados con la dificultad de la tarea y el nivel de procesamiento cognitivo requerido.

- El Tiempo de Reacción Simple (TRS) fue el más rápido, seguido por el Tiempo de Reacción Electiva (TRE) y los ejercicios de tipo ir/No-ir (G/NG), ambos con tiempos similares, aunque en estos ejercicios, es fundamental considerar también el número de bloqueos y errores.
- Las tareas de toma de decisiones (TD) fueron las más exigentes cognitivamente, y sus resultados dependieron de la técnica del esgrimista. Entre los movimientos evaluados, el fondo (TDF) fue el más rápido, seguida por la marcha (TDM) y el romper (TDR).
- Aunque se observaron diferencias significativas por género estas no fueron concluyentes ni mostraron una tendencia, pero el nivel competitivo

influyó positivamente en el rendimiento. Los esgrimistas de florete mostraron tiempos más rápidos que los de sable en ejercicios TDF y TDM, mientras que los de espada obtuvieron resultados intermedios.

- Se generaron valores de referencia útiles para detectar talentos y evaluar las capacidades perceptivas específicas de los esgrimistas.

Conclusiones del Segundo Estudio

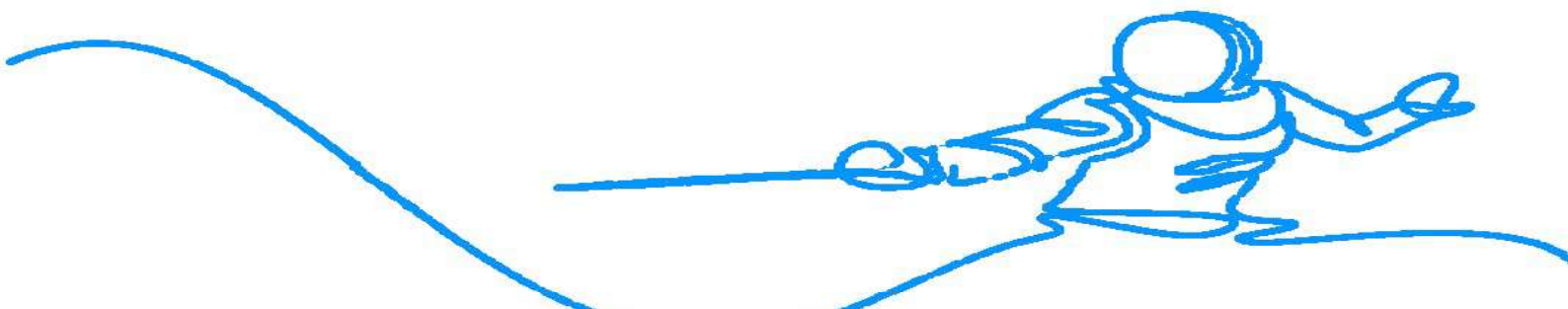
El segundo estudio analizó los efectos de la fatiga en los tiempos de reacción y confirmó que la actividad física influye significativamente en los estos tiempos y la precisión en la toma de decisiones:

- La fatiga incrementa progresivamente los tiempos de reacción y los errores, especialmente en tareas complejas como el Go/No-Go y la toma de decisiones (TD).
- Tras un asalto, el TRS y el TRE aumentan significativamente en comparación con el estado de reposo, reflejando un impacto moderado del cansancio en el rendimiento cognitivo.
- La frecuencia cardíaca (FC) aumenta significativamente con la actividad física, mientras que la saturación de oxígeno (SO₂) disminuye levemente con la fatiga.
- Aunque no hubo diferencias significativas entre "Ganadores" y "Perdedores" en la mayoría de las variables, la fatiga afectó de forma generalizada la capacidad de respuesta y el control inhibitorio.

Conclusión General

La fatiga tiene un impacto negativo en la velocidad y precisión de las respuestas, lo que resalta la importancia de gestionar el cansancio en deportes como la esgrima, donde la toma de decisiones rápida y precisa es crucial para el rendimiento.

SUMMARY



SUMMARY

Thesis Title

Evaluation of Visual Skills Applied to Fencing and Their Improvement Through Training Using Light Systems with Computer Control.

Introduction.

Vision is the predominant sense in sports, as around 85% of the sensory information we receive is visual. This information is crucial for quick responses to visual stimuli, which in sports like fencing require specialized visual skills to optimize performance. Sports vision focuses on improving visual function through specific training of key skills such as visual acuity, depth perception, eye-hand-foot coordination, and advanced visual processing, which includes attention, anticipation, and decision-making.

Recent research has shown that specific visual training enhances key skills such as depth perception, contrast sensitivity, and athletic performance in combat sports and fast-developing sports. Additionally, tools like stroboscopic glasses and digital training modules are being used to refine perceptual-cognitive skills.

Physical training also influences the improvement of visual processing. Studies indicate that athletes who undergo physical training show improvements in visual response speed and efficiency during their athletic performance. This highlights the importance of incorporating sports vision programs into competitive training, as advanced visual skills are essential for superior performance. In the specific case of fencing, an individual sport that requires intense physical effort and complex technical skills, vision plays a key role. During a bout, the effort is mostly aerobic, with brief anaerobic moments, which means an oxygen consumption between 84% and 90% of maximum capacity. Breathing is intermittent, with frequent breath-holding, increasing heart rate and respiratory volume.

Fencing demands advanced visual and perceptual capabilities due to the speed of movements and decisions that must be made in fractions of a second.

Static visual acuity is fundamental, but dynamic visual processing and spatial perception are what allow one to follow the movements of the opponent, such as their position, speed, and direction of their attacks.

Attention and perception are crucial psychological factors in fencing. Attention directs perception, and both skills work together to react quickly to stimuli and anticipate the opponent's movements. These skills are essential for reaching a high level of performance in fencing, where mental abilities such as attention, intelligence, anticipation, and reaction play a critical role.

Currently, various technologies are being used to train visual skills in athletes, and there is a need to investigate protocols for measurement and improvement with these devices. Light systems controlled by computers are an example of innovative technology in this field. This system is designed to improve reaction speed, consisting of LED markers controlled by an electronic tablet. Athletes must activate or deactivate the markers according to the requirements of the training program. It is portable, easy to set up, and collects visual, cognitive, and dynamic performance data.

A systematic review of the scientific literature on the application of these systems in sports reveals their effectiveness both for measuring and training skills such as reaction time, movement speed, agility, and other sensory, cognitive, and motor abilities. Despite being a relatively new system, they have proven to be a promising tool, especially for improving reaction speed. However, further research is needed to evaluate their effectiveness in different sports disciplines.

To demonstrate the effectiveness of these systems in fencing training, this thesis is organized into two studies that aim to experimentally evaluate key visual skills in fencing and explore their improvement through the use of innovative technologies, such as computer-controlled light systems.

The goal is to provide effective tools to optimize athlete performance through the training of advanced visual skills, contributing to a better understanding of the relationship between vision and performance in fencing.

Objective.

The main objective of the first study is to identify the visual skills related to reaction time, which are fundamental in the sport of fencing, with the purpose of establishing reference values that allow for their improvement through the incorporation of new technologies in training.

To achieve this, a set of tests with progressively increasing levels of difficulty and visual processing was designed. These serve as a reference for evaluating fencers' responsiveness to stimuli and decision-making abilities. Additionally, the study analyzed the influence of gender, competitive level, and weapon type on the visual skills examined.

As an additional outcome, specific reference values were generated to evaluate the visual skills associated with reaction speed and decision-making in fencers, providing useful tools for their development and optimization. Building on the first study, a second study will examine the impact of fatigue on visual skills, aiming to establish reference values for coaches to quantify the effects of physical workload on fencers' perceptual abilities.

For this purpose, the influence of fatigue on visual skills related to reaction speed and decision-making was investigated. Additionally, heart rate (FC) and blood oxygen saturation (SO₂) were evaluated as key indicators of physical workload in fencing.

Finally, the study will explore whether there are differences in the visual skills of winning and losing fencers after a bout, with the aim of identifying potential patterns that could optimize athletic performance.

Conclusions.

Conclusions of the First Study

The first study demonstrated a clear relationship between task difficulty and the level of cognitive processing required, showing that as task complexity increases, both reaction times and decision-making efficacy are significantly impacted.

- Simple Reaction Time (TRS) was the fastest, followed by Choice Reaction Time (TRE) and Go/No-Go (G/NG) exercises, both with similar times. In these exercises, it is also important to consider the number of blocks and errors.

- Decision-making tasks (TD) were the most cognitively demanding, and their results depended on the fencer's technique. Among the evaluated movements, the thrust (TDF) was the fastest, followed by the advance (TDM), with the break movement (TDR) being the slowest.

- No significant differences were observed by gender, but competitive level positively influenced performance. Foil fencers showed faster times than sabre fencers in TDF and TDM exercises, while épée fencers achieved intermediate results.

- Useful reference values were generated to identify talent and evaluate the specific perceptual abilities of fencers.

Conclusions of the Second Study

The second study analyzed the effects of fatigue on visual skills and confirmed that physical activity significantly affects reaction times and decision-making precision:

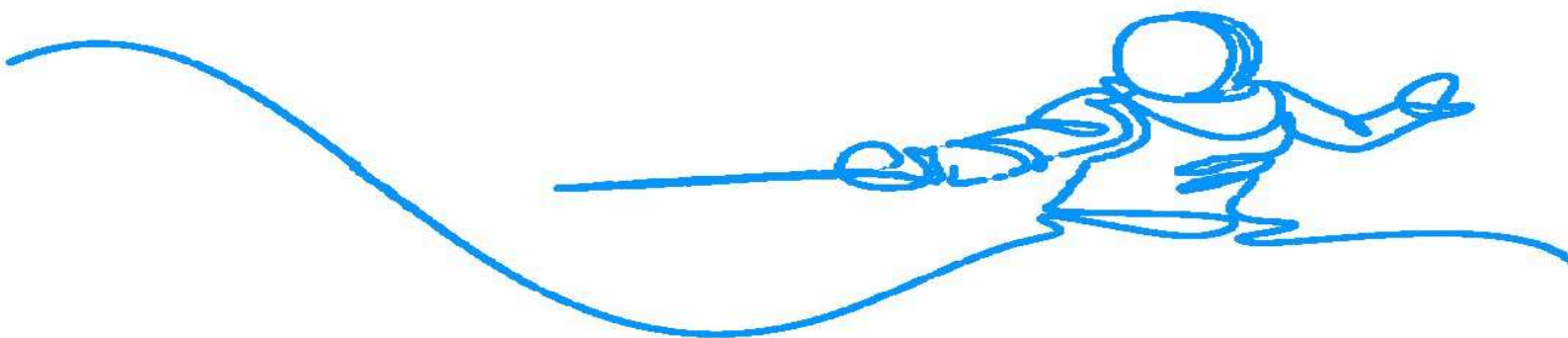
- Fatigue progressively increases reaction times and errors, especially in complex tasks such as Go/No-Go and decision-making (TD).

- After a bout, both TRS and TRE increased significantly compared to resting conditions, reflecting a moderate impact of fatigue on cognitive performance.

- Heart rate (FC) significantly increases with physical activity, while blood oxygen saturation (SO₂) decreases slightly but steadily with fatigue.

- Although no significant differences were found between “Winners” and “Losers” in most variables, fatigue had a general negative effect on responsiveness and inhibitory control.

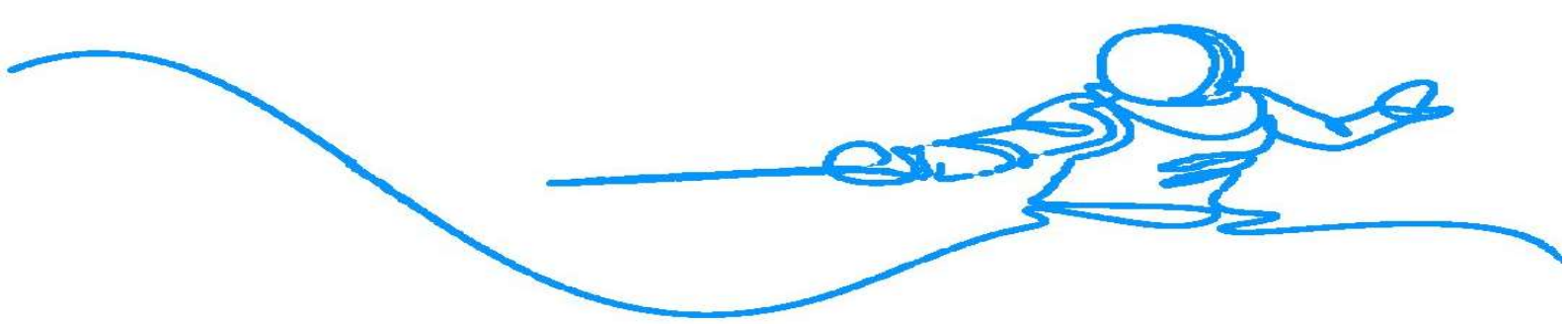
GLOSARIO



GLOSARIO DE TÉRMINOS

AVD	Agudeza Visual Dinámica.
AVE	Agudeza Visual Estática.
CV	Campo Visual
dt	Diferencia Estándar
FC	Frecuencia Cardíaca
G/NG	Tiempo de Reacción Electivo Ir/No Ir
ppm	Pulsaciones por Minuto
R	En reposo
rrb	Correlación Biserial De Rango
RV	Realidad Virtual
SO₂	Saturación De Oxígeno
TC	Tras calentamiento
TD	Tiempo De Toma De Decisiones
TDF	Tiempo De Toma De Decisiones Con Movimiento De Fondo
TDM	Tiempo De Toma De Decisiones Con Movimiento De Marcha
TDR	Tiempo De Toma De Decisiones Con Movimiento De Romper
TE	Tras entrenamiento
TR	Tiempo De Reacción
TRE	Tiempo De Reacción Electivo
TRS	Tiempo De Reacción Simple

1. INTRODUCCIÓN



1.1 La Esgrima.

Desde hace miles de años, todas las culturas han practicado la lucha con espadas de diversas formas, ya sea para cazar, defenderse, o combatir. Como deporte, la esgrima tiene sus raíces en el antiguo Egipto, pero ganó mayor popularidad en Europa durante la Edad Media con la introducción de justas y torneos de combate. Desde los antiguos gladiadores romanos hasta los caballeros cruzados y los duelos de los mosqueteros, la esgrima evolucionó de un objetivo militar a un deporte moderno. A lo largo de la historia, la esgrima ha sido concebida y practicada como una forma de arte y también se ha presentado como una ciencia formalmente desde 1704 (Agrippa, 1704).

Poco a poco estas formas de duelo sin armadura del siglo XVI se fueron convirtiendo en lo que hoy denominamos la esgrima. Los floretes evolucionaron a partir de espadas militares de corte y estocada, las cuales eran más populares entre los civiles para la autodefensa y los duelos. Aunque los floretes estaban afilados, el principal medio de ataque era el fondo. La esgrima se extendió desde España e Italia hacia el noroeste de Europa. Ya en el siglo XVIII, el florete había evolucionado a un diseño más simple, corto y liviano, que se popularizó en Francia como espada ligera. Esto permitió un estilo de esgrima más complejo y defensivo, y los maestros franceses desarrollaron una escuela basada en la defensa con la espada, la sutileza de movimiento y los ataques complejos. La pequeña espada, conocida como le fleuret, era idéntica en uso al florete moderno (Poenaru, 2002).

A mediados del siglo XIX, los duelos estaban en declive, y el énfasis cambió a derrotar al oponente sin necesariamente matarlo. Estas formas de duelo menos fatales evolucionaron con el uso de la espada de duelo, o "épée de terrain," una variante sin filo de la espada pequeña. Las espadas anchas y los sables se usaban ampliamente en los círculos militares y también tenían alguna aplicación en duelos.

Al igual que las espadas, el sable evolucionó hacia una forma más ligera y menos letal, como la “sciabola di ferro” italiana y el “schlager” alemán. Más tarde a finales del siglo XIX el manejo de la espada y las reglas tradicionales evolucionaron gradualmente hacia la esgrima deportiva, convirtiéndose en uno de los primeros deportes olímpicos. La autoridad deportiva internacional encargada de dictar las nuevas reglas de la esgrima es la Fédération Internationale d'Esgrime (<http://fie.org>). Además, prescribe estándares estrictos en cuanto a las restricciones geométricas, las propiedades de los materiales y el comportamiento mecánico de las hojas.

Como deporte, la esgrima sigue evolucionando, no solo en el desarrollo de las reglas y los tipos de competición, sino también en el material con el que se fabrican las hojas y la ropa electrónica que puede registrar automáticamente los “toques”. Una espada con una hoja de alto rendimiento puede ayudar a los tiradores a aprovechar sus fortalezas y habilidades y, en última instancia, ganar puntos. Por ejemplo, la respuesta rápida y la excelente flexibilidad de las hojas ayudan a los esgrimistas con la sensibilidad de las manos y contribuyen a un movimiento fluido durante el combate. Para practicar este deporte en condiciones seguras, el material con el que se fabrican las hojas de esgrima debe presentar una excelente dureza, flexibilidad y resistencia a la fatiga (Poenaru, 2002).

1.1.1 La Esgrima Como Disciplina Olímpica.

Como disciplina deportiva, la esgrima estuvo presente en los primeros Juegos Olímpicos modernos en 1896, donde se compitió únicamente en florete y sable para hombres. La esgrima de espada se introdujo en los Juegos de 1900. La puntuación eléctrica se incorporó en 1936 para la espada, en 1956 para el florete y en 1988 para el sable. Los primeros Juegos Olímpicos presentaban eventos para maestros y, hasta hace poco, la esgrima fue el único deporte olímpico que incluía profesionales (Jaffe et al., 1998).

Las mujeres compitieron por primera vez en esgrima en los Juegos Olímpicos de 1924 con el florete. La esgrima de espada femenina se introdujo en los Juegos Olímpicos de 1996, aunque ya formaba parte de los Campeonatos del Mundo desde 1989. La esgrima de sable femenina hizo su primera aparición como deporte de exhibición en los Campeonatos del Mundo de 1998 y ya en los se Juegos de Atenas 2004 se convirtió en deporte con medalla olímpica (Roi & Bianchedi, 2008).

1.1.2 Reglas Del Esgrima.

La esgrima es un deporte en el que dos personas intentan sumar puntos haciendo que su arma toque al oponente. Hay competiciones individuales y por equipos en las tres modalidades de armas: florete, espada y sable.

En el florete, se anota un punto cuando la punta del arma toca el torso del oponente. En la espada, todo el cuerpo es un blanco válido. En el sable, tanto la punta como el borde cortante pueden hacer contacto con el torso, la cabeza o los brazos del adversario. Los combates se desarrollan en la "pista", una franja lineal de 14 metros de largo y 1,5 metros de ancho (<http://>

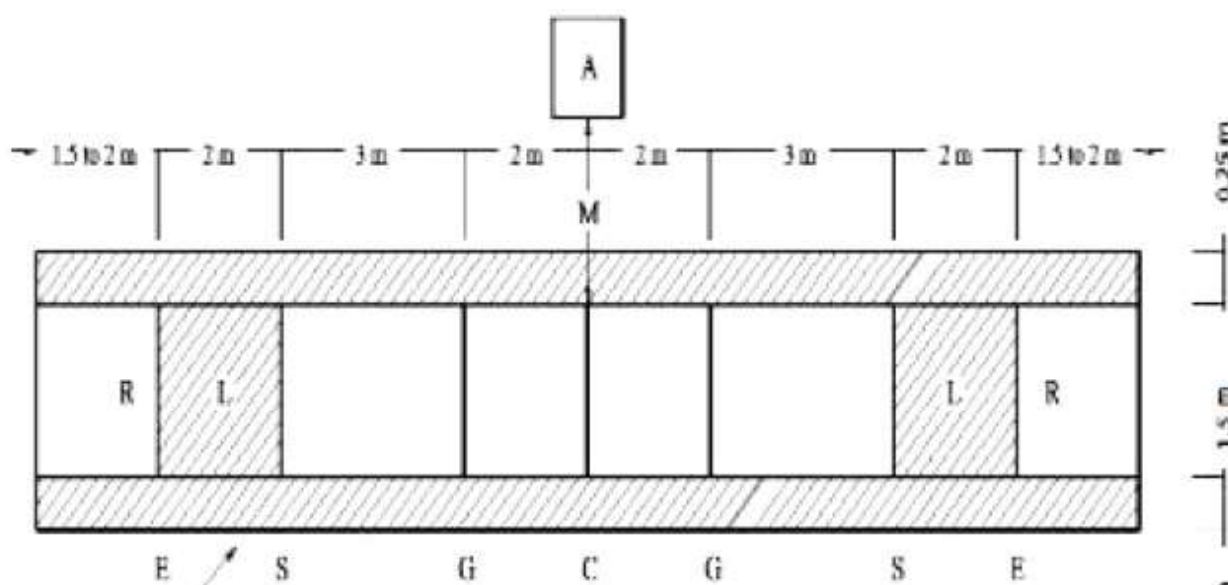


Figura 1.- Pista de esgrima.

Siendo: A, mesa del marcador; M, distancia mínima al marcador de 1m; C, línea de centro; G, líneas de guardia; S, comienzo del área de últimos 2 m de pista; L, últimos 2 m de pista; E, limite posterior de la pista; R, retroceso o final.

fie.org).

Las competiciones de todas las armas de esgrima constan de dos fases. En la primera fase, o poules, cada tirador compite inicialmente con varios oponentes (normalmente de 5 a 7). Cada combate finaliza cuando uno de los tiradores alcanza 5 puntos o se agota el tiempo del asalto (3 minutos), con una duración máxima de 25 minutos para esta fase.

Después, en la segunda fase, o fase de eliminación directa, los combates son a 15 puntos. Cada asalto consta de un máximo de tres tiempos de tres minutos con un minuto de descanso entre asaltos, excepto en sable, donde se detiene a la mitad de la puntuación máxima (Ion, 2002).

Todas estas fases conllevan a que un torneo internacional de esgrima puede durar entre 9 y 11 horas para los ganadores. Aunque los combates representan solo el 18% del tiempo total de competición (Iglesias & Reig, 1998), con un tiempo efectivo de combate de entre 17 y 48 minutos (Roi & Pittaluga, 1997). Por tanto, podemos estimar que, durante el primer día, cada esgrimista normalmente compite de forma efectiva durante un máximo de 45 minutos.

Para el esgrimista normalmente, los días de competición están llenos de intenso estrés físico y psicológico, con un enorme consumo de energía que puede conducir a un grave desequilibrio electrolítico (Chryssanthopoulos et al., 2019).

En esgrima, la exigencia física se ve afectada por diferentes factores, entre los cuales destacan la edad, el sexo, el nivel de formación y los modelos técnicos y tácticos utilizados en relación con el adversario. Por ejemplo, cuando las habilidades técnico-tácticas de un esgrimista son superiores a las del adversario, la implicación metabólica es alta pero no será máxima.

A medida que aumenta la implicación técnico-táctica de ambos tiradores, la participación muscular se incrementa y la participación del metabolismo láctico se vuelve cada vez más importante (Roi et al., 2002).

1.1.3 Equipación de esgrima.

Una parte esencial y característica de este deporte es que necesariamente debe constar de una equipación que es compleja y debe ajustarse adecuadamente al esgrimista para que pueda competir cómodamente. Su calidad e integridad son cruciales para prevenir lesiones. El equipo varía según la categoría: para niños, entrenamiento, pequeñas competiciones y competiciones internacionales.

El equipo de esgrima tiene muchos componentes, y los tiradores deben aprender a usarlo correctamente y a cuidar bien sus armas, especialmente las partes eléctricas, que son extremadamente sensibles a daños durante el transporte <http://fie.org>.



Figura 2: Equipación básica necesaria para la práctica de la esgrima deportiva.

Además, deben saber cómo encontrar y elegir el equipo adecuado para su nivel de competición. Para protección, los esgrimistas deben llevar indumentaria, máscara, guantes y petos específicos de esgrima, que proporcionan seguridad, pero disminuyen el rendimiento cardiopulmonar y aumentan la pérdida de agua (Rittel & Waterloh, 1975).

1.1.4 Esfuerzo físico en la práctica de la esgrima.

La esgrima es un deporte que implica ráfagas intensas de esfuerzo durante los asaltos, lo que demanda un alto nivel de habilidad técnica y resistencia. Durante los ataques, los esfuerzos son predominantemente anaeróbicos, pero debido a que estos momentos se prolongan durante tres minutos de asalto, también se requiere un esfuerzo aeróbico significativo.

Aunque la carga cardiovascular normalmente está por debajo del de otros deportes de resistencia; el esgrimista generalmente utiliza entre el 84% a 90% de la tasa máxima de consumo de oxígeno. Durante un combate, el esgrimista cubre una distancia total de 250 a 1000 m. (Lavoie et al., 1985). Aunque hay que tener en cuenta que la duración de cada acción es normalmente corta e intensa (<1 segundo), o durar hasta >60 segundos (rendimiento submáximo). En promedio, una acción dura 5 segundos en florete y 15 segundos en espada, con una relación de acción: interrupción de 1: 1 en espada masculina, 1: 3 en florete masculino y 2: 1 en espada femenina (Roi & Pittaluga, 1997, Lavoie et al., 1985). La tasa de respiración suele ser intermitente, con episodios frecuentes de contención de la respiración durante un asalto. Esto provoca un aumento compensatorio posterior de la frecuencia y el volumen respiratorio.

Todo este esfuerzo se traduce en una necesidad media de energía de aproximadamente 600 kcal/h durante el asalto (Vasilescu et al., 2005), cuando se midió la ingesta diaria de energía de diez esgrimistas masculinos de espada a nivel internacional (3868 ± 954 kcal) fue significativamente mayor que la de 11 esgrimistas masculinos de florete (3176 ± 467 kcal) y 11 esgrimistas masculinos de sable (3127 ± 640 kcal) de nivel similar, En este mismo estudio sobre esgrima mostró un aumento en la densidad mineral ósea (Caldarone et al., 1983).

Como deporte de alta intensidad, la esgrima, además puede suponer una deficiencia de vitaminas B1, B2 y B3, solubles en agua, debido a la

transpiración intensa durante el entrenamiento y las competiciones (Van Dam & Haralambie, 1977; Van Dam, 1978; Van Dam & Waterloh, 1979).

Además, se ha observado que, en algunos esgrimistas, los ritmos circadianos pueden sufrir una desincronización interna, afectando su rendimiento.

Este fue el caso de los esgrimistas de sable franceses durante los Juegos Olímpicos de 1984 en Los Ángeles. La desincronización de los ritmos circadianos puede impactar negativamente el rendimiento, ya que una buena sincronización es un factor clave para lograr el máximo desempeño (Reinberg et al., 1985). Estos hallazgos resaltan la variabilidad en la respuesta fisiológica durante la práctica de la esgrima y la importancia de atender tanto las necesidades nutricionales como los factores de los ritmos biológicos para optimizar el rendimiento deportivo.

1.1.4.1 Frecuencia cardíaca como medidor del esfuerzo en el deporte.

La frecuencia cardíaca (FC) se utiliza ampliamente como una medida práctica y no invasiva del esfuerzo físico en el deporte. Refleja de manera fiable la intensidad del ejercicio y resulta valiosa para monitorizar el entrenamiento, optimizar el rendimiento y prevenir el sobre entrenamiento (Achten & Jeukendrup, 2003). Su medición, tanto en tiempo real como en análisis retrospectivo, proporciona información crucial sobre la carga interna que experimenta el deportista durante la actividad física.

La relación entre la FC y el consumo de oxígeno (VO_2) permite que esta variable funcione como un proxy fiable para estimar la intensidad del ejercicio, especialmente en deportes de resistencia (Seiler & Kjerland, 2006). La FC aumenta proporcionalmente con la intensidad del esfuerzo, lo que la convierte en un marcador directo y accesible para monitorizar la carga de trabajo durante las actividades deportivas (Karvonen et al., 1988). Comparando la FC promedio durante el ejercicio con la FC máxima y en reposo, atletas y entrenadores pueden estimar el esfuerzo relativo y establecer intensidades de entrenamiento óptimas (Karvonen et al., 1988).

El uso de la frecuencia cardíaca es fundamental para definir zonas de entrenamiento y guiar la prescripción de ejercicio, particularmente en disciplinas de resistencia. Numerosos estudios han evidenciado que la respuesta de la FC es proporcional al incremento en la intensidad del ejercicio, reflejando tanto el esfuerzo cardiovascular como el estrés metabólico (Billat et al., 2001). Además, la incorporación de monitores de frecuencia cardíaca ha facilitado un control más preciso de la carga de entrenamiento en múltiples disciplinas, permitiendo diseñar programas más específicos y efectivos (Borresen & Lambert, 2008).

No obstante, la FC puede verse afectada por diversos factores externos, como la temperatura ambiental, la hidratación, la altitud o el estado emocional del deportista, lo que exige interpretar sus valores en un contexto adecuado (Achten & Jeukendrup, 2003). La hidratación, el estrés, la fatiga y otras condiciones externas también pueden alterar significativamente la respuesta de la FC, por lo que se recomienda complementarla con otros indicadores como el esfuerzo percibido, el consumo de oxígeno o el umbral de lactato (Schneider et al., 2018).

Asimismo, es importante tener en cuenta que las fórmulas de predicción de la frecuencia cardíaca máxima basadas en la edad presentan altos márgenes de error, por lo que no se debe confiar exclusivamente en ellas para medir el esfuerzo físico. En su lugar, se recomienda una evaluación individualizada para mayor precisión (Arena et al., 2016). El asalto en esgrima no consiste sólo del combate en sí, sino que incluye una serie de movimientos preparatorios que generalmente tienen una mayor duración y una intensidad submáxima. Estos movimientos son seguidos por acciones muy intensas de menor duración, asociadas con el intento final de tocar al oponente. La frecuencia cardíaca (FC) durante un combate de esgrima depende claramente de la intensidad de estas acciones. Esta relación fue grabada telemétricamente por primera vez por Rittel y Waterloh en 1975. Estos autores informaron que los hombres tienen una FC más baja que las mujeres.

Durante las competiciones de sable, la FC es más alta y se pueden registrar algunos latidos ectópicos durante las fases más intensas del combate.

Durante las sesiones de entrenamiento del equipo nacional italiano antes del Campeonato Mundial de 1982, se observó que la FC depende de la intensidad del combate y, con frecuencia, el ganador tiene la FC más baja (Li et al., 1999).

Durante una competición de espada femenina, la FC osciló entre 167 y 191 latidos/min, es decir, el 70 % de la FC máxima, durante aproximadamente el 60 % de la duración del combate (Li et al., 1999). Los FC estuvieron por encima del umbral anaeróbico durante el 41 ± 34 % del tiempo de lucha (Iglesias & Reig, 1998).

1.1.4.2 La Saturación de Oxígeno como Indicador de Fatiga

Los niveles de saturación de oxígeno (SO_2) han sido estudiados como posibles predictores de fatiga y rendimiento físico, especialmente en contextos clínicos y deportivos. Estas métricas ofrecen información valiosa para el diagnóstico, pronóstico y optimización del desempeño físico, cognitivo y neuromuscular.

En el ámbito deportivo, la saturación de oxígeno ha sido validada como un parámetro fisiológico útil para evaluar y mejorar el rendimiento durante el ejercicio. Un estudio realizado con ciclistas y triatletas demostró que la SO_2 puede emplearse para identificar zonas metabólicas de entrenamiento, como la oxidación máxima de lípidos y los umbrales ventilatorios. Combinada con otros indicadores fisiológicos, esta métrica mostró eficacia para estimar el consumo de oxígeno y el gasto energético, subrayando su relevancia para la planificación del entrenamiento (Bonilla et al., 2023).

Asimismo, la SO_2 puede actuar como un indicador indirecto de fatiga, especialmente en deportes de resistencia o en condiciones de hipoxia. La reducción del oxígeno disponible limita la capacidad del sistema nervioso cen-

tral para sostener el esfuerzo, elevando la percepción de fatiga y afectando tanto el rendimiento físico como cognitivo (Amann & Calbet, 2008).

En este sentido, Chapman y sus colaboradores observaron que la exposición a altitudes moderadas (~2,000 m) provocaba una disminución significativa de la SO_2 , acompañada de mayor fatiga percibida y reducción del rendimiento. Sin embargo, con la aclimatación progresiva, los niveles de saturación y las capacidades físicas tendieron a recuperarse. (Chapman et al. 2016)

No obstante, existen limitaciones en el uso de la SO_2 como marcador universal de fatiga. Atletas bien entrenados pueden mantener niveles estables de oxigenación arterial a pesar de presentar fatiga muscular periférica, debido a adaptaciones cardiovasculares que preservan el suministro de oxígeno (Goodall et al., 2018).

Su utilidad como marcador de fatiga depende del contexto, la hipoxia reduce la capacidad de generar fuerza muscular debido a la fatiga del sistema nervioso, lo que puede reflejarse en una SO_2 baja. (Amann & Calbet, 2008) Investigaciones sobre la oxigenación muscular durante ejercicios de alta intensidad mostraron que la fatigabilidad del rendimiento en extensiones de pierna unilaterales frente a bilaterales no se debía directamente a diferencias en la oxigenación muscular. Esto sugiere que, si bien la oxigenación muscular es un factor relevante, existen otras variables que también influyen de manera significativa en la fatiga inducida por el ejercicio (Anders et al., 2021).

Más allá del ámbito puramente físico, la saturación de oxígeno también influye en el procesamiento cognitivo. Se ha demostrado que la disminución de SO_2 se asocia con un incremento en el tiempo de reacción, lo que puede comprometer el rendimiento en tareas tanto cognitivas como motoras. Esta relación se debe principalmente a la hipoxia cerebral, la cual deteriora la función neuronal (Kramer et al., 1993).

El cerebro requiere altos niveles de oxígeno para mantener su metabolismo energético y una transmisión sináptica eficiente. Cuando la SO_2 des-

ciende por debajo del rango normal (90–95%), se reduce la eficiencia neuronal, afectando la velocidad de procesamiento y ralentizando las respuestas.

Además, la hipoxemia interfiere con la producción de neurotransmisores como la dopamina y la acetilcolina, esenciales para la transmisión sináptica, lo que prolonga aún más los tiempos de reacción.

Estos efectos se han documentado experimentalmente en un estudio con ratones, los tiempos de reacción aumentaban de manera progresiva conforme se reducía la concentración de oxígeno al 10%, y se deterioraban drásticamente por debajo de ese umbral. (Cagliostro & Islas 1982). Por otro lado, estudios en humanos también respaldan estos hallazgos. Chung y sus colaboradores reportaron que la inhalación de aire enriquecido con oxígeno (43.2%) redujo significativamente los tiempos de reacción en tareas de emparejamiento visual simple, lo que sugiere que una mayor SO_2 puede mejorar el procesamiento cognitivo. (Chung et al. 2009)

Con base en lo anterior, distintas intervenciones han demostrado efectividad para contrarrestar los efectos negativos de la hipoxia. La administración de oxígeno enriquecido o la ventilación con presión positiva pueden mejorar la oxigenación cerebral, restaurando parcialmente la capacidad de respuesta y la velocidad de procesamiento bajo condiciones de hipoxia leve o moderada. (Plotnikow y del Bono 2022)

Al hablar del consumo de oxígeno en la esgrima, especialmente en combates competitivos, es importante entender que, aunque este deporte pueda parecer de baja intensidad, en realidad exige un elevado esfuerzo tanto aeróbico como anaeróbico. Esto se debe a la combinación de movimientos rápidos y la necesidad de mantener una concentración constante. En un estudio realizado con esgrimistas de alto rendimiento, se encontró que el consumo de oxígeno promedio era de 39,6 ml/kg/min, alcanzando en algunos casos hasta 53,9 ml/kg/min. (Iglesias & Reig, 1998).

En conjunto, la evidencia disponible respalda la utilidad de la saturación de oxígeno como un indicador importante de fatiga y rendimiento. Tanto en condiciones deportivas como cognitivas, una menor disponibilidad de oxígeno se relaciona con una disminución en la capacidad

de mantener el esfuerzo físico, la velocidad de respuesta y la eficiencia cognitiva.

No obstante, existen limitaciones en el uso de la SO_2 como marcador universal de fatiga y debemos tener en cuenta otras condiciones, como la condición física del atleta.

1.2 Optometría deportiva.

La mayor parte de la información sensorial que recibimos proviene de la visión, y en el deporte, muchas de nuestras respuestas son reacciones a estímulos visuales generados durante el juego. En este contexto, la optometría deportiva se define como el conjunto de técnicas orientadas a preservar y optimizar la función visual, con el fin de mejorar el rendimiento deportivo. Este proceso se centra en enseñar a los atletas a desarrollar y perfeccionar tiempos de reacción específicas, esenciales para el desempeño efectivo en diversas disciplinas deportivas. (Reichow & Stoner, 1993).

Esta especialidad de la optometría se enfoca en mejorar y preservar la función visual para potenciar el rendimiento deportivo. A lo largo del tiempo, se ha enfatizado la importancia de alcanzar una "visión normal", pero la realidad es que una visión óptima va más allá de simplemente tener una visión clara. Mientras que el término "vista" se refiere a la claridad de la imagen en la retina, "visión" abarca un concepto más complejo, que incluye el proceso mental de interpretar y dar significado a lo que se observa. Así, una visión efectiva resulta de la integridad del sistema visual, la eficiencia en el uso de la visión y el procesamiento adecuado de la información visual (Abernethy, 1986, Abernethy & Wollstein, 1989).

Su principal objetivo es maximizar las capacidades visuales específicas requeridas para cada disciplina deportiva. Para lograrlo, se llevan a cabo pruebas y exámenes especializados que analizan aspectos esenciales como la agudeza visual, la visión periférica, la percepción de profundidad, el tiempo de reacción visual y la coordinación ojo-mano.

Con los resultados de estas evaluaciones, se desarrollan programas de entrenamiento visual personalizados que abordan las áreas deficientes. Estos programas pueden incluir ejercicios como el seguimiento de objetos, técnicas de enfoque, y la mejora de la percepción del movimiento, entre otros, con el fin de potenciar las habilidades visuales del atleta (Kirscher, 1993).

Los optometristas especializados pueden recetar lentes oftálmicas y gafas deportivas personalizadas que optimizan la visión para cada deporte, considerando factores como la iluminación, el movimiento y las condiciones ambientales. La optometría deportiva también se encarga de proporcionar equipos de protección ocular adecuados para cada disciplina deportiva, reduciendo el riesgo de lesiones oculares graves (Filipe, 1996).

Al mejorar las habilidades visuales específicas para cada deporte, los atletas pueden experimentar beneficios como una mejor coordinación, un mayor aprovechamiento del campo visual, una mejor percepción de profundidad y movimiento, un tiempo de reacción más rápido y una mayor precisión en sus movimientos. Esto puede traducirse en un mejor rendimiento y un mayor éxito en la competición (Rezaee et al. 2012).

El entrenamiento en optometría deportiva utiliza estímulos en ejercicios optométricos para su entrenamiento. Se basa en la idea de que la mejora de las habilidades visuales a través de ejercicios oculomotores que pueden asociarse con acciones motoras deriva en un mejor rendimiento deportivo (Appelbaum & Erickson, 2012, Broadbent, 2014, Appelbaum et al, 2011).

La elaboración de los ejercicios depende de la creatividad de los profesionales que intervienen en el entrenamiento visual, ya que las combinaciones son infinitas (Abernethy & Wood, 2011).

La solución más efectiva y eficaz es llevar a cabo un entrenamiento visual multisensorial e integrado en el que se trabajan diversos aspectos simultánea y preferiblemente, en el terreno de juego. Numerosos estudios confirman que el entrenamiento visual específico para cada deporte no solo

mejora las capacidades visuales, sino que también beneficia las habilidades motoras y el rendimiento (Du Toit et al, 2007, Balasaheb et al., 2008).

1.2.1 Historia de la optometría deportiva.

Los inicios de esta especialidad se pueden datar a principios del siglo XX cuando Walker y sus colaboradores (1911) empezaron a interesarse sobre la visión de los atletas. Este autor analizó la importancia del ojo dominante y cómo se podrían mejorar las habilidades en los deportes de tiro (Walker, 1911). Más tarde Fullerton en (1925) y Winogrand en (1942), demostraron que los atletas profesionales presentan mejores tiempos de reacción que los atletas aficionados.

