

Rendimiento en el deporte

Influencia de la fatiga física en variables y habilidades visuales en deportistas y no deportistas

Influence of physical fatigue on visual variables and skills in athletes and non-athletes

Francisco Mompeán, Raquel¹, Baptista Cabezas, Jessica Karen¹, Bernárdez Vilaboa, Ricardo¹

¹ Facultad de Óptica y Optometría. Universidad Complutense de Madrid

Dirección de contacto: ricardobernardezvilaboa@opt.ucm.es

Ricardo Bernárdez Vilaboa

Fecha de recepción: 25 de marzo de 2025

Fecha de aceptación: 18 de julio de 2025

RESUMEN

El objetivo consiste en contrastar los posibles efectos de la fatiga visual en habilidades visuales sobre sujetos deportistas y no deportistas. Se han recopilado datos visuales a una población entre los 18 y 44 años antes y después de realizar ejercicio. La toma de medidas, se realizaron con Visiotest, Disco rotatorio para toma de AVD, Luces de reacción de Blazepod, Panel de reacción Binovi, Flipper de $\pm 2D$, test de Thoringthon. Se seleccionaron a 34 sujetos, los cuales 17 eran deportistas y otros 17 no eran deportistas. Tras la realización de todas las pruebas se han estudiado los resultados estadísticamente con pruebas no paramétricas. Los resultados obtenidos reflejaron la evolución de las medidas a lo largo de las fases de ambos grupos con los que se ha realizado tablas comparativas entre fases y sujetos.

Los resultados nos han llevado a la conclusión de que el ejercicio físico provoca un desgaste visual en aspectos como FL, provocando un aumento positivo de valores en sujetos deportistas. No obstante, genera mejoras en AVD y la velocidad de reacción siendo estas significativamente mayores en sujetos no deportistas.

Palabras clave: agudeza visual dinámica, panel de binovi, luces de blazepod, flexibilidad acomodativa.

ABSTRACT

The objective is to contrast the possible effects of visual fatigue on visual skills on athletes and non-athletes. Visual data have been collected from a population between 18 and 44 years of age before and after exercise. The measurements have been taken with Visiotest, Rotary disc for AVD taking, Blazepod reaction lights, Binovi reaction panel, $\pm 2D$ flipper, Thoringhton test. A total of 34 subjects were selected, of which 17 were athletes and another 17 were non-athletes. After all the tests, the results were statistically studied with non-parametric tests. The results obtained reflected the evolution of the measurements throughout the phases of both groups, with which comparative tables between phases and subjects have been made.

The results have led us to the conclusion that physical exercise causes visual wear in aspects such as FL, causing a positive increase in values in athletes. However, it generates improvements in ADL and reaction speed, which are significantly greater in non-athlete subjects.

Keywords: dynamic visual acuity, binovi panel, blazepod lights, accommodative facility.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

No se recibió ninguna subvención específica de agencias de financiación de los sectores públicos, comercial o sin fines de lucro.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes sobre la Fatiga Visual, Habilidades Visuales y Ejercicio Físico

Las habilidades visuales desempeñan un papel fundamental tanto en las actividades cotidianas como en entornos de alto rendimiento, como el deporte. La capacidad de percibir y procesar información visual de manera eficiente es crucial para tareas que van desde la lectura y la navegación hasta la toma de decisiones rápidas en situaciones dinámicas. Dentro de estas habilidades se incluyen la agudeza visual, la foria (alineación ocular), el tiempo de reacción visual y la coordinación ojo-mano. El ejercicio físico impone demandas fisiológicas y cognitivas significativas al organismo, y la interacción de estas demandas con la función visual es un área de creciente interés científico.

Comprender cómo el ejercicio físico agudo influye en estas funciones visuales es esencial. La literatura científica existente sobre la relación entre los niveles de actividad física (por ejemplo, deportistas frente a individuos sedentarios) y diversos aspectos del rendimiento visual presenta hallazgos a menudo complejos y matizados. Por ejemplo, la relación entre el ejercicio y el tiempo de reacción no es lineal; mientras que el ejercicio de intensidad moderada puede mejorar el rendimiento, la actividad de alta intensidad o prolongada podría provocar un deterioro temporal (Vaillancourt & Christou, 2013). Esta complejidad subraya la necesidad de un análisis cuidadoso de cómo la intensidad y la duración del ejercicio, en relación con el nivel de condición física individual, pueden afectar las habilidades visuales.

Hemos concebido el sistema visual en el deporte como una mera herramienta de entrada de información, un espectador pasivo de la acción física. Nos hemos centrado en el acondicionamiento físico, dejando al sistema visual en un segundo plano, una especie de apéndice al rendimiento atlético.

Pero ¿y si esta perspectiva fuera fundamentalmente errónea? ¿Y si la verdadera frontera del rendimiento deportivo no residiera solo en los músculos, sino en la resistencia visual bajo presión extrema? (Poltavski & Biberdorf, 2015).

Este planteamiento cobra relevancia ante hallazgos como los de Klostermann et al. (2015), que muestran que el "quiet eye" —una medida de control visual atencional— disminuye significativamente tras ejercicio de alta intensidad, y este cambio explica alrededor del 33 % de la pérdida de precisión en deporte de puntería como el baloncesto. Aún más, estudios clásicos de Bard & Fleury (1978) demuestran que después de llevar a sujetos al agotamiento metabólico no se observaron cambios significativos en algunas capacidades visuales básicas, lo que sugiere una compleja interacción entre demanda metabólica y funciones visuales específicas.