La Optometría Deportiva, como tal, surgió en EE. UU. En la década de 1950, con la colaboración de optometristas en equipos universitarios, que se consolidó una década después con los servicios continuados de optometristas en equipos deportivos (García, 1993). En la década de 1960, se realizaron exámenes visuales a equipos de béisbol también en EE. UU., en la década de 1970, los servicios de optometrista comenzaron a ofrecerse de forma rutinaria a los atletas (Morilla, 2017). Durante estos años empiezan a aparecer las primeras publicaciones periódicas específicas sobre visión deportiva (Elliott & Handley, 2015).

En 1978 el Comité Olímpico de los EE. UU. y la Asociación de Optometristas Americanos firman un acuerdo sobre investigación y desarrollo de nuevos programas de visión deportiva (Rodríguez Salvador et al. 2010), impulsado por los artículos publicados por Abel (1924) y Fullerton (1925) en los que se relaciona el procesamiento de la información visual con el éxito en el béisbol.

Un año después, la Universidad del Pacífico desarrolló la primera rutina de exámenes para evaluar las habilidades visuales de los deportistas.

La primera vez que se realizó una serie de pruebas visuales en los Juegos Olímpicos fue en 1984, en los juegos que se celebraron en Los Ángeles, con un programa de control de la visión en atletas. (Reichow, &

Coffey, 1992); En los Juegos Olímpicos del 2004, que se celebraron en Atenas, se realizaron pruebas visuales a un gran número de atletas.

Posteriormente su tecnología recaló en varios países europeos. En 1988 se fundó en Roma la Academia Europea de Visión Deportiva, que tiene como objetivo la difusión y preparación técnico-científica de especialistas en optometría deportiva (Erickson, 2007). Sin embargo, las publicaciones sobre visión deportiva eran todavía muy limitadas hasta mediados de los años de la década de 1990; no obstante, el número de artículos publicados estaba aumentando y comenzaban a cubrir una variedad de temas (Kirschen & Laby, 2011).

Particularmente en España, el Sports Vision Madrid, inaugurado en 1992 fue el pionero en esta disciplina. Posteriormente, en el año 1994, se crea un Centro de Visión especializado destinado a cuidar la función visual de los deportistas de élite; fruto de un convenio entre la Universidad Politécnica de Cataluña y el CAR de Sant Cugat del Vallès (Quevedo, & Solé, 2010). A nivel europeo se considera relevante la creación de la Asociación Europea de Sports Vision en 1989 y la Sports Vision Association del Reino Unido en 1993 (Lee et al, 2009), (Aparicio-Martínez et al, 2019).

Tanto atletas como entrenadores han mostrado un mayor interés en mejorar sus tiempos de reacción, especialmente en deportes competitivos. En los próximos años, las futuras investigaciones se centrarán en desarrollar una diversa gama de programas de entrenamiento para seguir entrenando las habilidades visuales más relevantes en el deporte con el fin de mejorar el rendimiento en el terreno de juego.

Además, las técnicas de visión deportiva también se pueden utilizar para evaluar o rehabilitar conmociones cerebrales relacionadas con el deporte (Akhand et al., 2019).

Además, la expansión de la disciplina de la visión deportiva podría utilizarse como plataforma para desarrollar una conexión interprofesional más estrecha entre la oftalmología y la optometría. Ofrecer atención oftalmológica a deportistas es un campo en el que es posible una mayor

sinergia, un respeto mutuo y un intercambio de conocimientos entre profesionales.

Además, la interacción con otras disciplinas de la salud relacionadas es posible y puede conducir a descubrimientos importantes.

En consecuencia, cada vez son más los estudios que se publican sobre la optometría deportiva, ante la necesidad de contar con más evidencia científica que demuestre el efecto positivo que tienen los programas de entrenamiento visual sobre el rendimiento deportivo. En cuanto a los estudios de redes de citas, estos son más numerosos, dado que es el único método de análisis que proporciona una visión global de los diferentes campos de investigación dentro de un tema específico.

Cabe destacar aquí por su calidad el diploma de especialización de la Universidad Complutense de Madrid, que permite por el convenio logrado entre comité paralímpico y la federación española de deportes para ciegos en 2021, a los ópticos-optometrista que lo cursan ser clasificaciones de deportistas ciegos en diferentes clases deportivas para sus competiciones nacionales e internacionales con la colaboración oftalmólogo óptico-optometrista que componen las mesas de clasificaciones nacionales.

1.2.2 Evidencia científica de la optometría deportiva.

Durante las últimas décadas, se han realizado numerosos estudios relacionados con el entrenamiento o la mejora de la función visual normal con la conclusión de que la mayoría de las funciones visuales se pueden mejorar mediante entrenamiento específico de la visión, mediante la práctica repetida de alguna tarea altamente específica (Ciuffreda, & Wang, 2004).

Las habilidades visuales para el rendimiento específico del deporte, que incluyen agudeza visual estática y dinámica, percepción de profundidad, seguimiento de objetos en movimiento (versión y vergencia), integración visomotora (coordinación ojo-mano-pie) y procesamiento de

información visual (atención selectiva, anticipación, imágenes visuales y toma de decisiones).

Además, el entrenamiento de habilidades superiores de procesamiento de información (predicción/anticipación, recuerdo, estrategia cognitiva y toma de decisiones) puede ser de importancia para mejorar el rendimiento deportivo.

De hecho, la capacidad de toma de decisiones parece estar más asociada con el rendimiento atlético experto en comparación con los novatos. En su metaanálisis, (Mann et al., 2007) concluyeron que los deportistas expertos eran más precisos en la toma de decisiones en comparación con los menos hábiles y anticiparon las intenciones de sus oponentes, significativamente más rápido que los participantes menos hábiles, lo que sugiere que el uso de señales perceptivas avanzadas facilita el rendimiento deportivo al ayudar en la anticipación de las acciones del oponente y la disminución del tiempo de respuesta general. En otro metaanálisis, (Voss et al., 2010) también encontraron un tamaño del efecto de pequeño a moderado, en medidas cognitivas básicas de atención visual y velocidad de procesamiento entre expertos y no expertos en múltiples deportes.

Además, se supone que la modulación de la atención es importante para la mayoría de los deportes competitivos (Di Russo et al., 2006), ya que la mayoría de los deportes no se practican exclusivamente a una distancia, sino que implican cambios rápidos de objetivo entre distancias lejanas, intermedias y cercanas que requieren una respuesta rápida, (Erickson et al., 2011). Sugiriendo que el entrenamiento de la atención visual debería incorporarse al entrenamiento de la visión deportiva, independientemente del deporte (Ciuffreda, & Wang, 2004).

Los programas de visión deportiva de vanguardia emplean programas de entrenamiento digital que se enfocan en los procesos perceptivo-cognitivos (Appelbaum & Erickson, 2012).

Demostrando la importancia de centrar el entrenamiento de la visión deportiva en las habilidades visomotoras y de procesamiento de

información. La evaluación visual puede repercutir en la carrera del deportista, igual que la evaluación médica.

El estudio Liu y colaboradores (2020) mostró que, en promedio, 8,5 h de entrenamiento de visión dinámica en jugadores universitarios de béisbol de la 1ª División dieron como resultado una transferencia significativa de habilidades relacionadas con el deporte en el ángulo de lanzamiento y la distancia de golpeo en comparación con el grupo placebo. Utilizaron gafas estroboscópicas para ejercicios específicos de deportes, así como módulos de entrenamiento de visión dinámica y entrenamiento oculomotor y de tiempo de anticipación.

Las medidas electrofisiológicas son útiles al evaluar los efectos del entrenamiento de la visión deportiva en el procesamiento visual. Un estudio mostró una reducción significativa en las latencias de los componentes de los potenciales evocados visuales, en jugadoras de voleibol después de 2 años de entrenamiento deportivo (Zwierko et al., 2020).

Los investigadores concluyeron que el entrenamiento físico sistemático que requería discriminación rápida de estímulos y atención visual selectiva mejoraba la velocidad del procesamiento visual temprano. Al menos dos grupos también mostraron la utilidad de medir la potencia alfa occipital para predecir el rendimiento en tiradores de rifle expertos (Liu et al., 2018) y porteros de fútbol de élite (Jeunet et al., 2020).

El campo de la optometría deportiva es relativamente nuevo, en consecuencia, requiere que se desarrollen más estudios científicos que corroboren la eficacia del entrenamiento visual en el ámbito deportivo. La investigación demuestra que ciertas habilidades se pueden mejorar.

Estas mejoras se han demostrado en la percepción de profundidad (Sowden et al., 1996), detección visual, (Schoups et al., 1995) y la sensibilidad al contraste (Sowden et al., 2002).

Cuando los programas de entrenamiento especializados están destinados a mejorar los procesos básicos de percepción visual en atletas, algunos autores también encontraron mejoras en el rendimiento deportivo de tiradores de élite (Quevedo et al., 1999), jugadores de baloncesto (Kofsky, & Starfield, 1989) y jugadores universitarios de fútbol (McLeod, 1991).

El sentido de la vista juega un papel importante en la actividad física. Proporciona a los atletas aproximadamente el 85 % de la información sensorial que se produce durante la actividad física, especialmente en actividades que requieren sentidos perceptivos avanzados. Los sentidos perceptivos son las habilidades visuales que brindan a los atletas información precisa y rápida; se consideran el primer paso en el procesamiento de la información. Cuanto más confusa, incompleta o confusa sea la información y los datos, menor será la respuesta esperada del atleta (Ariel, 2012).

En esgrima, el nivel de habilidad de cada individuo depende de muchas variables. Las variables visuales son las más importantes, incluidas la precisión y la calidad de visión. Una agudeza visual estática de 1,0 decimal nos indica que un atleta puede ver las cosas con claridad, pero no significa que el atleta pueda determinar su lugar en el espacio, como de rápido se mueve su oponente o si la dirección de un objeto cambiará. El procesamiento visual es responsable de estas habilidades. La atención y la percepción visual son importantes en la esgrima, ya que afectan directamente al nivel de los tiradores.

Además, la atención y la percepción interactúan mutuamente, influyendo y afectándose la una a la otra. La atención ocurre primero, pero la percepción interfiere con ella; la atención es una condición básica para que se produzca la percepción.

La dirección de la atención suele verse afectada por estímulos ambientales ubicados en el área de visión del individuo (Hagemann et al. 2010). En muchos casos, la atención puede ser dirigida por el individuo, lo

que significa que puede elegir en qué enfocarse o buscar estímulos ambientales específicos para lograr una meta en particular. La atención se considera uno de los factores psicológicos importantes que determinan la superioridad en la esgrima.

La atención es de gran importancia para los tiradores. Las habilidades mentales, como la atención, la percepción, la inteligencia, la reacción y la expectativa, se consideran los factores más importantes que se deben manejar.

Es sustancial concienciar a toda persona involucrada en el ámbito deportivo sobre la importancia del sistema visual y la repercusión que éste tiene sobre el rendimiento deportivo, empezando por una revisión básica para corregir posibles defectos refractivos.

El entrenamiento visual en el ámbito deportivo debe elaborarse siguiendo unos principios que aseguren el éxito del proceso gracias al trabajo coordinado de entrenadores, optometristas. Para llevar a cabo el entrenamiento visual deportivo existe un amplio abanico de posibilidades que van desde la aplicación de materiales propios de la disciplina deportiva en cuestión, hasta técnicas más novedosas y avanzadas mediante los aparatos y sistemas desarrollados en los últimos años, sin olvidar los materiales que se emplean habitualmente en la terapia visual convencional.

Las habilidades visuales como la agudeza visual dinámica, la percepción de la profundidad, la visión periférica y la precisión/velocidad de los movimientos oculares son fundamentales en el deporte, ya que contribuyen a la toma de decisiones rápidas y precisas en situaciones de juego. Estas habilidades pueden mejorar con un entrenamiento especializado que se enfoque en fortalecer y desarrollar cada una de ellas (Sherman, 1980). Otras habilidades visuales como la acomodación, contraste, atención focalizada, concentración visual y el tiempo de reacción, también se pueden entrenar para mejorar rendimiento deportivo (Knudson & Kluka, 1997).

Las habilidades visuales de los atletas son mejores que las de los sedentarios y que las de los atletas de élite son aún mejores. Aunque, los deportistas expertos muestran una menor dependencia de la información visual y logran un mejor aprovechamiento del resto de la información sensorial en situaciones donde la visión está limitada o las condiciones deportivas lo impiden (Morenilla et al. 2000).

El entrenamiento de la visión dinámica no solo mejora la capacidad de los atletas para seguir blancos móviles o proyecciones, sino que también contribuye a su rendimiento general en las distintas disciplinas deportivas que requieren movimiento continuo (Long & Rourke, 1989; Lasky & Lasky, 1990).

El entrenamiento visual puede mejorar la agudeza visual estática y la sensibilidad al contraste, lo que es crucial para el rendimiento deportivo al mejorar la recepción de información visual del entorno. (Lasky & Lasky, 1990), (Quevedo & Solé, 1995). Además, se ha demostrado que los movimientos oculares también pueden beneficiarse del entrenamiento visual, mejorando la sincronización con la velocidad del objetivo y reduciendo la latencia, lo que puede ser clave para un mejor rendimiento visual (Du Toit et al., 2007).

El entrenamiento visual también permite mejorar la visión periférica con cambios a nivel funcional de los campos visuales (Sherman, 1980), (Quevedo et al. 2002). La estereopsis es otra habilidad visual que puede entrenarse para mejorar el rendimiento deportivo (Balasaheb et al., 2008). En deportes de desarrollo rápido es posible el adiestramiento de la anticipación visual. Muchos investigadores han estudiado la relación entre la coordinación ojo-mano/pie y el entrenamiento visual en deportistas, con resultados positivos en la mejora de dicha coordinación (Du Toit et al, 2007).

Mejorar el tiempo de reacción y la coordinación visomotora por medio de entrenamiento visual (Sherman, 1980), permiten procesar la información visual en periodos mucho más cortos permitiendo elaborar respuestas que les sitúa con ventaja frente a la competencia.

En el estudio de Spera y colaboradores (2019) evaluaron y compararon el equilibrio con los ojos abiertos y cerrados y la fuerza de las extremidades inferiores en atletas videntes y con discapacidad visual. Los resultados de la investigación mostraron que la estabilidad postural era diferente en función de la evaluación con los ojos cerrados y abiertos. Además, la comparación entre atletas de judo ciegos y videntes destacó mayores dificultades con los ojos cerrados para los atletas videntes que para los ciegos.

De esta forma, demostraron que la pérdida de visión afecta significativamente al rendimiento, especialmente si los deportistas no tienen un déficit visual congénito, sino que van perdiendo visión progresivamente.

Burris y colaboradores (2019) concluyeron que las habilidades visomotoras juegan un papel importante en el rendimiento deportivo; por lo tanto, se ha sugerido que las habilidades sensoriomotoras podrían ser una herramienta útil al examinar a los jugadores. Otra investigación observó que los atletas de élite tienen mejores habilidades cognitivas, y los jugadores de voleibol demuestran una atención muy flexible y un control ejecutivo superior (Voss et al. 2010), (Fischer et al., 2016), (Alves et al., 2013).

Otros dispositivos para evaluar el entrenamiento deportivo (fútbol universitario, baloncesto o ejercicios de lanzamiento y recepción) utilizando gafas estroboscópicas, se utilizaron para comparar resultados con los de deportistas que habían entrenado con gafas de entrenamiento. Los participantes que usaron gafas estroboscópicas obtuvieron mejores resultados en términos de sensibilidad al movimiento del campo visual central y capacidad de atención transitoria que el grupo de control. Sin embargo, no se encontraron diferencias en términos de su sensibilidad al movimiento periférico o en términos de su seguimiento de múltiples objetos (Appelbaum et al, 2011). En un estudio que buscaba analizar los efectos estroboscópicos en el tiempo de anticipación, se compararon las habilidades de los atletas antes y después de usar el cronómetro de anticipación de Bassin. El grupo experimental practicó con el cronómetro usando gafas estroboscópicas y el grupo de control practicó con visión normal.

El grupo con gafas fue significativamente más preciso inmediatamente después del entrenamiento, y fue más probable que respondiera antes inmediatamente después del entrenamiento y 10 minutos después (Smith & Mitroff, 2012).

Las habilidades de percepción visual y el rendimiento cognitivo mejoran después de realizar un programa de entrenamiento visual. En el estudio de Clark y colaboradores (2018), un equipo de jugadores de béisbol fue sometido a un programa de entrenamiento de tiempos de reacción que incorporaba métodos tradicionales y tecnológicos. Los resultados mostraron que los promedios de bateo y el porcentaje de cuántas bases obtiene por turno al bateo (slugging) de los jugadores fueron mejores que los registrados en la temporada anterior.

Hausegger y colaboradores (2019), sugirieron que la fijación de la mirada es funcional para optimizar el uso de la información visual periférica. Este estudio predijo que la altura de la mirada fijada en el cuerpo del oponente dependería de los posibles lugares de ataque. También en el 2019 Mashkovskiy y colaboradores, analizaron cómo el grado de discapacidad visual influyó en los resultados en un equipo de judo. Los hallazgos confirmaron que los atletas ciegos tenían menos posibilidades de ganar una pelea de judo, dado que la pérdida de las funciones de la visión afecta la coordinación del movimiento, el equilibrio y el estado emocional, que son importantes para las artes marciales

La visión permite que los músculos respondan a señales, es decir, proporciona información al atleta sobre cuándo y dónde se está produciendo la actividad actual. Por tanto, todo deportista requiere de una buena visión, para poder reducir los movimientos de la cabeza y el cuerpo, analizar el espacio tridimensional o ver claramente un objeto en movimiento. Sin embargo, dependiendo del deporte, es necesario que unas habilidades están más desarrolladas que otras. Sin embargo, aunque existe un interés creciente en el entrenamiento de tiempos de reacción para mejorar el

rendimiento deportivo, no está claro si el entrenamiento visual mejorará o no el rendimiento en el terreno de juego.

Esto está relacionado con la falta de evidencia científica que respalde la eficacia del entrenamiento visual en el rendimiento deportivo, como resultado de un enfoque en la metodología, lo que resulta en una falta de validez de los métodos de entrenamiento (Kirschen & Laby, 2011).

Aunque, por otra parte, hay investigaciones que han mostrado que en general los rendimientos visuales suelen ser mejores en la población atlética respecto a la población que no practica deportes. Christenson y Winkelstein en su investigación lo encontraron para ciertas habilidades visuales como: facilidad de vergencia, movimientos sacádicos, tiempo de reacción visual, conciencia periférica y punto cercano de convergencia.

Sin embargo, también mostraron que otras habilidades como la flexibilidad de acomodación, tiempo de reacción visual, y estereopsis a distancia no arrojaron una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Estos resultados proporcionan una base para el desarrollo de pruebas de optometría deportiva inspirada en investigaciones anteriores (Christenson & Winkelstein, 1988).

1.3 Habilidades visuales en el deporte.

Las habilidades visuales y cognitivas son fundamentales para un desempeño efectivo en deportes de alto rendimiento. Sin embargo, aún no se comprende plenamente la influencia mutua y las interdependencias entre estos dos elementos. El desarrollo de habilidades visuales influye directamente en el rendimiento de los deportistas, y también desempeña un papel clave en el aprendizaje, interviniendo en diversos aspectos del proceso de entrenamiento y mejora deportiva. Debemos partir de la premisa de que los deportistas necesitan capacidades visuales superiores para alcanzar el éxito en su actividad (Christenson & Winkelstein, 1988). La mayoría de los atletas y entrenadores que han participado en estudios sobre este tema han demostrado que el alto rendimiento deportivo requiere una amplia gama de habilidades perceptivas, técnicas, psicológicas y físicas

integradas de manera efectiva (Birrer & Morgan, 2010, Fadde & Zaichkowsky, 2018).

Es decir, cada deporte específico exige habilidades visuales particulares de acuerdo con sus requisitos, presentando nuevos desafíos en diferentes condiciones.

Por ejemplo, en los deportes de combate, habilidades como la puntería y la anticipación son fundamentales. Un golpe certero o la capacidad de anticipar las acciones del contrincante pueden ser decisivos para el éxito. Estas habilidades visuales especializadas permiten a los atletas reaccionar rápidamente y con precisión en situaciones de alta presión, mejorando su rendimiento y aumentando sus posibilidades de victoria (Bhootra, 2008).

La función visual monocular es una parte básica de estas habilidades en todos los deportes en general. Los componentes principales de esta parte son la agudeza visual (estática y dinámica), el campo visual, visión de colores y la sensibilidad al contraste del atleta, cualquier defecto básico debe ser compensado para poner al deportista al mismo nivel que sus contrincantes. (Mahoma, 2011)

En el siguiente escalón en el proceso de visión estaría el estado visual binocular, que incluyen percepción macular simultánea, fusión y estereopsis. La visión se compone de un proceso motor y sensorial e implica las acciones de las habilidades de los músculos oculomotores, la vergencia (convergencia y divergencia) y otros grados de visión única binocular. Cualquier desequilibrio en estas funciones pondrá por detrás al deportista, pero el desarrollo de éstas nos permitirá avanzar y situarnos por delante de los contrincantes (Quevedo & Solé, 1995).

En un escalón equivalente del anterior estado visual binocular es la capacidad de acomodación tanto en amplitud, su condición relativa respecto al plano de convergencia, el retraso acomodativo y su flexibilidad con pérdidas de nitidez en situación de estrés por exceso o defecto (Quevedo & Solé, 1995).

El último nivel es el procesamiento visual, depende básicamente de cómo el cerebro utiliza la información visual que se le ha proporcionado para

instruir a la parte del cuerpo requerida para realizar la actividad, es decir, la parte de interpretación de imágenes y percepción visuales. Esto proveerá al deportista las habilidades necesarias para mejorar en competición (Quevedo & Solé, 1995).

Es obvio que la optometría y el rendimiento deportivo están vinculados de muchas maneras en estos niveles de procesamiento, pero la falta de evidencia científica que respalde esta asociación ha impedido un compromiso profesional incondicional, incluso con una demanda creciente por parte del público deportivo en general (Griffiths, 2008).

Para mejorar esta evidencia se han realizado varios estudios, que muestran que la visión juega un papel vital en el buen rendimiento deportivo (Omar et al, 2018) y para cada deporte se requiere una combinación de tiempos de reacción, que son esenciales para garantizar un rendimiento deportivo adecuado.

Al entrenar estas habilidades visuales específicas, los atletas exhibirán mejores habilidades y efectividad en el campo de juego (Elliott et al., 1995). Asimismo, en las últimas décadas varias revisiones de la literatura muestran que la percepción puede ser reconocida como un aspecto clave del campo de juego (Hitzeman, & Beckerman, 1993), (Stine et al., 1982).

La mayoría de los esfuerzos de investigación se han dirigido a identificar las habilidades visuales necesarias para los deportes y determinar si las habilidades de los deportistas difieren de las de los no deportistas. Ante la escasez de investigaciones que respalden la hipótesis de que las habilidades visuales de los deportistas se pueden mejorar con el entrenamiento visual y que unos tiempos de reacción mejoradas darán como resultado un mejor rendimiento deportivo. Se necesitan más esfuerzos de investigación para responder a las muchas preguntas que plantea la relación entre la visión y el deporte (Hitzeman, & Beckerman, 1993), (Stine et al., 1982). En estas revisiones también se evidencian contradicciones al

suponer que sólo una mejora de una habilidad visual hace que el deportista sea mejor en su juego (Ellison et al., 2018).

1.3.1 Tiempos de reacción visual en el deporte.

El tiempo de reacción se define como el tiempo transcurrido entre la percepción del estímulo y la reacción rápida y eficaz de la respuesta por parte del sujeto. Cuanto menos tiempo se utilice en captar ese estímulo visual, identificar y procesar la información, más rápidamente se producirá la respuesta del jugador y su ventaja frente a los adversarios será mayor. (Junge et al. 2000). Se trata de una cualidad requerida en la mayor parte de los deportes que precisan respuestas rápidas. Aunque realmente no se trata de una habilidad visual en sí misma, muchos autores la incluyen por el hecho de que, al entrenar la visión del deportista, en general, siempre se intenta potenciar la mayor rapidez de respuesta posible. Permite interpretar y reaccionar a la acción de tu compañero de equipo o del oponente, en el momento adecuado (Nuri et al., 2013).

Debe ser cuidadosamente evaluada durante la preparación física del deportista, se determina su tiempo de respuesta y se intenta disminuir ese tiempo (aumentar la velocidad de reacción).

Estudios realizados han demostrado que el tiempo de reacción visual en deportistas es menor que en no deportistas (Barrett et al. 2020), El tiempo de reacción visual será, en deportes de equipo, más importante en unos jugadores que en otros según la función que realicen.

Cuanto menor es el tiempo, mayor ventaja posee un jugador respecto a los demás jugadores. Está formado por dos componentes:

- Tiempo de reacción sensitiva: tiempo necesario para procesar información desde la retina hasta el cortex occipital, es decir, es el tiempo que tarda el deportista en percibir el estímulo visual.

- Tiempo de reacción motora: tiempo necesario para producir un reflejo neuromuscular y una acción-motora. Se trata del tiempo que tarda en ejecutar la respuesta, desde que percibe el estímulo.

Los elementos básicos de la visión deportiva incluyen el tiempo de reacción visual y la visión periférica. La visión periférica está influenciada por las funciones generales del sistema visual humano.

Por otro lado, el tiempo de reacción visual está relacionado con la información y los procesos cognitivos que controlan y regulan el movimiento, y estos se ven afectados por las funciones del sistema nervioso central y los efectos musculares. El tiempo de reacción motora es el tiempo entre la señal y la finalización de una acción; por lo tanto, tiene características tanto sensoriales como motoras (Raczek, 1991). De esta manera, los jugadores de balonmano reciben la mayor parte de su información a través de su visión, teniendo que prestar atención a más de dos estímulos diferentes. Es decir, una simultaneidad central-periférica óptima es vital ya que esto permite al jugador asimilar toda la información visual sobre el objeto en el que se centra su visión, así como todo lo que sucede a su alrededor, sin tener que hacer ningún movimiento ocular (Espar, 2001; Quevedo & Solé, 2007).

1.4 Tiempos de reacción requeridas en la esgrima.

El sistema visual proporciona a los atletas aproximadamente el 80% de la información sensorial durante la actividad física, siendo especialmente crucial en actividades que requieren sentidos perceptivos avanzados (Williams et al. 1999). El rendimiento de este sistema depende en gran medida de la calidad de las habilidades visuales, las cuales permiten a los atletas obtener información precisa y rápida, considerado el primer paso en el procesamiento de la información. Cuanto más clara y completa sea esta información, mejor será la respuesta del atleta (Ariel, 2012). Además, los atletas muestran habilidades perceptivo-cognitivas avanzadas, como el uso efectivo de la memoria y la atención (Causer y Williams, 2013).

Por lo tanto, es de vital importancia en deportes que requieren reacciones rápidas, como la esgrima, contar con capacidades visuales avanzadas y tiempos de reacción elevadas (Rezaee et al. 2012).

Estas capacidades no solo son esenciales para los tiradores, sino que cuanto más desarrolladas estén, mejor será su rendimiento deportivo (Hijazi, 2013). Estas habilidades permiten a los esgrimistas procesar y reaccionar a estímulos visuales con mayor eficiencia, lo que es vital para su éxito en competiciones.

1.4.1 Tiempo de reacción simple. (TRS)

Se denomina tiempo de reacción simple al tiempo que transcurre desde que un estímulo se presenta hasta que el deportista realiza una respuesta a un solo estímulo sencillo. (Martínez de Quel & Sillero, 2014). Un buen tiempo de reacción es crucial para tener buenos reflejos en diversas disciplinas deportivas.

La capacidad de un deportista para identificar y reaccionar de forma rápida y efectiva a diferentes estímulos puede ser factor clave para un desempeño exitoso, particularmente en deportes de combate como la esgrima (Borysiuk & Waskiewicz, 2008).

La relación estímulo-respuesta se evalúa comúnmente como la cantidad de tiempo necesaria para procesar la información del estímulo y seleccionar una adecuada respuesta (Schmidt y Lee, 2005). Diferentes autores han considerado el TRS como una variable con evidente validez lógica para la estimación de la capacidad de responder rápidamente a un estímulo (Sillero, 2002; Gutiérrez-Dávila, et al 2013).

Cuando el estímulo y la respuesta correspondientes se conocen de antemano hablamos de TRS y se habla de tiempo de reacción electivo (TRE) cuando se desconoce el estímulo, tal como se menciona en la literatura científica (Sillero, 2002; Schmidt y Lee, 2005). La principal diferencia entre ellos es la presencia (TRE) o la falta (TRS) de conocimiento de la posición del estímulo en la etapa de identificación y selección de respuestas (Schmidt & Lee, 2005).

Es de destacar que el TRE es más alto que el TRS en ms, debido a la presencia de la etapa de selección de respuesta, que se sabe que aumentan con el número de alternativas de estímulo-respuesta (Schmidt y Lee, 2005).

La importancia del tiempo de reacción simple (TRS) en la esgrima ha quedado clara en estudios que comparan las reacciones de esgrimistas expertos y novatos (Borysiuk & Waskiewicz, 2008), así como en investigaciones que contrastan a esgrimistas con atletas de otros deportes (Dogan, 2009).

Los estudios que utilizan tareas específicas de esgrima aportan información práctica y generan conclusiones directamente aplicables al entrenamiento y la competición. Sin embargo, su limitación radica en que solo pueden compararse con otros estudios igualmente específicos, lo que dificulta la generalización a otros contextos deportivos (Borysiuk et al., 2014).

En un estudio de Gutiérrez-Dávila y colaboradores (2016), el TRE a los estímulos visuales aumentó, en condiciones de doble tarea con respecto al TRS. Sin embargo, las condiciones de doble tarea no afectaron el tiempo requerido para iniciar una acción defensiva cuando el estímulo era el movimiento de un oponente. Los autores observaron cambios en el tiempo de reacción cuando los estímulos eran movimientos reales, lo que sugiere que el tiempo de reacción a estímulos visuales no es un buen predictor del rendimiento en esgrima. Además, concluyeron que los procesos de percepción y atención desempeñan un papel crucial en el desempeño de un esgrimista durante una competencia real.

Pierson fue el primero en investigar el tiempo de reacción simple (TRS) en esgrima, en un estudio realizado en 1956. Este autor comparó los tiempos de reacción y de movimiento de 25 esgrimistas con los de 25 no esgrimistas, aunque no encontró diferencias significativas en el TRS. Sin embargo, los esgrimistas mostraron tiempos más bajos en medidas de tiempo de reacción selectivo (TRE) ante dos estímulos y dos respuestas posibles, es decir en tareas más complejas. Posteriormente otro autor (Del

Rey, 1972), también observó esta correlación con mayor precisión en registros de mayor velocidad de tiempo de reacción (TR).

Más adelante, se comparó en un estudio el TRS en esgrimistas de diferentes niveles y encontró que los tiempos de reacción de 9 esgrimistas de nivel superior eran inferiores a los de 10 esgrimistas menos expertos (Stulrajter, 1987).

Estos hallazgos han sido ampliamente corroborados en la literatura. Por ejemplo, utilizando sensores de actividad electromiográfica (EMG) se midieron los tiempos de respuesta en condiciones de fondo ante un estímulo visual entre esgrimistas expertos y novatos. Aunque no encontraron diferencias significativas en el TRS, los expertos demostraron mejores tiempos de reacción, respuesta, precisión y coordinación muscular (Williams y Walmsley, 2000).

Aunque en el metaanálisis de Mann y colaboradores (2007), mostró diferencias significativas entre expertos y principiantes en el TRS en deportes donde se desarrollan habilidades de anticipación y reacción, indicando que los expertos pueden extraer señales perceptuales de manera más eficiente. En este sentido, es bien sabido que los deportistas experimentados son capaces de ignorar gran parte de las señales irrelevantes mientras se centran en los estímulos esenciales para la ejecución efectiva de tareas técnicas y tácticas (Borysiuk & Waskiewicz, 2008). Por ejemplo, se ha reportado una relación positiva entre la experiencia en esgrima y la velocidad de procesamiento de la información y además es bien sabido que los atletas experimentados y hábiles tienen TRS más corto en comparación con los principiantes (Schmidt & Lee, 2005). Por tanto, se puede decir que la experiencia y la práctica específica pueden ser útiles para aumentar la velocidad del procesamiento y, en consecuencia, reducir el TRS (Borysiuk & Waskiewicz, 2008).

En la esgrima como en todos los deportes de combate implican habilidades motoras basadas en el tiempo de reacción en los cuales los atletas deben depender de estímulos externos repentinos, ya que no pueden prever la siguiente acción del oponente (Wang, 2015). Por ejemplo,

la eficacia defensiva de los esgrimistas depende de la rapidez y precisión con que respondan a una variedad de posibles ataques del oponente (Wang, 2015).

Otro factor que influye en el TRS es el número de estímulos-respuestas alternativas: cuanto mayor es la cantidad de estímulos y respuestas posibles, más altos son los valores de TRS.

Aunque los esgrimistas experimentados mostraron un TRS más bajo en comparación con los principiantes en todos los ejercicios del estudio. (Witkowski M. et al 2021). Cuanta mayor sea la variedad de habilidades motoras que un esgrimista pueda ejecutar en el ataque, más difícil será para el oponente realizar una defensa efectiva.

La existencia de múltiples alternativas de estímulo-respuesta hace que los deportes de combate sean más exigentes cognitivamente, por lo tanto, la capacidad de responder rápidamente a un estímulo en estos deportes debe evaluarse preferentemente mediante TRE.

Sin embargo, la mayor parte de la literatura ha evaluado sólo el TRS, lo que puede explicar la falta de diferencias en TRS y TRE entre deportistas principiantes y expertos (Balkó et al., 2016). Por lo tanto, es interesante realizar estudios con atletas de combate (por ejemplo, esgrimistas) para adquirir conocimiento del comportamiento de TRS en situaciones deportivas utilizando estímulos y respuestas específicos.

Las investigaciones del TRS también sugieren que técnicas de esgrima más complejas producen TRS más largo. Sabiendo que el fondo es probablemente el más exigente. (Witkowski M. et al 2021), Los tiradores están continuamente bajo presión de tiempo, lo que les obliga a reducir el tiempo para tomar decisiones, así como el tiempo de respuesta sensoriomotora en la fase motora.

La mayor complejidad motora de las acciones ofensivas, así como la falta de un estímulo específico para el inicio del ataque en situaciones

realistas también pueden aumentar el TRS (Milić 2020). La acción de defensa se realiza sólo con un segmento (brazo del arma) y es obviamente menos exigente desde el punto de vista coordinativo. Además, durante los períodos defensivos el estímulo es más obvio, lo que probablemente aumenta la velocidad de la toma de decisiones (Shiffrar y Freyd, 1990).

Estudios anteriores ya señalaron que las tareas motoras más complejas tienden a aumentar el tiempo de programación y, en consecuencia, el TRS (Borysiuk & Waskiewicz, 2008).

Estos resultados pueden explicarse neurológicamente ya que las tareas motoras complejas requieren más tiempo para iniciarse ya que el programa almacenado debe recuperarse de la memoria y dirigirse a las neuronas motoras y los músculos apropiados (Henry & Rogers, 1960).

Una mejor comprensión de las diferencias entre los esgrimistas expertos y principiantes en sus estrategias de percepción visual podría ayudar a desarrollar programas de entrenamiento perceptivos especializados, que podrían ser particularmente útiles en las primeras etapas del entrenamiento. Si bien ya se han incorporado enfoques similares en otros deportes (Clark et al., 2012; Hopwood et al., 2011; Williams et al., 2002), la disciplina de la esgrima aún ha sido poco estudiada.

1.4.2 Tiempo de reacción electivo “Go/no go”.

En el deporte de la esgrima, la toma de decisiones es crucial para lograr un tocado. Los procesos de inhibición y reprogramación implican un rápido procesamiento cognitivo y motor, incluyendo la detección y discriminación de cambios en el entorno, la inhibición de respuestas incorrectas y la adaptación a situaciones modificadas. (Verburgh et al., 2014). Además, el uso de medidas electrofisiológicas de alta resolución temporal permite sacar conclusiones sobre la actividad cerebral que podrían explicar el desempeño conductual (Bianco et al., (2017).

En consecuencia, los esgrimistas expertos podrían desarrollar una estrategia preparatoria que implique un gran esfuerzo tanto en la preparación motriz como cognitiva, para mantener una reactividad y

precisión eficientes durante las tareas de reacción de elección (Witkowski et al., 2021).

Así, en entornos cambiantes, los procesos de inhibición son esenciales para la flexibilidad en las acciones de respuesta que involucran movimientos precisos (Muggleton et al 2010).

La esgrima es un ejemplo claro del papel crucial que tienen los procesos cognitivos, ya que los tiradores deben cambiar rápidamente de una acción intencionada a una nueva en respuesta a movimientos inesperados o fintas de su oponente. Esto obliga al tirador a corregir su respuesta a través de un intenso proceso de inhibición. (Borysiuk & Waskiewicz, 2008; Chan et al. 2011; Di Russo et al., 2006).

A pesar de una extensa investigación, no se ha obtenido evidencia concluyente que demuestre que los expertos tienen mejores tiempos de reacción que los jugadores novatos (Gutiérrez-Dávila, 2013; Mouelhi Guizani et al., 2006).

Sin embargo, se ha demostrado que los esgrimistas expertos tienen mejores tasas de respuesta de inhibición que los jugadores novatos (Chan et al., 2011; Di Russo et al., 2006). Estos resultados sugieren que los procesos de inhibición pueden desempeñar un papel importante en la inhibición de la respuesta en entornos que requieren un movimiento rápido que generalmente resulta en un error.

Por lo tanto, la capacidad de los tiradores de esgrima para reaccionar ante las acciones de sus oponentes en una competencia real parece estar más relacionada con los procesos de inhibición que con la velocidad de procesamiento de la respuesta. Czajkowski (1998) planteó la hipótesis de que muchos esgrimistas de clase mundial se destacan por su precisión más que por la velocidad de sus movimientos.

La inhibición de la respuesta es un proceso cognitivo que ocasionalmente se evidencia por cambios visibles en la ejecución motora. La inhibición de la respuesta depende de la demora desde el inicio de un movimiento planificado hasta el comienzo del proceso de inhibición. Se ha

demostrado que el aumento de este tiempo reduce la probabilidad de inhibir una acción de respuesta con éxito antes de que comience el movimiento (Ilmane & LaRue, 2011). Estudios previos sugieren que el tiempo requerido para reprogramar un movimiento es equivalente al tiempo de reacción visual (Texeira et al., 2005).

Esto fue confirmado por Marinovic et al. (2009), quienes demostraron que el tiempo mínimo requerido para inhibir una acción dirigida a golpear o atrapar un objetivo en movimiento debe superar los 200 ms antes del inicio de la acción.

Teniendo en cuenta que los músculos no pueden activarse y desactivarse simultáneamente (Neptune & Kautz, 2001), el tiempo necesario para suprimir un movimiento será el resultado de sumar el tiempo necesario para completar los procesos cognitivos al tiempo necesario para desactivar el músculo antagonista, que depende de la tensión alcanzada en el momento en que finalizan los procesos de inhibición.

Además, completar el proceso de inhibición motora requiere detener el movimiento ejecutado durante el período de Tras el calentamiento muscular. Así, tras la Tras el calentamiento muscular, los músculos deben activarse de nuevo para cambiar el movimiento iniciado.

Cabe señalar que el paradigma Go/No Go implica detección de estímulo, procesamiento de este y discriminación de estímulos, selección de la respuesta apropiada y salida de respuesta o inhibición de respuesta (Di Russo et al., 2006).

Los mecanismos neuronales responsables del comportamiento rápido de tiradores y no tiradores en se estudiaron con una tarea de reacción discriminativa (paradigma Go/No-go) y una tarea de reacción simple a estímulos visuales. En el estudio de Di Russo y colaboradores (2006), los tiradores mostraron una mejor reducción en el tiempo de respuesta y una mayor capacidad para inhibir adecuadamente sus reacciones. Sin embargo, no se diferenciaron de los no tiradores en una tarea de reacción simple.

Aunque se llegó a la conclusión de que, gracias a una mejor inhibición de respuesta, los esgrimistas avanzados son más capaces de lidiar con las acciones rápidas de sus oponentes en comparación con los no tiradores.

Los procesos cognitivos no se vieron significativamente afectados por el momento de aparición de la señal No-Go. Por el contrario, el tiempo de movimiento y sus componentes tendieron a disminuir a medida que aumentaba el retraso entre el estímulo No-Go y el inicio del movimiento del esgrimista (Di Russo et al. 2006).