La interacción dinámica entre el estrés metabólico sostenido y la función visual adaptativa está sistemáticamente infraexplorada, especialmente en condiciones de alta exigencia. Ando (2013) revisó cómo el esfuerzo físico intenso deteriora la percepción visual periférica, atribuyéndolo a una disminución de la oxigenación cerebral. Esto evidencia que la visión bajo fatiga no es un mero decorado, sino un actor potencialmente limitante del rendimiento.

Finalmente, investigaciones como la de Tokarz et al. (2022) indican que la ceguera visual (sensorial) durante la marcha aumenta el consumo de oxígeno un 19 %, lo que muestra que la visión contribuye directamente a la eficiencia metabólica al alterar patrones cinemáticos. La interacción dinámica entre el estrés metabólico sostenido y la función visual adaptativa ha sido sistemáticamente infraexplorada, representando un vacío crítico en la optimización del rendimiento.

El paradigma actual reconoce que la fatiga visual deteriora habilidades cruciales como la toma de decisiones y la coordinación, afectando por igual a atletas y no atletas (Mon-López et al., 2020); (Mon-López et al., 2022). La respuesta ha sido buscar tecnologías que evalúen y entrenen estas capacidades, como las luces Blazepod (de Oliveira et al., 2012)), el VisioTest (Belicard & Leonhardt-Jambon, Le Visiotest. Dépistage sommaire des défauts visuels./1978) o el Panel Binovi (Daub et al., 2023; Polikanova et al., 2024). Sin embargo, ¿estamos simplemente midiendo el problema, o estamos abordando la raíz de la solución? La emergencia de plataformas como las luces de reacción Blazepod, que permiten una cuantificación precisa del tiempo de reacción y la agilidad visual bajo demanda física, junto con el VisioTest y el Panel Binovi, que ofrecen una caracterización detallada de las forias y la flexibilidad acomodativa, nos dota de la capacidad sin precedentes para descomponer la respuesta visual en sus componentes fundamentales durante la fatiga inducida.

Justificación y significado del estudio

A pesar de la creciente atención en optometría deportiva, existe una brecha de conocimiento específica sobre el impacto diferencial del ejercicio físico y la posible fatiga visual asociada en poblaciones con distintos niveles de actividad física, como deportistas y personas sedentarias. Este estudio busca abordar esta brecha, proporcionando una comprensión más profunda de cómo las respuestas visuales a la fatiga física pueden variar entre estos grupos. Los hallazgos tienen implicaciones prácticas importantes para optimizar los regímenes de entrenamiento deportivo, desarrollar estrategias de rehabilitación visual, informar las recomendaciones de salud pública sobre el tiempo de pantalla y la

actividad física, y mejorar el bienestar visual general. Al identificar patrones de respuesta específicos, este estudio contribuye a un enfoque más personalizado en la evaluación y mejora de la función visual.

Los objetivos principales de este estudio fueron:

- Analizar la evolución de las medidas visuales recogidas a lo largo de la prueba en deportistas y no deportistas por separado.
- Realizar una comparación entre ambos grupos e identificar si existe alguna diferencia debido a la condición física.

Este estudio desafía la visión convencional y propone que la condición física no solo influye en el cuerpo, sino que remodela activamente la resiliencia del sistema visual. Nuestra investigación no busca solo cuantificar el deterioro de habilidades como las forias, la flexibilidad acomodativa monocular, el tiempo de reacción electivo y la coordinación ojo-mano bajo estrés físico inducido. Vamos un paso más allá: Hipótesis: la fatiga física de alta intensidad, lejos de ser un mero obstáculo, actúa como un potente estresor que, en deportistas adaptados, revela y fortalece la resiliencia inherente de su sistema visual, marcando una distinción fundamental con los no deportistas.

A través de este análisis comparativo, buscamos discernir si la adaptación fisiológica inherente a la condición deportiva confiere una resiliencia superior al sistema visual frente a los efectos debilitantes de la fatiga. Los hallazgos de este estudio no solo informarán estrategias de entrenamiento visual más sofisticadas, sino que podrían sentar las bases para la detección temprana de la susceptibilidad a la fatiga visual en contextos de alto rendimiento, e incluso redefinir los parámetros de monitoreo del estado fisiológico del atleta a través de métricas oculares.

METODOLOGÍA

Participantes y Diseño del Estudio

El estudio incluyó un total de 34 sujetos, quienes fueron categorizados en dos grupos: deportistas y no deportistas (sedentarios). El diseño del estudio fue de tipo pre-post intervención dentro de los sujetos, seguido de comparaciones entre grupos. Es importante señalar que se observaron diferencias demográficas relevantes entre los grupos, particularmente en la edad, con una mayor proporción de deportistas mayores de 30 años en comparación con los no deportistas, un factor que será crucial en la interpretación de los resultados.

Los 34 voluntarios (hombres y mujeres de diversas etnias) eran estudiantes y/o trabajadores de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Los participantes tenían entre 18 y 44 años. Antes de la participación, cada voluntario completó un cuestionario que incluía un consentimiento informado y preguntas detalladas sobre su historial médico y de salud visual (incluyendo compensación visual y posibles anomalías). Si bien esta información se recopiló para una caracterización completa de la muestra y para entender cualquier factor que pudiera influir en los resultados, no fue un criterio de exclusión directo, salvo la edad.