Por lo tanto, se puede decir que cualquier intento de detener un movimiento de ataque una vez que ha comenzado conduce a errores que aumentan el riesgo de ser golpeado por el oponente, especialmente cuando el ataque se inhibe dentro de los 150 ms posteriores al inicio del movimiento (Witkowski M. et al., 2021).

1.5 Dispositivos de ayuda al entrenamiento visual.

La optometría deportiva ha experimentado avances significativos con la introducción de nuevos dispositivos y tecnologías diseñadas para mejorar el rendimiento de los atletas. Estos dispositivos optimizan los tiempos de reacción críticos para el éxito en diversos deportes.

La integración de estos dispositivos está revolucionando la forma de entrenar de los atletas y mejorando sus tiempos de reacción, proporcionando a los atletas las herramientas necesarias para alcanzar niveles superiores de rendimiento y precisión en sus respectivas disciplinas deportivas.

1.5.1 Gafas Estroboscópicas.

Las gafas estroboscópicas son una herramienta de entrenamiento visual que se utiliza en diversos deportes, incluida la esgrima, para mejorar las habilidades perceptuales y cognitivas de los atletas. Estas gafas funcionan al bloquear la visión en intervalos regulares, creando un efecto de "parpadeo" que obliga al cerebro a procesar la información visual de manera más eficiente y rápida.

Normalmente consisten en lentes de cristal líquido que parpadean para bloquear la luz. Las lentes alternan entre opacidad y transparencia durante períodos de tiempo predefinidos, lo que reduce la información y obliga a las personas a procesar los estímulos visuales de manera más eficiente.

Las gafas disponen de diferentes niveles de alternancia entre estados transparentes y opacos, que difieren en velocidad y dificultad. Cuanto más lento parpadeen la lente o las lentes, más difícil será la tarea.

Las lentes también se ajustan a distintos modos en que ambas lentes parpadean o solo una parpadea y la otra se queda opaca o transparente. Además, se utilizan con una aplicación digital, que permite el control remoto de las gafas mediante conexión Bluetooth. Las aplicaciones se desarrollan con varios módulos de entrenamiento para incrementar el desempeño deportivo.

Es recomendable variar los intervalos de "parpadeo" para desafiar continuamente al cerebro y evitar que se acostumbre a un patrón específico, supervisados por un entrenador experimentado que pueda guiar al atleta y ajustar el nivel de dificultad según sea necesario.

Las investigaciones han demostrado consistentemente el impacto positivo del entrenamiento visual estroboscópico en el rendimiento deportivo. Los estudios han demostrado mejoras en las habilidades de la atención y el tiempo de respuesta en deportistas de hockey sobre hielo (Mitroff et al. 2013). El entrenamiento estroboscópico aumentó la contribución de otras aferencias somatosensoriales al control motor al enfocar la atención del individuo en la retroalimentación propioceptiva el

rendimiento deportivo (Trifu & Stănescu, 2021), el tiempo anticipatorio (Smith & Mitroff, 2012), y la cognición visual (Appelbaum, 2011), y la coordinación ojo-mano.

Las gafas estroboscópicas mejoran la atención visual, ayudando a los deportistas a mejorar su capacidad de enfocar y mantener la atención en los movimientos clave de su oponente, ignorando las distracciones. Lo que puede permitir una mejor anticipación y reacción a los movimientos del adversario (Wilkins et al. 2015).

Al tener que recordar y procesar información visual con menos tiempo de entrada de información visual disponible, los atletas desarrollan una memoria visual más fuerte.

Esto es particularmente útil en deportes rápidos como la esgrima, donde los esgrimistas deben recordar y anticipar los movimientos de sus oponentes (Trifu & Stănescu, 2021).

Las gafas estroboscópicas ayudan a mejorar la sincronización entre lo que el atleta ve y cómo reacciona físicamente. Esto lleva a una mayor precisión en los movimientos y una mejor ejecución técnica y postural (Das et al. 2023).

El entrenamiento estroboscópico puede mejorar la percepción del tiempo del atleta, ayudando a juzgar mejor el ritmo y la velocidad de los movimientos del oponente. Esto es crucial en esgrima, donde el tiempo de respuesta es esencial para el éxito (Smith & Mitroff, 2012).

Durante los entrenamientos, los atletas pueden usar gafas estroboscópicas para simular condiciones de alta presión y estrés, mejorando así su capacidad de mantener la concentración y la calma en situaciones reales de competición (Carrolla et al.2021).

También se ha mostrado en varios estudios que el entrenamiento visual estroboscópico mejora la coordinación ojo-mano en deportistas (Ellison et al.2015). Al reducir la cantidad de información visual disponible, los deportistas deben confiar más en su técnica y táctica, lo que puede

ayudar a afinar estas habilidades. Los entrenadores pueden utilizar estas gafas para trabajar en aspectos específicos de la técnica del atleta, como el posicionamiento y la precisión de los ataques y defensas (Trifu & Stănescu, 2021).

Como ejemplos de Gafas para el entrenamiento visual podemos citar:

- Nike SPARQ (<http://www.sportvisionmarketing.com/information/>)
- Impulse Strobe Glasses (<http://www.mjimpulse.com>)
- I-ON Training Glasses (<http://www.theinternethittingcoach.com/eye-on-the-ball.html>)
- EyeLights Xtreme (<http://www.eyelights.com>).
- Queling Reflex Training Glasses
https://www.ql-sport.com/storbe_glasses.html .

1.5.2 Sistemas de Realidad Virtual. (RV)

Son tecnologías que crean entornos digitales simulados en los que los usuarios pueden interactuar de manera inmersiva. Utilizando dispositivos como cascos de RV, guantes y controladores de movimiento, los usuarios pueden experimentar y manipular el entorno virtual como si estuvieran presentes físicamente.

La realidad virtual está transformando el entrenamiento visual deportivo, ofreciendo una plataforma avanzada para mejorar las habilidades cognitivas y visuales de los atletas. Con la capacidad de crear entornos inmersivos, seguros y personalizados, donde los atletas pueden entrenar en

escenarios específicos de su deporte. La RV se está convirtiendo en una herramienta esencial para el desarrollo de atletas y la mejora del rendimiento para una amplia gama de deportes (Quevedo et al, 2015).

Una de las mayores ventajas de este sistema es que los atletas puedan entrenar sin riesgo de lesiones, ya que todas las actividades se realizan en un entorno virtual. Esto es especialmente útil para la rehabilitación de lesiones y para practicar movimientos peligrosos. Y adaptar los programas de RV a las necesidades individuales de cada atleta, ajustando el nivel de dificultad y los tipos de ejercicios para mejorar áreas específicas de su desempeño visual y cognitivo (Pérez-Trejos 2022).

Otra ventaja es que pueden recopilar datos detallados sobre el rendimiento del atleta, incluyendo tiempo de reacción, precisión y patrones de movimiento ocular. Estos datos se pueden usar para analizar el progreso y ajustar los programas de entrenamiento en consecuencia (Faure et al. 2019).

Diversos estudios han explorado el uso de la realidad virtual (RV) en el entrenamiento deportivo, con resultados positivos. Estos estudios sugieren colectivamente que la RV puede mejorar los tiempos de reacción para mejorar el rendimiento en varios deportes, tanto en deportistas de élite (Quevedo et al, 2015), como en deportistas paralímpicos (Pérez-Trejos 2022).

En el estudio de (Quevedo et al, 2015) se estudiaron en una primera la agudeza visual estática y dinámica, la sensibilidad al contraste, los movimientos sacádicos cerca-lejos, el tiempo de respuesta a estímulos periféricos, la estereopsis y la atención selectiva focalizada. Estos autores tras 26 sesiones en deportistas encontraron 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.

Existen una gran variedad de dispositivos, con distintas características específicas para diferentes aplicaciones y niveles de inmersión. Podemos clasificarlos en:

Cascos de Realidad Virtual.

- Oculus Quest dispositivo autónomo y Oculus Rift Conectado a un PC.
<https://www.meta.com>
- PlayStation VR. <https://www.playstation.com/es-es/ps-vr/>
- HTC Vive Pro. https://myshop.vive.com/vive_es/pcvr/pro-2.html
- Valve Index. <https://www.valvesoftware.com/es/index>
- HP Reverb G2. <https://www.hp.com/es-es/vr/reverb-g2-vr-headset.html>

Dispositivos RV para Smartphones:

- Samsung Gear VR. <https://www.samsung.com/es/support/model/SM-R322NZWAPHE/>
- Google Cardboard. https://arvr.google.com/intl/es_es/cardboard/

Dispositivos de Realidad Aumentada (RA) que también ofrecen RV:

- Microsoft HoloLens 2. <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/buy>
- Magic Leap One. <https://www.magicleap.com/>

Plataformas de entrenamiento deportivo con RV

- Rezzil proporciona plataformas de entrenamiento RV para el fútbol y otros deportes, enfocándose en mejorar la percepción, la toma de decisiones y la condición física. (<https://rezzil.com/>)

- Beyond Sports utiliza RV para crear simulaciones de entrenamiento personalizadas para varios deportes, permitiendo a los atletas practicar en entornos específicos y analizar su rendimiento. <https://www.beyondsports.nl/>

1.5.3 Videojuegos.

Los videojuegos se han convertido en una herramienta popular y efectiva para el entrenamiento visual, ofreciendo una serie de beneficios que pueden mejorar el rendimiento en diversas actividades, incluyendo deportes.

Los videojuegos, especialmente aquellos que requieren un alto nivel de atención y procesamiento rápido de información visual, pueden mejorar la percepción visual. Los jugadores desarrollan la habilidad de detectar y seguir objetos en movimiento, lo que es crucial en muchos deportes. (Green & Bavelier 2006).

Por otra parte, los juegos de acción y disparos en primera persona son conocidos por mejorar el tiempo de reacción de los jugadores. La necesidad de responder rápidamente a estímulos visuales en estos juegos puede traducirse en una mejor capacidad de reacción en situaciones deportivas. (Bavelier, 2009).

Juegos como Unreal Tournament 2004 y Call of Duty 2 son conocidos por mejorar la percepción del movimiento, el tiempo de reacción y la atención a múltiples estímulos simultáneamente. Mediante estos juegos de acción en primera persona se mejoró la sensibilidad al contraste hasta en un 58% de los sujetos participantes en el estudio y esta mejora se mantenía transcurridos varios meses (Bavelier, 2009).

Cuando los videojuegos requieren un alto grado de concentración y la capacidad de mantener la atención en tareas específicas. La evidencia anecdótica del estudio de niños que practican deportes/juegos de carreras sugiere que estos juegos pueden proporcionar algunas mejoras visuales (Trick et al., 2005). Sin embargo, 12 horas de entrenamiento en el juego de

deportes Harry Potter: Quidditch World Cup no condujeron a ninguna mejora clara en la habilidad visual.

Si diferentes juegos de deportes/carreras que tienen movimientos más rápidos (p. ej., Need for Speed), más objetos para realizar un seguimiento (p. ej., NBA 2k7) o un mayor énfasis en el procesamiento periférico (p. ej., FIFA 07) conducirán a resultados diferentes, que los videojuegos que requieren una sincronización precisa entre la visión y los movimientos de las manos mejoran estas habilidades. (Cohen et al. 2007)-

Los juegos de estrategia y acción demandan una rápida toma de decisiones, lo que puede ayudar a los atletas a desarrollar la capacidad de tomar decisiones rápidas y precisas bajo presión. En un estudio llevado a cabo en 2004, mostró los beneficios de entrenar estas habilidades con videojuegos, en deportistas y también, a cirujanos la hora de realizar intervenciones quirúrgicas (Dovnik, 2004).

Algunos videojuegos ayudan a los jugadores a desarrollar una mejor visión periférica, lo que les permite ser más conscientes de su entorno y de los movimientos de otros jugadores. (Ball et al., 1988).

Los juegos que requieren un control visomotor rápido, como el juego Tetris, en los que el análisis visual no requiere la identificación de objetivos entre distractores y la parte de control motor no se centra en la puntería guiada visualmente. Trabajos anteriores indican una menor mejora después de jugar Tetris que jugando a un juego de acción. Tetris difiere de los videojuegos de acción en varios aspectos. En primer lugar, solo hay un número limitado de objetos a los que los jugadores pueden prestar atención en un momento dado. En segundo lugar, la ubicación espacial de estos objetos es muy predecible.

Por lo tanto, aunque exige atención, el jugador sabe dónde y cuándo prestar atención en todo momento. En tercer lugar, solo se utiliza un número limitado de formas a lo largo del juego, lo que permite al alumno memorizar configuraciones espaciales y movimientos, en lugar de tener que adaptarse a un entorno en constante cambio (Destefano y Gray, 2007); (Sims y Mayer, 2002). Esta última característica permite el desarrollo de una

excelente experiencia en el juego en sí, pero lo que se aprende es menos probable que se generalice a otros entornos.

Sin embargo, vale la pena señalar que se ha informado que el Tetris mejora la atención visual ligeramente más que los juegos más lentos, lo que sugiere que el ritmo del juego es un determinante importante del aprendizaje, y que los juegos de ritmo rápido muestran una ventaja cuando se trata de mejorar aspectos de la visión.

Basado en un conjunto de estudios empíricos y computacionales en rápido crecimiento, se sugiere que una amplia experiencia con videojuegos de acción puede mejorar la capacidad de un individuo para formar plantillas o extraer estadísticas relevantes de la tarea en cuestión (Bavelier, 2009).

Se ha descubierto que los videojuegos mejoran la capacidad de seguimiento de múltiples objetos (Green y Bavelier, 2006). Otros estudios también han proporcionado alguna evidencia de que los movimientos oculares de búsqueda suaves mejoran tanto para los jugadores de videojuegos como para las personas que practican con frecuencia actividades deportivas (Koopman et al., 2011; Tsoi et al., 2011).

Lo que sugiere además que la transferencia es posible en ambas actividades. Se utilizó el programa informático SuperLab para registrar los tiempos de reacción simple de los tiradores participantes. Posteriormente, estos datos se emplearon para estimar los tiempos de toma de decisión frente a estímulos visuales, representados por gestos del maestro que se mostraban en una pantalla. El estudio se centró en la relación entre el tiempo de reacción y el tiempo de toma de decisión entre los tiradores de esgrima del equipo nacional español.

Los resultados indicaron una diferencia significativa a favor de los tiradores de espadas en comparación con los floretistas y sablistas. Además, se observó que las decisiones que más prolongaron los tiempos de respuesta fueron aquellas que requerían que los tiradores identificaran la calidad de la ejecución del ataque lanzado por el adversario. (Martínez de Quel et al. 2011).

1.5.4 Dispositivos con luces montados en tableros.

Wayne Saccadic Fixator.

Este aparato consiste en una pantalla con varias luces que se encienden en patrones específicos. El usuario debe tocar las luces que se encienden lo más rápido posible. Fue creado en 1982 por el Dr. Wayne. Este dispositivo fue desarrollado con el propósito de mejorar los tiempos de reacción a través del entrenamiento, siendo ampliamente utilizado en deportes que requieren una alta coordinación y rápida respuesta visual, así como en la rehabilitación de personas con dificultades visuales o neurológicas (Vogel et al. 1992). Además, puede ser empleado en programas de entrenamiento para pilotos y conductores, quienes necesitan mantener un alto nivel de atención y respuesta visual.

El aparato dispone de ejercicios de coordinación que tienen como objetivo aumentar la precisión y la velocidad de la coordinación ojo-mano/pie, principalmente, pero también para mejorar tiempos de reacción y cognitivas como los tiempos de reacción (Kirscher 1993).

Dynavision D2.

Phil Jones en el año 1986 uno de los jugadores de un equipo de fútbol canadiense que realizaba entrenamientos visuales desarrollo el Dynavision 2000, diseñado para incrementar la conciencia visual de los atletas, mejorar el tiempo de reacción y otras habilidades visuales dinámicas de los atletas, como la velocidad de reconocimiento y la visión periférica.

A partir de Dynavision 2000 reunió a un equipo multidisciplinar compuesto por oftalmólogos, ingenieros, entrenadores deportivos, etc. (Klavora, 1996)

Se optimizó el dispositivo y se creó Dynavision D2, que dispone de nuevos programas, ofreciendo mejoras en el entrenamiento de tiempos de reacción como la visión periférica, la concentración visual, la atención dividida, el tiempo de reacción, la toma de decisiones y el procesamiento

visual. Esta herramienta se utiliza, preferiblemente, en condiciones escotópicas. El dispositivo consiste en un conjunto de leds que se disponen concéntricamente. El sujeto que está realizando el ejercicio debe detectar los leds que se iluminan mientras el programa registra los resultados para analizar posteriormente la progresión del deportista (<http://dynavisiond2.com>).

AcuVision 2000.

Este aparato utiliza una pantalla con múltiples luces LED que se encienden en patrones específicos, desafiando al usuario a tocar o señalar las luces lo más rápido posible.

El Acuvision 2000 es empleado en una variedad de deportes para entrenar y perfeccionar habilidades visuales de los atletas, lo que puede traducirse en un mejor rendimiento en el campo de juego. Además, también se utiliza en la rehabilitación de pacientes con problemas visuales y neurológicos, así como en programas de entrenamiento para profesionales que requieren una rápida y precisa respuesta visual. Esta herramienta fue desarrollada en los años 90 por AcuVision Systems Inc. En Carlsbad, California (Estados Unidos) con el objetivo de mejorar la coordinación visomotora del deportista. AcuVision 2000 es la última versión disponible del aparato en el mercado.

El dispositivo consta de una pantalla que normalmente se coloca en la pared con luces que se encienden y apagan a distintas velocidades programables. El deportista debe fijar la luz central. Si está encendida, intentará tocar las luces que van activándose alrededor. Sin embargo, si está apagada, no debe tocar ninguna luz, ya que de lo contrario penaliza (<http://www.dynamic-eye.de>).

Tras realizar algunos estudios (Beckerman & Fornes, 1997), para valorar la eficacia de AcuVision se llegó a la conclusión que al entrenar con esta herramienta el atleta mejoraba tiempos de reacción dinámicas como los movimientos oculares, el tiempo de reacción, la visión periférica y, sobre todo, la coordinación ojo-mano.

1.5.5 Dispositivos de entrenamiento con luces integradas.

Los dispositivos de entrenamiento más habituales son los siguientes:

Eyeport

Diseñado por el Dr. Jacob Liberman en 2001 de la compañía Exercise Your Eyes, Inc. Este aparato es una versión automatizada del cordón de Brock. Permite mejorar la flexibilidad de vergencias y los movimientos sacádicos horizontales y verticales, aunque puede emplearse en cualquier entrenamiento visual en general. El dispositivo se empleó en el entrenamiento visual de jugadores de una liga menor de béisbol, evidenciando la importancia de la fijación, el enfoque y los movimientos oculares en la capacidad para batear. (Bowen, 2005). (<http://www.stack.com/2013/02/04/better-vision/>).

Batak

Consiste en una estructura metálica con una serie de botones luminosos distribuidos en una matriz. Durante su uso, los botones se encienden aleatoriamente, y el objetivo del atleta es presionar los botones iluminados lo más rápido posible.

Este entrenamiento ayuda a desarrollar habilidades cruciales para varios deportes, como el tiempo de reacción, la precisión y la capacidad de mantener la concentración bajo presión.

Este dispositivo demostró confiabilidad y precisión diagnóstica para evaluar las habilidades motoras de coordinación en los luchadores, observándose la correlación más fuerte entre ellas y las pruebas motoras que evalúan la reacción rápida, la orientación espaciotemporal y el acoplamiento de movimientos. (Gierczuk & Bujak. 2014). (<http://www.bataklite.com>)

Sicropat

Dispositivo desarrollado por Quevedo y Solé (1995) para evaluar y mejorar la estabilidad postural y el equilibrio de los atletas, integrando el

entrenamiento visual con el entrenamiento técnico, táctico, físico y psicológico. Se trata de un muñeco de 1,85 m de altura con brazos y piernas articulados. En cada mano y pie tiene instalado un piloto luminoso de 3W de potencia. Del mismo modo, tiene un piloto luminoso en el centro del rostro. Tras el calentamiento y desactivación de los pilotos luminosos se realiza mediante un programa informático específicamente diseñado para su uso. (Quevedo & Solé. 2010),

Makoto Arena II

Desarrollado por la compañía Makoto USA, Inc. en Denver, Colorado (Estados Unidos) en 1990 a. Se utiliza desde 2006 en entrenamientos militares, en terapias de integración sensorial, en problemas de aprendizaje y en rendimiento deportivo (Hilton et al. 2014). Más tarde, tras años de investigación, apareció en 2012 el Makoto Arena II.

El sistema está compuesto por tres postes con 12 luces cada uno, dispuestos alrededor del atleta. Las luces están alineadas verticalmente de diferentes colores, organizadas en grupos de cuatro del mismo color. Durante el ejercicio, el atleta debe desactivar las luces que se encienden tocando en ellas directamente.

Hay varias opciones de entrenamiento disponibles, como la asociación de señales auditivas con los estímulos visuales o el registro de resultados a nivel individual o grupal. Este dispositivo de entrenamiento ayuda al deportista a mejorar principalmente en tiempo de reacción, coordinación visomotora y concentración (<http://www.makotousa.com>).

1.5.6 Dispositivos específicos para la esgrima.

Existen varios dispositivos específicos en el mercado para medir y entrenar el tiempo de reacción en esgrima. Estos dispositivos consisten básicamente en objetivos de puntería de esgrima conectados a un cronómetro. Utilizan como estímulo sistemas de luces que se encienden, obligando al atleta a tocar con su arma. Estos dispositivos cuentan con

múltiples opciones que permiten medir y entrenar distintos tiempos de reacción.

MÉTÉRÈS

Creado por Moreaux y colaboradores en 1987, este dispositivo fue diseñado para estudiar diferentes tiempos de reacción y tiempos de movimiento en respuesta a diversos tipos de estímulos. El sistema está conectado a una célula fotoeléctrica situada a la altura de la mano del tirador, quien debe golpear las dianas cuando se encienden diferentes luces. Los tiempos se registran con el cronómetro del dispositivo. En su investigación, estos autores también midieron tiempos de reacción simples y selectivos, aunque no realizaron comparaciones entre tiradores de distintos niveles (Moreaux et al. 1987).

Este instrumento también fue utilizado en un estudio para investigar el efecto del entrenamiento de seis semanas en el tiempo de respuesta y la precisión en los tocados de esgrima.

Los resultados de dicho estudio mostraron un efecto positivo del entrenamiento en estas variables. Sin embargo, es difícil determinar la causa exacta de estos resultados, ya que podrían deberse tanto a una mejora en la respuesta neuromuscular como a un proceso de aprendizaje (Leseur. 1989).

Utilizando un dispositivo similar al Meteres, se compararon los tiempos de respuesta de esgrimistas expertos con los de un grupo de esgrimistas de menor nivel. Los resultados mostraron que los esgrimistas expertos tenían tiempos más bajos y una mayor precisión.

Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el tiempo de reacción entre los dos grupos, a pesar de que los tiempos fueron mejores en los expertos. Los autores sugirieron que estas diferencias se debían principalmente al tiempo motor (Nougier et al. 1990).

En otro estudio utilizando el dispositivo Meteres, se examinó el impacto de un esfuerzo previo en el tiempo de respuesta simple y selectivo, así como en la precisión, en tiradores de categoría cadete internacional. Los

resultados mostraron que tras un esfuerzo submáximo, hubo mejoras favorables en los tiempos de respuesta tanto simple como selectivo, así como en la precisión, particularmente después de un esfuerzo al 50% de la capacidad máxima (Brunet et al. 1995).

Favero Electronic Target™ (ETF-1, Favero Electronics Srl, Arcade, Italy).

Es el dispositivo actual de referencia se puede considerar como el "gold standard" en este tipo de equipos, es una diana programable diseñada para desafiar a los esgrimistas a golpear una serie de objetivos aleatorios. Este instrumento, de 63 x 46 x 5 cm, cuenta con cinco áreas de objetivo y nueve ejercicios preestablecidos destinados a mejorar la precisión y el tiempo de reacción total (TRT) del esgrimista. Cada objetivo tiene una luz roja en el centro que se enciende para indicar cuándo debe ser atacado, y se vuelve verde cuando es alcanzado, además de emitir un sonido al ser tocado.

El dispositivo muestra el tiempo de respuesta de cada golpe y el tiempo medio de ejecución del ejercicio, lo cual es útil para que el maestro de esgrima evalúe el nivel del alumno y determine cuándo avanzar a ejercicios más complejos.

También puede mostrar el tiempo récord de cada tipo de ejercicio de los últimos 100 completados, estableciendo así una meta para el esgrimista. La pantalla que presenta esta información está protegida contra golpes, con múltiples capas de policarbonato y PVC, y está diseñada para evitar que la punta del arma resbale.

Los comandos y funciones se programan directamente a través de las propias dianas. La zona válida del objetivo varía según la velocidad del impacto, requiriendo una mayor fuerza en la zona periférica que en el centro. Esto significa que las acciones más lentas, como las ejecutadas desde una posición de reposo, requieren mayor precisión, mientras que las

acciones más rápidas, apoyadas en el juego de pies, permiten una mayor tolerancia.

Con este dispositivo se estudiaron distintos de tiempo de reacción de esgrimistas teniendo en cuenta el arma que utilizaban (florete y espadistas), el nivel de desempeño de los atletas (elite y sub-élite) y también se separaron los resultados por género (53 hombres y 42 mujeres)- Aunque en este estudio no encontraron diferencias significativas los distintos tiempos de reacción entre hombre y mujeres en el TRS y TRE, ni entre las distintas armas o niveles (De Giorgio et al 2021). Podemos su funcionamiento aquí: [Video 1](#) y [Video 2](#)

Electronic Scoring KH-FENCING (R.P. China)

Este dispositivo, que emula el diseño y las características del Favero Electronic Target, ofrece una versión simplificada con menos funciones. Actualmente, su disponibilidad está limitada principalmente a Asia, y debido a su reciente introducción en el mercado, aún no se han realizado estudios extensivos sobre su efectividad o rendimiento. Podemos ver dos videos sobre su funcionamiento [aquí](#).

1.6 Aplicación de los sistemas de luces de reacción en el deporte.

Actualmente, diversas tecnologías se están utilizando para entrenar tiempos de reacción en atletas, y es esencial llevar a cabo investigaciones para establecer protocolos de medición y mejora con estos dispositivos. Entre estas tecnologías destacan los sistemas de luces de reacción, que se están convirtiendo en una herramienta eficaz en el entrenamiento deportivo. Estas luces, que se encienden en patrones y tiempos específicos, están diseñadas para mejorar múltiples capacidades físicas y cognitivas de los atletas, como el tiempo de reacción, la coordinación ojo-mano y la agudeza perceptual.

El exjugador de balonmano danés, Erik Rasmussen, inventó el Octopus Trainer en 2007 en colaboración con la empresa sueca IC Control, siendo este dispositivo el predecesor de los actuales sistemas de luces de reacción.

Poco a poco, el sistema se fue perfeccionando hasta la creación del fitlight trainer en 2012, que incorporó características mejoradas como el modo inalámbrico, facilitando así el manejo del sistema. Estas mejoras permitieron que el sistema de luces de reacción se lanzará comercialmente ese mismo año tal como se conoce actualmente. Su capacidad inalámbrica permite configurar y adaptar el dispositivo para cualquier disciplina deportiva, colocando los dispositivos estratégicamente según las necesidades del deportista y los ejercicios diseñados por los profesionales deportivos. (Stack, 2020)

Durante el entrenamiento, estos dispositivos se iluminan a medida que se realiza el ejercicio, y el atleta debe desactivarlos por contacto directo o proximidad, utilizando manos, pies, cabeza o materiales específicos del deporte según el plan de entrenamiento establecido. Esto ofrece a los atletas la posibilidad de mejorar tiempos de reacción y cognitivas, como la concentración y la toma de decisiones, la coordinación visomotora, el procesamiento de la información visual a nivel cognitivo, la visión periférica y el seguimiento de objetos.

Los dispositivos pueden utilizarse tanto horizontalmente en ejercicios de suelo como verticalmente, donde las luces se montan con accesorios disponibles en la página oficial del producto.

Además, se pueden registrar los tiempos y la progresión del ejercicio que se está ejecutando. Disponen de un software para ordenador que permite monitorear los resultados para uno o más usuarios, lo que permite detectar los puntos fuertes y débiles del deportista al realizar un movimiento específico. (<http://fitlight.ca>)

En estudios recientes, los sistemas de luz de tiempo de reacción se han utilizado para evaluar y entrenar los tiempos de reacción de los atletas. Consisten en varios dispositivos iluminados por LED controlados por un software que se instala en una tableta o computadora personal y permite mostrar al atleta muchos estímulos visuales de forma aleatoria. (Bekris et al., 2018; Coh et al., 2018)

Los sistemas de luces de reacción constan de unos marcadores led, que se utilizan como objetivos para el atleta, este tiene que activarlos o desactivarlos cuando se iluminan según las necesidades del programa. Este sistema de entrenamiento está diseñado para recopilar datos de rendimiento humano relacionados con reacciones visuales, cognitivas y dinámicas. Son portátiles y fáciles de configurar y usar, lo que lo convierte en una excelente herramienta tanto para la medida y el entrenamiento en el propio campo de juego con las mismas condiciones de las competiciones. (Fatanić et al, 2020)

Estos dispositivos sirven como objetivos para el deportista, quien debe activarlos o desactivarlos según los requisitos del programa. Estos sistemas están diseñados para recopilar datos de rendimiento relacionados con reacciones visuales, cognitivas y dinámicas. Se utilizan principalmente como instrumento de medición, pero también pueden servir como herramienta de entrenamiento para mejorar el rendimiento, principalmente el tiempo de reacción, el tiempo de movimiento y otras habilidades sensoriomotoras-cognitivas. (Smith, 2017).

1.6.1 entrenamiento deportivo con luces de tiempo de reacción.

Los dispositivos de luces de tiempo de reacción son útiles tanto para el entrenamiento como para la evaluación en deportes individuales y colectivos. Pueden medir diversas habilidades sensoriales-cognitivas y motoras, como el tiempo de reacción, la velocidad de un solo movimiento, la velocidad de carrera y la agilidad. Destacan por su versatilidad y múltiples aplicaciones en el ámbito deportivo. A pesar de ser una tecnología relativamente nueva en el mercado, existen pocos estudios disponibles sobre su uso.

Principalmente, se utilizan como instrumento de medición, aunque sus creadores enfatizan que también pueden ser una herramienta de entrenamiento para mejorar el rendimiento, especialmente en términos de velocidad de reacción y capacidades sensoriales-cognitivas. Esto sugiere que la aplicación del sistema de luces de reacción en diferentes deportes y estudios podría ofrecer respuestas valiosas en este campo. Por ello, es

importante conocer la evidencia científica existente sobre la aplicación del sistema de luces de reacción para diversas habilidades visuales y motoras (Smith, 2017).

Los sistemas de luces de reacción han demostrado ser eficaces en el desarrollo de capacidades perceptivas, visomotoras y cognitivas en el contexto deportivo. Un programa de entrenamiento perceptivo de seis semanas evidenció que las habilidades visomotoras pueden mejorar con la práctica adecuada, aunque los efectos positivos obtenidos son limitados (Florkiewicz et al., 2020). Por su parte, las funciones perceptivo-cognitivas evaluadas durante el movimiento atlético mostraron niveles aceptables de fiabilidad, lo que valida el uso de estos dispositivos en contextos científicos (Wilke et al., 2020).

En cuanto al aprendizaje, se ha observado que el aprendizaje diferencial genera mejoras en el tiempo de respuesta visomotora frente a la interferencia contextual; sin embargo, estas diferencias desaparecen tras un periodo corto de descanso, aunque se mantiene un mejor control motor (Serrien et al., 2019).

El uso de luces de reacción también influye positivamente en la coordinación ojo-mano. En deportistas, como los jugadores de voleibol, se observó una mejora tanto en el tiempo de reacción como en la precisión tras varias sesiones de entrenamiento con estos sistemas (Lima et al., 2021). En niños, se comprobó su efectividad para desarrollar la lateralidad y la coordinación ojo-pie y ojo-mano, con las niñas mostrando mayor progreso en la lateralidad manual y los niños en la lateralidad podal (Badau & Badau, 2022).

Además, este tipo de entrenamiento estimula significativamente la concentración y la atención. La necesidad de responder rápida y correctamente a los estímulos lumínicos obliga al atleta a mantener altos niveles de enfoque. En estudios comparativos, los jugadores de balonmano

de élite demostraron una mayor capacidad de atención sostenida frente a personas no deportistas (Zwierko et al., 2020).

También se ha comprobado su utilidad en el desarrollo de la agilidad y el equilibrio. Las luces pueden programarse para inducir movimientos rápidos y en diferentes direcciones, lo que mejora la capacidad de cambio de dirección. Las correlaciones más fuertes entre velocidad y agilidad reactiva se observaron en atletas individuales durante tareas no planificadas (Mackala et al., 2020). Las diferencias entre atletas y no atletas son más notables cuanto más complejas son las tareas, lo que resalta la necesidad de entrenar por separado la agilidad planificada y la no planificada (Coh, 2019). En el fútbol, estas pruebas permiten identificar debilidades individuales y mejorar parámetros como la velocidad, coordinación y agilidad específica (Zakharova et al., 2019).

A nivel de equilibrio, los futbolistas demostraron tener un mejor control del centro de presión frente a no deportistas, lo que se atribuye a una mayor propiocepción y eficiencia en el uso de la información sensoriomotora (Snyder & Cinelli, 2020). Esto se asocia también con un mejor control ejecutivo y rendimiento deportivo.

La simulación de situaciones reales de juego es uno de los grandes atractivos de estas tecnologías. Las luces pueden programarse para replicar situaciones como un pase en fútbol o un ataque en esgrima, lo que permite entrenar en entornos controlados pero realistas. Estudios sugieren que la agilidad reactiva y el cambio de dirección planificado son habilidades distintas que deben entrenarse por separado (Coh et al., 2018).

En un enfoque de entrenamiento por bloques aplicado en taekwondo mostró mejoras notables en la condición física y habilidades motoras. El grupo que redujo su volumen de entrenamiento en un 50 % durante tres semanas obtuvo mejores resultados que quienes entrenaron con un régimen regular (Vargas & Jiménez, 2018).

El sistema de luces de reacción no solo se utiliza como herramienta de entrenamiento, sino también como un método eficaz para evaluar el

rendimiento de los atletas. Su uso permite obtener datos precisos sobre variables clave como el tiempo de reacción, la velocidad de respuesta y la precisión, información que resulta fundamental para ajustar los programas de entrenamiento y monitorear el progreso individual.

En el caso del bádminton, este sistema ha permitido diferenciar entre atletas de distintos niveles competitivos —élite, sub-élite y recreativo— a través de pruebas de aptitud física. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre el grupo de élite y los otros dos, aunque no se encontraron diferencias relevantes entre los grupos élite y sub-élite en las pruebas motoras. Además, se observaron correlaciones moderadas a muy fuertes entre cuatro pruebas de aptitud física en ambos sexos (Guðmunds et al., 2020).

De forma similar, en el fútbol se ha demostrado que el nivel competitivo influye directamente en la técnica de regate y en los tiempos de reacción. En un estudio que comparó futbolistas de élite, juveniles y aficionados, se halló que todos los grupos tardaban más al ejecutar pruebas con señales visuales en comparación con aquellas sin estímulos.

No obstante, los futbolistas de élite realizaron las pruebas más rápidamente y con menos errores visuales que los aficionados, lo que subraya la importancia de incluir estímulos visuales en las evaluaciones técnicas de regate (Bekris et al., 2018).

1.6.1.1 Tiempo de reacción. (TR)

El sistema de entrenamiento Luces de reacción permite entrenar la velocidad de reacción en distintos tipos de atletas. Las luces de entrenamiento están configuradas para encenderse aleatoriamente, lo que obliga a los atletas a reaccionar rápidamente. Este tipo de entrenamiento puede reducir significativamente el tiempo de reacción, una habilidad crítica en deportes donde las decisiones rápidas son fundamentales (Mackala et al, 2020), (Shelly et al, 2020).

Con estos dispositivos de entrenamiento los deportistas de kárate mejoran el tiempo de reacción a largo plazo entre los jóvenes y existe una diferencia significativa entre los atletas de élite y los principiantes en kárate cuando se trata del tiempo de reacción TR. Este estudio muestra que Luces de reacción puede ser una herramienta estandarizada para estimar y entrenar los tiempos de reacción por estimulación con luz (Liu et al., 2018).

El análisis del tiempo de reacción y anticipación visual debe incluirse en el diseño e implementación de un programa de entrenamiento visual dirigido a mejorar los tiempos de reacción de los atletas para mejorar su rendimiento deportivo. Ya que, comparando los tiempos de reacción entre diferentes deportes, se mostró que los tiempos de respuesta visual de los jugadores de campo son muy específicos e insuficientes para la discriminación (Örs et al, 2020).

Por eso debemos tener en cuenta que los tiempos de respuesta visual de los atletas de varios deportes son muy diferentes y específicos, por lo que es imposible determinar las diferencias entre ellos. En general, se recomienda incluir ejercicios para mejorar los tiempos de reacción en los planes de entrenamiento, con tareas específicas adaptadas a cada deporte en particular.

Es esencial desarrollar ejercicios específicos y realizar ensayos clínicos que integren la percepción neurocognitiva y enfoquen en restaurar la toma de decisiones activa (Millikan et al., 2019).

1.6.1.2 Tareas Go / No-Go.

El paradigma Go/No-Go es una técnica utilizada en psicología y neurociencia para estudiar el control inhibitorio y la capacidad de toma de decisiones. En este paradigma, se presentan a los participantes una serie de estímulos, y deben responder rápidamente (Go) o no responder (No-Go) en función de reglas específicas. Los procesos de inhibición y reprogramación implican un rápido procesamiento cognitivo y motor, incluyendo la detección y discriminación de cambios en el entorno, la inhibición de respuestas incorrectas y la adaptación a situaciones modificadas (Verburgh et al. 2014).

Las tareas Go / No-Go que abordan la elección y la velocidad de decisión durante los deportes de combate, pueden identificar objetivamente las diferencias entre los atletas jóvenes con y sin conmoción cerebral previa. Ya que los defectos en el control visomotor y el equilibrio pueden persistir después de la recuperación (Mitchell et al. 2019).

Sin embargo, cuando se analizó el rendimiento cognitivo de los jugadores de bádminton no se confirmaron la reproducibilidad y validez de la evaluación del control inhibitorio de las tareas de go/no go, sin embargo, el tiempo de reacción simple pareció ser una medida reproducible y válida. (Van de Water et al. 2017).

1.6.3 Otros usos de luces de tiempo en el deporte.

Además de y los tiempos de reacción, este tipo de dispositivos también se han utilizado para medir diferencias en características antropométricas y fisiológicas en estudiantes de rugby. La mayoría de las adaptaciones antropométricas y fisiológicas positivas ocurrieron durante la primera mitad de la temporada, cuando el entrenamiento de acondicionamiento se centró en las habilidades técnicas.

El aumento de la potencia aeróbica máxima y la agilidad se debe a que los jugadores de rugby se vuelven más delgados y se adaptan al entrenamiento físico. A lo largo de la temporada y la posttemporada, estas adaptaciones conducen a una reducción de grasa, mayor agilidad, velocidad y un consumo máximo de oxígeno más elevado (Smith, 2017).

La relación entre la eficiencia del sueño y el rendimiento físico en taekwondistas también se ha estudiado. Este análisis no mostró una correlación significativa entre la eficiencia del sueño y el rendimiento físico. El análisis individual mostró que el desempeño de los tres participantes estaba relacionado con la eficiencia del sueño. La evidencia actual no respalda la afirmación general de que la eficiencia del sueño está relacionada con el rendimiento físico (Vargas & Jiménez, 2020).

Otra función interesante es de los sistemas de luces de tiempo de reacción en el entrenamiento es la prevención de lesiones después del programa, los atletas que exhiben la mayor reducción en la amplitud de la articulación de la rodilla exhiben una mayor aducción de la cadera y muestran mejoras correspondientes en la cinemática de flexión de la cadera y la rodilla.