Dividimos a los participantes en dos grupos equitativos de 17 sujetos cada uno: deportistas y no deportistas. Esta clasificación se basó en el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ7), que mide el nivel de actividad física semanal en Metabolic Equivalents (METs). Un MET es una unidad que estima el gasto energético de diversas actividades. Calculamos los METs totales de cada participante a partir del tiempo semanal dedicado a caminar, y a actividades físicas moderadas y vigorosas, utilizando estas equivalencias:

- Caminata: 3.3 METs por minuto.
- Actividad Física Moderada: 4.0 METs por minuto.
- Actividad Física Vigorosa: 8.0 METs por minuto.

Los criterios de clasificación según el IPAQ7 fueron:

Deportistas: quienes superaron los 2100 METs/semana. Esto incluía a sujetos que realizaban, por ejemplo, al menos 3 días/semana de actividad física vigorosa con un mínimo de 1500 METs acumulados, o 3 o más días/semana de actividad física vigorosa durante al menos 20 minutos/día.

No Deportistas: quienes tuvieron un valor total inferior a 2100 METs/semana. En este grupo se encontraban aquellos que realizaban menos de 3 días de actividad física vigorosa; menos de 5 días de actividad física moderada; o menos de 5 días de cualquier combinación de caminata, actividad física moderada o vigorosa, acumulando un valor por debajo de 2100 METs.

El estudio fue aprobado por el comité ético 24/117-E del Hospital Clínico San Carlos y siguió estrictamente los principios de la Declaración de Helsinki. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado.

Evaluaciones Visuales y Físicas Realizadas

Se llevaron a cabo una serie de evaluaciones visuales y físicas para medir el impacto del ejercicio. Las mediciones se realizaron antes y después de una secuencia de ejercicio físico que incluyó 3 carreras de 5 minutos, en el contexto de un "ejercicio moderado".

Material

Para llevar a cabo las mediciones, utilizamos los siguientes instrumentos:

Visiotest: Un equipo para evaluar diversos parámetros visuales como la agudeza visual (AV) en visión lejana y próxima, la visión estereoscópica (percepción de profundidad), la foria (desviaciones oculares latentes) y la visión cromática. (Foto 1)

Flipper con lentes de $\pm 2,00$ D: Utilizado junto con una tarjeta con optotipos de cerca de 40 cm para medir la flexibilidad acomodativa. (Foto 1)

Disco rotatorio: Un disco circular con optotipos de letras Snellen (equivalentes a Agudeza Visual Estática entre 0,5 y 1,0), empleado para medir la Agudeza Visual Dinámica (AVD). (Foto 1)

Panel de reacción Binovi: Un tablero con luces LED diseñado para evaluar la coordinación ojo-mano, el tiempo de reacción y la visión periférica. (Foto 1)

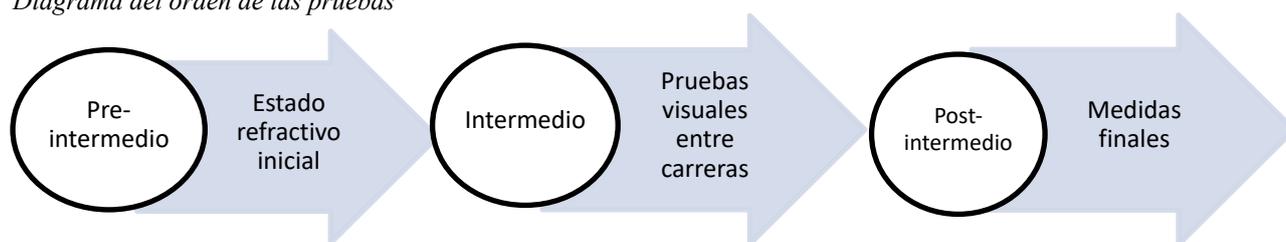
Luces de reacción Blazepod: Cuatro luces LED intermitentes y sensibles al tacto, cuya intensidad es variable. Se utilizaron para medir el tiempo de reacción y la agilidad. (Foto 1)

Método

El estudio se dividió en tres fases secuenciales: una Fase Basal (evaluaciones iniciales), una Fase de Intervención (ejercicio físico) y una Fase Post-Intervención (evaluaciones finales). Este diseño nos permitió observar si existían cambios en los parámetros visuales como resultado de la fatiga inducida por el ejercicio.

Figura 1.

Diagrama del orden de las pruebas



Fase Basal (Pre-Intervención)

Las evaluaciones iniciales se realizaron en el siguiente orden:

1. Visiotest (Visión Lejana y Próxima):

Agudeza Visual Monocular (AVM): Se midió en ambos ojos por separado, siendo un requisito tener una AV de 1.0 (20/20) o superior, identificando un mínimo de tres letras. También se detectaron astigmatismos no compensados.

Agudeza Visual Binocular (AVB) y Estereopsis: En la Diapositiva 3, se evaluó la AVB y la capacidad de percepción de profundidad. Se utilizó una prueba de puntos aleatorios integrada, y se registró el umbral de estereopsis en segundos de arco.

Prueba Rojo-Verde (Duocromo): La Diapositiva 4 permitió verificar la compensación refractiva: una visión más nítida en rojo indicaba hiper-compensación, y en verde, hipo-compensación.

Foria: En la Diapositiva 5, se evaluó la desviación latente. El ojo derecho veía un círculo y el izquierdo una cuadrícula. El sujeto indicaba la posición de una cruz en relación con un patrón estandarizado del Visiotest (ej., H-2 para ortoforia, A-G para exoforia, I-O para endoforia).