Midiendo las diferencias en la biomecánica de la cadera entre los grupos que responden y no responden al programa de prevención de lesiones del ligamento cruzado anterior. Estos resultados pueden ayudar a los terapeutas a identificar a las personas que pueden no responder al protocolo y determinar el entrenamiento individual (Taylor et al., 2018).

1.6.4 Uso de luces de tiempo de reacción en la esgrima.

En la esgrima, las luces pueden usarse para entrenar la percepción visual y la velocidad de reacción. Los esgrimistas practican reaccionando a las luces que representan diferentes tipos de ataques, mejorando su capacidad para anticipar y responder a las acciones del oponente.

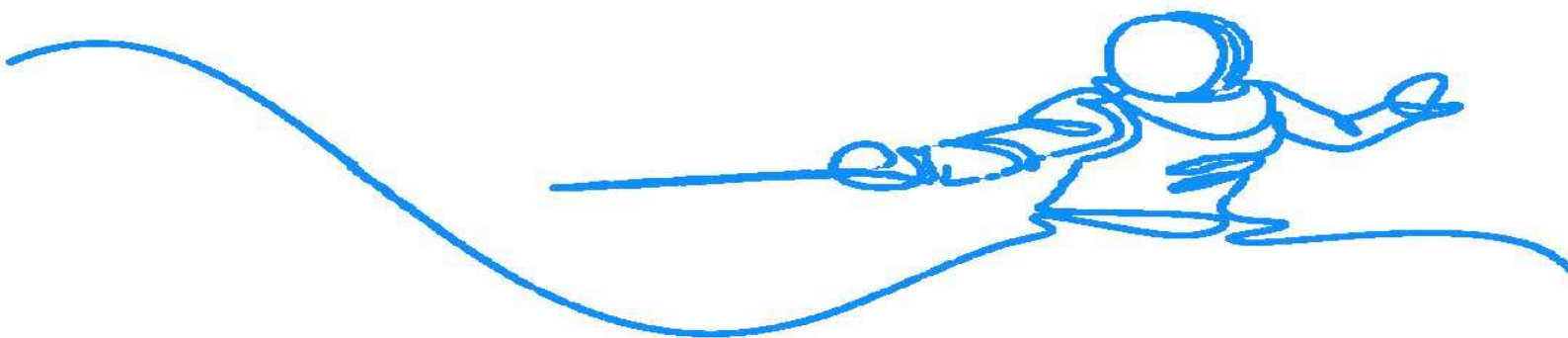
El sistema de luces puede utilizarse para entrenar la velocidad de los reflejos y la precisión de los toques. Los tiradores responden a las luces que indican dónde deben lanzar sus armas, mejorando su coordinación mano-ojo y su velocidad de respuesta.

Tsolakis, exploró entrenamientos específicos en esgrimistas de distinto rendimiento tanto en hombres como en mujeres. El programa de entrenamiento de fuerza supuso una mejora significativa de los parámetros físicos. Por lo tanto, este autor recomienda integrar ejercicios de fuerza, regularmente en el protocolo de acondicionamiento físico para desarrollar el rendimiento físico de los jóvenes espadachines (Tsolakis et al., 2018).

Los sistemas de luces de reacción tienen un amplio potencial de aplicación en diversos deportes, tanto individuales como colectivos. Esto representa una oportunidad para explorar su implementación en estas

áreas. Estos sistemas pueden emplearse para entrenar tiempos de reacción específicas en diferentes deportes y evaluar capacidades sensoriales, cognitivas y motoras, como la velocidad de reacción, el tiempo de respuesta válida, la velocidad de movimiento, la rapidez en carrera y la agilidad. Su integración en el entrenamiento deportivo puede contribuir significativamente al desarrollo de habilidades clave para el rendimiento.

2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO



JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Como óptico-optometrista y tirador de esgrima, he colaborado durante años con maestros de esgrima para demostrar las posibilidades y beneficios de los ejercicios de entrenamiento visual aplicados al deporte, tanto en aspectos de psicomotricidad y equilibrio, como en áreas más específicas del entrenamiento, como la mejora del tiempo de reacción y la anticipación.

En nuestra sala de esgrima, es común el uso de herramientas de optometría deportiva, como las tablas de Hart, gafas anaglifas y el cordón de Brock, entre otros, combinados con ejercicios físicos y de motricidad. Con el tiempo, hemos integrado estos elementos en los entrenamientos típicos de la sala.

En los últimos años, hemos incorporado dispositivos electrónicos como gafas estroboscópicas y luces de tiempo de reacción. Estas herramientas nos han permitido entrenar y medir diferentes tipos de tiempos de reacción, tanto en ejercicios físicos como en el entrenamiento técnico. Las luces de tiempo de reacción hacen que el entrenamiento sea más atractivo, permiten trabajar con atletas en fase de recuperación o en deportes paralímpicos, como la esgrima en silla de ruedas. Además, al proporcionar datos precisos, motivan a los deportistas y fomentan la competencia entre los tiradores.

Esta tesis se divide en dos estudios complementarios que exploran el uso de nuevas tecnologías, como sistemas de iluminación controlados por computadora, en el entrenamiento de esgrima. Se destaca el potencial de estos dispositivos en el ámbito de la optometría deportiva y su contribución a la mejora del rendimiento de los deportistas.

El primer estudio, de carácter descriptivo, tiene como objetivo principal establecer los valores de referencia, para diferentes tipos de tiempo de reacción, en el entrenamiento de la esgrima.

Estos valores de referencia servirán como punto de partida para el segundo estudio, en el cual se analizarán los efectos de la fatiga en

diferentes momentos del entrenamiento específico en esgrima sobre los determinados tiempos de reacción visual que son cruciales para este deporte.

Desde el tiempo de reacción simple (TRS), necesario para ejecutar un toque lo más rápido posible, hasta tiempos de reacción más complejos como el tiempo de reacción de elección (TRE), en el que se debe seleccionar un objetivo específico entre varias opciones, pasando por la toma de decisiones rápidas del tipo "go/no go" (ir o no a un ataque y con qué movimiento responder), la capacidad de responder rápidamente a estímulos visuales es fundamental para el éxito en este deporte."(TD). Estas habilidades cognitivas permiten a los esgrimistas anticipar las acciones del adversario, seleccionar el momento óptimo para atacar y responder eficazmente a las situaciones cambiantes de la competición.

Como deporte minoritario es frecuente que hombres y mujeres compitan en la misma categoría. Por eso hemos querido estudiar a tiradores de ambos sexos. Asimismo, se consideró relevante analizar a esgrimistas de diferentes niveles competitivos para evaluar cómo varían los tiempos de reacción en función de la experiencia. Para ello, se incluyeron atletas de cuatro niveles competitivos: aficionado, regional, nacional e internacional, Por último, se incluyeron tiradores de las tres armas (florete, espada y sable) con el objetivo de determinar si existen diferencias en los tiempos de reacción según el arma utilizada. En línea con investigaciones previas que señalan la inestabilidad de los tiempos de reacción en niños menores de 11 años, se decidió excluir a este grupo de edad del estudio para minimizar el impacto de factores de desarrollo en los resultados (Henry y Rogers, 1960).

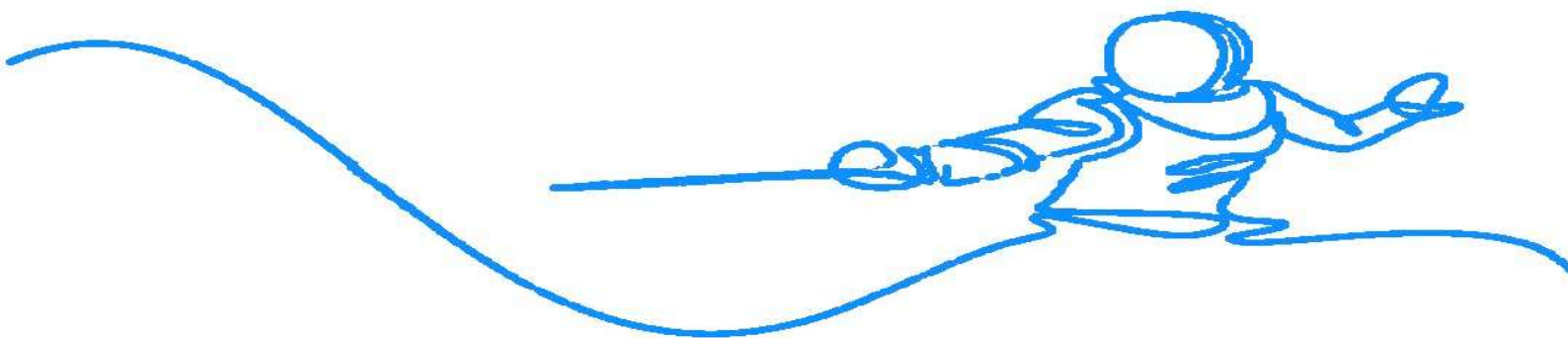
En el entrenamiento habitual, utilizamos luces de tiempo de reacción tanto en la parte física como en el entrenamiento cognitivo de diversas habilidades visuales. Esta versatilidad fue lo que nos llevó a elegir este tipo de dispositivos para el estudio. Además, optamos por las luces de la marca

Queling Sport (Queling China), que son sincronizables con la aplicación ReactX, debido a su excelente relación calidad-precio. Esto nos permitió adquirir dos juegos. Estos dispositivos son totalmente portátiles, ya que funcionan con batería y no requieren una fuente de alimentación para su uso.

Otra de las razones por las que decidimos usar estos dispositivos es su capacidad para sincronizarse con otros equipos de entrenamiento electrónico, como gafas estroboscópicas o pelotas de reacción, del mismo distribuidor.

Al inicio de esta investigación, los tableros electrónicos específicos para esgrima no estaban disponibles en España. Además, estos dispositivos requieren una fuente de energía constante, lo que obliga a colocarlos cerca de una toma de corriente; son menos versátiles, más pesados y ofrecen opciones de programación limitadas.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis principales del estudio.

Las hipótesis principales del estudio son las siguientes:

1ª) Factores como género, del nivel competitivo y del tipo de arma influyen en el tiempo de reacción y la toma de decisión en esgrimistas.

2ª) El efecto de la fatiga influye negativamente en los tiempos de reacción de los esgrimistas.

3.2 Objetivos del estudio.

3.2.1 Objetivos principales.

El objetivo principal del primer estudio (A) es identificar los tiempos de reacción claves en la esgrima, con el propósito de establecer valores de referencia que faciliten su mejora mediante el uso de nuevas tecnologías aplicadas al entrenamiento.

Una vez completado el primer estudio, se desarrollará un segundo estudio (B) con el propósito de examinar el impacto de la fatiga en los tiempos de reacción analizados, y así establecer valores de referencia que sirvan a los entrenadores para medir los efectos de la carga física sobre las capacidades perceptivas en esgrima.

3.2.2 Objetivos secundarios.

A continuación, se detallan los objetivos de cada uno de los dos estudios que componen esta tesis doctoral:

A1. Diseñar una batería de test de dificultad y nivel de procesamiento visual progresivo que sirva de referencia para la evaluación de la capacidad de respuesta a estímulos y toma de decisión de los tiradores de esgrima.

A2. Determinar la influencia del género, del nivel competitivo y del tipo de arma en los tiempos de reacción estudiados.

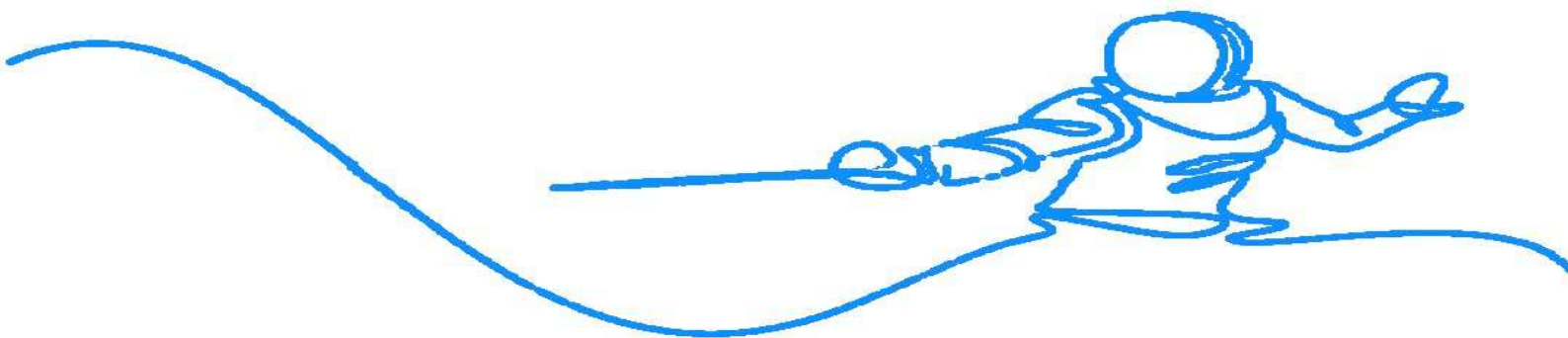
A3. Generar valores de referencia para evaluar los tiempos de reacción relacionados con la velocidad y la toma de decisión en esgrimistas.

B1. Estudiar la influencia de la fatiga con diferentes tiempos de reacción en la práctica de los esgrimistas.

B2. Determinar la influencia de la FC y la saturación de oxígeno (SO_2), como indicadores de la carga de trabajo físico en esgrima.

B3 Conocer si los ganadores o perdedores presentan diferentes tiempos de reacción tras el asalto de esgrima.

4. MATERIALES Y MÉTODOS



MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Muestra.

La muestra en el primer estudio consistió en 114 esgrimistas (67 hombres y 47 mujeres; edad: 25 ± 13 años) de varios clubes de esgrima de la región de Andalucía, compitiendo a nivel aficionado (18 atletas), regional (55 atletas), nacional (25 atletas) e internacional (16 atletas) en las tres armas oficiales de esgrima: Espada (E), Sable (S) y Florete (F).

En el segundo estudio la muestra consistió en 48 esgrimistas, 28 hombres y 20 mujeres, de $26,73 \pm 11$ años) divididos en grupos por el arma utilizada en 25 esgrimistas de espada (12 mujeres), 14 de florete (8 mujeres) y 19 de sable.

Ambos estudios se llevaron a cabo con la participación voluntaria de los atletas, quienes firmaron previamente un consentimiento informado. En el primer estudio, la muestra incluyó a 46 esgrimistas menores de 18 años (40,35 % de la muestra), mientras que en el segundo estudio participaron 20 esgrimistas menores (41,66 % de la muestra). En estos casos, se solicitó adicionalmente el consentimiento de los padres o tutores legales.

Todos los participantes completaron una anamnesis previa que incluía preguntas sobre el estado de salud y una evaluación visual básica, incluyendo, entre otros, agudeza visual y motilidad ocular. Se excluyeron de la muestra los sujetos que informaron tener problemas de salud en la última semana, aquellos con agudeza visual monocular (derecha o izquierda) inferior a 0.7, agudeza visual binocular inferior a 0.8 y motilidad ocular alterada.

De los 114 deportistas del primer estudio, 46 (41,07%) presentaban defectos de refracción, pero solo 35 de ellos usaban corrección óptica durante los combates: 12 con gafas, 22 con lentes de contacto y 1 con ortoqueratología nocturna.

Con la mejor corrección óptica posible, la agudeza visual estática a distancia fue la siguiente:

- Binocular media: $AVE = 1,13 \pm 1,9$.
- Monocular: ojo derecho $AVE_{OD} = 1,09 \pm 0,8$; ojo izquierdo y $AVE_{OI} = 1,04 \pm 0,9$ (en escala decimal).

En cuanto a la lateralidad manual, 43 atletas (37,72%) eran zurdos y 71 (62,28%) diestros.

Al medir el punto próximo de convergencia, se obtuvo un punto de rotura promedio de $5,24 \pm 1,25$ cm y un punto de recuperación de $9,43 \pm 2,36$ cm.

Las forias, evaluadas con el cilindro de Maddox, no mostraron desviaciones significativas ni presencia de estrabismos.

Los movimientos sacádicos, medidos con la tabla de Hart a 2 metros, arrojaron una media de $26,57 \pm 3,32$ letras por minuto.

En cuanto a la flexibilidad acomodativa:

- Usando flippers de $\pm 2,00$ dioptrías, se obtuvo una media de $13,10 \pm 1,56$ volteos por minuto.
- Usando tablas de Hart (cambio de enfoque entre lejos y cerca), se alcanzaron $15,90 \pm 3,23$ ciclos por minuto.

No se detectaron casos de daltonismo, aunque se observaron algunas anomalías leves en la percepción del color.

La segunda muestra incluyó a 48 esgrimistas, de ellos, 25 presentaban defectos de refracción, pero solo 8 utilizaban corrección óptica durante el combate: 2 con gafas y 6 con lentes de contacto.

En cuanto al número de sujetos del segundo estudio cabe destacar que, que se tomaron tres mediciones en cada uno de los cuatro ejercicios. Por tanto, se realizaron un total de 144 mediciones en este estudio, una cantidad similar a la del primer estudio.

Por la misma idiosincrasia de este segundo estudio, las mediciones se tenían que llevar a cabo durante la misma sesión de entrenamiento, lo que limitaba la posibilidad a un máximo de 2 a 4 mediciones por día. En cambio, en el primer estudio, las mediciones podían realizarse en cualquier momento del entrenamiento, lo que permitía una recolección de datos mucho más dinámica. Por estas razones, ambas partes del estudio se desarrollaron en un periodo aproximado de seis meses, siendo el tiempo de ejecución similar en ambos casos.

Con la mejor corrección, la agudeza visual estática media fue:

- Binocular: $AVE = 1,03 \pm 0,86$.
- Monocular: $AVE_{OD} = 1,05 \pm 0,94$ y $AVE_{OI} = 1,02 \pm 0,65$.

En cuanto a lateralidad, 23 tiradores (47,92%) eran zurdos y 25 (52,08%) diestros.

Debido a una mayor proporción de jóvenes presbitas en esta muestra, los valores del punto próximo de convergencia fueron más alejados que en el primer estudio:

- Punto de rotura: $8,46 \pm 3,26$ cm.
- Punto de recuperación: $19,52 \pm 5,56$ cm.

Esto también podría explicar la disminución en el rendimiento de otras funciones visuales:

- Sacádicos (tabla de Hart a 2 metros): media de $20,23 \pm 3,88$ letras por minuto.
- Flexibilidad acomodativa:
 - Con flippers de $\pm 2,00$ D: $8,15 \pm 1,66$ volteos por minuto.
 - Con tablas de Hart (lejos-cerca): $8,23 \pm 2,66$ ciclos por minuto

Al igual que en el primer estudio, no se encontraron desviaciones ni estrabismos al evaluar las forias con el cilindro de Maddox. Tampoco se hallaron casos de ceguera al color, aunque sí algunas alteraciones leves en la percepción del color.

4.2. Materiales.

Para la realización de ambos estudios se utilizaron dos juegos de cuatro luces de tiempo de reacción de la marca Queling Sport (Queling China), sincronizables con la aplicación ReactionX para dispositivos Android.

Estas luces tienen una forma hexagonal con un tamaño aproximado de 9 cm, se pueden fijar superficie con dispositivos de velcro o imanes a superficies metálicas. Se conectan a dispositivos inteligentes mediante Bluetooth versión 5.0. Se fijaron con Velcro a un panel vertical de 1.6 x 1.0 metros con una imagen de un esgrimista (Figura 3).

Los dispositivos de iluminación tienen un rango operativo máximo de 35 a 40 metros y una duración de batería de 3 horas. También cabe destacar la capacidad de respuesta de los dispositivos a diversos estímulos, incluyendo señales vibratorias, interacciones táctiles, proximidad cercana (8 a 15 cm) o proximidad distal (30 - 40 cm). Seleccionamos el modo "interacción táctil" para esta prueba, de modo que el dispositivo se activaba solo cuando se tocaba cualquier parte de su superficie.

Para medir la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno a cada deportista de forma portátil utilizamos un pulsómetro y oxímetro de la marca Fingertip.

Además, disponíamos de varios dispositivos electrónicos inteligentes con sistema operativo Android: varios dispositivos con la aplicación Reactx y Reflex Glasses. Disponemos de varios smartphones y Tablet con sistema operativo Android instalado. En todos se han instalado las aplicaciones para sincronizar las gafas estroboscópicas y las luces de tiempo de reacción.

Cada tirador utilizó su propio material y arma habitual de combate, para intentar meter otros elementos de confusión y pérdida de precisión en los ejercicios.

4.3 Metodología.

Diseño Experimental y Procedimiento

En colaboración con el equipo técnico y entrenadores de la sala Almedina de Córdoba, se diseñaron cuatro ejercicios específicos para evaluar de forma sistemática los tiempos de reacción y la capacidad de toma de decisiones en esgrimistas. Estos ejercicios fueron desarrollados para simular de forma controlada las situaciones y demandas cognitivas que los deportistas enfrentan durante un combate real (ver Figura 3).

Protocolo de Evaluación

Las pruebas se realizaron en un entorno de entrenamiento habitual, antes de una sesión regular de esgrima, bajo condiciones estandarizadas. Cada uno de los cuatro ejercicios tuvo una duración aproximada de 10 minutos. Previamente a la recogida de datos, los participantes recibieron una explicación detallada del procedimiento y realizaron una fase de familiarización/práctica de 3 minutos para cada ejercicio, con el fin de garantizar la comprensión de las instrucciones y reducir el efecto del aprendizaje.

Durante cada ejercicio, el sistema de medición registró automáticamente los siguientes datos para cada participante:

- Tiempo de reacción por ensayo (en milisegundos)
- Número total de ensayos
- Número de aciertos y errores (según la corrección de la respuesta)
- Tiempo de reacción más rápido, más lento y promedio
- Estímulo visual asociado (color y cantidad de luces por ensayo)

Descripción de los Ejercicios

Ejercicio 1 – Tiempo de Reacción Simple (TRS):

Los participantes debían reaccionar lo más rápidamente posible a un único estímulo visual (una luz), siempre del mismo color y en una posición conocida de antemano, tocando la luz de tiempo de reacción con su arma habitual.

Ejercicio 2 – Tiempo de Reacción Selectivo (TRE):

El participante debía responder únicamente al estímulo correcto (color objetivo) conociendo la secuencia de encendido.

Ejercicio 3 – Tiempo de Reacción Selectivo Ir/No Ir (G/NG):

Similar al ejercicio 2, pero incorporando una condición de inhibición: los participantes debían reaccionar solo a ciertos estímulos ("Go") y abstenerse de responder ante otros ("No-Go"), exigiendo mayor control inhibitorio.

Ejercicio 4 – Tiempo de Toma de Decisiones (TD):

Los participantes debían seleccionar y ejecutar una acción específica entre varias posibles (por ejemplo, estocada, paso adelante, paso atrás), en función del tipo, color o combinación de estímulos presentados. Este ejercicio imitaba situaciones de toma de decisiones bajo presión, similares a las que ocurren durante un combate de esgrima.



Figura 3.- Disposición de las luces como objetivo en todos los ejercicios.

Colocadas como dos laterales a la derecha en el brazo y a la izquierda en el pecho, una en la cintura y una en la máscara. Estas se disponen formando un rombo con el vértice inferior a 120 cm del suelo y el superior a 170 cm, del suelo, las luces horizontales también se situarán en los vértices del rombo a 50 cm entre ellas. El sujeto se colocará a su distancia de tocado de las luces. Para realizar la prueba en condiciones lo más parecidas a una situación real cada esgrimista utilizó su arma habitual de combate.

4.3.1 Ejercicio 1: Tiempo de Reacción Simple. (TRS)

Para la medición del Tiempo de Reacción Simple (TRS) se utilizó la aplicación ReactionX, configurada en el modo "Orden". El dispositivo se colocó de forma que las luces LED quedaran alineadas según la disposición mostrada en la Figura 3.

Solo una luz se iluminaba en cada ensayo, siempre del mismo color (verde), y en una secuencia fija previamente conocida por el esgrimista. Las

Luces se iluminaban en sentido horario empezando por la luz que se situó en la posición de las doce de un reloj. El atleta debía apagar la luz mediante el contacto directo de su arma.

La prueba tenía una duración total de 1 minuto. El intervalo entre el apagado de una luz y el encendido de la siguiente era aleatorio, con un rango entre 0,5 y 1,0 segundos, programado automáticamente por la aplicación.

Condiciones de ejecución:

El esgrimista comenzaba cada prueba en posición de su guardia habitual, con el arma orientada hacia el panel de luces.

La distancia inicial respecto al panel fue ajustada individualmente para cada atleta, de forma que pudiera alcanzar cómodamente todas las luces con su arma. En la mayoría de los casos, esta distancia osciló entre 120 y 150 cm, en función de la estatura y envergadura del tirador.

Criterios de exclusión de medidas:

Las respuestas con un tiempo inferior a 100 ms fueron clasificadas como anticipaciones (no se consideraron válidas).

Las respuestas mayores a 1000 ms fueron consideradas bloqueos cognitivos o motores y también se descartaron del análisis.

Datos recogidos:

El sistema registró automáticamente el tiempo de reacción de cada ensayo, así como el número total de aciertos y ensayos descartados por anticipación o bloqueo.

El número promedio de ensayos realizados por participante durante el minuto de prueba fue de 37 ± 10 .

En total, se descartaron 98 ensayos por criterios de exclusión, lo que representa un 2,31% del total de datos recolectados.

4.3.2 Ejercicio 2: Tiempo de Reacción Electivo. (TRE)

Para la evaluación del Tiempo de Reacción Electiva (TRE), se utilizó nuevamente la aplicación ReactionX, esta vez configurada en el modo “Estándar”. Las luces LED se dispusieron según la misma distribución empleada en el Ejercicio 1 (ver Figura 3).

Durante la prueba, una de las cuatro luces disponibles se iluminaba de manera aleatoria, siempre en color verde. A diferencia del ejercicio anterior, el esgrimista no conocía de antemano qué luz se activaría, por lo que debía identificar el estímulo visual, localizar su posición y responder rápidamente mediante el contacto con el arma. La duración de la prueba fue de 1 minuto por participante.

El TRE se definió como el intervalo entre el encendido de la luz y el contacto del esgrimista con la misma, incluyendo el tiempo de procesamiento necesario para seleccionar la respuesta correcta entre cuatro posibles ubicaciones.

Condiciones de ejecución.

Las luces mantenían un intervalo aleatorio entre 0,5 y 1,0 segundos entre ensayos, igual que en el ejercicio anterior.

La distancia a las luces y todos los demás parámetros fueron los mismos del ejercicio uno.

Criterios de exclusión de medidas.

Las respuestas con un tiempo inferior a 100 ms fueron consideradas anticipaciones y excluidas.

Las respuestas superiores a 1000 ms se interpretaron como bloqueos y también fueron descartadas.

Datos recogidos:

El sistema registró automáticamente los tiempos individuales de cada ensayo, así como el número total de respuestas válidas y descartadas.

El número promedio de ensayos por participante durante el minuto de prueba fue de 38 ± 12 .

En total, se descartaron 29 ensayos por anticipación o bloqueo, lo que representa un 0,67% del total.

4.3.3 Ejercicio 3: Tiempo de Reacción Electivo Ir/No Ir. (G/NG)

Este ejercicio evaluó la capacidad de toma de decisiones rápida en situaciones en las que el esgrimista debía determinar si ejecutar o no una acción ofensiva, simulando el juicio necesario para decidir entrar o no en la distancia de golpeo durante un combate.

La prueba se implementó utilizando la aplicación ReactionX en el modo "Verdadero-Falso". Las luces se dispusieron según el esquema previamente descrito (ver Figura 3).

Condiciones de ejecución.

En cada ensayo podía encenderse una única luz verde (respuesta "Go") o ninguna luz verde (respuesta "NoGo").

Las luces restantes se iluminaban en color rojo.

Las luces permanecían encendidas durante un máximo de 2 segundos, y el intervalo entre ensayos era aleatorio, entre 0,5 y 1,0 segundos.

El esgrimista debía tocar solo las luces verdes con su arma y no reaccionar ante las luces rojas.

La secuencia de luces era aleatoria y generada automáticamente por la aplicación.

Este ejercicio registró tanto el tiempo de reacción electiva como la capacidad de inhibición de la respuesta, es decir, la habilidad para decidir rápidamente si ejecutar un movimiento ofensivo (“Go”) o mantenerse en guardia (“NoGo”).

La distancia del esgrimista a las luces fue la misma que en los ejercicios anteriores (aproximadamente 120–150 cm), iniciando siempre desde la posición de guardia.

Criterios de exclusión de medidas.

Las respuestas menores a 100 ms se clasificaron como anticipaciones y se eliminaron.

Las respuestas mayores a 1000 ms fueron consideradas bloqueos y también fueron descartadas.

La aplicación proporcionaba retroalimentación acústica para indicar errores: tanto los toques sobre luces incorrectas como las omisiones de luces verdes.

Datos recogidos:

El número promedio de ensayos (luces activadas) por esgrimista durante el minuto de prueba fue de 24 ± 8 .

Se descartaron 4 ensayos por anticipación o bloqueo, lo que representa un 0,15% del total.

4.3.4 Ejercicio 4: Tiempo de toma de decisiones. (TD)

Este ejercicio representa una evolución de los anteriores al incluir la toma de decisiones basada en múltiples estímulos, donde el esgrimista debía ejecutar diferentes acciones motoras en función del color de la luz observada. Este diseño simula con mayor realismo las exigencias cognitivas y físicas de un combate de esgrima.

Se utilizó la aplicación ReactionX en el modo “Combinado”, con las luces dispuestas como en los ejercicios anteriores (ver Figura 3).

En cada ensayo, una sola luz de las cuatro disponibles se encendía de forma aleatoria con uno de tres colores posibles:

Verde: el esgrimista debía realizar un fondo o estocada para tocar la luz (TDF).

Rojo: se debía ejecutar un movimiento de marcha para tocar la luz (TDM).

Azul: el sujeto debía romper (paso atrás) y luego ejecutar una marcha o fondo para tocar la luz (TDR).

Condiciones de ejecución.

Los esgrimistas comenzaban desde la posición de guardia, a una distancia de 180 a 200 cm del dispositivo, suficiente para ejecutar los desplazamientos completos típicos de la esgrima con el arma.

No se registraron movimientos anticipados en este ejercicio y se decidió que las respuestas superiores a 2500 ms se clasificaron como bloqueos y fueron excluidas del análisis.

Datos recogidos:

Para cada tipo de movimiento (TDF, TDM, TDR) se registró el tiempo de ejecución correspondiente.

El número promedio de ensayos por sujeto durante el minuto de prueba fue de 9 ± 2 .

Se descartaron 81 ensayos por bloqueos, lo que representa el 7,5% del total.

Este fue el ejercicio más valorado por esgrimistas y entrenadores debido a su alto grado de realismo, y fue utilizado con frecuencia fuera del estudio con fines de entrenamiento.

4.4 Metodología del Segundo estudio: Evaluación en tres fases del entrenamiento

Con el objetivo de evaluar cómo la fatiga afecta los tiempos de reacción y la toma de decisiones, se repitieron los cuatro ejercicios en tres momentos clave del entrenamiento:

Paso 1 - En reposo

Se realizaron los cuatro ejercicios con los esgrimistas recién iniciados en la sesión, sin fatiga acumulada.

Se registraron los tiempos de reacción en cada ejercicio, así como la saturación de oxígeno en sangre (SO_2) y la frecuencia cardíaca (FC) en reposo.

Paso 2 - Tras el calentamiento

Los ejercicios se repitieron después de un calentamiento de aproximadamente 10 minutos, hasta alcanzar una frecuencia cardíaca entre 80-110 ppm, con un máximo de 120-130 ppm.

Se volvieron a medir los tiempos de reacción, SO_2 y FC.

Protocolo de calentamiento:

Carrera básica: 1'

Carrera levantando rodillas + talones: 1'

Carrera lateral (ambos lados): 1'

Carrera cruzada: 1'

Carrera con giros de brazos en distintos sentidos: 1'

Estiramientos articulares: 1'

Salto con coordinación de brazos y piernas (3 tandas de 30" con 10" de descanso): 2'

Desplazamientos de esgrima (marchar, romper, fondo, flecha, etc.) con intensidad creciente (tandas de 30" con 10" de descanso): 2'.

Paso 3 – Tras el combate

Finalmente, se realizaron combates simulados de alta intensidad, consistentes en enfrentamientos a 15 puntos o tres asaltos de tres minutos.

Inmediatamente después del combate, se realizaron de nuevo los cuatro ejercicios.

Se recogieron los tiempos de reacción, así como las medidas de SO_2 y FC post-esfuerzo.

4.6 Análisis estadístico.

Para las estadísticas descriptivas, se obtuvo el promedio de todos los intentos de cada ejercicio, después de descartar las respuestas anticipadas y los bloqueos, como se ha descrito con anterioridad.

La normalidad de todas las variables consideradas en el estudio se probó con la prueba de Shapiro-Wilk, mostrándose tanto pruebas paramétricas como no paramétricas en las tablas, de acuerdo con la distribución de la muestra. Para todas las pruebas estadísticas, el nivel de significación se estableció en $\alpha=0.05$.

En la primera parte del estudio se estudiaron los tiempos de reacción con sistemas de iluminación con control informático. Se realizó la prueba de ANOVA para muestras independientes cuando la distribución fue normal aplicando pruebas post hoc de Tukey estándar para definir diferencias significativas entre los grupos. Cuando la distribución no fue normal, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis aplicando la prueba post hoc de Dunn para definir diferencias significativas entre los grupos. En ambos casos se determinó el η^2 para definir el tamaño del efecto, considerando valores $<0,01$ como efecto pequeño, valores $>0,01$ y $<0,04$ como efecto medio y valores $>0,14$ como efecto alto. (Cohen, 1988).

Finalmente, se realizó la prueba t de Student de muestras independientes para evaluar las diferencias por género, y se indicó la d de

Cohen para expresar el tamaño del efecto de las diferencias por género $<0,2$ como efecto pequeño, valores $>0,2$ y $<0,8$ como efecto medio y valores $>0,8$ como efecto alto (Cohen, 1988).

En la segunda parte del estudio analizamos el efecto del cansancio en tres momentos diferentes según el nivel de fatiga (en reposo, tras el calentamiento y tras el entrenamiento).

Cuando los datos siguieron una distribución normal y cumplían con la suposición de esfericidad (igualdad de varianzas entre las mediciones repetidas), se utilizó un análisis de ANOVA de medidas repetidas.

Cuando los datos no cumplieron las suposiciones de normalidad o esfericidad, se utilizó la prueba de Friedman. En caso de encontrarse diferencias significativas con cualquiera de los dos métodos, se usó los contrastes pareados de Conover con corrección de Holm - Bonferroni (Maxwell, 1980; Field, 2012). En este método de contraste, la dirección de la diferencia se puede interpretar a través del signo del Estadístico-T (diferencia entre los grupos) y el rrb (correlación biserial de rango). Un valor negativo en rrb indica que el primer grupo tiene rangos más bajos que el segundo, y viceversa. Los valores más cercanos a 1 o -1 indican una relación más fuerte, mientras que valores cercanos a 0 indican una relación débil (Field, 2012).

Cuando quisimos comparar los resultados en función de los ejercicios diseñados utilizamos una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, asumiendo como hipótesis nula que las distribuciones de las dos muestras son iguales en términos de sus medianas, siendo la hipótesis alternativa que las distribuciones de las dos muestras son diferentes. Se calculó la correlación biserial de rangos de Cohen, donde un valor positivo indica que los valores del segundo grupo tienden a ser mayores que los del primero, para saber el tamaño del efecto y la dirección y magnitud de la diferencia entre las dos muestras.

Valores entre 0,1 - 0,3 fueron considerados como un efecto pequeño, entre 0,3 - 0,5 un efecto mediano, y se consideró un efecto grande cuando los valores fueron superiores a $> 0,5$.

Todas las estadísticas fueron realizadas con el programa de software libre JASP para Linux.

4.7 Limitaciones del estudio.

La principal limitación del estudio fue el tamaño reducido de la muestra. La esgrima es un deporte minoritario y es difícil encontrar un número de participantes elevado, lo que limita la generalización de los resultados. Además, los efectos cercanos a la significación podrían haberse confirmado con una muestra más amplia.

Este protocolo lo hemos estandarizado en los entrenamientos de la sala, pero debido a la limitación de tiempo de esta tesis no se han podido incluir nuevos resultados

En nuestra defensa debemos de mencionar que la mayoría de los estudios en la bibliografía tiene un número inferior de participantes.

Esta limitación de participantes conlleva una limitada heterogeneidad de los participantes. Intentamos tener un número similar de esgrimistas de un mismo nivel (élite, amateur, regional nacional), al igual que con las de más variables como sexo, arma y grupos de edad. Lo que reduciría la variabilidad no controlada en los tiempos de reacción y la respuesta a la fatiga. Debido a lo reducido de la muestra no fue posible. Y aunque el grupo aficionado se podría considerar como grupo control, el estudio se podría comparar con un grupo control de personas sedentarias o que no han utilizado un arma de esgrima nunca.

En cuanto el control parcial del estado emocional solo se analizó el efecto de ganar o perder, no se evalúan otras variables emocionales o motivacionales que podrían influir en la respuesta cognitiva y motora, como ansiedad competitiva, estrés o motivación individual.

Las pruebas fueron realizadas en un contexto de entrenamiento, que, aunque realista, puede introducir variaciones no controladas como distracciones, interacción con otros atletas o ruidos.

Además, la fatiga inducida por simulación, no por competición real y aunque se simula un combate, el esfuerzo puede no igualar el estrés físico y psicológico de una competición oficial, limitando la validez ecológica de los efectos de la fatiga observados.

Al carecer de financiación externa solo teníamos disponible un tipo de luces de tiempo de reacción lo que conlleva una dependencia de una única herramienta tecnológica (ReactionX). Lo que puede suponer un sesgo metodológico o limitar la replicabilidad si no se dispone del mismo software o hardware. Además, los dispositivos de medida de fatiga eran muy limitados.

El uso de umbrales fijos para excluir anticipaciones (<100 ms) o bloqueos (>1000/2500 ms) es correcto, pero podría eliminar respuestas válidas para algunos sujetos con estilos atípicos o estrategias distintas.

Aunque práctica, una duración tan breve podría no capturar la variabilidad intraindividual o posibles efectos de aprendizaje, fatiga acumulativa o pérdida de concentración.

El desfase temporal entre el combate y las mediciones post-esfuerzo pueden ser un factor en cuenta. Si no se estandariza el tiempo entre el fin del combate simulado y la recolección de datos, podrían registrarse efectos de recuperación que alteren los resultados post-fatiga.

4.8 Investigaciones futuras

Como objetivo principal para investigaciones futuras el objetivo principal sería ampliar la muestra y segmentar por nivel competitivo. El realizar estudios con un mayor número de participantes, diferenciando entre esgrimistas de nivel élite, intermedio y principiante, para analizar si la experiencia modula la fatiga y la toma de decisiones.

Otro paso obvio en el que quiero trabajar es estudiar el impacto del estrés competitivo real. Sería interesante el replicar el protocolo durante o después de competiciones oficiales, donde el estrés emocional y la presión competitiva son auténticos, para evaluar su influencia sobre la toma de decisiones y los tiempos de reacción.

También sería interesante analizar la recuperación post-fatiga y su efecto temporal. Medir los tiempos de reacción no solo inmediatamente después del ejercicio, sino también en intervalos sucesivos (5, 10, 20 minutos) para estudiar el proceso de recuperación cognitiva.

Se podría relacionar fatiga con métricas técnicas y tácticas. El investigar cómo la fatiga afecta la precisión de las acciones técnicas, las decisiones tácticas y el resultado de los combates, integrando métricas cualitativas con las cuantitativas, podría ser interesante.

Con financiación externa se podrían incorporar herramientas como EEG, pupillometría, HRV o niveles de cortisol para explorar correlaciones entre activación neurológica y tiempos de respuesta en condiciones de fatiga.

El poder utilizar otras luces de tiempo de reacción validar y comparar con otras herramientas de medición también sería interesante, Comparar los resultados obtenidos con ReactionX con otras aplicaciones o métodos de medición (ej. fitlight), para validar la consistencia y sensibilidad de los resultados.

Un objetivo que tenemos planeado para futuras investigaciones es realizar este tipo de ejercicios en otros deportes de combate, al igual que la comparación de estos valores con los de personas sedentarias.

4.9 Aplicaciones prácticas

Las luces de tiempo de reacción se han convertido en un elemento más de entrenamiento habitual en la sala de esgrima. Con gran efectividad en la motivación, competitividad y mejora de los tiempos de reacción de los esgrimistas.

La aplicación práctica más directa que ya estamos aplicando en los entrenamientos habituales es el diseño de entrenamientos más realistas y efectivos. Este tipo de ejercicios permiten simular demandas cognitivas reales de un combate, ayudando a entrenadores a integrar rutinas que desarrollen la toma de decisiones bajo fatiga.

El ejercicio 4 (TD) se ha convertido en una herramienta de entrenamiento habitual para mejorar la respuesta motora condicionada por el estímulo visual.

La combinación de tiempos de reacción + pulsaciones + saturación de oxígeno (SpO_2) ofrece un protocolo simple para controlar el impacto de la fatiga durante la sesión. Lo que permite adaptar la carga del entrenamiento o el momento ideal para tomar decisiones tácticas.

Los hallazgos sobre cómo la fatiga afecta la toma de decisiones pueden usarse para planificar los momentos adecuados para entrenamientos tácticos o análisis de vídeo, evitando hacerlo tras sesiones muy intensas.

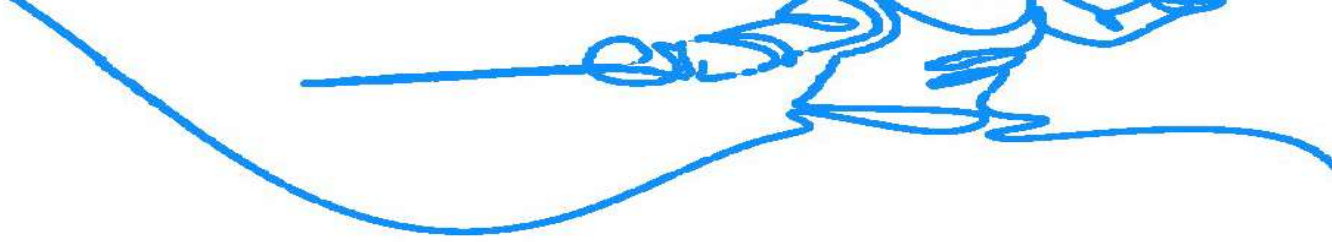
Otra aplicación práctica que ya estamos utilizando es la Aplicación de los valores de referencia (punto 5.6). para evaluar y motivar a los tiradores y permitir seleccionar que tiradores están preparados para cierto nivel de competición. Lo que permite a los entrenadores seleccionar y un seguimiento del talento. Los test cognitivos pueden convertirse en herramientas complementarias para identificar esgrimistas con mejor capacidad de reacción y procesamiento, más allá de sus cualidades físicas.

Se pueden crear perfiles individuales de rendimiento cognitivo bajo fatiga para diseñar planes de trabajo mental adaptados a cada atleta (e.g., refuerzo en Go/NoGo, toma de decisiones bajo presión).

Otra ventaja de estos dispositivos y que ya estamos utilizando es la aplicación en entornos clínicos y de rehabilitación en deportistas lesionados. Ya que excepto el último ejercicio que hay que adaptarlo se pueden hacer a los deportistas de baja deportista.

Esta metodología sencilla y puede usarse como base para estudios futuros en otros deportes que combinan velocidad de reacción y fatiga (taekwondo, boxeo, fútbol, etc.).

5. RESULTADOS



RESULTADOS.

5.1 Resultados Generales.

Los resultados generales del estudio indicaron que los tiempos de reacción y toma de decisiones están directamente relacionados con la dificultad de la tarea (Tabla 1).

Tabla 1.- Estadísticas descriptivas de las medias de las medidas realizadas y diferencia estándar, junto a la prueba de normalidad Shapiro-Wilk y su p valor, para todos los ejercicios del estudio.

	N	Media ± dt (ms)	Shapiro-Wilk	P
TRS1	114	334 ± 124	901	< 0,001
TRE2	114	493 ± 103	891	< 0,005
G/NG3	114	537 ± 86	982	0,142
TD4	342	1180 ± 293	948	< 0,005
TDF4	114	1027 ± 176	945	< 0,005
TDM4	114	1100 ± 210	937	< 0,005
TDR4	114	1560 ± 231	964	< 0,005

La normalidad se asumió solo el ejercicio G/NG3, obtuvo un p valor > 0,05. Para los resultados de los ejercicios TRE1, TRS2 y TD4, y no se pudo considerar a muestra dentro de una distribución normal.

Los tiempos más rápidos corresponden al TRS1 (334 ± 124 ms), seguidos del TRE2 fue de 493 ± 103 ms y a continuación el G/NG3 (537 ± 86 ms) con resultados similares al TRE2.

Las tareas más difíciles desde el punto de vista cognitivo fueron las incluidas en el ejercicio 4 (TDF4, TDM4, TDR4, y TD4 como promedio de las tres tareas). El promedio de los tres ejercicios (TD4) fue de 1180 ± 293 ms.

El movimiento más rápido fue el fondo (TDF4 = 1027 ± 176 ms), seguido del movimiento de marcha (TDM4 = 1100 ± 210 ms), y los resultados más lentos fueron para la acción de romper (TDR4 = 1560 ± 231 ms).

5.2 Resultados por Sexo.

En la tabla 2, se pueden ver los resultados separados por género, los cuales solo muestran diferencias significativas entre hombres y mujeres en un par de ejercicios, siendo los resultados bastante similares para ambos sexos en la mayoría de los ejercicios. Al igual que en los resultados generales los tiempos van aumentando según se va incrementando la complejidad de los procesamientos mentales de cada ejercicio tanto en hombres como en mujeres.

Tabla 2.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por sexo (tiempos en ms).

Nota: En los ejercicios marcados con "" se reporta el análisis de la prueba de la prueba T de Student (t), en otros casos se aplicó Kruskal-Wallis (K-W).

	Hombres (n: 67)	Mujeres (n: 47)	t/kw	P of T- Test/K-W	η² / Cohen's d
TRS1	382 ± 131	352 ± 113	1,023	0,312	0,000
TRE 2	481 ± 120	510 ± 74	4,25 9	0,039	0,029
G/NG	528 ± 89	542 ± 73	- 1,271	0,206	0,242
TD4	1213 ± 281	1195 ± 329	0,415	0,519	0,000
TDF4	1081 ± 168	1022 ± 184	5,47 7	0,019	0,034
TDM 4	1147 ± 203	1156 ± 222	0,007	0,933	0,000
TDR 4	1548 ± 202	1579 ± 270	0,111	0,739	0,000

Solo existen dos ejercicios con diferencias significativas TRE2 y TDF4 entre hombres y mujeres. En el ejercicio de tiempo de reacción electivo TRE, los hombres son algo más rápidos que las mujeres $TRE2_{Mujeres} = 481 \pm 120$ ms vs $TRE2_{Hombres} = 510 \pm 74$ ms ($Z_{Hombres - Mujeres} = 2,064$; $p = 0,039$). Por otro lado, en el ejercicio de toma de decisiones con fondo TDF4 las mujeres son significativamente más rápidas que los hombres ($TDF4_{Mujeres} = 1022 \pm 184$

ms Vs TDF4_{Hombres} = 1081 ± 168 ms; Z_{Hombres - Mujeres} = 2,340; p = 0,019), pero ambos casos con tamaños de efecto pequeños.

5.3 Resultados por Arma.

La tabla 3 muestra los datos por tipo de arma, observándose que los floretistas presentaron los tiempos promedio más rápidos en todos los test y tareas planteadas, siendo estas diferencias significativas en prácticamente todas las variables analizadas excepto en el TRE2 y el G/NG3.

Tabla 3.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por arma utilizada (tiempos en ms).

Nota: En los ejercicios marcados con "" se reporta el análisis de la prueba de ANOVA, en otros casos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis (K-W). Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc de Dunn se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b ó c".

	Espada (a) (n=50)	Sable (b) (n=33)	Florete (c) (n=31)	K-W/ F	p	η²
TRS1	356 ± 104	419 ± 153^c	337 ± 104^b	6,049	0,049	0,036
TRE2	493 ± 104	526 ± 122	507 ± 74	3,625	0,163	0,015
G/ NG3	533 ± 79	543 ± 105	557 ± 61	0,863	0,425	0,015
TD4	1332 ± 309^b	1446 ± 320^{a,c}	1250 ± 299^b	17,562	< 0,001	0,040
TDF4	1048 ± 168^{b,c}	1173 ± 188^{a,c}	964 ± 121^{a,b}	24,057	< 0,001	0,171
TDM4	1137 ± 187	1250 ± 259^c	1079 ± 165^b	7,650	0,022	0,044
TDR4	1566 ± 228	1628 ± 270^c	1483 ± 170^b	6,507	0,039	0,03

Las diferencias entre floretistas y los esgrimistas de sable fueron estadísticamente significativas, especialmente en los ejercicios de tiempo de reacción simple ($TRS1_{\text{Florete}} = 337 \pm 104$ ms vs $TRS1_{\text{Sable}} = 419 \pm 153$ ms; $Z = 2,365$; $p < 0,05$).

Los resultados promedio de los tres ejercicios realizados (TD4) también mostraron diferencias significativas según el arma de los esgrimistas, con valores de toma de decisiones más altos en el grupo de sable y más bajos en el grupo de florete ($TD4_{\text{Florete}} = 1250 \pm 299$ ms vs $TD4_{\text{Sable}} = 1446 \pm 320$ ms; $Z = -4,168$; $p < 0,001$). El grupo de espada tuvo resultados significativamente diferentes a los del grupo de sable ($TD4_{\text{Espada}} = 1332 \pm 309$ ms vs $TD4_{\text{Sable}} = 1446 \pm 320$ ms; $Z = -2,774$; $p = 0,006$).

En el ejercicio de toma de decisiones de fondo (TDF4) existieron diferencias significativas entre todas las armas ($TDF4_{\text{Florete}} = 964 \pm 121$ ms vs $TDF4_{\text{Sable}} = 1173 \pm 188$ ms vs $TDF4_{\text{Espada}} = 1048 \pm 168$ ms).

El análisis post-hoc de Dunn muestra en todos ellos diferencias significativas ($Z_{\text{Espada-Florete}} = 2,395$, $p = 0,017$; $Z_{\text{Espada-Sable}} = -3,211$, $p = 0,001$; $Z_{\text{Florete-Sable}} = -4,883$, $p < 0,001$).

En el ejercicio TDM4 y el TDR4, el análisis post-hoc de Dunn muestra diferencias significativas entre el grupo de sable y el florete ($TDM4_{\text{Florete}} = 1079 \pm 165$ ms vs $TDM4_{\text{Sable}} = 1250 \pm 259$ ms; $Z = -2,759$; $p = 0,006$) y ($TDR4_{\text{Florete}} = 1628 \pm 270$ ms vs $TDR4_{\text{Sable}} = 1483 \pm 170$ ms; $Z = -2,472$; $p = 0,04$).

5.4 Resultados por Nivel de Esgrimista.

Los resultados de este estudio confirman hallazgos previos: los tiradores de mayor nivel demostraron tiempos de reacción superiores (Tabla 4). Esta ventaja se hizo más evidente a medida que aumentaba la dificultad del ejercicio, subrayando la relación entre el nivel de habilidad y la capacidad de respuesta rápida y precisa.

Tabla 4.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por nivel de competición de los tiradores (tiempos en ms).

Nota: En los ejercicios marcados con "" se reporta el análisis de la prueba de ANOVA, en los otros casos se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (K-W). Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc de Dunn se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c, o d".

	Aficionados (a) (n=18)	Regional (b) (n=55)	National (c) (n=25)	International (d) (n=16)	K-W / F	P	η²
TRS1	431 ± 178^{c,d}	387 ± 114^{c,d}	322 ± 91^{a,b}	318 ± 94^{ab}	10,70 3	0,01 3	0,07 0
TRE2	565 ± 131	498 ± 105	503 ± 82	477 ± 68	5,350	0,148	0,02 1
G/ NG3	564 ± 101	544 ± 83	549 ± 69	539 ± 84	0,709	0,549	0,01 9
TD4	1387 ± 350^{b,c,d}	1250 ± 275^{a,d}	1180 ± 274^a	1117 ± 222^{a,b}	29,25 8	<0,0 01	0,06 7
TDF4	1124 ± 194^{cd}	1074 ± 167^c	1008 ± 183^{a,b}	1000 ± 138^a	8,908	0,03 1	0,04 6
TDM4	1381 ± 184^{b,c,d}	1135 ± 172^a	1077 ± 190^a	1049 ± 1213^a	33,88 5	<0,0 01	0,24 1
TDR4	1776 ± 306^{b,c,d}	1577 ± 171^{a,d}	1494 ± 164^{a,d}	1338 ± 185^{a,b,c}	33,98 1	<0,0 01	0,24 2

El análisis de Kruskal-Wallis muestra diferencias significativas por nivel de práctica en los ejercicios TRS1, para el promedio y para los tres ejercicios de toma de decisiones (TD4).

En el ejercicio de tiempo de reacción simple TRS1 los tiempos más rápidos fueron los obtenidos por los tiradores que compiten en nivel internacional ($TRS1_{\text{Internacional}} = 318 \pm 94$ ms) seguidos de los tiradores de nivel nacional ($TRS1_{\text{Nacional}} = 322 \pm 91$ ms).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estos grupos y los grupos de los tiradores clasificados a nivel regional ($TRS1_{\text{Regional}} = 387 \pm 114$ ms) y los tiradores Aficionados ($TRS1_{\text{Aficionados}} = 431 \pm 178$ ms), estas diferencias fueron confirmadas con el análisis post-hoc de Dunn ($Z_{\text{Internacional-Regional}} = -2,334$; $p = 0,020$); ($Z_{\text{Internacional-Aficionado}} = -2,218$; $p = 0,027$); ($Z_{\text{Nacional-Regional}} = -2,373$; $p = 0,018$); ($Z_{\text{Nacional-Aficionado}} = -2,172$; $p = 0,030$).

En el ejercicio TRS2, el análisis de Kruskal-Wallis no identificó diferencias significativas entre los grupos ($K = 2.624$, $p > 0.05$). De manera similar, el análisis ANOVA aplicado al ejercicio G/NG3 tampoco mostró diferencias significativas entre los grupos ($F = 1.375$, $p = 0.711$).

En el ejercicio del promedio de toma de decisiones TD4 los tiempos más altos también fueron para el grupo de aficionados ($TD4_{\text{Aficionado}} = 1387 \pm 350$ ms) y existieron diferencias estadísticamente significativas con los otros grupos en comparación ($TD4_{\text{Regional}} = 1250 \pm 275$ ms; $TD4_{\text{Nacional}} = 1180 \pm 274$ ms; $TD4_{\text{Internacional}} = 1117 \pm 222$ ms). En todos los casos, el análisis post-hoc de Dunn confirmó diferencias significativas entre los esgrimistas aficionados y los esgrimistas de nivel nacional e internacional ($Z_{\text{Internacional-Regional}} = 3,000$; $p = 0,003$) ($Z_{\text{Nacional-Aficionado}} = 3,087$, $p < 0,001$), ($Z_{\text{Nacional-Regional}} = 2,057$; $p = 0,040$), ($Z_{\text{Internacional-Aficionado}} = 4,866$; $p < 0,001$), ($Z_{\text{Regional-Aficionado}} = 3,087$; $p = 0,002$).

En el conjunto de ejercicios que integraron el TD4, se encontraron diferencias significativas en el ejercicio de estocada (TDF4) entre los grupos analizados, presentando el grupo de aficionados un tiempo promedio de $TDF4_{\text{Aficionado}} = 1124 \pm 194$ ms, que fue significativamente mayor en comparación con los grupos de nivel nacional e internacional ($TDF4_{\text{Nacional}} = 1008 \pm 183$ ms; $TDF4_{\text{Internacional}} = 1000 \pm 138$ ms).

Además, se observaron diferencias significativas entre el grupo nacional y los esgrimistas regionales, ($TDF4_{\text{Regional}} = 1074 \pm 167$ ms). El análisis post-hoc de Dunn indicó diferencias significativas entre los esgrimistas aficionados y los esgrimistas de nivel nacional e internacional ($Z_{\text{Internacional-Aficionado}} = 2.028$; $p = 0.043$; $Z_{\text{nacional-Aficionado}} = 2.488$. $=2$, $p = 0.013$), y entre los esgrimistas regionales e internacionales ($Z_{\text{Internacional-Regional}} = -2.130$; $p = 0.033$).

También se obtuvieron diferencias significativas en el ejercicio de marchar TDM4 entre el grupo de aficionados ($TDM4_{\text{Aficionado}} = 1381 \pm 184$ ms) y los demás grupos ($TDM4_{\text{Regional}} = 1135 \pm 172$ ms; $TDM4_{\text{Nacional}} = 1077 \pm 190$ ms; $TDM4_{\text{Internacional}} = 1049 \pm 213$ ms), además el grupo de internacionales también tenía diferencias significativas con el grupo de los deportistas de nivel regional. El análisis post-hoc de Dunn indicó estas diferencias

significativas entre los esgrimistas ($Z_{\text{internacional-Aficionado}} = 5,105$; $p < 0,001$), ($Z_{\text{nacional-Aficionado}} = 5,092$; $p < 0,001$), ($Z_{\text{regional-Aficionado}} = 4,171$; $p < 0,001$) ($Z_{\text{internacional-Regional}} = -2,202$; $p = 0,028$).

En el ejercicio de toma de decisiones con el movimiento de romper TDR4 existieron las diferencias estadísticamente significativas más fuertes entre los otros grupos en comparación ($TDR4_{\text{Aficionado}} = 1776 \pm 306$ ms vs. $TDR4_{\text{Regional}} = 1577 \pm 171$ ms; $TDR4_{\text{Nacional}} = 1494 \pm 291$ ms; $TDR4_{\text{Internacional}} = 1338 \pm 185$ ms). En todos los casos, el análisis post-hoc de Tukey indicó diferencias significativas entre los esgrimistas aficionados y los esgrimistas de nivel nacional e internacional ($Z_{\text{Internacional-Aficionado}} = 5,504$; $p < 0,001$), ($Z_{\text{Nacional-Aficionado}} = 4,093$; $p < 0,001$), ($Z_{\text{Regional-Aficionado}} = 2,981$; $p = 0,003$), ($Z_{\text{Internacional-Nacional}} = -2,175$; $p = 0,030$), ($Z_{\text{Internacional-Regional}} = -3,852$; $p < 0,001$).

5.5 Resultados por grupo de edad.

Otro de los parámetros analizados fue la edad de los tiradores (Tabla 5). Sin embargo, al realizar el análisis estadístico, se demostró que no existe una correlación directa entre la edad y los tiempos de reacción. Por ello, se decidió dividir a los tiradores en grupos de edad: Menores (<15 años), Juveniles (15-25 años), Adultos (25-35 años) y Veteranos (>35 años).

Tabla 5.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por grupos de edad de los tiradores (tiempos en ms).

Nota: En los ejercicios marcados con "" se reporta el análisis de la prueba de ANOVA, en otros casos se aplicó la prueba Kruskal-Wallis (K-W). Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc de Tuckey o Dunn respectivamente se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c, o d"

	Menores (a) (n:20)	Juvenil (b) (n:43)	Adulto (c) (n:32)	Veteranos (d) (n:19)	F	P	η2
TRS 1	462 ± 172^{bc}	342 ± 109^a	352 ± 100^a	370 ± 96	5,028	0,003	0,121
TRE 2	571 ± 123^{b,c,d}	507 ± 70	462 ± 66^a	508 ± 146	4,995	0,003	0,120
G/NG₃	597 ± 85^{a,d}	545 ± 64	526 ± 83^a	506 ± 94^a	5,055	0,003	0,121
TD 4	1415 ± 357^{b,c}	1180 ± 290^a	1130 ± 264^{a,d}	1240 ± 286^c	19,768	< 0,001	0,043
TDF 4	974 ± 153^{b,c}	1018 ± 166^{a,d}	1021 ± 157^{a,d}	1122 ± 172^{b,c}	12,599	0,006	0,075
TDM 4	1364 ± 252^{b,c,d}	1131 ± 252^a	1070 ± 146^a	1160 ± 198^a	19,085	< 0,001	0,126
TDR 4	1735 ± 347^{b,c}	1536 ± 211^a	1501 ± 154^a	1585 ± 213	10,257	0,017	0,057

Los resultados de los tiempos de reacción en todos los ejercicios muestran que el grupo de menores presentó diferencias significativas con al menos uno de los otros grupos en cada caso analizado.

En el ejercicio de tiempo de reacción simple el grupo de esgrimistas de menor edad mostró tiempos más altos ($TRS1_{Menores} = 462 \pm 172$ ms) y existieron diferencias estadísticamente significativas con los grupos de esgrimistas ($TRS1_{Juvenil} = 342 \pm 109$ ms; $TRS1_{Adulto} = 352 \pm 100$ ms). En todos los casos, el análisis post-hoc de Dunn mostró estas diferencias. ($Z_{Juvenil - Menores} = -2,898$; $p = 0,023$) ($Z_{Menores - Adultos} = 2,376$; $p = 0,017$).

En el ejercicio de tiempo de reacción electivo TRE2 solo se encontraron diferencias entre los grupos $TRE2_{Menores} = 571 \pm 123$ ms Vs $TRE2_{Adulto} = 462 \pm 66$ ms. El análisis post-hoc de Dunn mostró estas diferencias ($Z_{Menores-Adultos} = 3,499$, $p = 0,003$).

En el ejercicio de tiempo de reacción electivo de ir no ir G/NG3 solo se encontraron diferencias entre los grupos $G/NG3_{Menores} = 597 \pm 85$ ms y los grupos de $G/NG3_{Adultos} = 526 \pm 83$ ms, $G/NG3_{Veteranos} = 506 \pm 94$ ms.

El análisis post-hoc de Dunn mostró estas diferencias ($Z_{\text{Menores-Veteranos}} = 3,612$, $p = 0,010$), ($Z_{\text{Menores-Adultos}} = 3,172$, $p = 0,003$).

En el ejercicio del promedio de toma de decisiones TD4 los tiempos más altos fueron para el grupo de los menores ($TD4_{\text{Menores}} = 1415 \pm 357$ ms) y existieron diferencias estadísticamente significativas con los grupos de esgrimistas ($TD4_{\text{Juveniles}} = 1180 \pm 275$ ms; $TD4_{\text{Adultos}} = 1130 \pm 264$ ms). Los adultos también tuvieron con el grupo de veteranos ($TD4_{\text{Veteranos}} = 1240 \pm 286$ ms). En todos los casos, el análisis post-hoc de Dunn mostró estas diferencias. ($Z_{\text{Menores-Juveniles}} = -3,660$; $p < 0,001$) ($Z_{\text{Menores-Adultos}} = 4,187$, $p < 0,001$), ($Z_{\text{Adultos-Veteranos}} = -1,983$; $p = 0,047$).

En el ejercicio de estocada TDF4 existieron diferencias estadísticamente significativas con los grupos de esgrimistas menores ($TDF4_{\text{Menores}} = 1415 \pm 357$ ms) y de veteranos ($TDF4_{\text{Veteranos}} = 1240 \pm 286$ ms), frente a los juveniles ($TDF4_{\text{Juveniles}} = 1180 \pm 275$ ms) y el grupo de adultos ($TDF4_{\text{Adultos}} = 1130 \pm 264$ ms). En todos los casos, estas diferencias fueron comprobadas con el análisis post-hoc de Dunn. ($Z_{\text{Menores-Juveniles}} = -2,787$; $p < 0,005$), ($Z_{\text{Menores-Adultos}} = -2,748$, $p = 0,006$), ($Z_{\text{Adultos-Veteranos}} = 2,192$; $p = 0,028$), ($Z_{\text{Juveniles-Veteranos}} = 2,221$; $p = 0,026$).

En el ejercicio de toma de decisiones con marcha TDM4 existieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de esgrimistas menores ($TDM4_{\text{Menores}} = 1415 \pm 357$ ms), frente al resto de grupos, ($TDM4_{\text{Juveniles}} = 1131 \pm 252$ ms; $TDM4_{\text{Adultos}} = 1070 \pm 146$ ms; $TDM4_{\text{Veteranos}} = 1160 \pm 198$ ms).

En todos los casos, estas diferencias fueron comprobadas con el análisis post-hoc de Dunn. ($Z_{\text{Menores-Juveniles}} = 3,356$; $p < 0,001$) ($Z_{\text{Menores-Adultos}} = 4,336$, $p < 0,001$), ($Z_{\text{Menores-Veteranos}} = 2,408$; $p = 0,016$).

En este aspecto de los grupos de edad cuando se analizó el ejercicio de toma de decisiones con el movimiento de romper TDR4 se mostraron diferencias significativas entre el grupo de menores $TDM4_{\text{Menores}} = 1735 \pm 347$ ms y los grupos de esgrimistas ($TDM4_{\text{Juveniles}} = 1536 \pm 211$ ms; $TDM4_{\text{Adultos}}$

=1501± 154 ms). Estas diferencias fueron comprobadas con el análisis post-hoc de Dunn. ($Z_{\text{Menores-Juveniles}}=3,356$; $p<0,001$) ($Z_{\text{Menores-Adultos}}=4,336$, $p<0,001$).

5.6 Aplicación de los Valores de Referencia.

Después de evaluar a los esgrimistas en cualquiera de los ejercicios considerados en esta investigación, sus resultados pueden puntuar con la escala de referencia propuesta (Tabla 6). El ejemplo mostrado en la Tabla 7 permite ver de un vistazo que el nivel de rendimiento está directamente relacionado con el nivel de competencia del esgrimista. Esta escala de referencia también podría aplicarse en procesos de detección de talentos como una forma fácil de evaluar la capacidad perceptiva específica del esgrimista, o para verificar el efecto de los entrenamientos perceptivos, simplemente comparando las puntuaciones antes y después del programa de intervención.

Tabla 6.- Escala de referencia propuesta en puntos (0 a 10) para valorar el nivel de los tiradores en los diferentes ejercicios considerados en el estudio.

Observamos el tiempo de reacción simple (TRS1) y el tiempo de reacción electivo (TRE2). El valor medio del tiempo de ejercicio realizado o no realizado. En los ejercicios de toma de decisiones se realiza el movimiento de estocada (TDF4), seguido del movimiento de marcha (TDM4) y el movimiento de (TDR4). Nota: Tiempo = Valores expresados en ms; #Trials = número promedio de ensayos presentados en un minuto.

Poin ts	TRS1		TRE2		G/NG3		TDF4		TDM4		TDR4	
	Tria ls	Tim e	Tria ls	Tim e	Tria ls	Tim e	Tria ls	Tim e	Tria ls	Tim e	Tria ls	Tim e
0	15	781	16	101 2	10	762	4	162 3	3	168 4	3	248 0
1	27	526	26	653	13	666	8	130 1	6	150 6	6	183 7
2	30	470	27	574	15	610	9	118 0	8	132 5	7	171 6
3	31	429	28	554	18	590	10	114 0	9	124 7	7	165 8
4	36	382	29	530	21	580	10	109 0	9	114 0	8	162 0
5	37	339	32	510	24	545	10	109 0	10	110 0	9	156 0

6	39	306	42	488	27	524	11	1026	10	1058	10	1490
7	43	297	50	474	28	510	11	974	11	1010	10	1443
8	47	266	54	450	32	487	12	931	12	980	11	1372
9	56	245	56	415	23	460	13	892	13	930	12	1290
10	65	180	62	310	40	230	16	860	16	779	15	980

Tabla 7.- Puntuación en puntos (0 a 10) de los tiradores por nivel de competición, considerando la puntuación de referencia propuesta en la Tabla 9.

Nota: Tiempo = Valores expresados en ms; #Trials = número promedio de ensayos presentados en un minuto.

	TRS1		TRE2		G/NG3		TDF4		TDM4		TDR4	
	Poin ts	Tim e	Point s	Tim e	Point s	Tim e	Point s	Tim e	Poin ts	Tim e	Poin ts	Tim e
Aficionado	3,0	431	2,5	565	4,5	564	3,3	1124	1,1	1486	1,5	1776
Regional	3,9	387	5,5	498	7,5	498	5,3	1074	2,5	1287	4,7	1577
Nacional	5,5	322	5,3	503	7,3	503	6,3	1008	3,6	1180	5,9	1494
Internacio n	5,6	318	6,8	477	8,4	477	6,5	1000	3,3	1215	8,4	1338

5.7 Efecto del entrenamiento en los tiempos de reacción.

En una segunda fase, se trató de comprobar una curiosidad de los entrenadores, que se muestran interesados de saber cómo influye el cansancio del deportista en su tiempo de reacción y en la precisión de la toma de decisiones.

Como es bien conocido existe una relación directa entre las pulsaciones y el consumo de oxígeno, y el nivel de cansancio del deportista; por lo tanto, para abordar esta cuestión, comenzamos a medir las pulsaciones y la saturación de oxígeno (SO₂) en estos mismos ejercicios en tres situaciones de esfuerzo: antes del entrenamiento, después del calentamiento, y tras un combate a quince puntos, simulando una competición. De esta manera, pudimos comparar los tiempos de reacción y precisión en diferentes niveles de fatiga (Tabla 8).

Analizamos los resultados de los ejercicios en función de las tres fases de cansancio de los atletas (en reposo, tras el calentamiento o tras el entrenamiento) se comportaron como una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk. Vemos que tanto las pulsaciones como la saturación de O₂ muestran una relación fuerte con el estado de fatiga del sujeto.

Tabla 8.- Se presenta las medias y desviaciones estándar de las variables: pulsaciones por minuto (ppm) y Saturación de oxígeno (SO₂), en tres condiciones (en reposo, tras el calentamiento, y tras el entrenamiento) antes de los ejercicios de la investigación.

Los datos de las SO₂ se realizó el análisis de la prueba de Contraste de Friedman, en los datos de la toma de pulsaciones se aplicó la prueba ANOVA para medidas repetidas. También incluye el valor de F, p, y el tamaño del efecto η^2 o w para cada variable.

	En reposo (R)	Tras calentamiento (TC)	Tras entrenamiento (TE)	F	P	η^2 / w
Pulsaciones ppm	66,65 ± 11,71 _{a, b}	106,55 ± 9,20 _{b, c}	129,4 ± 10,63 _{a, c}	185,919	< 0,001	0,907
SO₂ (%)	98,2 ± 0,95 _{a, b}	96,4 ± 1,05 _{b, c}	95,25 ± 1,97 _{a, c}	29,703	< 0,001	0,743

5.7.1 Pulsaciones por Minuto. (ppm)

Las pulsaciones muestran un incremento significativo entre las tres condiciones evaluadas. En reposo, se registraron 66,65 ± 11,71 ppm; tras el calentamiento, aumentaron notablemente a 106,55 ± 9,20 ppm; y después del entrenamiento, alcanzaron 129,4 ± 10,63 ppm. Se aplicó el test de ANOVA mostró que hay diferencias significativas entre las tres condiciones (F =185,919; p < 0,001; η^2 = 0.907). El tamaño del efecto indica que el 90,7% de la variabilidad en las pulsaciones se explica por las diferencias entre las condiciones.

Las comparaciones entre condiciones muestran diferencias altamente significativas en las pulsaciones por minuto (ppm), con efectos grandes en todos los casos ($p_{\text{Holm}} < 0,001$). En reposo frente al calentamiento, la diferencia media es de -39,9 ppm; en reposo frente al entrenamiento es de -59,75 ppm; y tras el calentamiento frente al entrenamiento, es de -19,85 ppm.

5.7.2 Saturación de Oxígeno. (SO₂)

La saturación de oxígeno es alta en la condición en reposo ($\text{SO}_{2\text{R}} = 98,2 \pm 0,95\%$), pero disminuye tras el calentamiento ($\text{SO}_{2\text{TC}} = 96,4 \pm 1,05\%$) y tras el entrenamiento ($\text{SO}_{2\text{TE}} = 95,25 \pm 1,97\%$). Los valores del análisis de Friedman ($\chi^2 = 29,703$; $p < 0,001$; τ de Kendall = 0,743) muestran diferencias significativas y una fuerte asociación entre las mediciones, sugiriendo que las condiciones de fatiga influyen altamente en los niveles de SO₂.

Las diferencias de SO₂ en reposo frente al calentamiento y en reposo frente al entrenamiento son muy notables ($p < 0,001$), y aunque la diferencia entre calentamiento y entrenamiento también es significativa ($p = 0,011$).

5.7.3 Análisis de resultados generales del segundo estudio.

Al igual que los hallazgos generales del estudio 1, estos resultados muestran que los tiempos de reacción y de toma de decisiones aumentan en función de la dificultad de la tarea para todos los niveles de fatiga (ver Tabla 9). Se asumió normalidad para los resultados de los ejercicios TRS1, TRE2 y G/NG3.

Sin embargo, los ejercicios TDF4, TDM4 y TD4 no pudieron considerarse dentro de una distribución normal. La tabla 9 presenta tanto pruebas paramétricas como no paramétricas, según la distribución de cada muestra.

Tabla 9.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por nivel de cansancio de los tiradores (tiempos en ms).

De diferentes ejercicios (TRS1, TRE2, G/NG3, TD4, TDF4, TDM4, y TDR4) y las condiciones (En reposo, Tras el calentamiento, Tras el entrenamiento). Nota: En los ejercicios marcados con "" se reporta el análisis de la prueba de Contraste de Friedman, en otros casos se aplicó la prueba ANOVA. Para cada ejercicio, se proporcionan las medias, desviaciones estándar, estadístico el valor de F o χ^2 F, p, y el tamaño del efecto η^2 o w, respectivamente.

Ejercicio	En reposo	Tras calentamiento	Tras entrenamiento	X ² F / F	P	η^2 / w
TRS1 (n=48)	292 ± 49^a	325 ± 120	362 ± 91^c	3,318	0,047	0,149
TRE2 (n=48)	456 ± 61^a	478 ± 64	514 ± 65^c	5,545	0,008	0,226
G/NG3 (n=48)	484 ± 98^a	526 ± 74	548 ± 71^c	4,065	0,026	0,184
TD 4 (n=48)	1136 ± 277^a	1203 ± 280	1261 ± 253^c	11,315	0,003	0,068
TDF 4 (n=48)	976 ± 167^a	1119 ± 1230	1207 ± 220^c	3,930	0,024	0,088
TDM 4 (n=48)	1126 ± 234^a	1171 ± 268	1256 ± 267^c	6,836	0,002	0,144
TDR 4 (n=48)	1306 ± 312	1334 ± 295	1321 ± 266	1,854	0,163	0,044

Casi todas las variables TRS1, TRE2, G/NG3, TD4, TDF4, TDM4 muestran diferencias significativas entre las condiciones, lo que sugiere que la actividad física o el cansancio tienen un impacto significativo en estos ejercicios.

Los tamaños del efecto (η^2) varían entre moderados ($\eta^2 = 0,226$) y pequeños ($\eta^2 = 0,068$), indicando que la variabilidad de los resultados en función del cansancio explica entre el 22,6% y el 6,8% resultados, respectivamente. El ejercicio TDR4 no mostró diferencias significativas entre las condiciones, aunque presentó una relación fuerte.

En general, la actividad física y la fatiga parecen influir en la mayoría de las variables evaluadas, con efectos moderados en su mayoría. Los resultados muestran que el tiempo de reacción aumentó a medida que el

tirador estaba más fatigado, evidenciando diferencias estadísticas significativas entre las condiciones de reposo y tras el entrenamiento, especialmente después de un asalto. Sin embargo, el ejercicio TDR4 no se vio influido por el nivel de fatiga.

5.7.4 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de tiempo de reacción simple. (TRS1)

En la tabla 10, se observa como el ejercicio TRS1 muestra diferencias significativas en los tiempos entre la condición de reposo y tras el asalto, evidenciando el impacto del cansancio en el tiempo de reacción simple.

Tabla 10.- Valores medios del TRS1 y su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c"

	Media ± dt	Shapiro-Wilk	P
En reposo (R) (a)	292 ± 49^c	0,961	0,560
Tras el calentamiento (TC) (b)	355 ± 120	0,915	0,080
Tras el entrenamiento (TE) (c)	362 ± 91^a	0,964	0,633

Las medias del TRS1 muestran que la media aumenta de forma significativa desde el estado de reposo ($TRS1_R = 292 \pm 49$ ms) hasta tras el entrenamiento ($TRS1_{TE} = 362 \pm 91$ ms). El análisis de ANOVA muestra diferencias significativas para el TRS1 en función de la fatiga ($F = 3,318$; $p = 0.047$; $\eta^2 = 0.149$).

El análisis post-hoc mostró diferencias significativas entre las en reposo y tras el entrenamiento ($t_{R-TE} = - 2,731$, $p_{Holm} = 0.040$).

5.7.5 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de tiempo de reacción electivo. (TRE2)

En este ejercicio, hay un aumento claro entre las tres condiciones, aunque las diferencias entre tras el calentamiento y tras el entrenamiento son más moderadas. (Tabla 11)

Tabla 11.- Valores medios del TRE2 y su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice “a, b c”.

	Media ± dt	Shapiro-Wilk	p
En reposo (R) (a)	456 ± 61^c	0,949	0,358
Tras el calentamiento (TC) (b)	478 ± 64	0,941	0,255
Tras el entrenamiento (TE) (c)	514 ± 65^a	0,913	0,073

Las medias de los tiempos aumentan el cansancio de ($TRE2_R = 456 \pm 61$ ms vs. $TRE2_{TE} = 514 \pm 65$ ms), lo que sugiere que el cansancio percibido es mayor en las condiciones de tras entrenamiento.

Este análisis ANOVA muestra diferencias en los resultados en función del cansancio ($F = 5.545$; $p = 0.008$; $\eta^2 = 0.226$). El análisis post-hoc mostró diferencias significativas entre las en reposo y tras el entrenamiento ($t_{R-TE} = -3.538$, $p_{Holm} = 0.007$), sugiriendo un aumento claro en el cansancio entre estas dos condiciones y estadísticamente relevante, lo que indica una diferencia importante en los datos.

5.7.6 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de tiempo de reacción electivo ir/no ir. (G/NG3)

Al igual que en los ejercicios anteriores, el tiempo va aumentando según el tirador se va acumulando fatiga (Tabla 12).

Tabla 12.- Valores medios del Tiempo de reacción electiva G/NG3 y su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c".

	Media ± dt	Shapiro-Wilk	p
En reposo (R) (a)	484 ± 98^c	0,918	0,106
Tras el calentamiento (TC) (b)	526 ± 74	0,969	0,761
Tras el entrenamiento (TE) (c)	548 ± 71^a	0,979	0,936

Las medias de los tiempos aumentan progresivamente de (G/NG3_R 484 ± 98 ms Vs G/NG3_{TE} = 548 ± 71 ms), El análisis ANOVA muestra que hay diferencias significativas en los niveles de cansancio entre las condiciones en reposo, tras el calentamiento, y tras el entrenamiento (F = 4,065; p = 0,026; η² = 0.184). El análisis post-hoc mostró diferencias significativas entre las en reposo y tras el entrenamiento (t_{R-TE} = -2 ,752, p_{Holm} = 0,039), sugiriendo un aumento claro en el cansancio entre estas dos condiciones y estadísticamente relevante, esta idea se refuerza con tamaño del efecto Cohen grande (- 0,788).

5.7.7 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones. (TD4)

Como se puede ver en la tabla 13, los datos en las tres situaciones medidas en este ejercicio se incrementan conforme se pasa de una condición de menor esfuerzo a mayor esfuerzo.

Tabla 13.- Valores medios y del TD4 y su diferencia estándar en ms, en función del momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c".

	Media ± dt	Shapiro- Wilk	p
En reposo (R) (a)	1136 ± 277 ^c	0,886	< 0,001
Tras el calentamiento (TC) (b)	1208 ± 278	0,925	< 0,001
Tras el entrenamiento (TE) (c)	1261 ± 253 ^a	0,964	0,017

Las medias de tiempos muestran un incremento progresivo en las condiciones ($TD4_R = 1136 \pm 277$ ms vs $TD4_{TE} = 1261 \pm 253$ ms), lo que sugiere un cambio en la variable a medida que los sujetos pasan de la condición en reposo al final del calentamiento y, finalmente, al final del entrenamiento.

El análisis de Friedman para analizar las diferencias entre las condiciones muestra diferencias significativas ($X^2F = 11.047$; $p = 0.004$), aunque el τ de Kendall = 0.065 sugiere un efecto pequeño. El análisis post-hoc mostró diferencias significativas ($t_{R-TE} = 3,361$; $p_{Holm} = 0,003$). La correlación biserial de rango ($rrb = - 0.422$) sugiere una diferencia moderada a fuerte en esta comparación, indicando que son condiciones entrenamiento notablemente diferentes.