Visión Cromática: La Diapositiva 6 consistió en una prueba tipo Ishihara para evaluar la percepción del color.

2. Foria con Prueba de Thorington:

Se midió la foria horizontal a 40 cm utilizando un lente Maddox horizontal y una linterna. El sujeto, con un ojo con la lente de Maddox, indicaba la posición de una línea luminosa sobre el test. Se registró ortoforia (línea sobre el punto), exoforia (línea a la izquierda) o endoforia (línea a la derecha).

3. Flexibilidad Acomodativa (FA):

Se evaluó monocularmente con un flipper de $\pm 2,00$ D. Se registró la respuesta acomodativa (indicando si el sujeto fallaba con la lente positiva o negativa al intentar aclarar el texto) y el número de ciclos por minuto (cpm) durante 60 segundos.

4. Agudeza Visual Dinámica (AVD) con Disco Rotatorio:

El disco, ubicado a 6 metros, presentaba optotipos de letras Snellen de distintos tamaños. El sujeto comenzó leyendo optotipos equivalentes a una AVE de 0,5 a una velocidad de rotación de 50 rpm. Si no lograba leer, la velocidad se reducía progresivamente.

5. Panel Binovi:

Modo Aleatorio: Se utilizó para medir el tiempo de reacción proactivo (tiempo desde la percepción del estímulo hasta la respuesta) durante 60 segundos.

Modo Exploratorio: Este modo se empleaba posteriormente en la fase de intervención.

En ambos modos, se registraron los "Hits" (respuestas correctas) y los "errores". El panel se posicionó a la altura de los ojos del sujeto.

6. Luces de Reacción Blazepod:

Cuatro luces se colocaron de manera equidistante sobre una mesa (Foto 1, derecha). Durante 1 minuto, una luz se encendía aleatoriamente. El sujeto debía tocar la luz con una mano y volver la otra mano al centro. Se registraron los "Hits" y el tiempo medio de reacción.

Foto 1.

Imágenes de los materiales usados. De izquierda a derecha: Visiotest, Flipper, Disco rotatorio, Panel de Binovi y Luces de Blazepod.

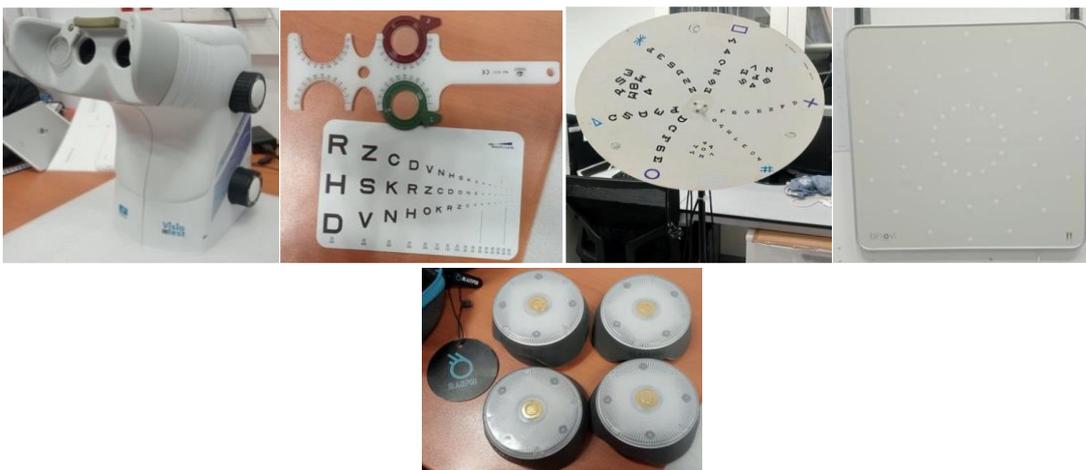


Foto 2.

Luces de Blazepod: 1ª Colocadas en una mesa de manera equidistante (se usa en la fase pre y post). 2ª Colocada en zig-zag en el suelo a unos 6 m (se usa en fase intermedia)



Fase de Intervención

En esta fase, las luces de Blazepod se dispusieron en un patrón de zig-zag en el suelo, a unos 6 metros de distancia (Foto 1, derecha). El sujeto se situaba en el centro antes de cada serie de ejercicio. Esta fase consistió en un circuito de ejercicio físico intenso, intercalado con evaluaciones visuales para medir el impacto de la fatiga.

La secuencia fue la siguiente:

1. Primera Tanda de Blazepod: Durante 5 minutos, las luces se encendían aleatoriamente. El sujeto debía "apagarlas" (tocarlas) alternando una mano y un pie por cada interacción, es decir, si tocaba una luz con la mano derecha, la siguiente interacción podría ser con el pie izquierdo o el pie derecho, etc., variando la extremidad utilizada para tocar cada luz.

2. Evaluaciones Post-Ejercicio (Primera Tanda):

Medición de la foria con Visiotest en visión lejana y próxima.

Medición de la Flexibilidad Acomodativa Monocular (FAM) con lentes positivas y negativas, verificando la capacidad de aclarar un optotipo de 0.8 a 40 cm.

Uso del Panel Binovi en "modo exploratorio" durante 60 segundos. En este modo, el estímulo permanecía encendido por un tiempo específico (independientemente de si era presionado o no), y se contabilizaba un error si el sujeto no lo presionaba a tiempo. Este modo evaluaba la coordinación ojo-mano, el tiempo de reacción y la visión periférica a través de la rapidez y precisión de las respuestas a estímulos en diferentes ubicaciones del panel.