5.7.8 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones tocado de fondo. (TDF4)

Observamos en la tabla 14 valores medios más bajos en la condición de descanso y más altos en la condición de cansancio. Esto sugiere que las mediciones aumentan a medida que los sujetos pasan de un estado de descanso a uno de cansancio.

Tabla 14.- Valores medios del tiempo del ejercicio TDF4 su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones en tres condiciones de cansancio.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c".

	Media ± dt	Shapiro-Wilk	p
En reposo (R) (a)	976 ± 167 b,c	0,748	< 0,001
Tras el calentamiento (TC) (b)	1119 ± 230 a	0,932	0,069
Tras el entrenamiento (TE) (c)	1261 ± 253 a	0,952	0,227

La media de las mediciones aumenta conforme el estado de los sujetos pasa del estado de $TDF4_R = 0.976 \pm 0.167$ ms, $TDF4_{TC} = 1119 \pm 230$ ms; $TDF4_{TE} = 1.207 \pm 0.220$ ms). La prueba de Friedman muestra un valor de ($X^2F = 15.500$, $p < 0.001$), que indica la existencia de diferencias significativas entre las condiciones.

El τ de Kendall = 0.277 sugiere una concordancia moderada en los rangos entre las mediciones. Las comparaciones post-hoc revelan diferencias significativas en las mediciones entre las condiciones de descanso y tanto tras el calentamiento como cansancio. ($t_{R-TC} = 2,932$; $p_{Holm} = 0.010$; $rrb = - 0.655$) ($t_{R-TE} = 4,475$; $p < 0.001$; $rrb = - 0.773$).

5.7.9 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones tocado de marcha. (TDM4)

Los tiempos de reacción en el ejercicio de toma de decisiones tocado de marcha (TDM4) aumentan debido al efecto de la fatiga o a una mayor carga cognitiva asociada al esfuerzo físico realizado durante el entrenamiento (Tabla 15).

Tabla 15.- Valores medios del tiempo del ejercicio TDM4 su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones en tres condiciones de cansancio.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c".

	Media ± dt	Shapiro-Wilk	p
En reposo (R) (a)	1126 ± 234 c	0,894	0,007
Tras el calentamiento (TC) (b)	1171 ± 268 c	0,842	< 0,001
Tras el entrenamiento (TE) (c)	1256 ± 267 ab	0,952	0,208

Las medias aumentan progresivamente en función del cansancio, pasando de $TDM4_R = 1126 \pm 0.234$ ms; a $TDM4_{TC} = 1171 \pm 268$ ms; y $TDM4_{TE} = 1256 \pm 267$ ms, lo que sugiere un incremento en las mediciones a medida que el sujeto se va fatigando.

El valor de la prueba de Friedman ($\downarrow^2F = 6.439$; $p = 0.040$) indica que hay una diferencia significativa en las mediciones entre las condiciones. El χ^2 de Kendall = 0.111 sugiere una concordancia débil lo que indica que, aunque hay diferencias significativas, la magnitud de estas no es muy alta. El análisis post-hoc muestra diferencias entre los grupos, ($t_{R-TE} = 2,416$; $p =$

0,019; $p_{Holm} = 0,057$; $rrb = - 0.448$) y ($t_{TC-TE} = 2,140$; $p = 0,037$, $p_{Holm} = 0,074$; $rrb = - 0.328$).

5.7.10 Efecto del entrenamiento en el ejercicio de toma de decisiones tocado tras romper. (TDR4)

Las medias y las desviaciones estándar en las tres condiciones de fatiga son bastante similares, lo que indica que las diferencias entre las condiciones son mínimas (Tabla 16).

Tabla 16.- Valores medios del tiempo del ejercicio TDR4 su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones en tres condiciones de cansancio.

Las diferencias significativas entre grupos del análisis de la prueba post-hoc se indican con la letra del grupo en superíndice "a, b c".

	Media \pm dt	Shapiro-Wilk	p
En reposo (R) (a)	1306 \pm 312	0,953	0,232
Tras el calentamiento (TC) (b)	1334 \pm 295	0,952	0,226
Tras el entrenamiento (TE) (c)	1321 \pm 266	0,973	0,659

Los valores promedio de las tres condiciones ($TDR4_R = 1.306 \pm 0.312$ ms; $TDR4_{TC} = 1.334 \pm 0.295$ ms; $TDR4_{TE} = 1.321 \pm 0.266$) y no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de cansancio en las tres condiciones evaluadas. Los resultados del ANOVA indican que el nivel de cansancio no tiene un efecto significativo en le TDR4 ($F = 0,106$; $p = 0,900$; $\eta^2 = 0,004$). Además, el tamaño del efecto es muy pequeño, lo que sugiere que el cansancio no es un factor relevante en este movimiento.

5.8 Resultados por victoria.

Al analizar los tiempos de reacción de todos los grupos en función del resultado de los asaltos no se encontró una relación significativa respecto al hecho de ganar o perder en ninguno de los ejercicios.

Tabla 17.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por el resultado del combate si fue ganado o perdido por los tiradores (tiempos en ms).

Ejercicio	Ganador (n:11)	Perdedor (n:11)	F	P	η²
TRS1	366 ± 75	411 ± 99	1,412	0,249	0,066
TRE2	514 ± 71	491 ± 51	0,744	0,399	0,036
G/NG3	577 ± 68	535 ± 46	2,967	0,100	0,129
TD 4	1229 ± 268	1254 ± 245	0,192	0,662	0,002
TDF 4	1101 ± 197	1076 ± 115	0,169	0,685	0,006
TDM 4	1067 ± 125	1161 ± 133	3,656	0,067	0,123
TDR 4	1534 ± 172	1523 ± 119	0,036	0,851	0,001

5.9 Comparabilidad de los resultados.

Para garantizar la comparabilidad de los resultados al emplear los mismos sistemas de entrenamiento y ejercicios diseñados en la primera parte.

Para evaluar si los resultados de ambos estudios eran comparables y consistentes, examinamos las diferencias entre las medias de los tiempos de reacción en cada ejercicio mediante la prueba U de Mann-Whitney. Se observaron diferencias significativas en los ejercicios TDM4 y TDR4, lo que indica que las distribuciones de valores entre los grupos son distintas en estas tareas. Esto sugiere que los ejercicios en estos tres casos no son directamente comparables entre los estudios.

	1ª estudio Media ± dt (ms)	2ª estudio Media ± dt (ms)	P -valor
TRS1	334 ± 124	326±53	0,071
TRE2	493 ± 103	483 ± 97	0,052
G/NG3	537 ± 86	519 ± 47	0.175
TD4	1180 ± 293	1200 ± 176	0.782
TDF4	1027 ± 176	1101 ± 421	0.683
TDM4	1100 ± 210	1184± 148	0,004
TDR4	1560 ± 231	1320 ± 143	0,002

En contraste, los ejercicios TRS1, TRE2, G/NG3, TD4 y TDF4 no mostraron diferencias significativas en sus medias, lo cual indica que los tiempos de reacción en estas tareas son estadísticamente similares entre ambos estudios. Así, estos ejercicios son más comparables entre los grupos de tiradores evaluados en distintos momentos.

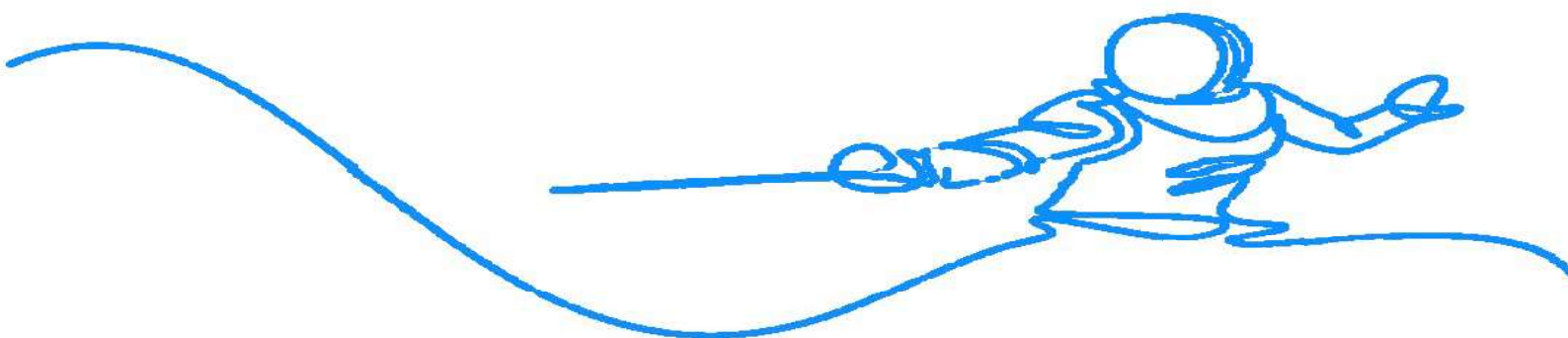
Específicamente, el ejercicio TDR4 mostró una diferencia marcada, donde los participantes del primer estudio tuvieron tiempos significativamente mayores, lo que sugiere una mayor demora en la respuesta al toque tras romper. En términos generales, los resultados indican que los participantes del Estudio 2

fueron más eficientes en tareas de toma de decisiones complejas (TRE2, TDF4 y TDR4).

Las diferencias observadas podrían explicarse en parte por el efecto de la fatiga. En el primer estudio, las mediciones se realizaron durante el entrenamiento, pero no después de un combate simulado, una situación que genera mayor fatiga. El segundo estudio, que incluyó la evaluación posterior a un combate simulado, mostró que la fatiga afectaba significativamente los tiempos de reacción. Estas diferencias fueron más notorias en los tiempos de reacción más largos y tuvieron un impacto menor en los tiempos más rápidos, lo que sugiere que la fatiga podría ser más perceptible en movimientos que requieren tareas cognitivas complejas, en comparación con aquellas que demandan un procesamiento cerebral más sencillo.

Sin embargo, también es importante considerar que el Estudio 2 contó con una muestra más pequeña de tiradores. Esta limitación en el tamaño de la muestra podría haber influido en la variabilidad observada en los tiempos de reacción, especialmente en aquellos ejercicios que demandan habilidades cognitivas específicas.

6. DISCUSIÓN



DISCUSIÓN

Los dispositivos de luces de tiempo de reacción se emplean para mejorar los tiempos de reacción en diversos deportes. El análisis del tiempo de reacción y la anticipación visual debería ser parte integral del diseño e implementación de un programa de entrenamiento visual destinado a mejorar los tiempos de reacción de los atletas para mejorar su rendimiento deportivo (Kuan, et al 2018). Estos dispositivos han demostrado su validez en sesiones de entrenamiento específicas para esgrimistas de diferentes niveles para mejorar el rendimiento físico de los esgrimistas (Vargas & Jiménez, 2020), (Liu et al., 2019).

Basándonos en esta premisa y con la colaboración de los entrenadores, hemos diseñado ejercicios específicos para evaluar el tiempo de reacción simple y selectivo, así como la toma de decisiones en esgrimistas. En la primera parte de nuestra discusión, analizaremos los resultados obtenidos en ambos estudios, primero a nivel general y, posteriormente, desglosándolos por género, tipo de arma y nivel del esgrimista. Además, presentaremos un borrador de una escala de referencia para establecer el nivel de los esgrimistas en estos tiempos de reacción. En la segunda parte del estudio, abordaremos el impacto de la fatiga en estos tiempos de reacción.

6.1 Discusión de los resultados estudio 1.

6.1.1 Discusión de los resultados generales.

Denominamos tiempo de reacción simple al tiempo que transcurre desde que un estímulo se presenta hasta que el deportista realiza una respuesta a un solo estímulo sencillo. Cuando el estímulo y la respuesta correspondientes se conocen de antemano hablamos de TRS y se habla de tiempo de reacción electivo (TRE) cuando se desconoce el estímulo, tal como se menciona en la literatura científica (Sillero, 2002; Schmidt y Lee, 2005).

La principal diferencia entre ellos es la presencia (TRE) o la falta (TRS) de conocimiento de la posición del estímulo en la etapa de identificación y selección de respuestas (Schmidt & Lee, 2005).

Los resultados generales indicaron que los tiempos de reacción y toma de decisiones están directamente relacionados con la dificultad de la tarea. Los tiempos más rápidos corresponden al TRS1 (334 ± 124 ms) porque se utilizó una sola luz y no hay procesamiento cognitivo en la tarea. El esgrimista simplemente tocó la luz cuando se encendió. El segundo ejercicio en términos de complejidad cognitiva fue el TRE2 (493 ± 103 ms), en el que los esgrimistas tenían cuatro luces y tenían que tocar solo la luz que se encendía. Si consideramos los resultados de TRS1 y TRE2, podemos observar las diferencias en los tiempos de reacción de los esgrimistas entre acciones planificadas y no planificadas; cuando los esgrimistas sabían qué luz se iluminará (TRS1), los tiempos fueron más cortos que cuando no lo sabían (TRE2), estos resultados son ligeramente diferentes en valores absolutos pero similares a los hallazgos de otros investigadores con otros deportes y protocolos. Donde la acción planificada es más rápida que la no planificada (Mackala et al., 2020) (Rauter et al., 2018)

Los resultados del tercer ejercicio G/NG3 (537 ± 86 ms) fueron bastante similares al TRE2, y similares a los encontrados por otros autores (Gutiérrez-Dávila, et al 2013) 523 ± 74 ms.

En este punto, debe considerarse que, como se mencionó en el protocolo de recolección de datos, el número de errores o bloqueos en el ejercicio TRE2 fue mayor (22 descartados; 1,61% del total) que en el G/NG3 (3 descartados; 0,24% del total) lo cual sugiere una ejecución más controlada y deliberada. Este punto es muy importante para interpretar los resultados porque en el ejercicio TRE2, los esgrimistas iniciaron el movimiento cuando las cuatro luces se activaron, y la acción podría optimizarse durante el movimiento del arma. Sin embargo, en el G/NG3, la acción no podía corregirse una vez iniciado el movimiento, y no se podía modificar la trayectoria del arma; por lo tanto, la toma de decisiones tenía que hacerse completa y perfectamente antes de iniciar la acción.

Lo que les forzó a una toma de decisiones más cuidadosa y precisa desde el principio. Esto resalta la importancia de la planificación previa en tareas que no permiten correcciones.

Tareas como G/NG3 (“Ir/No Ir”), abordan la elección y la velocidad de decisión durante el ejercicio de manera muy realista, y pueden identificar defectos en el control visomotor y el equilibrio que pueden persistir después de la recuperación. (Mitchel et al., 2019). Dado que estas tareas simulan situaciones en las que el atleta debe inhibir acciones incorrectas bajo presión, podrían ser especialmente útiles para detectar deficiencias residuales tras lesiones o periodos de recuperación, como sugiere Mitchell et al. (2019).

Los tiempos de la tarea G/NG3 fueron similares a los obtenidos por otros autores como Gutiérrez-Dávila, M. et al. (2013 y 2016) aunque únicamente cuando incluyen el tiempo necesario para realizar el tocado (523 ± 74 ms). Para el tiempo de reacción simple TRS (239 ± 20 ms y 188 ± 22 vs. 334 ± 124 ms) son diferentes. Estas diferencias pueden deberse a la diferente metodología de los estudios ya que estos autores miden el comienzo del movimiento y en este estudio se midió el final de este incluyendo también la acción.

Estas diferencias pueden deberse no solo a la diferente metodología de los estudios, sino también al diferente nivel de los esgrimistas, ya que ellos solo incluyeron esgrimistas de élite de armas de punta: florete y espada, mientras que en nuestra muestra también tuvimos atletas de nivel no élite, incluidos esgrimistas de sable. Los esgrimistas de sable normalmente tocan con el filo del arma y parten de una posición de guardia diferente; estas condiciones eran diferentes a las requeridas en los ejercicios.

Otros autores que midieron la precisión y los tiempos de toque en esgrima con un protocolo similar al nuestro obtuvieron tiempos de ejercicio más cercanos a los nuestros; (420 ± 83 ms vs 493 ± 103 ms) para el TRE2 (De Giorgio et al 2021). La cercanía en los resultados sugiere que, a pesar de las diferencias individuales o de nivel, ciertas demandas cognitivas y motoras son constantes en situaciones de respuesta rápida en esgrima.

Las tareas más difíciles desde el punto de vista cognitivo fueron las incluidas en el ejercicio 4 (TDF4, TDM4, TDR, y TD4 como promedio de las tres tareas). Considerando todos los ejercicios de toma de decisiones, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los ejercicios ($p > 0.05$), obtuvimos resultados estrechamente relacionados con los aspectos temporales de los movimientos requeridos del esgrimista.

El movimiento más rápido fue el fondo (TDF4 = 1027 ± 176 ms), que es el ataque más rápido en esgrima, seguido del movimiento de marcha (TDM4 = 1100 ± 210 ms), y los resultados más lentos fueron para la acción de romper (TDR4 = 1560 ± 231 ms), porque este movimiento requiere primero reconocer la situación ejecutar un retroceso defensivo y luego lanzar un ataque, aumentando el tiempo total debido a la secuencia de pasos complejos que deben planificarse y ejecutarse.

El promedio de los tres ejercicios fue de (TD4 = 1180 ± 293 ms). Estos tiempos fueron más altos que los obtenidos por otros autores (Gutiérrez-Dávila et al., 2016), que estaban en 601 ± 82 ms; estas diferencias pueden

deberse no solo a la diferente metodología de los estudios, sino también al diferente nivel de los esgrimistas, ya que en el citado estudio de Gutierrez-Dávila la muestra estuvo compuesta de tiradores de élite de armas de punta (florete y espada), y en nuestra muestra también teníamos atletas de nivel no élite, incluyendo esgrimistas de sable. Los esgrimistas de sable normalmente tocan con el filo del arma y comienzan desde una posición de guardia diferente; estas condiciones eran diferentes a las solicitadas en los ejercicios.

Otros autores que midieron la precisión y los tiempos de toque en la esgrima con un protocolo similar al nuestro obtuvieron tiempos de ejercicio más cercanos $TDR4 = 1336 \pm 319$ ms vs 1560 ± 231 ms (Witkowski et al., 2020); y en un estudio de Gutiérrez-Dávila y colaboradores (2016) tanto en el ejercicio de Marcha ($TDM4 = 1336 \pm 319$ ms vs. 1100 ± 210 ms) como en el promedio de los ejercicios ($TD4 = 1168 \pm 25$ ms vs. 1180 ± 293 ms). La ligera diferencia en movimiento TDR4 podría deberse a que el paso hacia atrás es una acción defensiva más dependiente de la anticipación del oponente y de la toma de decisiones bajo presión, aspectos que podrían estar menos desarrollados en esgrimistas no élite o en especialidades como el sable, donde la prioridad de acciones es diferente

6.1.2 Discusión de los resultados por sexo.

Los resultados separados por género muestran diferencias significativas entre hombres y mujeres en algunos de los ejercicios (TRE2 y TDF4), siendo los resultados bastante heterogéneos, sin una tendencia clara hacia algún género.

En el ejercicio de tiempo de reacción electivo TRE2 existen diferencias significativas entre géneros donde los hombres son algo más rápidos que las mujeres. (481 ± 120 ms vs. 510 ± 74 ms ($Z=2.064$; $p=0.039$). Por otro lado, en el ejercicio de toma de decisiones con fondo TDF son más rápidas que los hombres de forma significativa $M=1022 \pm 184$ ms vs. $H=1081 \pm 168$ ms ($Z=2.340$; $p=0,019$) pero ambos casos con tamaños de efecto pequeños, lo que indica que, aunque las diferencias son estadísticamente significativas, no son muy grandes.

En los estudios previos también encontramos esta variabilidad de resultados, por ejemplo, Tsolakis y colaboradores (2018), con una muestra de 9 hombres y 13 mujeres jóvenes esgrimistas de $13,4 \pm 0,85$ años, no encontraron diferencias significativas en la velocidad de ataque entre géneros (hombres $3,6 \pm 0,90$ m/s y mujeres $2,90 \pm 0,72$ m/s).

Aunque otros autores tampoco encontraron diferencias significativas en la velocidad de ataque entre géneros con una muestra de 53 hombres y 42 mujeres esgrimistas de elite y sub-élite, floretistas y espadistas de $20,5 \pm 5,77$ años (hombres 392 ± 83 ms y mujeres 436 ± 74 ms) en el TRE similar a lo encontrado en este estudio (De Giorgio et al 2021). Otros estudios en otras áreas sugieren que, en promedio, las mujeres pueden mostrar tiempos de reacción más largos en ciertas pruebas, pero esto no se aplica a todas las tareas o contexto (Symons et al. 2023).

Otros estudios sobre esgrima sí mostraron diferencias en los tiempos de ataque de los hombres en comparación con los realizados por las mujeres, con una muestra de 13 hombres de $25,9 \pm 2,8$ años y 13 mujeres de $25,8 \pm 3,1$ años finalistas de florete de las competiciones de la FIE.

Por otra parte, un gran número de investigadores reportan valores ligeramente favorables a los hombres sobre las mujeres en diferentes deportes (Pérez-Trejos et al. 2011). Incluso hay investigaciones que indican que las diferencias de género en tiempos de reacción están disminuyendo, posiblemente debido a cambios en la capacitación y la participación de las mujeres en deportes competitivos (Dyson, 2024).

La variabilidad de los resultados sugiere que, aunque en nuestro estudio se observaron alguna diferencia estadística, estas no son lo suficientemente grandes como para permitir afirmaciones generalizadas sobre la rapidez de la acción en función del género del tirador de esgrima. Además, la heterogeneidad de los resultados en los diferentes ejercicios refuerza esta cautela.

Para realizar afirmaciones más precisas sobre el rendimiento en tareas de tiempo de reacción entre hombres y mujeres, es necesario considerar tanto el contexto como las diferencias individuales. Factores como el estilo de guardia, el tipo de arma utilizada y las tácticas preferidas (por ejemplo, ataques directos frente a acciones más elaboradas) pueden influir significativamente en la velocidad de reacción y en la eficiencia del movimiento, más allá del nivel competitivo del atleta.

Asimismo, las diferencias observadas entre hombres y mujeres en los tiempos de ataque podrían reflejar no solo variaciones en fuerza y potencia muscular, sino también diferencias estratégicas en el estilo de combate. Estos aspectos deben ser tomados en cuenta al diseñar programas de entrenamiento específicos para cada grupo.

6.1.3 Discusión de los resultados por arma.

Cuando analizamos los datos por arma, los valores promedio de los esgrimistas de florete fueron los más rápidos, en todos los ejercicios, siendo las diferencias estadísticamente más rápidas que los esgrimistas de sable en los ejercicios de toma de decisiones TDF (Florete= 999 ± 121 ms vs Sable= 1192 ± 188 ms) ($F=4.741$; $p<0.05$) y TDM4 (Florete= 1166 ± 210 ms vs Sable= 1432 ± 211 ms) ($F=6.196$; $p<0.05$), pero no en el TDR4 ($F=1.073$; $p=0.350$). Cuando se consideró el promedio de los tres ejercicios de toma de decisiones (TD4), los resultados también mostraron diferencias significativas por arma de los esgrimistas ($F=4.688$; $p<0.05$), con valores de toma de decisiones más altos en el grupo de sable y valores más bajos en el grupo de florete (Florete= 1250 ± 299 ms vs Sable= 1446 ± 320 ms). En todos los casos, el grupo de Espada tuvo resultados intermedios sin diferencias significativas entre los otros dos grupos.

Estos resultados eran esperados porque, aunque el combate de Sable es más rápido, su toque requiere menos precisión y el toque habitual es con el filo del arma, que es menos preciso y no es la técnica solicitada en los ejercicios. Además, los esgrimistas de sable parten de una posición de guardia diferente, y no se utilizó la posición de guardia solicitada en los ejercicios. Nuestros tiempos fueron más altos que los obtenidos por Gutiérrez-Dávila y colaboradores (2016) para esgrimistas de espada (1110 ± 186 ms vs. 601 ± 82 ms), y por Witkowski y colaboradores (2020) para esgrimistas de florete (999 ± 121 ms y 1194 ± 86 ms), porque estos autores sólo tenían esgrimistas de élite de florete y espada y en nuestra muestra se incluyeron esgrimistas de diferentes niveles de práctica, incluidos esgrimistas amateurs.

De Giorgio y sus colaboradores (2021) encontraron tiempos similares para un ejercicio similar al TRS1 (365 ± 53 ms vs. 337 ± 104 ms) para los esgrimistas de espada, y (378 ± 64 ms y 337 ± 104 ms) para los esgrimistas de florete; mientras que en un ejercicio similar al TRE2 también obtuvieron tiempos parecidos (470 ± 59 ms vs. 493 ± 104 ms) para los esgrimistas de espada, y (471 ± 60 ms y 507 ± 74 ms) para los esgrimistas de florete.

Sin embargo, en otra investigación que empleó una metodología similar (Martínez de Quel et al. 2011), se encontraron tiempos de reacción simple más rápidos en los tiradores de sable (156 ± 165 ms vs 419 ± 153 ms) en comparación con los floretistas (441 ± 282 ms vs. 337 ± 104 ms) y espadistas (437 ± 363 ms vs. 356 ± 104 ms) aunque en estos estudios no encontraron diferencias significativas entre armas, pero se puede observar que los tiempos están en el mismo orden que nuestro estudio, excepto en el sable, que al no el tocado de corte en vez del de punta como en nuestro estudio, permitió unos tiempos de reacción muchísimo más rápidos.

Por tanto, podemos decir el sable, al basarse en toques con el filo y no con la punta, exige menos precisión que el florete o la espada. Esto explicaría por qué los esgrimistas de sable fueron más lentos en nuestro estudio en ejercicios donde se exigía máxima precisión de toque de punta, diferente a su técnica habitual. Además, Los esgrimistas de sable suelen adoptar una posición de guardia distinta, adaptada a su estilo de combate. Esta diferencia podría haber influido negativamente en su desempeño en un protocolo estandarizado que no reflejaba su postura habitual.

A diferencia de otros estudios que trabajaron con esgrimistas de élite exclusivamente, en este caso la muestra incluía atletas de distintos niveles, incluidos amateurs, lo que pudo aumentar la variabilidad de los tiempos y elevar los promedios generales lo que puede limitar las conclusiones por arma.

6.1.4 Discusión de los resultados por nivel del esgrimista.

Cuando se analizaron los resultados de los cuatro ejercicios considerando el nivel competitivo de los atletas, se observó una tendencia general clara: los esgrimistas aficionados presentaron los peores tiempos (mayores valores), seguidos por los de nivel regional y nacional, mientras que los esgrimistas internacionales mostraron los mejores rendimientos. Esta progresión descendente en los tiempos de reacción y toma de

decisiones con el aumento del nivel competitivo concuerda con hallazgos en otras disciplinas deportivas (Van de Water et al., 2017).

Este patrón es esperable, dado que los atletas de mayor nivel competitivo no solo tienen mayor experiencia, sino que también entrenan de forma específica la velocidad de respuesta y la precisión bajo condiciones de presión. Estas habilidades se traducen en menores tiempos de reacción simple (TRS), reacción electiva (TRE) y toma de decisiones (TD), reflejando una mayor eficiencia del sistema perceptivo-motor.

Giorgio y colaboradores (2021) obtuvieron valores comparables a los del presente estudio para el TRS, registrando 402 ± 80 ms en esgrimistas novatos y 371 ± 58 ms en esgrimistas de élite, aunque en su estudio no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, probablemente por el tamaño reducido de la muestra. De forma similar, Harmenberg et al. (1991) tampoco hallaron diferencias en tareas visuales simples, pero sí en aquellas que implicaban una mayor carga perceptiva, como responder al movimiento del brazo del maestro, lo que refuerza la importancia de la especificidad del estímulo.

Gutiérrez-Dávila et al. (2013) también mostraron que los esgrimistas principiantes exhiben tiempos de reacción significativamente más largos (25,5–34,8%; $p < 0,05$) y mayor sensibilidad al aumento de alternativas estímulo-respuesta. Esto se explica porque los atletas expertos automatizan sus procesos perceptivo-motores, mientras que los novatos dependen aún de un procesamiento más deliberado.

John et al. (2011), en una muestra de 30 esgrimistas divididos por nivel competitivo, encontraron que la combinación de experiencia en esgrima y una buena condición física optimiza el rendimiento deportivo y reduce la tasa de errores en pruebas como el TRS y G/NG.

El metaanálisis de Mann et al. (2007) respalda estos resultados, al encontrar que los deportistas expertos, en comparación con los principiantes, muestran tiempos de reacción simples más bajos debido a su habilidad para captar señales perceptivas relevantes con mayor eficacia.

En el ejercicio TRE2, el análisis de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre grupos. Giorgio et al. (2021) obtuvieron valores similares (525 ± 107 ms vs. 565 ± 131 ms en novatos; 420 ± 55 ms vs. 477 ± 68 ms en élite), sin diferencias significativas. Esto sugiere que, en pruebas electivas de baja complejidad, las diferencias entre niveles de habilidad pueden ser menos marcadas.

De forma análoga, los resultados del ejercicio G/NG3 tampoco evidenciaron diferencias significativas entre los grupos, aunque estudios como el de John et al. (2011) remarcan que la experiencia en esgrima y la condición física influyen en la tasa de errores y no solo en el tiempo de reacción.

El ANOVA reveló diferencias significativas en el ejercicio de toma de decisiones con marcha (TDM4), donde los esgrimistas amateurs presentaron tiempos más altos (1486 ± 156 ms) en comparación con los grupos nacional (1180 ± 291 ms) e internacional (1215 ± 226 ms) ($F = 4.539$; $p < 0.05$). También se observaron diferencias en el promedio de los tres ejercicios de toma de decisiones (TD4), donde los esgrimistas amateurs fueron nuevamente más lentos (1476 ± 363 ms) que los internacionales (1229 ± 241 ms) y nacionales (1277 ± 317 ms) ($F = 4.688$; $p < 0.05$). El análisis post hoc de Tukey confirmó estas diferencias.

En cuanto a la complejidad de las tareas, Witkowski et al. (2021) encontraron que cuanto más compleja es la acción, mayor es el tiempo de reacción. Coincidiendo con nuestro estudio, la acción de fondo (TDF4) fue la más rápida, probablemente por su naturaleza defensiva y por basarse en estímulos visuales claros. En contraste, acciones ofensivas como la rotura implican mayor planificación motora y por tanto un TMR mayor.

Milić (2020) y Shiffrar y Freyd (1990) explican que en situaciones ofensivas no existe un estímulo tan evidente que marque el inicio de la acción, lo que incrementa el tiempo de reacción, mientras que las acciones defensivas suelen apoyarse en señales visuales claras y tienen menor carga coordinativa.

Borysiuk y Waskiewicz (2008), desde una perspectiva neurofisiológica, argumentan que las tareas motoras más complejas requieren un mayor tiempo de programación motora, al tener que recuperar programas almacenados en la memoria (Henry y Rogers, 1960). Yiou y Do (2000) también reportaron diferencias en pruebas complejas de TD entre expertos y principiantes, atribuibles a un periodo refractario más corto en los primeros.

No obstante, los resultados de Tsolakis y Tsiganos (2008) contrastan con estos hallazgos al no encontrar diferencias significativas en el TDF4 entre élite y novatos, posiblemente por diferencias metodológicas o tamaño muestral reducido.

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de que el nivel de rendimiento deportivo influye de manera significativa en los tiempos de reacción y en la toma de decisiones en esgrima, particularmente en tareas de mayor complejidad. Este efecto también se ha observado en otras habilidades visuales en diferentes disciplinas deportivas, lo que sugiere un patrón generalizado en la relación entre rendimiento deportivo y procesamiento cognitivo-perceptual. (Mon-López et al. 2021)

Las diferencias entre esgrimistas amateurs y de mayor nivel reflejan una mayor eficiencia del sistema sensoriomotor y una mejor automatización de procesos en los atletas más experimentados. Esto se traduce en una menor latencia de respuesta, mayor precisión y mejor capacidad de procesamiento ante tareas con múltiples alternativas o mayor carga cognitiva.

El patrón observado es coherente con la literatura científica, que indica que el entrenamiento específico y la experiencia mejoran la capacidad de anticipación, reducen el tiempo de procesamiento y permiten una respuesta motora más rápida y eficaz.

Asimismo, se observa que no todas las pruebas discriminan igualmente entre niveles: las tareas simples (TRS, TRE) tienden a mostrar menos diferencias significativas, mientras que las tareas complejas (TD, TDM, TMR) son más sensibles a la experticia. Esto destaca la importancia de utilizar pruebas específicas y multifactoriales en la evaluación del rendimiento perceptivo-motor en deportes como la esgrima.

6.1.5 Discusión de los resultados por grupo de edad.

El análisis de los resultados en los distintos ejercicios de evaluación de los tiempos de reacción y de toma de decisiones reveló que el grupo de menores (menores de 14 años) presentó diferencias significativas con al menos uno de los otros grupos etarios en todas las pruebas. Este hallazgo es consistente con estudios clásicos sobre el desarrollo neuromotor, que indican que los tiempos de reacción comienzan a estabilizarse y a parecerse a los de adultos a partir de los 14 años (Henry & Rogers, 1960). Esta tendencia fue especialmente evidente en el ejercicio de toma de decisiones (TD4), incluyendo sus componentes: toma de decisiones con fondo (TDF), con movimiento de marcha (TDM) y con rompimiento (TDR). En todas estas tareas, los tiempos registrados por el grupo de menores fueron significativamente más altos que los de los grupos de mayor edad.

Desde una perspectiva neurobiológica, estas diferencias pueden atribuirse a la inmadurez relativa de las funciones ejecutivas en edades tempranas. Dichas funciones, que incluyen la inhibición de respuestas inapropiadas, la toma de decisiones rápidas y la planificación motora, están principalmente mediadas por la corteza prefrontal, la cual sigue desarrollándose durante la adolescencia (Best, Miller, & Naglieri, 2011; Diamond, 2000). Como consecuencia, los niños y adolescentes jóvenes tienden a mostrar mayores tiempos de latencia tanto en tareas simples como el tiempo de reacción simple (TRS), como en tareas de mayor complejidad perceptiva y motora, como las evaluadas en los ejercicios de TD.

Asimismo, la capacidad para procesar múltiples estímulos, seleccionar adecuadamente entre varias alternativas de respuesta y ejecutar una acción eficiente se encuentra más limitada en edades tempranas. Estudios previos han demostrado que la eficiencia en la integración sensoriomotora mejora con la edad, debido tanto a la maduración neurofisiológica como a la experiencia motriz acumulada (Thomas, Gallagher, & Purvis, 2004; Williams et al., 2011). En este sentido, los ejercicios más exigentes en cuanto a procesamiento cognitivo, como el TDM y el TDR, pusieron en evidencia la menor preparación del grupo de menores para manejar situaciones que requieren respuesta rápida en entornos dinámicos.

Por otra parte, estudios sobre desarrollo motor han destacado que los niños muestran una mayor variabilidad en sus respuestas motoras y una menor automatización de los patrones de movimiento, lo que también puede contribuir al aumento en los tiempos de respuesta (Payne & Isaacs, 2011). Esta falta de automatización, junto con una menor eficiencia atencional, incrementa el costo cognitivo de tareas que implican no solo reacción, sino también análisis de contexto, inhibición de respuestas incorrectas y planificación secuencial.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la hipótesis de que el rendimiento en tareas de reacción y toma de decisiones mejora progresivamente con la edad, reflejando tanto el desarrollo de las capacidades perceptivo-motoras como la maduración de las funciones cognitivas superiores. En consecuencia, estos resultados sugieren que las tareas más complejas son especialmente útiles para discriminar entre niveles de desarrollo y experiencia, y deberían ser consideradas en los programas de evaluación y entrenamiento de jóvenes deportistas.

6.2 Discusión de los resultados estudio 2.

6.2.1 Discusión de las pulsaciones por Minuto.

La frecuencia cardíaca (FC), medida en pulsaciones por minuto (ppm), constituye un indicador fisiológico ampliamente utilizado para estimar la intensidad del esfuerzo físico durante la actividad deportiva (Achten & Jeukendrup, 2003). En el presente estudio, se evaluaron las variaciones en la FC en tres momentos clave: en reposo (R), tras el calentamiento (TC) y después del entrenamiento o combate simulado (TE). Los resultados revelaron un incremento progresivo y estadísticamente significativo de la FC entre las tres condiciones, lo cual refleja adecuadamente el aumento de la exigencia física a lo largo de la sesión.

En situación de reposo, la FC promedio fue de $66,65 \pm 11,71$ ppm. Tras el calentamiento, se observó un aumento considerable hasta $106,55 \pm 9,20$ ppm, mientras que, después del combate simulado, la media alcanzó los $129,4 \pm 10,63$ ppm. El análisis estadístico mediante ANOVA de medidas repetidas evidenció diferencias altamente significativas entre las tres condiciones ($F > 20$; $p < 0.001$), acompañadas de un tamaño del efecto extremadamente alto ($\eta^2 > 0.80$), lo que indica un cambio fisiológico sustancial en respuesta a las demandas físicas impuestas por la esgrima.

Estos valores, aunque consistentes con un patrón de esfuerzo progresivo, son inferiores a los reportados en estudios previos realizados en contextos de competición real. Por ejemplo, Li et al. (2005) reportaron una frecuencia cardíaca media de 167 ppm y un máximo de hasta 191 ppm durante combates oficiales, lo cual equivale aproximadamente al 70 % de la frecuencia cardíaca máxima teórica (FC_{max}). Es importante señalar que en dicho estudio la medición fue continua durante la actividad, mientras que en el presente trabajo se registró inmediatamente después de finalizar las fases de calentamiento y combate. Esta diferencia metodológica, junto con el hecho de que los combates fueron simulados, podría explicar la menor intensidad cardiovascular registrada.

Adicionalmente, la literatura ha evidenciado que la FC durante un combate de esgrima se ve influida no solo por la duración y el tipo de acciones, sino también por factores como el sexo del atleta y el arma utilizada. Rittel y Waterloh (1975) observaron que las mujeres presentaban frecuencias cardíacas más altas que los hombres durante los combates, y que las competiciones de sable generaban mayores respuestas cardiovasculares, con presencia incluso de latidos ectópicos en momentos de alta intensidad. Estas observaciones reflejan la naturaleza intermitente y explosiva de la esgrima, con picos de alta intensidad que pueden generar una respuesta cardiovascular aguda.

En estudios realizados durante sesiones de entrenamiento del equipo nacional italiano, también se constató que la intensidad del combate influye directamente en la FC, observándose incluso que los tiradores ganadores tendían a tener frecuencias cardíacas más bajas, posiblemente debido a un mejor control físico y emocional (Li et al., 2005). Del mismo modo, Iglesias y Reig (1998) hallaron que los tiradores permanecían por encima del umbral anaeróbico durante el 41 ± 34 % del tiempo total del combate, lo cual resalta el carácter intermitente de alta intensidad de esta disciplina.

Por tanto, con estos hallazgos podemos decir que la esgrima, aun en sus formas simuladas, representa una actividad física de moderada a alta intensidad, que provoca adaptaciones fisiológicas medibles a nivel cardiovascular. Las diferencias observadas respecto a estudios de competición real subrayan la importancia de las condiciones de evaluación para interpretar adecuadamente la carga interna del deportista

6.2.2 Discusión de la saturación de Oxígeno. (SO₂)

La saturación de oxígeno (SpO₂) es un parámetro fisiológico fundamental para evaluar la eficiencia de la oxigenación sanguínea durante el ejercicio físico. En este estudio, se observaron cambios leves pero consistentes en los niveles de SpO₂ a lo largo de tres fases de actividad: reposo (R), tras el calentamiento (TC) y tras el entrenamiento (TE).

Los valores medios obtenidos fueron de 98.2 ± 0.95 % en reposo, 96.4 ± 1.05 % tras el calentamiento y 95.25 ± 1.97 % después del combate simulado.

A pesar de que las diferencias absolutas entre las condiciones son pequeñas, el análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica de Friedman reveló diferencias significativas ($p < .001$), indicando una disminución estadísticamente relevante de la SO_2 con el aumento de la carga física. Las comparaciones post hoc realizadas mediante el test de Conover confirmaron que estas diferencias son consistentes entre todas las fases evaluadas.