3. Segunda Tanda de Blazepod: Repetición de la carrera con las luces de Blazepod en zig-zag durante otros 5 minutos.

Evaluaciones Post-Ejercicio (Segunda Tanda):

Repetición de la medición de FAM.

Repetición de la prueba exploratoria con Binovi.

Medición de la foria con Visiotest en visión lejana y próxima.

4. Tercera Tanda de Blazepod: Repetición de la carrera con las luces de Blazepod en zig-zag por tercera vez, durante otros 5 minutos.

Fase Post-Intervención (Evaluación Final)

Esta fase se realizó inmediatamente después de la tercera carrera y siguió este orden:

1. Visiotest (Foria en VL y VP): Se realizaron tres mediciones de la foria.
2. Flexibilidad Acomodativa Monocular (FAM): Se verificó la capacidad de aclarar el texto con ambas lentes (positiva y negativa), comenzando por la positiva.
3. Agudeza Visual Dinámica (AVD): Se midió a la máxima velocidad (50 rpm) con el disco rotatorio.
4. Panel Binovi: Se utilizó en "modo aleatorio" para medir el tiempo de reacción.
5. Luces Blazepod: Se colocaron nuevamente en la mesa (como en la Fase Basal) para una última medición de la reacción.

La secuencia específica de ejercicios y pruebas en diferentes tandas se diseñó para observar y cuantificar los cambios en los parámetros visuales en el sujeto a medida que se producía la fatiga por el ejercicio físico.

Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos se emplearon pruebas estadísticas específicas, La prueba de Friedman, junto con un análisis post hoc, se utilizó para evaluar los cambios dentro de los grupos en las medidas de foria. Para los cambios dentro de los grupos en la AVD, se aplicó la prueba de Wilcoxon de rangos con signo. Para las comparaciones entre los grupos de deportistas y no deportistas, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney. El nivel de significancia estadística predeterminado para todas las pruebas fue $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los resultados de cada sujeto, los podemos encontrar en la **Tabla 1**. En primer lugar, comenzamos analizando la tabla de *sujetos deportistas* al inicio.

Tabla 1.*Datos de sujetos deportistas*

n	EDAD	BINOVI				AVD						LUCES BLAZEPOD	
		PRE	INT1	INT2	POST	AV PRE			AV POST			HITS	
						0,5	0,7	1	0,5	0,7	1	PRE	POS
Años	hpm				rpm						hpm		
1	28,82	60,59±	35,94	37,76	65,65	42,06±	42,18±	28,94±	46,12±	41,41±	28,12±	90,29±	100,53
7	±7,61 (18 - 44)	10,54	±4,31	±5,41	±8,45	12,55	11,91	16,32	12,19	15,97	21,82	18,05	±16,11

La mayoría de ellos practican actividad deportiva, e incluso están federados en algún club. Además, tienen buena AVE en lejos y cerca, llegando a 1,2.

En la *fase pre*, encontramos más sujetos ortofóricos para FL, mientras que en FC encontramos más XF. En cuanto a la FAM en AO, hay más sujetos que no fallan con ninguna lente. En cada nivel de AVD, hay el mismo número de sujetos que llegan a ver a 50 rpm. Con respecto al BINOVI, la media es 60,59±10,54. En los HITS de las Luces de Blazepod, tenemos una media de 90,29±18,05.

En la *fase inter* después de 1ª carrera, la FL tiene mayoría en ortoforia y en FC los sujetos son mayoritariamente exofóricos. En cuanto a la FAM, sigue habiendo más sujetos que no fallan en ningún signo. Y la media con el panel BINOVI es 35,94±4,31. Después de 2ª carrera, encontramos en FL a más ortofóricos en comparación a FC que son más XF. Además, en la FAM sigue habiendo más sujetos que no fallan nada. Por último, en los valores recogidos con el BINOVI, la media es 37,76±5,41.

En la *fase post* tras 3ª carrera, en FL sigue habiendo más sujetos ortofóricos al igual que en la fase anterior. La FC, tiene más sujetos con XF aunque casi iguala a los sujetos ortofóricos. Sobre la FAM, el número de sujetos que no fallan con ambas lentes sigue siendo mayor. En la AVD hay más sujetos que llegan a leer AV 0,5, y cada vez va habiendo menos capaces de leer AV de 1. En BINOVI, la media es 65,65±8,45. En los HITS de las Luces de Blazepod, tenemos una media de 100,53±16,11.

El estadístico de la prueba de Friedman permite detectar diferencias notables entre valores recogidos de una fase y otra. En cuanto a FL, nos encontramos con valor de chi cuadrado (X^2) de 12,4 y $P=,029$ que sugiere una diferencia alta entre las medidas de forias realizadas y cambios significativos.

Se ha realizado un post-hoc con el test de Durbin-Conover para determinar en qué fases se encuentran estas diferencias. 1º, entre la medida de FLP1 y FLP3.2 (entre las medidas después de la 1ª carrera y la 2ª medida de la 3ª) con el menor valor de $P=,002$ ($P<,05$). 2º, entre las medidas de FL- FLP1 (entre medida inicial y posterior a la 1ª carrera) y FL-FLP3.3 (entre medida inicial y última, después de la 3ª carrera) con un valor de $P=,005$. Ambos resultados, reflejan la magnitud de la diferencia. Por otro lado, en FC; hemos obtenido valor de $Xi^2=3,13$ y $p=0,681$ en la prueba de Friedman, este último es mayor al de las FL. Demuestra que no hay cambio significativo.