Estas evidencias sugieren que, aunque la saturación de oxígeno permanece dentro de rangos fisiológicamente normales durante la práctica de la esgrima, sí experimenta una leve reducción asociada al esfuerzo físico, especialmente tras el entrenamiento. Este comportamiento puede deberse a una mayor demanda de oxígeno a nivel muscular, acompañada por un incremento en el metabolismo anaeróbico durante los picos de esfuerzo (Milia et al., 2014).

Estudios previos han mostrado que la esgrima genera una demanda física moderada, en la que se activan de manera simultánea las vías aeróbica y anaeróbica (Oates et al., 2014). Este equilibrio permite que, incluso durante momentos de alta intensidad, los niveles de oxígeno en sangre se mantengan relativamente estables, gracias a mecanismos de compensación ventilatoria y cardiovascular. De hecho, mientras que la frecuencia cardíaca mostró incrementos notables entre las distintas fases del ejercicio, la saturación de oxígeno evidenció una menor sensibilidad a los cambios en la intensidad, resultado también observado en investigaciones anteriores (Milia et al., 2014).

Este patrón es coherente con la naturaleza intermitente de la esgrima, caracterizada por esfuerzos breves e intensos seguidos de cortos períodos de recuperación, lo que facilita la reoxigenación parcial entre acciones (Oates et al., 2014). Desde el punto de vista del entrenamiento, estos

resultados subrayan la importancia de diseñar programas que optimicen tanto la eficiencia aeróbica como la potencia anaeróbica, ya que ambos sistemas energéticos participan activamente durante los combates.

Aunque la saturación de oxígeno se mantiene elevada durante toda la sesión de entrenamiento, su ligera disminución refleja adaptaciones fisiológicas normales al ejercicio. Este parámetro, junto con la frecuencia cardíaca, puede ser útil para monitorear la carga interna y ajustar adecuadamente la planificación del entrenamiento en esgrima.

6.2.3 Discusión de los resultados generales del estudio 2.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que casi todas las variables relacionadas con el tiempo de reacción y la toma de decisiones — incluyendo el tiempo de reacción simple (TRS1), el tiempo de reacción electivo (TRE2), el tiempo de reacción Go/No-Go (G/NG3), el tiempo de toma de decisiones general (TD4), y sus variantes con fondo (TDF4), marcha (TDM4) y rompimiento (TDR4)— presentan diferencias significativas entre las tres condiciones evaluadas: reposo (R), tras el calentamiento (TC) y tras el entrenamiento (TE). Estos hallazgos sugieren que la actividad física y, especialmente, la fatiga inducida por el entrenamiento tiene un impacto claro sobre el rendimiento cognitivo y motor de los esgrimistas.

En particular, se observó una tendencia consistente hacia un aumento progresivo en los tiempos de reacción y decisión a medida que los deportistas acumulaban mayor fatiga, siendo las diferencias más marcadas entre las condiciones de reposo y tras el entrenamiento. La presencia de diferencias estadísticamente significativas en estos casos respalda la hipótesis de que el esfuerzo físico prolongado compromete la capacidad de respuesta rápida, lo cual es crítico en un deporte como la esgrima, que exige alta velocidad de procesamiento y ejecución motora.

Estos resultados coinciden con estudios previos. Duvan et al. (2010) demostraron que el tiempo de reacción visual se incrementa

significativamente después de realizar esfuerzos de alta intensidad en cicloergómetro, en un grupo de tiradores de alto nivel.

Este hallazgo resalta la necesidad de estrategias de recuperación adecuadas en deportes donde la precisión y la rapidez son determinantes para el rendimiento competitivo.

Además, el patrón de diferencias hallado en este estudio —ausencia de diferencias significativas entre reposo y post-calentamiento, y presencia de diferencias claras entre reposo y post-entrenamiento— concuerda con lo observado por Devienne et al. (2000). En su investigación, al aplicar un esfuerzo isométrico al 50 % de la capacidad máxima en tiradores, no se observaron cambios relevantes en los tiempos de reacción o movimiento. Esta diferencia con nuestros resultados puede explicarse por la naturaleza del esfuerzo aplicado: en su caso, un ejercicio isométrico, sin componente dinámico ni cognitivo, y por tanto poco representativo de la actividad real de la esgrima.

Por el contrario, el presente estudio empleó pruebas específicas, con movimientos propios del deporte y bajo condiciones simuladas de combate, lo que le otorga una mayor validez ecológica. La fatiga inducida por el ejercicio dinámico, tácticamente orientado, permite observar con mayor claridad los efectos sobre el rendimiento neuromuscular y cognitivo, particularmente en tareas complejas de toma de decisiones (TD4, TDF4, TDM4).

En conjunto, estos hallazgos refuerzan la relevancia del nivel de fatiga como un modulador clave del rendimiento en esgrima. La intensidad y el tipo de esfuerzo realizado, así como los tiempos y métodos de recuperación, deben ser cuidadosamente considerados por los entrenadores y preparadores físicos. Optimizar estos factores puede contribuir a mantener una alta eficacia en los tiempos de respuesta incluso en fases avanzadas del combate, donde la fatiga es inevitable.

6.2.4 Discusión de los resultados ejercicio TRS1 tras el entrenamiento.

Los resultados del presente estudio revelaron un aumento significativo en el tiempo de reacción simple (TRS1) entre la condición de reposo (R) y la condición posterior al entrenamiento (TE), con valores que se incrementan de 292 ± 0.049 ms a 362 ± 0.091 ms, respectivamente. Este incremento refleja un efecto claro del cansancio acumulado tras el esfuerzo, el cual impacta negativamente en la velocidad de respuesta neuromotora. Las comparaciones post-hoc indicaron que las diferencias entre R y TE son estadísticamente significativas, mientras que no se encontraron diferencias relevantes entre R y tras el calentamiento (TC), ni entre TC y TE.

Estos hallazgos son coherentes con la evidencia empírica que indica que la fatiga reduce la eficiencia del sistema neuromuscular, afectando los tiempos de respuesta en tareas motoras simples. En un estudio realizado por Mouelhi Guizani et al. (2006), se compararon los TRS en estado de reposo entre esgrimistas profesionales y sujetos sedentarios, sin encontrar diferencias significativas. Sin embargo, al repetir las pruebas durante esfuerzos de distinta intensidad (20 %, 40 %, 60 % y 80 % de la potencia máxima) en un cicloergómetro, los tiempos de reacción empeoraron proporcionalmente a la intensidad del ejercicio, lo que sugiere que el efecto de la fatiga sobre el TRS es más pronunciado en situaciones de alta exigencia física.

Curiosamente, en ese mismo estudio, el calentamiento previo no produjo mejoras significativas en los TRS en esgrima. No obstante, otros trabajos han demostrado que ciertas formas de calentamiento, como los ejercicios aeróbicos y de estiramiento dinámico, pueden reducir tanto el tiempo de reacción como el de movimiento durante acciones específicas de combate, como el fondo (Balko et al., 2013).

Esta aparente contradicción podría explicarse por la diferencia en los protocolos de calentamiento empleados, lo cual subraya la importancia del

diseño específico de dichas rutinas en función de los objetivos del entrenamiento.

Estos resultados sugieren que el tipo, la intensidad y la especificidad del calentamiento pueden desempeñar un papel crucial en la optimización del rendimiento de los esgrimistas, al preparar de forma más o menos eficiente el sistema neuromuscular para las exigencias de la competición. Además, se refuerza la necesidad de controlar la fatiga acumulada durante las sesiones de entrenamiento o competición, dado su efecto deletéreo sobre la capacidad de reacción simple, un componente esencial en un deporte tan reactivo como la esgrima.

6.2.5 Discusión de los resultados ejercicio TRE2 tras el entrenamiento.

En estos tiempos encontramos un aumento claro entre las tres condiciones de nivel de fatiga, aunque las diferencias entre los resultados del TRE tras el calentamiento y tras el entrenamiento son más moderadas. Las medias de los TRE aumentan desde el reposo ($456 \pm 61\text{ms}$) hasta tras el entrenamiento ($514 \pm 65\text{ ms}$) y el ANOVA de medidas repetidas indica que hay una diferencia estadísticamente significativa en los niveles de cansancio entre las condiciones en reposo, tras el calentamiento, y tras el entrenamiento. El tamaño del efecto ($\eta^2 = 0.226$) sugiere un efecto moderado de las condiciones sobre el cansancio.

Si comparamos estos tiempos frente a los del ejercicio TRS1 ($292 \pm 49\text{ ms}$ en reposo y $362 \pm 91\text{ms}$ tras el entrenamiento) vemos que son más significativos. Al tener una mayor dificultad el TRE, nuestros resultados apuntan a que la fatiga generada por la práctica de la esgrima estaría afectando en mayor medida aspectos cognitivos y de procesamiento de la información de los esgrimistas. Esto puede deberse a que la fatiga conduce a una disminución del rendimiento neuromuscular y cognitivo, lo que a su vez afecta los tiempos de reacción electivos de los deportistas. Varesco y sus colaboradores (2023) indican que la fatiga y el esfuerzo percibidos aumentan progresivamente durante los combates, por lo tanto, los tiradores necesitan asignar más recursos mentales para mantener el rendimiento a medida que se fatigan.

6.2.6 Resultados ejercicio G/NG3 tras el entrenamiento.

En la tarea cognitiva Go/NoGo (G/NG3), los tiempos de reacción aumentaron de forma progresiva a medida que los sujetos pasaban de una condición de reposo ($484 \pm 98\text{ ms}$) a una posterior al entrenamiento ($548 \pm 71\text{ ms}$). Este incremento en los tiempos sugiere que la fatiga acumulada tiene un efecto negativo sobre la rapidez con la que los participantes procesan e inhiben estímulos.

El análisis ANOVA para medidas repetidas confirmó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las tres condiciones fisiológicas (R, TC y TE), con un tamaño del efecto moderado ($\eta^2 = 0.184$), lo que indica una influencia apreciable del cansancio sobre el rendimiento en esta tarea cognitiva.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el ejercicio de tiempo de reacción electiva (TRE2), donde se observaron patrones similares. Esta coincidencia refuerza la idea de que ambas pruebas están mediadas por mecanismos comunes relacionados con el procesamiento visual y el control cognitivo a nivel cortical. En este contexto, la fatiga no solo afecta la ejecución motora, sino también el control inhibitorio, clave en la toma de decisiones rápidas y precisas.

Diversos estudios han señalado que, bajo condiciones de fatiga, la capacidad de inhibir respuestas inapropiadas disminuye, afectando tanto la velocidad como la precisión del desempeño (Kato et al., 2009). En el caso específico del ejercicio G/NG3, la fatiga mental parece deteriorar la asignación de recursos cognitivos y el control de errores ante estímulos complejos, lo que se manifiesta en mayores tiempos de reacción y una posible tendencia al aumento de errores.

Kato y colaboradores (2009) destacaron que, para lograr un rendimiento óptimo en pruebas que requieren inhibición y ejecución rápidas, es fundamental mantener un control inhibitorio eficaz. Este proceso exige una activación constante del sistema nervioso autónomo, particularmente del sistema parasimpático, lo cual puede inducir fatiga neural y, en consecuencia, ralentización en la respuesta a estímulos visuales. Esta relación entre carga cognitiva, regulación autonómica y rendimiento motor es especialmente relevante en disciplinas como la esgrima, donde la toma de decisiones debe ser inmediata y precisa.

6.2.7 Resultados de los tres ejercicios TD4 tras el entrenamiento.

Los resultados del ejercicio de toma de decisiones (TD4) revelan un incremento progresivo en los tiempos de reacción a medida que se transita de la condición de reposo (1136 ± 277 ms) a tras el calentamiento y, finalmente, al estado de fatiga tras el entrenamiento (1261 ± 253 ms). Este patrón ascendente sugiere que la acumulación de fatiga tiene un efecto claro sobre el deterioro del rendimiento cognitivo-motor en situaciones que demandan decisiones rápidas.

El análisis de los componentes individuales de este ejercicio — estocada (TDF4), marcha (TDM4) y romper (TDR4)— refuerza esta tendencia. En todos los casos, los tiempos fueron más rápidos en la condición de reposo y se incrementaron bajo condiciones de mayor fatiga. El impacto fue más marcado en TDF4, el movimiento más rápido, mientras que en TDR4, el más lento, la influencia de la fatiga fue mucho menos perceptible. Esto sugiere que los movimientos que requieren mayor velocidad y precisión son más vulnerables al deterioro bajo condiciones de fatiga.

Estos hallazgos apoyan la idea de que la fatiga, ya sea física o mental, puede comprometer la eficacia de la toma de decisiones, especialmente en deportes de contacto como la esgrima, donde se requiere una alta capacidad de respuesta en contextos cambiantes y de alta presión. La fatiga tiende a reducir la velocidad y precisión de las decisiones, afectando negativamente la calidad técnica y dificultando el juicio rápido (Gantois et al., 2020).

A nivel general, la literatura ha demostrado que la fatiga puede modificar la percepción del esfuerzo, los costos y beneficios asociados a una acción, y con ello, las decisiones tomadas (Almonroeder et al., 2018). En el ámbito deportivo, esto se traduce en decisiones tácticas menos exigentes o técnicamente más conservadoras.

En esgrimistas de élite, Varesco y colaboradores señalaron que la percepción de fatiga mental se intensifica durante las competencias, lo que obliga a los atletas a destinar mayores recursos cognitivos para mantener su rendimiento. Este fenómeno resalta la importancia de una preparación que no solo contemple la condición física, sino también la resiliencia mental y la eficiencia en el procesamiento cognitivo bajo fatiga. (Varesco et al. 2023)

Finalmente, se recomienda evitar actividades cognitivamente exigentes antes de tareas que requieran decisiones críticas, tanto en contextos deportivos como clínicos, para preservar la eficacia del juicio y la rapidez de reacción.

6.2.8 Discusión de los resultados por victoria.

Los resultados del ejercicio de toma de decisiones (TD4) revelan un incremento progresivo en los tiempos de reacción a medida que se transita de la condición de reposo (1136 ± 277 ms) a tras el calentamiento y, finalmente, al estado de fatiga tras el entrenamiento (1261 ± 253 ms). Este patrón ascendente sugiere que la acumulación de fatiga tiene un efecto claro sobre el deterioro del rendimiento cognitivo-motor en situaciones que demandan decisiones rápidas.

El análisis de los componentes individuales de este ejercicio — estocada (TDF4), marcha (TDM4) y romper (TDR4)— refuerza esta tendencia. En todos los casos, los tiempos fueron más rápidos en la condición de reposo y se incrementaron bajo condiciones de mayor fatiga. El impacto fue más marcado en TDF4, el movimiento más rápido, mientras que en TDR4, el más lento, la influencia de la fatiga fue mucho menos perceptible. Esto sugiere que los movimientos que requieren mayor velocidad y precisión son más vulnerables al deterioro bajo condiciones de fatiga.

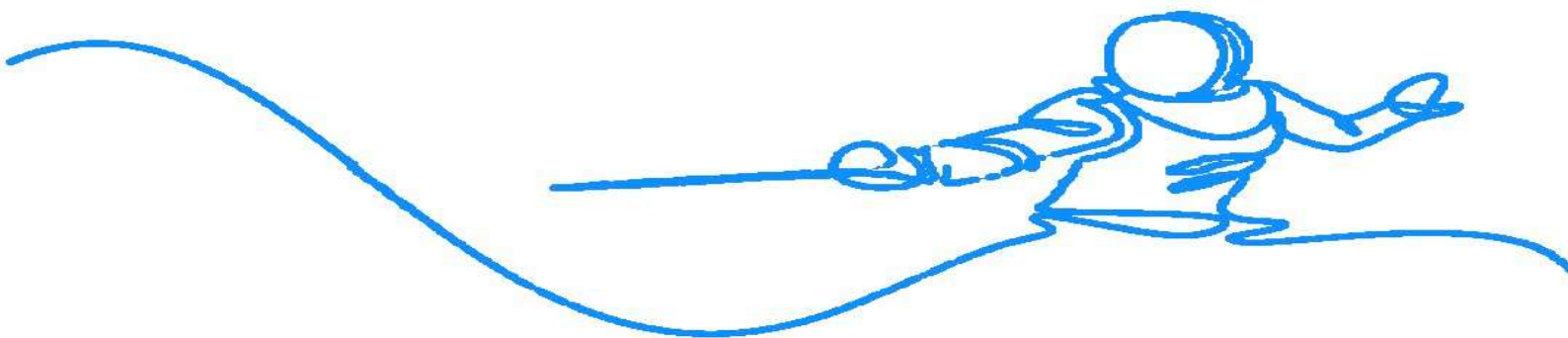
Estos hallazgos apoyan la idea de que la fatiga, ya sea física o mental, puede comprometer la eficacia de la toma de decisiones, especialmente en deportes de contacto como la esgrima, donde se requiere una alta capacidad de respuesta en contextos cambiantes y de alta presión.

La fatiga tiende a reducir la velocidad y precisión de las decisiones, afectando negativamente la calidad técnica y dificultando el juicio rápido (Gantois et al., 2020).

A nivel general, la literatura ha demostrado que la fatiga puede modificar la percepción del esfuerzo, los costos y beneficios asociados a una acción, y con ello, las decisiones tomadas (Almonroeder et al., 2018). En el ámbito deportivo, esto se traduce en decisiones tácticas menos exigentes o técnicamente más conservadoras. En esgrimistas de élite, Varesco et al. (2023) señalan que la percepción de fatiga mental se intensifica durante las competiciones, lo que obliga a los atletas a destinar mayores recursos cognitivos para mantener su rendimiento. Este fenómeno resalta la importancia de una preparación que no solo contemple la condición física, sino también la resiliencia mental y la eficiencia en el procesamiento cognitivo bajo fatiga.

Por tanto, podemos decir que evitar actividades cognitivamente exigentes antes de tareas que requieran decisiones críticas, en contextos deportivos, para preservar la eficacia del juicio y la rapidez de reacción.

7. CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Esta tesis se estructura en dos estudios destinados a evaluar experimentalmente los tiempos de reacción clave en el deporte de la esgrima y explorar su mejora a través del uso de tecnologías innovadoras, como los sistemas luminosos controlados por sistemas luminosos controlados por ordenador.

Las conclusiones del primer estudio fueron de carácter descriptivo y fueron las siguientes:

- + Los tiempos de reacción y la eficacia en la toma de decisiones están estrechamente vinculados a la dificultad de la tarea y nivel de procesamiento cognitivo requerido.

- + El Tiempo de Reacción Simple (TRS) registró los tiempos de respuesta más rápidos, seguido por los ejercicios de Tiempo de Reacción Electiva (TRE) y la actividad G/NG, ambos a un nivel similar.

- + Se deben de considerar tanto el número de bloqueos y errores como la técnica requerida en la ejecución de las acciones para el TRE y G/NG.

- + Las tareas más difíciles desde el punto de vista cognitivo fueron los ejercicios de toma de decisiones (TD), cuyos resultados están estrechamente relacionados con la técnica de los movimientos solicitados al esgrimista.

- + El movimiento más rápido fue el fondo (TDF), seguido por la marcha (TDM) y el más lento fue la acción de romper (TDR).

- + El género del esgrimista no mostraron diferencias significativas para ninguno de los ejercicios.

- + El rendimiento en todos los ejercicios estaba directamente relacionado con el nivel competitivo del esgrimista, relacionándose de forma directa con el nivel del tirador.

+ Los esgrimistas de florete demostraron tiempos de respuesta más rápidos que los de sable en todos los ejercicios, aunque solo alcanzaron una diferencia estadísticamente significativa en los ejercicios TDF y TDM. En todos los casos, el grupo de espada obtuvo resultados intermedios, sin mostrar diferencias significativas en comparación con los otros dos grupos.

+ Se han generado unos baremos de referencia para evaluar la capacidad perceptiva de los esgrimistas que podría aplicarse en procesos de detección de talentos y para evaluar la capacidad perceptiva específica de los esgrimistas.

Las conclusiones del segundo estudio se centran en los efectos del grado de fatiga sobre los tiempos de reacción evaluadas y fueron las siguientes:

+ Al igual que en el primer estudio los resultados generales confirmaron que los tiempos de reacción y toma de decisiones están directamente relacionados con la dificultad de la tarea.

+ Los resultados mostraron que la actividad física y la fatiga tienen un impacto considerable en las habilidades de reacción visual en esgrima.

+ Existe un aumento moderado progresivo en los tiempos de reacción a medida que los tiradores se fatigan, con diferencias estadísticamente significativas, entre las condiciones de reposo y después de un asalto, mientras que entre el reposo y el calentamiento no se observaron diferencias significativas.

+ La frecuencia cardíaca (FC) aumenta significativamente conforme se pasa de una condición de reposo a una de mayor actividad física, mientras que la saturación de oxígeno en sangre disminuye significativamente de forma leve pero constante entre las tres condiciones de cansancio evaluadas.

+ La fatiga influye significativamente en el rendimiento de los esgrimistas, especialmente en sus tiempos de reacción y precisión en la toma de decisiones.

+ El TRS aumenta significativamente desde el reposo hasta después del asalto, indicando que el cansancio reduce la velocidad de respuesta.

+ El TRE aumenta con el cansancio, lo que evidencia un impacto moderado del ejercicio en el rendimiento cognitivo del esgrimista.

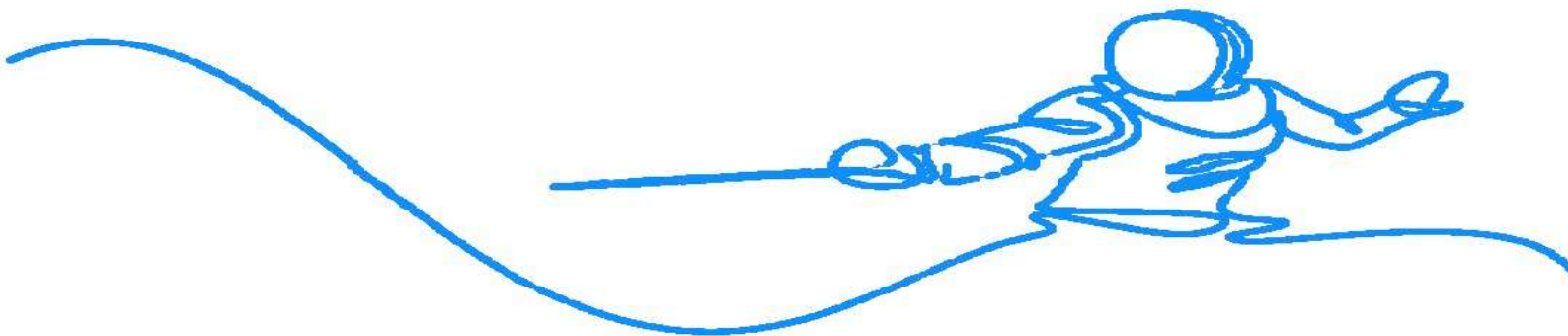
+ La fatiga competitiva afecta la capacidad de respuesta y el control inhibitorio, aumentando el tiempo de reacción y los errores en tareas de tipo Go/No-Go. Este resultado subraya la importancia de un control de errores y de controlar el nivel de inhibición del sistema simpático en deportes de alta velocidad y precisión como la esgrima.

+ Los tiempos de reacción también aumentan progresivamente en los ejercicios TD, tras el calentamiento y después del entrenamiento, afectando más a los movimientos más rápidos, como las estocadas.

+ No existen diferencias significativas entre los esgrimistas "Ganadores" y "Perdedores" en la mayoría de las variables estudiadas.

Como conclusión general, el cansancio impacta negativamente en la rapidez y precisión de las respuestas, siendo crucial en deportes como la esgrima, donde el control de la fatiga puede optimizar la toma de decisiones.

8. BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

Abel, O. (1924). Eyes and baseball. *Western Optometry World*, 12(1), 401–402.

Abernethy, B. (1986). Enhancing sports performance through clinical and experimental optometry. *Clinical and Experimental Optometry*, 69(5), 189–196. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.1986.tb04589.x>

Abernethy, B., & Wood, J. M. (2001). Do generalized visual training programmes for sport really work? An experimental investigation. *Journal of Sports Sciences*, 19(3), 203–222. <https://doi.org/10.1080/026404101750095376>

Abernethy, B., & Wollstein, J. (1989). Improving anticipation in racquet sports. Australian Sports Commission.

Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>

Aghakhanpour, N., Abdoli, B., Farsi, A., & Moeinirad, S. (2021). Comparison of visual search behavior and decision-making accuracy in expert and novice fencing referees. *Optometry and Vision Science*, 98(9), 783–788. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001726>

Agrippa, C. (1704). *Trattato di scienza d'arme et un dialogo in detta materia*. Appresso Antonio Pinargenti.

Akhand, O., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2019). Assessment of vision in concussion. *Current Opinion in Neurology*, 32(1), 68–74. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000654>

Allerdissen, M., Güldenpenning, I., Schack, T., & Bläsing, B. (2017). Recognizing fencing attacks from auditory and visual information: A comparison between expert fencers and novices. *Psychology of Sport and Exercise*, 31, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.04.009>

Almonroeder, T., Tighe, S., Miller, T., & Lanning, C. (2018). The influence of fatigue on decision-making in athletes: a systematic review. *Sports Biomechanics*, 19, 76 – 89. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1472798>.

Alves H., Voss MW., Boot WR., Deslandes AC., Ecosich V., Salles JE, Kramer AF (2013). Perceptual-cognitive expertise in elite volleyball players. *frontiers in Psychology*. 2013; 4:36. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00036>

Amann, M., & Calbet, J. A. L. (2008). Convective oxygen transport and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(3), 861–870.

Anders, J., et al. (2021). Are mode-specific differences in performance fatigability attributable to muscle oxygenation? *European Journal of Applied Physiology*, 121, 2243–2252. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04694-5>

Aparicio-Martinez, P., Perea-Moreno, A. -J., Martinez-Jimenez, M. P., Redel-Macías, M. D., Vaquero-Abellan, M., & Pagliari, C. (2019). A Bibliometric Analysis of the Health Field Regarding Social Networks and Young People. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 4024. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204024>

Appelbaum LG, Erickson G. Sports vision training: a review of the state-of-the-art in digital training techniques. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* 11, 160–189. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1266376>

Appelbaum LG, Schroeder JE, Cain MS, Mitroff SR Cognición visual mejorada mediante entrenamiento estroboscópico. *Frente. Psicólogo*. 2011; 2 :276. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00276>

Appelbaum, Lawrence G., Julia E. Schroeder, Matthew S. Cain and Stephen R. Mitroff. (2011). “Improved Visual Cognition through Stroboscopic Training.” *Frontiers in Psychology* 276 volumen 2, <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00276>

Arena, R., Myers, J. y Kaminsky, L. (2016). Revisión de la frecuencia cardíaca máxima predicha según la edad: ¿Puede utilizarse como una medida válida del esfuerzo? [*American Heart Journal*, 173, 49-56]. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2015.12.006>.

Ariel, B. (2012). Sports vision training: An expert guide to improving performance by training the eyes. Retrieved from <http://www.pponline.co.uk/encyc/0148.htm>

Badau, D., & Badau, A. (2022). Optimización del tiempo de reacción en relación con la lateralidad manual y del pie en niños mediante los sistemas tecnológicos Fitlight. *Sensors* (Basilea, Suiza), 22. <https://doi.org/10.3390/s22228785>.

Balasaheb, T., Maman, P., & Sandhu, J. S. (2008). The impact of visual skills training program on batting performance in cricketers. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 2(1), 17-23.

Balkó, Š., Zbigniev, B., & Šimonek, J. (2016). The influence of different performance level of fencers on simple and choice reaction time. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 18, 391-400.

Balkó, S., Balkó, I., Cihlář, D., Týnková, H., & Hendl, J. (2013). Effect of warm-up on simple reaction time and movement time in fencing lunge. *Studia Kinanthropologica*, 14(2), 123-130.

Ball, K. K., Beard, B. L., Roenker, D. L., Miller, R. L., & Griggs, D. S. (1988). Age and visual search: Expanding the useful field of view. *Journal of the Optical Society of America A*, 5(12), 2210-2219.

Bard, C., Guezennec, Y., & Papin, J. (1981). Fencing: Analysis of visual exploration. *Médecine du Sport*, 55, 246-253.

Barrett, B. T., Cruickshank, A. G., Flavell, J. C., Bennett, S. J., Buckley, J. G., Harris, J. M., & Scally, A. J. (2020). Faster visual reaction times in elite athletes are not linked to better gaze stability. *Scientific Reports*, 10, Article 13216.

Bavelier, D., Achtman, R. L., & Green, C. S. (2008). Video games as a tool to train visual skills. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 26(4-5), 435-446.

Beckerman, S., & Fornes, A. M. (1997). Effects of changes in lighting level on performance with the AcuVision 1000. *Journal of the American Optometric Association*, 68(4), 243–249.

Bekris, E., Gissis, I., Ispyrilidis, I., Mylonis, E., & Axeti, G. (2018). Combined visual and dribbling performance in young soccer players of different expertise. *Research in Sports Medicine*, 26(1), 43–50.

Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences*, 21(4), 327–336.

Bhootra, A. K. (2008). Elite sports and vision: An introduction to implications of vision in sports. *JPBMP*.

Bianco, V., Di Russo, F., Perri, R. L., & Berchicci, M. (2017). Different proactive and reactive action control in fencers' and boxers' brain. *Neuroscience*, 343, 260–268.

Billat, L. V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P., & Koralsztejn, J. P. (2001). Intermittent runs at the velocity associated with VO₂max improve aerobic performance and running economy. *International Journal of Sports Medicine*, 22(5), 285–293. PMID: 10638376 DOI: 10.1007/s004210050029

Birrer, D., & Morgan, G. (2010). Psychological skills training as a way to enhance an athlete's performance in high-intensity sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(Suppl. 2), 78–87. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01188.x>

Bonilla, A., et al. (2023). Training zones through muscle oxygen saturation during a graded exercise test in cyclists and triathletes. *Biology of Sport*, 40(2), 439–448. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2023.114288>

Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38(8), 633–646. PMID: 18620464 DOI: 10.2165/00007256-200838080-00002

Borysiuk, Z., & Sadowski, J. (2007). Time and spatial aspects of movement anticipation. *Biology of Sport*, 24, 285–295.

Borysiuk, Z., & Waśkiewicz, Z. (2008). Information processes, stimulation and perceptual training in fencing. *Journal of Human Kinetics*, 19, 63–82.

Borysiuk, Z. (2009). *Modern saber fencing: Technique-tactics-training-research*. New York: SKA Sword Play Books.

Borysiuk, Z., Markowska, N., & Niedzielski, M. (2014). Análisis del fondo de esgrima en función de la respuesta a un estímulo visual y un estímulo táctil. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*, 5, 117–122. <https://doi.org/10.5604/20815735.1142448>

Bowen, T., & Horth, L. (2005). Use of the Eyeport™ vision training system to enhance the visual performance of Little League baseball players.

Broadbent, D. P., Causer, J., Williams, A. M., & Ford, P. R. (2015). Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field: Future research directions. *European Journal of Sport Science*, 15(4), 322–331. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.957727>

Brunet, R., Keller, D., & Moreaux, D. (1995). Effet de l'effort sur le temps de réponse simple et de choix en situation d'escrime. *Science & Sports*, 10, 215–217.

Burris K., Vittetoe K., Ramger B., Suresh S., Tokdar ST, Reiter JP, Appelbaum LG. (2018). Sensorimotor abilities predict on-field performance in professional baseball. *Sci Rep* 8, 116 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18565-7>

Cagliostro, M. A., & Islas, J. (1982). Efecto de la hipoxia en tiempos de reacción.

Caldarone G, Pelliccia A, Gambuli N, (1983) Valori antropometrici, abitudini alimentari e parametri ematochimico in un gruppo di schermidori di elevato livello agonistico. In: Studi e ricerche di medicina dello sport applicata alla scherma. Pisa: Giardini Editore, 1983: 51–63

Carrolla, W., Fullerb, S., Lawrenceb, J., Osborne, S., Stallcup, R., Burch, R., Freemand, C., Chandere, H., Strawderman, L., Cranef, C., Youngerg, T., Duvallh, A., Mockh, S., Petwayi, A., Burgosj, B., & Pirolik, A. (2021). Stroboscopic Visual Training for Coaching Practitioners: A Comprehensive Literature Review. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v.9n.4p.49>.

Causer J, Williams AM. (2013), Improving anticipation and decision making in sport. In: P O'Donoghue, J Sampaio, T McGarry. *The Routledge handbook of sports performance analysis*. London: Routledge, 21-31; 2013. <https://doi.org/10.4324/9780203806913>.

Chan,J. Wong,A.C.N., Liu,Y., Yu,J., &Yan,J.H.(2011). Fencing expertise and physical fitness enhance action inhibition. *Psychology of Sport and Exercise*, 12, 509-514.

Chapman, R. F., et al. (2016). Effects of altitude on performance and SO₂.

Christenson GN, Winkelstein AM. (1988) Visual skills of athletes versus nonathletes: development of a sports vision testing battery. *J Am Optom Assoc*. 1988 Sep;59(9):666-75. PMID: 3183281.

Chryssanthopoulos, C., Tsolakis, C., Bottoms, L., Toubekis, A., Zacharogiannis, E., Pafili, Z., & Maridaki, M. (2019). Effect of a Carbohydrate-Electrolyte Solution on Fluid Balance and Performance at a Thermoneutral Environment in International-Level Fencers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003065>.

Chung, S. C., et al. (2009). Effects of oxygen inhalation on reaction time and cognitive performance.

Ciuffreda K. J., & Wang, B. (2004). Vision training and sports. In *Biomedical engineering principles in sports* (pp. 407-433). Springer, Boston, MA.

Clark JF, Ellis JK, Bench J, Khoury J, Graman P. (2012). High-performance vision training improves batting statistics for University of Cincinnati baseball players. *PLoS One*, 2012; 7: e29109. doi: 10.1371/journal.pone.0029109.

Clark, Joseph & Graman, Pat & Ellis, James & Mangine, Robert & Rauch, Joseph & Bixenmann, Ben & Hasselfeld, Kimberly & Divine, Jon & Colosimo, Angelo & Myer, Gregory. (2015). Article 4 An exploratory study of the potential effects of vision training on concussion incidence in football. *Optom Vis Perform.* 2015;3(1):116–125.

https://www.researchgate.net/publication/282442972_Article_4_An_exploratory_study_of_the_potential_effects_of_vision_training_on_concussion_incidence_in_football

Clark, K., & Maddocks, M. (2018). Enhanced visual attention in university hockey players. *Journal of Vision.* <https://doi.org/10.1167/18.10.1120>.

Coh, M. (2019). Reactive (Pre-Planned) and Non-Reactive (Non-Planned) Agility in Diagnosis of Athletes. *Physical Education and Sport Through the Centuries*, 6(2), 95-106.

Coh, M., Vodigar, J., Žvan, M., Šimenko, J., Stodolka, J., Rauter, S., & Mackala, K. (2018). Are Change-of-Direction Speed and Reactive Agility Independent Skills Even When Using the Same Movement Pattern? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(7), 1929-1936.

Cohen JE, Green CS, Bavelier D. Training visual attention with video games: Not all games are created equal. In: Perez HFONRS, editor. *Computer games and team and individual learning.* Elsevier Science; 2007.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, MI: Lawrence Erlbaum Associates

Czajkowski, Z. (1998). Relationships between sensorimotor reactions and programming and complexity of movement. *Sport Wyczynowy*, 3-4,27–30.

Das, J., Walker, R., Barry, G., Vitório, R., Stuart, S., & Morris, R. (2023). Stroboscopic visual training: The potential for clinical application in neurological populations. *PLOS Digital Health*, 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000335>.

De Giorgio A, Iuliano E, Turner A, Millevolte C, Cular D, Ardigò LP, Padulo J. Validity and Reliability of a Light-Based Electronic Target for Testing

Response Time in Fencers. *J Strength Cond Res.* 2021 Sep 1;35(9):2636-2644. PMID: 31009428. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003160> .

Del Rey. (1972). A target device to measure speed and accuracy in an open and closed environment. *Research Quarterly.* 1972. 43: 239-242.

Destefano M, Gray WD. (2007). Use of complimentary actions decreases with expertise. *CogSci 2007 Nashville.* 2007

Devienne, M. F., Ripoll, H., Audiffren, M., & Stein, J. F. (2000). Local muscular fatigue and attentional processes in a fencing task. *Perceptual and motor skills*, 90(1), 315-318.

Di Russo, F., Pitzalis, S., and Spinelli, D. (2003). Fixation stability and saccadic latency in elite shooters. *Vis. Res.* 43, 1837-1845. doi: 10.1016/S0042-6989(03)00299-2

Di Russo, F., Taddei, F., Apnile, T., & Spinelli, D. (2006). Neural correlates of fast stimulus discrimination and response selection in top-level fencers. *Neuroscience Letters*, 408, 113-118.

Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>

Dogan B. (2009). Multiple-choice reaction and visual perception in female and male elite athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 2009; 49: 91-96

Dovnik, V. (2004). Surgeon may err less by playing video games. *NBC News*. Revisado el 10 de enero de 2013 desde internet: <https://www.nbcnews.com/id/wbna4685909>.

Du Toit, P. & Kruger, E. & Neves, R. (2007). Exercise, performance and sports vision testing. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance.* 140-149.

Duvan, A., Toros, T., Şenel, O. Maksimal yüklenme yoğunluğunun elit türk eskrimcilerin görsel reaksiyon zamanlari üzerine etkisi. *Nigde University Journal of Physical Education and Sport Sciences.* 2010. 3: 146-151.

Dyson, B. J. (2024). Post-loss speeding or post-win slowing? An empirical note on the interpretation of decision-making time as a function of previous outcome. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1-8. <https://doi.org/10.3758/s13423-024-02460-0>

Elliott, D.B., & Handley, N. (2015). A historical review of optometry research and its publication: are optometry journals finally catching up? *Ophthalmic and Physiological Optics*, 35, 245 - 251.

Elliott, David B. Ph.D., F.A.A.O1; Yang, Kathy C. H. O.D1; Whitaker, David Ph. D2. (1995) Visual Acuity Changes Throughout Adulthood in Normal, Healthy Eyes: Seeing Beyond 6/6. *Optometry and Vision Science* 72(3): p 186-191, March 1995. <https://doi.org/10.1097/00006324-199503000-00006>

Ellison, P., Jones, C., Sparks, S., Murphy, P., Page, R., Carnegie, E., & Marchant, D. (2015). The effect of stroboscopic visual training on eye-hand coordination. *Sport Sciences for Health*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11332-019-00615-4>.

Ellison, P., Kearney, P., Sparks, S., Murphy, P. y Marchant, D. (2018). Más evidencias en contra de la coordinación ojo-mano como habilidad general. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13, 687 - 693. <https://doi.org/10.1177/1747954117747132>.

Erickson, G. B. (2007). *Sports Vision: Vision care for the enhancement of Sports performance*. St. Louis, Missouri: Butterworth Heinemann.

Erickson, K., Côté, J., Hollenstein, T., & Deakin, J. (2011). Examining coach-athlete interactions using state space grids: An observational analysis in competitive youth sport. *Psychology of sport and exercise*, 12(6), 645-654.

Espar X (2001). *Balonmano*. 1ª edición. Martínez Roca; Barcelona, España: 2001.

Fadde, P., & Zaichkowsky, L. (2018). Training perceptual-cognitive skills in sports using technology. *Journal of Sport Psychology in Action*, 9, 239 - 248. <https://doi.org/10.1080/21520704.2018.1509162>.

Fatanić, B. et al Fitlight (2020). Revolutionizing How You Train, <https://www.fitlighttraining.com>. Приступљено 5. априла 2020.К., The application of fitlight... Physical culture 2020; 74 (2):

Faure, C., Limballe, A., Bideau, B., & Kulpa, R. (2019). Virtual reality to assess and train team ball sports performance: A scoping review. Journal of Sports Sciences, 38, 192 - 205. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1689807>.

Field, A., Field, Z., & Miles, J. (2012). Discovering statistics using R. - 992 p. - ISBN: 9781446258460 - <http://digital.casalini.it/9781446258460> - Casalini id: 4913501

Filipe, J. (1996). Protective eyewear for young athletes. Ophthalmology, 111 3, 600-3. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2004.10.016>

Fischer L, Baker J, Rienhoff R, Strauß B, Tirp J, Büsch D, Schorer J. (2016). Perceptual-cognitive expertise of handball coaches in their young and middle adult years. J Sports Sci. 2016 Sep;34(17):1637-42. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1128558> . Epub 2016 Jan 6. PMID: 26735929.