A continuación, realizamos un estadístico de comparación para muestras pareadas con los valores de AVD, HITS obtenidos con Blazepod y BINOVI. Se ha determinado como hipótesis que los valores finales (Medida 2) serían mayores que los iniciales (Medida 1). La prueba, revela que existe mayor cambio en frecuencias registradas para AV de 0,5 con un valor de $P=,001$ ($P<,05$) y el valor de W de Wilcoxon es el menor registrado. Esto último, indica una gran diferencia entre las mediciones, los rangos de las diferencias entre los pares son muy dispares. El resto de AV, presentan valores superiores a $P=,005$, indica ausencia de diferencias significativas. El valor de p, en relación con los resultados del panel BINOVI, nos indica $P=,46$ ($P>,05$) en la configuración de aleatorio y $P=,086$ ($P>,05$) en exploratorio. Esto indica que no hay una diferencia entre las fases. En cuanto a los Hits de luces registrados, la prueba refleja una gran diferencia significativa ya que el valor de $P=,001$ ($P<,05$).

Tabla 2.

Datos estadísticos en deportistas. Se encuentran todos los estadísticos el de Friedman, Durbin-Conover y el de Wilcoxon.

FRIEDMAN				DURBIN-CONOVER (Comparación entre parejas)			WILCOXON (Muestras pareadas)		
	X ²	gl	p		Estadístico	p		Estadístico	p
FL	12,4	5	,029	FL-FLP1 (INTER 1)	2,917	,005	HITS LUCES PRE – HITS LUCES POST	13,0	,001
FC	3,13	5	,681	FL-FLP3.1 (POST 1)	2,083	,040	AVD PRE (0.5) – AVD POST (0.5)	3,00 ^a	,007
				FL-FLP3.2 (POST 2)	3,155	,002	AVD PRE (0.7) – AVD POST (0.7)	31,50 ^b	,291
				FL-FLP3.3 (POST 3)	2,917	,005	AVD PRE (1.0) – AVD POST (1.0)	54,00 ^d	,377
				FL-FLP2 (INTER 2)	2,500	,014	BINOVI PRE – BINOVI POST	40,5	,46
							BINOVI INTER 1 – BINOVI INTER 2	25,50 ^e	,086

En 2º lugar, analizamos la **Tabla 3** de *sujetos no deportistas* al inicio. La mayoría de ellos no practican ningún deporte.

Tabla 3.

Datos de los sujetos no deportistas

n	años	BINOVI				AVD						LUCES BLAZEPOD	
		PRE	INT 1	INT 2	POST	AV PRE			AV POST			HITS	
						,5	,7	1	,5	,7	1	PRE	POST
	24,06	hpm				rpm						hpm	
1	±3,58	60,35±	38,59	38,94	68,71±	45,94	43±1	37,53±	49,65	49,65	38,18±	83,59±	101,52±
7	(18- 31)	13,36	±6,35	±6,16	10,31	±12,0	3,67	16,09	±1,46	±1,46	17,02	28,37	15,74

En la *fase pre*, en los resultados de FL hay más sujetos con XF, en comparación con FC donde hay más ortofóricos. En AVD, tenemos 6 sujetos capaces de leer AV 0.5 a 50 rpm, sin embargo, el resto de AV disminuye en sujetos a 50 rpm. En cuanto al BINOVI, la media es 60,35±13,36 hpm. En los HITS de Blazepod, tenemos una media de 83,59±28,37 hpm.

En la *fase inter* después de la 1ª carrera, la FL mantiene el número de sujetos ortofóricos y XF. Sin embargo, en FC son más XF. En BINOVI, la media es 38,59±6,35 hpm. Tras la 2ª carrera, tenemos en FL a más sujetos con XF, al igual que en FC. En cuanto al BINOVI, la media es 38,94±6,16 hpm.

En la *fase post* después de la 3ª carrera, las FL tiene más sujetos ortofóricos y la FC a más sujetos con XF. Además, las medidas de AVD tienen el mismo número de sujetos que leen a 50 rpm las AV de 0,5 y 0,7. En BINOVI, la media es 68,71±10,31 hpm y en los HITS de Blazepod es 101,53±15,74 hpm.

El estadístico de la prueba de Friedman para FL no demuestra gran diferencia en términos generales con $p > 0,005$. Sin embargo, el post hoc revela que al menos hay una comparación entre FLP1 y FLP3.1 que sí es estadísticamente significativa, $p = 0,009$. Nos encontramos una situación parecida en FC. El valor de $\chi^2 = 7,06$ y $p = 0,216$ indica estabilidad global de los datos entre cada fase.

El estadístico de Wilcoxon nos indica un valor de $p < 0,05$ en las diferencias de las frecuencias para AVD (0,5) y AVD (0,7). Sin embargo, para la unidad en AV, las frecuencias son estables ya que $p = 0,173$ ($p > 0,05$). Para los valores recogidos con BINOVI, la prueba demuestra que existe un cambio entre fase inicial y final, con un valor de $p < 0,001$. Por el contrario, entre los valores del EXPL1 y EXPL2 no hay diferencia grande ya que el valor de $p = 0,128$ ($p > 0,05$). Para terminar, los datos recogidos con el Blazepod, presentan una diferencia ya que se ha determinado un valor de $p < 0,001$. Esto demuestra una diferencia notable después del ejercicio.