Florkiewicz, B., Fogtman, S., Lesiakowski, P., & Zwierko, T., (2015). The effect of visual perception training on sensorimotor function in handball players. Journal of Kinesiology and Exercise Sciences, 69(25), 25-32.

Fullerton, C. (1925). Eye, ear, brain and muscle tests on Babe Ruth. Western Optometry World, 13(4), 160-161.

Gantois, P., Ferreira, M., Lima-Júnior, D., Nakamura, F., Batista, G., Fonseca, F., & Fortes, L. (2020). Effects of mental fatigue on passing decision-making performance in professional soccer athletes. European Journal of Sport Science, 20, 534 - 543. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1656781>.

García T., Martín Y., Nieto A. (1993) Gaceta óptica nº273. colegio nacional de ópticos-optometristas; Madrid, España: 1993. Visión deportiva.

Gierczuk, D., & Bujak, Z. (2014). Reliability and Accuracy of Batak Lite Tests Used for Assessing Coordination Motor Abilities in Wrestlers. Polish Journal of Sport and Tourism, 21, 72 - 76. <https://doi.org/10.2478/pjst-2014-0007>.

Goodall, S., et al. (2018). Muscle oxygenation responses to exercise in endurance-trained males. *Experimental Physiology*, 103(5), 693–703.

Green CS, Bavelier D. (2006). *The Cognitive Neuroscience of Video Games*. In: Messaris P, Humphrey L, editors. *Digital Media: Transformations in Human Communication*. New York: Peter Lang; 2006.

Griffiths G. (2008). Performance, vision and sport: a guide for professionals. Opticians. <https://www.opticianonline.net/content/features/performance-vision-and-sport-a-practitioners-guide/>

Guðmunds dóttir, A. M. (2017). Anthropometric and physical characteristics of elite, sub-elite, and recreational Icelandic badminton players. <https://skemman.is/bitstream/1946/39501/1/master%20thesis.pdf>

Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F. J., Antonio, R., & Navarro, E. (2013b). Response timing in the lunge and target change in elite versus medium-level fencers. *European Journal of Sport Science*, 13(4), 364–371. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.635704>

Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F., Gutiérrez-Cruz, C., García, C., & Navarro, E. (2016). Time Required to Initiate a Defensive Reaction to Direct and Feint Attacks in Fencing. *Journal of applied biomechanics*, 32 6, 548-552. <https://doi.org/10.1123/JAB.2015-0333>.

Hagemann, N., Schorer, J., Cañal-Bruland, R., Lotz, S., & Strauss, B. (2010). Visual perception in fencing: Do the eye movements of fencers represent their information pickup? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(8), 2204–2214.

Harmenberg, J., Ceci, R., Barvestad, P., Hjerpe, K., Nyström, J. (1991) Comparison of Different Test of Fencing Performance. *International Journal of Sports Medicine*. 1991. 12: 573-576

Hausegger, T., Vater, C., & Hossner, E. J. (2019). Peripheral Vision in Martial Arts Experts: The Cost-Dependent Anchoring of Gaze. *Journal of sport & exercise psychology*, 41(3), 137–145. <https://doi.org/10.1123/jsep.2018-0091>

Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 31(3), 448-458.

Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 31(3), 448-458.

Hijazi, M. (2013). Attention, Visual Perception and their Relationship to Sport Performance in Fencing. *Journal of Human Kinetics*, 39, 195 - 201. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0082>.

Hilton, C., Cumpata, K., Klohr, C., Gaetke, S., Artner, A., Johnson, H., & Dobbs, S. (2014). Effects of exergaming on executive function and motor skills in children with autism spectrum disorder: a pilot study. *The American journal of occupational therapy: official publication of the American Occupational Therapy Association*, 68 1, 57-65 . <https://doi.org/10.5014/ajot.2014.008664>.

Hitzeman, S. A., & Beckerman, S. A. (1993). What the literature says about sports vision. *Optometry clinics: the official publication of the Prentice Society*, 3(1), 145-169.

Iglesias Y, Reig X. (1998). Valoració funcional específica en l'esgrima [dissertation]. Barcelona: University of Barcelona.

Iglesias, X., & Reig, A. (1998). Physiological demands of modern fencing. *Journal of Human Movement Studies*, 34(3), 193-205.

Ilmane, N., & LaRue, J. (2011). Postural and focal inhibition of voluntary movements prepared under various temporal constraints. *Acta Psychologica*, 136,1-10.

Ion M. Scrima. *Medicina Sportiva sub redactia Dragan I. Bucharest (Romania): Ed. Medicala; 2002. p. 749-54, 35-51, 101-17.*

Jaffe R, Knowles JM. Fencing. In: Safran MR, McKeag DB, Camp SP, (1998). Manual of sports medicine. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1998. p. 74-5.

Jeunet, C., Tonin, L., Albert, L., Chavarriaga, R., Bideau, B., Argelaguet, F., et al. (2020). Uncovering EEG correlates of covert attention in soccer goalkeepers: towards innovative sport training procedures. *Sci. Rep.* 10, 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58533-2>

Junge, A., Dvořák, J., Rosch, D., Graf-Baumann, T., Chomiak, J., & Peterson, L. (2000). Psychological and Sport-Specific Characteristics of Football Players. *The American Journal of Sports Medicine*, 28, 22 - 28. https://doi.org/10.1177/28.suppl_5.s-22.

Karvonen, J. y Vuorimaa, T. (1988). Frecuencia cardíaca e intensidad del ejercicio durante la actividad deportiva. *Medicina Deportiva* , 5, 303-311. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805050-00002> .

Kato, Y., Endo, H., & Kizuka, T. (2009). Mental fatigue and impaired response processes: event-related brain potentials in a Go/NoGo task. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 72 2, 204-11 . <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.12.008>.

Kirschen, D. G., & Laby, D. L. (2011). The role of sports vision in eye care today. *Eye & contact lens*, 37(3), 127-130. <https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e3182126a08>

Kirscher, D.W. (1993). Sports Vision Training Procedures. En John G. Classé (Ed.), *Optometry Clinics*, Vol. 3, Pt. 1, (pp.171-188). Norwalk, Connecticut: Appleton & Lange.

Klavora, P., Warren, M., & Leung, M. (1996). Dynavision for rehabilitation of visual and motor deficits: A user's guide. VisAbilities Rehab Services Incorporated.

Knudson, D., Kluka, D.A. (1997). The impact of vision and vision training in sport performance. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*. April, 10- 20.

Kofsky, M., and Starfield, B. (1989). Sports vision visual training and experimental program with Australian Institute of Sport basketball players. *Aust. J. Optometry* 6, 15-17.

Koopman, S., Tsoi, L., and Wilmer, J. B. (2011). Keep your eye on the ball: watching and playing sports linked to smooth pursuit precision. *J. Vis.* 11, 527.

Kramer, A. F., et al. (1993). Effects of high altitude on executive functions. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 5(2), 176-191.

Lasky, D.I., Lasky, A.M. (1990). Stereoscopic eye exercises and visual acuity. *Perceptual and Motor skills*, 71, 1055-1058. Milia, R., Roberto, S., Sanna, I., Marongiu, E., Pinna, M., & Crisafulli, A. (2014). Physiological responses and energy cost of fencing in elite athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(4), 598-603. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0355>

Lavoie, J.M. & Leger, Luc & Pitre, R. & Marini, Jean. (1985). Compétitions d'escrime: Epée. Analyse des durées et distances de déplacement. *Médecine du Sport* 59 (5): 279-83, 1985. *Médecine du Sport*. 59. 279-283.

Lee, M., Wu, Y., & Tsai, C. (2009). Research Trends in Science Education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31(15), 1999-2020. <https://doi.org/10.1080/09500690802314876>

Leseur, H. Étude des réactions visuo-motrices chez des escrimeurs de haut niveau au cours d'une étape d'entraînement. *Science et motricité*. 1989. 8: 47-52.

Li, F., Wang, X., & Wu, Y. (2005). Heart rate response and oxygen consumption in elite fencers during simulated bouts. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 314-319.

Li, J. X., So, R. C. H., Yuan, Y. W. I., & Chan, K. M. (1999). Muscle strain and cardiovascular stress in fencing competition. In Proceedings of the 5th IOC World Congress on Sport Sciences (Vol. 31). 1999 Oct 31-Nov 5; Sydney: 222

Lima, R., Rico-González, M., Pereira, J., Caleiro, F., & Clemente, F. (2021). Fiabilidad de una prueba de agilidad reactiva para jugadores de voleibol juvenil. *Revista polaca de deporte y turismo*, 28, 8-12. <https://doi.org/10.2478/pjst-2021-0002>.

Liu, J., Shan, Z., Zhang, L., Sahgal, V., Brown, R., & Yue, G. (2003). Human brain activation during sustained and intermittent submaximal fatigue muscle contractions: an fMRI study. *Journal of neurophysiology*, 90 1, 300-12. <https://doi.org/10.1152/JN.00821.2002>.

Liu, S., Ferris, L. M., Hilbig, S., Asamoah, E., LaRue, J. L., Lyon, D., & Appelbaum, L. G. (2020). Dynamic vision training transfers positively to batting practice performance among collegiate baseball batters. *Psychology of Sport and Exercise*, 51, 101759.

Liu, Y. H., See, L. C., Chang, S. T., Lee, J. S., Shieh, L. C., Ning, Y. L., . Chen, W. M. (2019). Simple and choice response time among elite and novice karate athletes and non-athletes. *Archives of Budo*.

Liu, Y., Harihara Subramaniam, S. C., Sourina, O., Shah, E., Chua, J., & Ivanov, K. (2018). NeuroFeedback training for enhancement of the focused attention related to athletic performance in elite rifle shooters. In *Transactions on Computational Science XXXII* (pp. 106-119). Springer, Berlin, Heidelberg.

Long, G.M., Rourke, D.A. (1989). Training effects on the resolution of moving targets-dynamic visual acuity. *Human factors*, 31, 443-451.

Mackala, K., Vodigar, J., Zvan, M., Krizaj, J., Stodolka, J., Rauter, S., & Coh, M. (2020). Evaluation of the Pre-Planned and Non-Planned Agility Performance: Comparison between Individual and Team Sports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 975.

Mann, D. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, 457-478.

Marinovic, W., Plooy, A. M., & Tresilian, J. R. (2009). Preparation and inhibition of interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 197, 311-319.

McLeod, P. (1987). Visual reaction time and high-speed ball games. *Perception*, 16, 49-59.

Martínez de Quel Pérez, O., & Sillero Quintana, M. (2014). About the Term "Reaction Response" and the Concept of "Response Time". *Apunts. Educación Física y Deportes*, 118, 88-92. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2014/4\).118.09](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2014/4).118.09)

Martínez de Quel, O., López, E., Sillero, M., Saucedo, F. (2011) La toma de decisión en tareas de entrenamiento de esgrima y su relación con el tiempo de reacción. *E-balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte*, 7 (Suppl.): 3-12. 2011.

Mashkovskiy, E., Magomedova, A., & Achkasov, E. (2019). Degree of vision impairment influence the fight outcomes in the Paralympic judo: a 10-year retrospective analysis. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(3), 376-379. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08232-4>

Maxwell, S. E. (1980). Pairwise multiple comparisons in repeated measures designs. *Journal of Educational Statistics*, 5(3), 269-287. <https://doi.org/10.2307/1164969>

McLeod, B. (1991). Effects of Eyerobics visual skills training on selected performance measures of female varsity soccer players. *Percept. Mot. Skills* 72, 863-866. doi: 10.2466/pms.1991.72.3.863

Milia, R., Roberto, S., Pinna, M., Palazzolo, G., Sanna, I., Omeri, M., Piredda, S., Migliaccio, G., Concu, A., & Crisafulli, A. (2014). Physiological responses and energy expenditure during competitive fencing. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 39 3, 324-8. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0221>.

- Milić, M., Nedeljković, A., Čuk, I., Mudrić, M., & García-Ramos, A. (2020). Comparison of reaction time between beginners and experienced fencers during quasi-realistic fencing situations. *European Journal of Sport Science*, 20, 896 - 905. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1671498>.
- Millikan, N., Grooms, D. R., Hoffman, B., & Simon, J. E. (2019). The Development and Reliability of 4 Clinical Neurocognitive Single-Leg Hop Tests: Implications for Return to Activity Decision-Making. *Journal of sport rehabilitation*, 28(5).
- Mitchell, K. M., & Cinelli, M. E. (2019). Balance control in youth hockey players with and without a history of concussions during a lower limb reaching task. *Clinical biomechanics*, 67, 142-147.
- Mitroff, S., Friesen, P., Bennett, D., Yoo, H., & Reichow, A. (2013). Enhancing Ice Hockey Skills Through Stroboscopic Visual Training: A Pilot Study. *Athletic Training & Sports Health Care*, 5, 261-264. <https://doi.org/10.3928/19425864-20131030-02>.
- Mon-López, D., Bernárdez-Vilaboa, R., Sillero-Quintana, M., & Fernandez-balbuena, A. (2021). Air shooting competition effects on visual skills depending on the sport level. *European Journal of Sport Science*, 22, 336 - 343. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1874540>.
- Moreaux, A., Christov, C., Marini, JF. Un outil d'évaluation et de suivi des qualités perceptivo-motrices de l'escrimeur. *Science et motricité*. 1987. 1: 53-55.
- Morenilla, L., López Bedoya, J., Cudeiro, J. (2000). Influencia de la información visual disponible sobre el aprendizaje de elementos gimnásticos acrobáticos. En: Fuentes, J. y Macías, M. (coord.), *Actas del I Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte* (1, pp. 99 - 108). Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Morilla, R. R. G. (2017). *Visión deportiva*. Wanceulen Editorial. Sevilla, España.

Mouelhi Guizani, M., Bouzaouach, I., Tenenbaum, A., Ben Kheder, A., Feki, Y., & Bouaziz, M. (2006). Simple and choice reaction times under varying levels of physical load in high skilled fencers. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 46(2), 344–351.

Muggleton, N. G., Chen, C. Y., Tzeng, O. J. L., Hung, D. L., & Juan, C. H. (2010). Inhibitory control and the frontal eye fields. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(12), 2804–2812.

Neptune, R. R., & Kautz, S. A. (2001). Muscle activation and deactivation dynamics. The governing properties in fast cyclical human movement performance? . *Exercise and Sport Science Reviews*, 29,76–81.

Nougier, V., Stein, J.F. y Azemar, G. (1990). Covert orienting of attention and motor preparation processes as a factor success in fencing. *Journal of Human Movement Studies*. 1990. 19: 251-272.

Nuri, L., Shadmehr, A., Ghotbi, N., & Moghadam, B. (2013). Reaction time and anticipatory skill of athletes in open and closed skill-dominated sport. *European Journal of Sport Science*, 13, 431 - 436. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.738712>.

Oates, B. R., Aune, T. K., & Tønnessen, E. (2014). Heart rate and blood lactate responses to fencing match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(12), 3295–3300. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000524>

Oates, L., Campbell, I., Iglesias, X., Price, M., Muniz-Pumares, D., & Bottoms, L. (2019). The physiological demands of elite épée fencers during competition. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19, 76 - 89. <https://doi.org/10.1080/24748668.2018.1563858>.

Omar R., Kuan Y., Zuhairi N., Manan F., Knight V., (2018). Visual reaction time and visual anticipation time between athletes and non-athletes. *J. Public Health Med.* 2018, 135-141. https://www.researchgate.net/publication/324441797_Visual_reaction_time_and_visual_anticipation_time_between_athletes_and_non-athletes.

Örs, B. S., Cantas, F., Gungor, E. O., & Simsek, D. (2020). Assessment and comparison of visual skills among athletes. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 10(3), 231-241.

Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2011). *Human motor development: A lifespan approach* (8th ed.). McGraw-Hill.

Pérez-Trejos, L. E., Gómez Salazar, L., Ortiz-Muñoz, D., & Arango-Hoyos, G. P. (2022). Effect of a virtual reality program to improve trunk stability in Paralympic shot put and javelin throwers. A case study. *Revista de investigación e innovación en ciencias de la salud*, 4(2), 34-48. <https://doi.org/10.46634/riics.135>

Pierson, WR. Comparison of Fencers and Nonfencers by Psychomotor, Space Perception and Anthropometric Measures. *Research Quarterly*. 1956. 27: 90-96.

Poenaru RS. (2002) *Scrima sau arta de a invinge*. Bucharest (Romania): Ed Printech; 2002. p. 4-12, 22-7, 75-98.

Plotnikow, G. A., & del Bono, M. R. (2022). Lesión cerebral aguda e hipoxemia: individualización del soporte ventilatorio. *Medicina Intensiva*, 46(9), 521-523. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2022.03.014>

Quevedo Junyent, L., Padrós Blázquez, A., Solé i Fortó, J., & Cardona Torradeflot, G. (2015). Perceptual-cognitive Training with the Neurotracker 3D-MOT to Improve Performance in Three Different Sports. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 119, 97-108. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2015/1\).119.07](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2015/1).119.07)

Quevedo L., Solé J. (2007). Visión periférica: Propuesta de entrenamiento. *Apunt. Educación. Fís. Deportes*. 2007; 88: 75-80. Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya. Barcelona, España

Quevedo, L., Aznar-Casanova, J., & Da Silva, J. (2018). Dynamic Visual Acuity. , 26, 1267-1281. <https://doi.org/10.9788/TP2018.3-06ES>.

Quevedo, L., Solé, J. (1995). Visual training programme applied to precision shooting. *Optical Physiol Opt*, 15(5), 519-523.

Quevedo, L., Solé, J., Palmi, J., Planas, A., and Saona, C. (1999). Experimental study of visual training effects in shooting initiation. *Clin. Exp. Optometry* 82, 23-28. doi: 10.1111/j.1444-0938.1999.tb06783.x

Quevedo, Ll., Solé, J. (2010) Entrenamiento visual en el deporte. En Vicente Rodríguez Salvador, Irene Gallego Lago y Diego Zarco Villarosa (Comps.), *Visión y Deporte* (pp. 93-102). Barcelona: Editorial Glosa.

Quevedo, Ll., Solé, J., Palomar, F.J. (2002). Visió perifèrica: Proposta d'entrenament. *Gaceta Óptica*, 281, 12-16.

Quevedo, Ll.; Solé, J. y 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*, 169, 282-285.

Raczek, J. (1991). Motor Coordination abilities: Their theoretical and empirical principles, and their meaning in sport. *Sport Wyczyn*, 5-6.

Rauter, S., Coh, M., Vodigar, J., Zvan, M., Krizaj, J., Simenko, J., & Mackala, K. (2018). Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Human Movement*, 19(2), 68-74

Reichow A.W., Stoner M.W. (1993) *Sports Vision: Introduction to Behavioral Optometry*. Santa Ana, California: Optometric Extension Program.

Reichow, A.R., Coffey, B.A. (1992). *Sports Vision seminar*. European Academy of SportsVision: Cervia.

Reinberg, A., Proux, S., Bartal, J. P., Lévi, F., & Bicakova-rocher, A. (1985). Circadian rhythms in competitive sabre fencers: internal desynchronization and performance. *Chronobiology international*, 2(3), 195-201.

Rezaee, M., Ghasemi, A. y Momeni, M. (2012). Visual and athletic skills training enhance sport performance. *European Journal of Experimental Biology*, 2012, 2 (6):2243-2250

Rittel HF, Waterloh E. (1975) Telemetrische Untersuchungen beim Fechttraining. *Leistungssport* 1975; 5: S116-21

Rittel, W., & Waterloh, H. (1975). Cardiovascular stress during fencing competitions. *International Journal of Sports Medicine*, 1(1), 31-36.

Rodríguez Salvador V., Gallego, I., Zarco, D. (2010). *Deporte y ser humano. Visión y Deporte* (pp. 7-22). Barcelona: Editorial Glosa.

Roi GS, Pittaluga I. Time-motion analysis in women's sword fencing. *Proceedings of the Fourth IOC Congress on Sport Sciences*; 1997 Oct 22-25; Monaco: 66

Roi GS, Toran G, Fiore A, et al. Zur entwicklung eines leistung smodells im spitzensport am beispiel fechten. *Leistungssport* 2002; 4: 57-62.

Roi, GS., Bianchedi, D. (2008). The Science of Fencing - *Sports Medicine* - 465 481- 38 - 6.- 1179-2035 - <https://doi.org/10.2165/00007256-200838060-00003>

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.). Human Kinetics.

Schneider, C., Hanakam, F., Wiewelhove, T., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M. y Ferrauti, A. (2018). Monitorización de la frecuencia cardíaca en deportes de equipo: un marco conceptual para contextualizar las medidas de frecuencia cardíaca para la prescripción del entrenamiento y la recuperación. *Frontiers in Physiology* , 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00639> .

Schoups, A. A., Vogels, R., and Orban, G. A. (1995). Human perceptual learning in identifying the oblique orientation: retinotopy, orientation specificity and monocularly. *J. Physiol.* 483, 797-810. doi: 10.1113/jphysiol.1995.sp0 20623

Schubert, M. C., Herdman, S. J., & Tusa, R. J. (2002). Vertical dynamic visual acuity in normal subjects and patients with vestibular hypofunction. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and*

Neurotology, 23(3), 372–377. <https://doi.org/10.1097/00129492-200205000-00025>

Seiler, S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an "optimal" distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49-56.

Serrien, B., Tassignon, B., Verschueren, J., Meeusen, R., & Baeyens, J. P. (2019). Short-term effects of differential learning and contextual interference in a goalkeeper-like task: Visuomotor response time and motor control. *European journal of sports science*, 1-11.

Shelly, Z., Stewart, E., Fonville, T., Chander, H., Strawderman, L., May, D., & Bichey, C. (2019). Helmet prototype response time assessment using NCAA division 1 collegiate football athletes. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 7(4), 53-65.

Sherman, A. (1980) Overview of research information regarding vision and sports. *J Am Optom Assoc*, 51, 661-66.

Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1990). Apparent motion of the human body. *Psychological science*, 1(4), 257-264.

Sillero, M. (2002). La percepción de trayectorias como tarea visual. Propuesta de evaluación en Fútbol. Tesis Doctoral. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.

Sims, V. & Mayer, R. (2002). Domain specificity of spatial expertise: The case of video game players. *Applied Cognitive Psychology*. 16. 97 - 115. 10.1002/acp.759.

Smith, E. K. (2017). Changes in Anthropometric and Physiological Characteristics of Male Collegiate Rugby Union Players Throughout a Season (Doctoral dissertation, Illinois State University).

Smith, T.Q., & Mitroff, S.R. (2012). Stroboscopic Training Enhances Anticipatory Timing. *International Journal of Exercise Science*, 5, 344 – 353.

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4738880/pdf/ijes_05_04_344.pdf

Snyder, N., & Cinelli, M. (2020). Comparing Balance Control Between Soccer Players and Non-Athletes During a Dynamic Lower Limb Reaching Task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 91(1), 166- 171.

Sowden, P. T., Rose, D., and Davies, I. R. (2002). Perceptual learning of luminance contrast detection: specific for spatial frequency and retinal location but not orientation. *Vision Res.* 42, 1249–1258. doi: 10.1016/S0042-6989(02)00019-6

Sowden, P., Davies, I., Rose, D., and Kaye, M. (1996). Perceptual learning of stereoacuity. *Perception* 25, 1043–1052. doi: 10.1068/ p251043

Spera, Rocco, Belviso, Immacolata, Sirico, Felice, Palermi, Stefano, Massa, Bruno, Mazzeo, Filomena, Montesano, Pietro (2019). Jump and balance test in judo athletes with or without visual impairments. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2019, 14(Proc4): S937-S947. <https://doi.org/10.14198/jhse.2019.14.Proc4.56>

Stack (2020). How a Set of Flashing Lights Is Revolutionizing the Way Elite Athletes Train, [<https://www.stack.com>]. Приступљено 7. априла 2020.

Stine, C.D., Arterburn, M.R., Stern, N.S. (1982). Vision and Sports: a review of literature. *J Am Optom Assoc* 53(285), 92.

Stulrajter, V. (1987). Situation--specific reaction time measurement in sportsmen (fencers). *Activitas Nervosa Superior*, 29(3), 170-171.

Symons, I.K., Bruce, L. & Main, L.C. (2023). Impact of Overtraining on Cognitive Function in Endurance Athletes: A Systematic R eview. *Sports Med - Open* 9, 69 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00614-3>

Taylor, J. B., Nguyen, A. D., Shultz, S. J., & Ford, K. R. (2018). Hip biomechanics differ in responders and non-responders to an ACL injury prevention program. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 1-10.

- Texeira, L. A., Dos Santos, E., & Marília, M. (2005). The continuous nature of timing reprogramming in an interceptive task. *Journal of Sports Sciences*, 23(9), 943-950.
- Thomas, J. R., Gallagher, J. D., & Purvis, G. J. (2004). Reaction time and anticipatory skills of athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 98(2), 383-394. <https://doi.org/10.2466/pms.98.2.383-394>
- Trick LM, Jaspers-Fayer E, Sethi N. (2005). Multiple-object tracking in children: The "Catch the Spies" task. *Cognitive Development*. 2005;20(3):373-387.
- Trifu, A.I., & Stănescu, M.I. (2021). The effects of using stroboscopic training on sports performance. *Discobolul - Physical Education, Sport and Kinetotherapy Journal*. <https://doi.org/10.35189/dpeskj.2021.60.2.4>
- Tsoi, L., Koopman, S., and Wilmer, J. B. (2011). Video-game training improves smooth pursuit precision. *J. Vis.* 11, 527.
- Tsolakis, CK., Tsekouras, Y. E., Daviotis, T., Koulouvaris, P., & Papaggelopoulos, P. J. (2018). Neuromuscular Screening to predict young fencers' performance. *Biology of Exercise*, 14(1).
- Tsolakis, CK., y Tsiganos, G. (2008). The influence of training on neuromuscular factors in elite and non-elite fencers. *Servian Journal of Sports Sciences*. 2008. 2, 1-4: 59-65.
- Van Dam B, Haralambie G. (1977). Die änderungen einiger biochemischer parameter durch sportartspezifische belastungen im fecht sport. *Leistungssport* 1977; 7: 285-92
- Van Dam B, Waterloh E. (1979). Die wirkung eines multi—vitamielektrolyt—präparats auf einige biocheische variablen sowie auf leistungsbeeinflussende faktoren im fechten. *Leistungssport* 1979; 9: 110-
- Van Dam B. (1978) Vitamins and sport. *Br J Sports Med* 1978; 12: 74-7
- Van de Water, T., Huijgen, B., Faber, I., & Elferink-Gemser, M. (2017). Assessing cognitive performance in badminton players: a reproducibility and validity study. *Journal of human kinetics*, 55(1), 149-159.

Varesco, G., Pageaux, B., Cattagni, T., Sarcher, A., Martinent, G., Doron, J., & Jubeau, M. (2023). Fatigue in elite fencing: Effects of a simulated competition. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33, 2250 - 2260. <https://doi.org/10.1111/sms.14466>.

Vargas, P. C., & Jiménez, J. M. (2018). Reducing Training Volume during Tapering Improves Performance in Taekwondo Athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(4), 2221-2229.

Vargas, P. C., & Jiménez, J. M. (2020). The association between sleep efficiency and physical performance in taekwondo athletes. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (37), 227-232.

Vasilescu M, Rusu L, Rinderiu T. (2005). Mecanisme de producere a oboselii musculare locale indusa de efortul fizic izometric. *Rev Medicina Sportiva* 2005; 2:104-8.

Verburgh, L., Scherder, E. J. A., van Lange, P. A., & Oosterlaan, J. (2014). Executive functioning in highly talented soccer players. *PLoS ONE*, 9(3), e91254.

Vogel, G., & Hale, R. (1992). Using the Wayne Saccadic Fixator to evaluate aspects of laterality skills in children. *Journal of the American Optometric Association*, 63 10, 714-22.

Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes 'expert' in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied cognitive psychology*, 24(6), 812-826. doi: 10.1002/acp.1588.

Walker C. (1911). "EYE" IN SPORT *Br Med J* 1911; 1 :49
<https://doi.org/10.1136/bmj.1.2610.49>

Wang, L., Krasich, K., Bel-Bahar, T., Hughes, L., Mitroff, S. R., and Appelbaum, L. G., (2015). Mapping the structure of perceptual and visual-motor abilities in healthy young adults. *Acta Psychol.* 157, 74-84. doi: 10.1016/j.actpsy.2015.02.005

Wilke, J., Vogel, O., & Ungricht, S. (2020). Can we measure perceptual-cognitive function during athletic movement? A framework for and reliability of a sports-related testing battery. *Physical Therapy in Sport*.

Wilkins, L., & Gray, R. (2015). Effects of Stroboscopic Visual Training on Visual Attention, Motion Perception, and Catching Performance. *Perceptual and Motor Skills*, 121, 57 - 79. <https://doi.org/10.2466/22.25.PMS.121c11x0>.

Williams AM, Davids K, Williams JG. (1999). Visual perception and action in sport. London: E & FN Spon.

Williams AM, Janelle CM, Davids K. (2004). Constraints on the search for visual information in sport. *Int J Sport Exerc Psychol*, 2004; 2: 301–318

Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual-cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3), 432–442. <https://doi.org/10.1002/acp.1710>

Williams, A.M., Ward, P., Knowles, J.M., & Smeeton, N.J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of experimental psychology. Applied*, 8 4, 259-70 . <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.4.259>

Williams, AM., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research quarterly for exercise and sport*, 65 2, 127-35. <https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607607> .

Williams, L., & Walmsley, A. (2000). Response Amendment in Fencing: Differences between Elite and Novice Subjects. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 131 - 142. <https://doi.org/10.2466/pms.2000.91.1.131> .

Witkowski M, Tomczak E, Bojkowski Ł, Borysiuk Z, Tomczak M. (2021). Do Expert Fencers Engage the Same Visual Perception Strategies as Beginners? *J Hum Kinet*. 2021 Mar;78 49-58. doi:10.2478/hukin-2021-0045 . PMID: 34025863; [PMCID: PMC8120976](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34025863/) .

Witkowski M., Tomczak, E., Łuczak, M., Bronikowski, M., Tomczak, M., (2020). Fighting Left Handers Promotes Different Visual Perceptual Strategies than Right Handers: The Study of Eye Movements of Foil Fencers in Attack and Defence, *BioMed Research International*, 2020, 4636271, 11 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4636271>

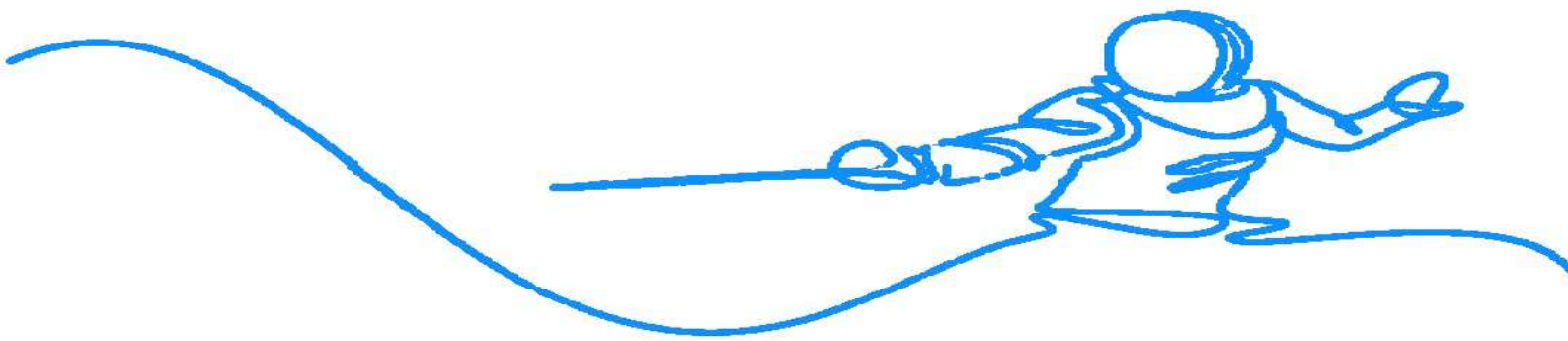
Yiou, E., y Do, MC. (2000). In Fencing. Does Intensive Practice Equally improve Speed? Performance of the Touche when it is Performed Alone and in Combination with the Lunge? *International Journal of Sports Medicine* 2000. 21, 2: 122-126.

Zakharova, A., Mekhdieva, K., Krasilnikov, V., & Timokhina, V. (2019). Soccer players' agility: Complex laboratory testing for differential training. In 7th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support, icSPORTS 2019 (pp. 90-96). SciTePress.

Zwierko, T., Florkiewicz, B., Fogtman, S., & Kszak-Krzyżanowska, A., (2014). The ability to maintain attention during visuomotor task performance in handball players and non-athletes. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 7, 99-106.

Zwierko, T., Lubiński, W., Lesiakowski, P., Steciuk, H., Piasecki, L., & Krzepota, J. (2014). Does athletic training in volleyball modulate the components of visual evoked potentials? A preliminary investigation. *Journal of Sports Sciences*, 32(16), 1519-1528. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.903334>

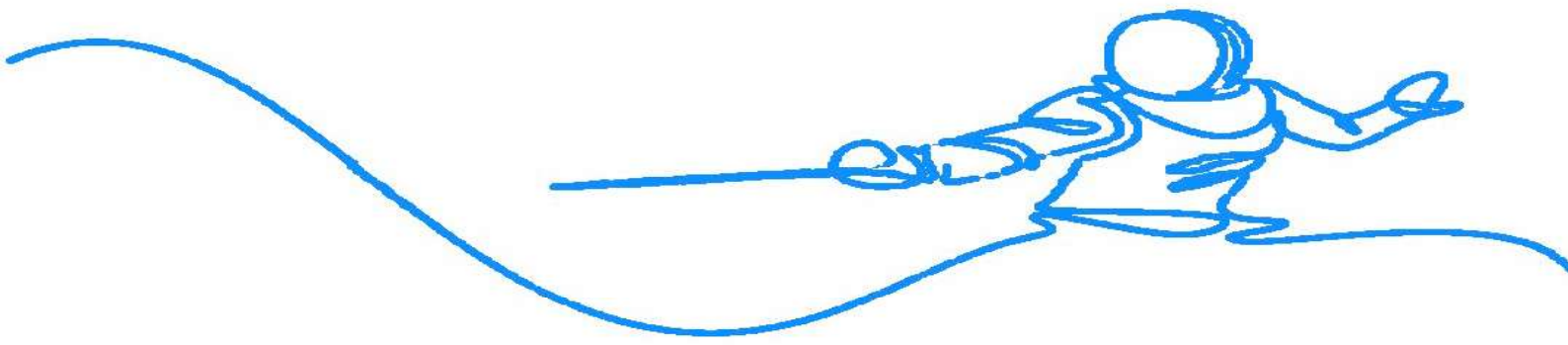
9. LISTADO DE FIGURAS



LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.- Pista de esgrima.....	38
Figura 2: Equipación básica necesaria para la práctica de la esgrima deportiva.....	40
Figura 3.- Disposición de las luces como objetivo en todos los ejercicios...	115

10. LISTADO DE TABLAS



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.- Estadísticas descriptivas de las medias de las medidas realizadas y diferencia estándar, junto a la prueba de normalidad Shapiro-Wilk y su valor, para todos los ejercicios del estudio.....	129
Tabla 2.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por sexo (tiempos en ms).....	130
Tabla 3.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por arma utilizada (tiempos en ms).....	131
Tabla 4.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por nivel de competición de los tiradores (tiempos en ms).....	132
Tabla 5.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por grupos de edad de los tiradores (tiempos en ms).....	135
Tabla 6.- Escala de referencia propuesta en puntos (0 a 10) para valorar el nivel de los tiradores en los diferentes ejercicios considerados en el estudio.	138
Tabla 7.- Puntuación en puntos (0 a 10) de los tiradores por nivel de competición, considerando la puntuación de referencia propuesta en la Tabla 9.	139
Tabla 8.- Se presenta las medias y desviaciones estándar de las variables: pulsaciones por minuto (ppm) y Saturación de oxígeno (SO ₂), en tres condiciones (en reposo, tras el calentamiento, y tras el entrenamiento) antes de los ejercicios de la investigación.....	140
Tabla 9.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por nivel de cansancio de los tiradores (tiempos en ms).....	141
Tabla 10.- Valores medios del TRS1 y su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.....	142
Tabla 11.- Valores medios del TRE2 y su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para	

evaluar la normalidad.....143

Tabla 12.- Valores medios del Tiempo de reacción electiva G/NG3 y su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.....144

Tabla 13.- Valores medios y del TD4 y su diferencia estándar en ms, en función del momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad.....145

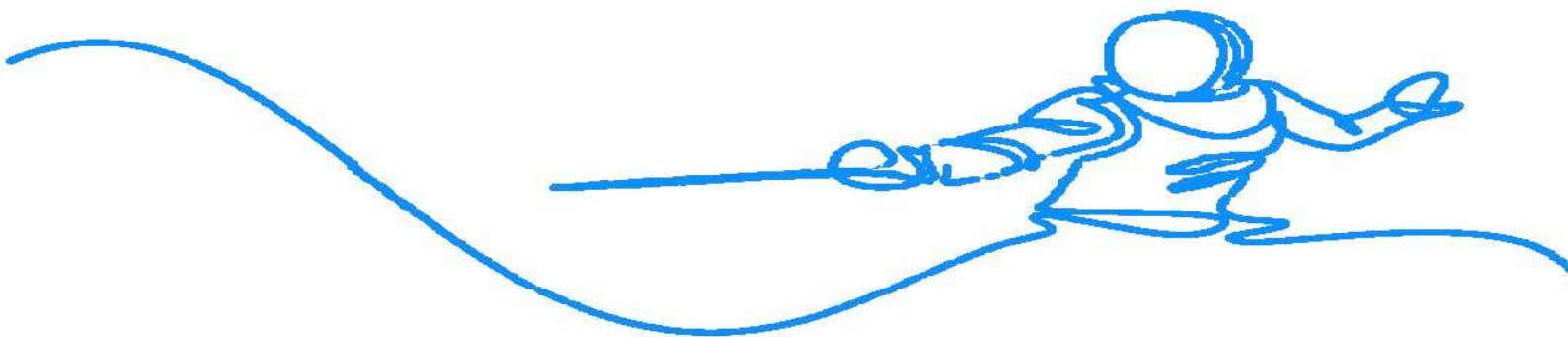
Tabla 14.- Valores medios del tiempo del ejercicio TDF4 su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones en tres condiciones de cansancio.....146

Tabla 15.- Valores medios del tiempo del ejercicio TDM4 su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones en tres condiciones de cansancio.....147

Tabla 16.- Valores medios del tiempo del ejercicio TDR4 su diferencia estándar en ms, en función el momento de la toma y los resultados del test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de las distribuciones en tres condiciones de cansancio.....148

Tabla 17.- Resultados de las cuatro pruebas consideradas por el resultado del combate si fue ganado o perdido por los tiradores (tiempos en ms).....149

11. PUBLICACIONES Y COMUNICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS



PUBLICACIONES Y COMUNICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS

Presentación **“Luces De Tiempo De Reacción Aplicadas En Entrenamiento Del Esgrima”** En el XXVI Congreso de Lisboa sobre optometría deportiva el 15/03/24 en Lisboa. (Portugal).

<https://www.upoop.pt/ultimas-noticias/xxvicongresso-internacional-de-optometria-e-contactologia-n5cw5-8j26m-gettp>

Clase síncrona **“Optometría deportiva en la esgrima aplicada al entrenamiento”**. Para el Diploma de Especialización en Capacidades Visuales de Deportistas con Discapacidad y Convencionales. Durante el curso 2023/2024.

Clase síncrona **“Optometría deportiva en la esgrima aplicada al entrenamiento”**. Para el Diploma de Especialización en Capacidades Visuales de Deportistas con Discapacidad y Convencionales. Durante el curso 2024/2025.

Artículo científico **“Entrenamiento de esgrima con luces de tiempo de reacción”**. Revista andaluza de medicina del deporte. Barañano-Alcaide, R., Sillero-Quintana, M., Bernardez-Vilaboa, R., Barañano-Perez, J, & Gonzalez-Jiménez, R. (2024)., 17(1), 62-70. <https://doi.org/10.33155/ramd.v17i1-2.1157>