Tabla 4.

Datos estadísticos en no deportistas. Se encuentran todos los estadísticos: Friedman y Wilcoxon

FRIEDMAN				WILCOXON (Muestras pareadas)		
	X ²	gl	p		Estadístico	p
FL	8,96	5	,111	HITS LUCES PRE – HITS LUCES POS	1,00	<,001
FC	7,06	5	,216	AVD PRE (0,5) – AVD POS (0,5)	0,00 ^a	,001
				AVD PRE (0,7) – AVD POS (0,7)	9,00 ^b	,003
				AVD PRE (1) – AVD POS (1)	37,00 ^b	,173
				BINOVI PRE – BINOVI POST	0,0	<,001
				BINOVI INT 1 – BINOVI INT 2	40,0 ^a	,128

Tabla 5.

Estadístico de Mann-Whithney. Realiza comparativa entre deportistas y no deportistas

Prueba t para muestras independientes. U de Mann-Whithney		
	Estadístico	P
Medidas FL	95,0	,090
Medidas FC	127,5	,569
AVD PRE (0.5)	100,0	,108
AVD PRE (1.0)	93,5	,081
AVD POST (0.5)	119,0	,080
AVD POST (0.7)	101,0	,036
AVD POST (1.0)	102,0	,142
BINOVI PRE	132,5	,692
BINOVI POST	89,5	,060
BINOVI EXPL1	106,5	,195
BINOVI EXPL2	116,0	,330
HITS LUCES PRE	128,0	,581
HITS LUCES POST	142,0	,945
<i>Nota. $H_0: \mu_{Deportista} = \mu_{No\ deportista}$</i>		

Estadísticamente, hemos comprobado que existe una diferencia significativa en ambos grupos entre el antes y después. Hemos obtenido para deportistas ($P=,001$) y para no deportistas ($P<,001$), un valor aún más pequeño, lo que refuerza la significancia de la diferencia. En cuanto al estadístico en deportistas, $W=13$ indica que las diferencias son moderadamente grandes, pero no excesivamente. En los no deportistas, el valor de $W=1$ sugiere diferencias mayores dentro de los datos. Aunque en ambos grupos la diferencia es significativa, el valor de W es menor en sedentarios y sugiere un mayor impacto del ejercicio. En ambos grupos, el tiempo de reacción disminuye tras el ejercicio, lo que aumenta el número de hits recogidos. Esta diferencia es más notable en sujetos no deportistas.

DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó la influencia de la fatiga visual inducida por el ejercicio físico en las habilidades visuales de 34 sujetos, divididos en deportistas y sedentarios, mediante pruebas estadísticas y análisis comparativos. Los objetivos fueron: (1) analizar la evolución de las medidas visuales a lo largo de una prueba de esfuerzo físico en ambos grupos por separado, y (2) comparar las respuestas entre deportistas y sedentarios para identificar diferencias atribuibles al nivel de condición física. Los resultados revelan que el sistema visual responde dinámicamente al estrés fisiológico, con diferencias significativas entre grupos que desafían la noción de que el sistema visual es un componente pasivo en el rendimiento deportivo.

Características visuales basales

Al inicio del estudio, todos los participantes presentaron una agudeza visual estática (AVE) superior a 0.9 y una flexibilidad acomodativa (FA) dentro de los rangos normativos establecidos por (Scheiman & Wick, 2020). Esta homogeneidad basal elimina la posibilidad de que anomalías visuales preexistentes sesgaran los resultados, permitiendo atribuir los cambios observados al ejercicio físico y la fatiga inducida. La uniformidad en las medidas basales refuerza la validez interna del estudio, asegurando que las diferencias post-ejercicio reflejan respuestas fisiológicas al esfuerzo más que variaciones individuales preexistentes.

Evolución de las forias bajo esfuerzo físico

Forias en deportistas

En el grupo de deportistas, la foria lejana (FL) mostró un cambio significativo tras el ejercicio físico, según la prueba de Friedman ($p < 0.05$), con un desplazamiento hacia valores más altos de exoforia entre la primera y la última carrera. Este hallazgo, corroborado por análisis post hoc, es consistente con Marini (Marini et al., 2025), quienes reportan un aumento cuadrático en la foria tras ejercicio combinado aeróbico-anaeróbico, seguido de una disminución. Este patrón podría reflejar una relajación transitoria de la convergencia fusional en visión lejana debido a la fatiga visual inducida por el esfuerzo (Marini et al., 2025). En contraste, la foria cercana (FC) permaneció estable ($p > 0.05$), sugiriendo que el estrés visual afecta principalmente la visión lejana en deportistas, posiblemente debido a una mayor demanda de coordinación binocular en estas condiciones.

Forias en sedentarios

En el grupo sedentario, las medidas de FL ($p = 0.111$) y FC ($p = 0.216$) no mostraron cambios significativos (prueba de Friedman, $p > 0.05$), con más del 50% de los sujetos manteniendo estabilidad en ambas medidas. Esta falta de variación sugiere que el ejercicio moderado utilizado en el estudio no alcanzó el umbral necesario para inducir estrés visual significativo en individuos menos entrenados. Alternativamente, podría indicar una menor capacidad adaptativa del sistema visual en sedentarios frente a esfuerzos agudos, en contraste con los deportistas, quienes exhiben respuestas más dinámicas debido a su entrenamiento habitual (Vera et al., 2020).

Comparación intergrupala de forias

La comparación entre grupos reveló una mayor prevalencia de exoforia en la fase pre-ejercicio en deportistas en comparación con sedentarios, especialmente en visión lejana. En los sedentarios, se observó un aumento transitorio de exoforia en visión próxima (VP) tras la primera carrera, que disminuyó tras la tercera, sin evidencia de mejoría general. Este patrón podría reflejar una respuesta adaptativa temporal al estrés visual en sedentarios, posiblemente influenciada por factores como el uso prolongado de pantallas o problemas refractivos no corregidos, como la miopía (Jorge et al., 2024). La mayor exoforia basal en deportistas podría ser una adaptación funcional al entrenamiento regular o una variación aleatoria, lo que requiere mayor investigación.

Resumen de hallazgos sobre forias

Globalmente, el 50% de los participantes mostró una disminución de la convergencia en FL tras el ejercicio, con valores más altos de exoforia, mientras que FC permaneció estable en ambos grupos. Estos resultados confirman que el ejercicio físico, incluso de intensidad moderada, induce cambios significativos en la heteroforia lejana, especialmente en deportistas (Marini et al., 2025). Este hallazgo desafía la percepción del sistema visual como un componente pasivo, destacando su respuesta dinámica al estrés fisiológico y su relevancia en el rendimiento deportivo.

Rendimiento de la agudeza visual dinámica (AVD)

AVD pre-ejercicio

En la fase basal, ambos grupos exhibieron un rendimiento comparable en todas las medidas de AVD (0.5, 0.7 y 1.0), indicando una capacidad visual dinámica similar antes del esfuerzo físico. Esta equivalencia basal refuerza la validez de las comparaciones post-ejercicio.

Cambios en AVD post-ejercicio

Tras el ejercicio moderado, los sedentarios mostraron una mejora significativa en AVD de 0.5 y 0.7 (prueba de Wilcoxon, $p < 0.05$), superando ligeramente a los deportistas en estas medidas. No se observaron diferencias en AVD de 1.0 ($p > 0.05$). Este resultado inesperado, que contradice la supuesta superioridad visual de los deportistas (Yee et al., 2021), puede explicarse por varios factores. Primero, un efecto de aprendizaje podría haber beneficiado a los sedentarios, quienes, al tener menos experiencia con tareas visuales dinámicas, presentaban un mayor margen de mejora. Segundo, la intensidad moderada del ejercicio pudo haber optimizado la activación cognitiva y visual en los sedentarios, mientras que los deportistas, más entrenados, podrían haber alcanzado un techo de rendimiento o experimentada fatiga leve (Reddy et al., 2020).

Un factor crítico es la diferencia de edad entre grupos. Los sedentarios, predominantemente más jóvenes (<30 años), mostraron un mejor rendimiento en AVD 0.7 post-ejercicio, consistente con la literatura que indica un declive en AVD con la edad, especialmente a partir de los 30 años (Baroud et al., 2025). Este declive se asocia con cambios en la acomodación visual, más pronunciados en distancias cercanas, lo que explica la ventaja de los sedentarios en esta medida (Baroud et al., 2025).

Tiempo de reacción visual y coordinación ojo-mano

Panel BINOVI (modos exploratorio y aleatorio).

El análisis intragrupo del panel BINOVI no mostró diferencias significativas en los modos exploratorio y aleatorio para los deportistas ($p > 0.05$). En los sedentarios, se observó una mejora significativa en el modo aleatorio post-ejercicio ($p < 0.05$), con tiempos de reacción proactiva más rápidos (MPOST = 68.71 vs. MPRE = 60.35). Esta mejora sugiere que el ejercicio moderado puede optimizar la reactividad visual en individuos menos entrenados, posiblemente debido a una mayor activación cognitiva (Reddy et al., 2014). En contraste, los deportistas no mostraron mejoras significativas, lo que podría reflejar un techo de rendimiento debido a su entrenamiento previo o una fatiga leve tras el ejercicio (Coetzee & de Waal, 2022).

Rendimiento en luces Blazepod

En la fase pre-ejercicio, los deportistas superaron a los sedentarios en el número de HITS ($p < 0.05$). Sin embargo, post-ejercicio, los sedentarios lograron una media ligeramente superior ($p < 0.001$, $W = 1$) frente a los deportistas ($p = 0.001$, $W = 13$), indicando un cambio más pronunciado en los sedentarios. Este hallazgo se alinea con la hipótesis de que el ejercicio moderado mejora agudamente el tiempo de reacción en individuos menos entrenados, mientras que en deportistas puede inducir fatiga relativa, reduciendo los HITS (Reddy et al., 2014). Contrariamente, Sántha et al. (2024) no encontraron cambios significativos en la reacción visomotora tras ejercicio continuo, lo que sugiere que la intensidad y el contexto del ejercicio son determinantes clave.

Comparación general entre deportistas y sedentarios

La prueba U de Mann-Whitney reveló que, en general, no hubo diferencias significativas entre deportistas y sedentarios en la mayoría de las habilidades visuales evaluadas ($p > 0.05$), desafiando la noción de una superioridad visual generalizada en atletas. La excepción fue la AVD 0.7, donde los sedentarios superaron a los deportistas post-ejercicio, probablemente debido a su menor edad media (Baroud et al., 2025). Este resultado resalta la edad como una variable de confusión crítica y sugiere que las ventajas visuales de los deportistas pueden no ser universales, dependiendo de las tareas específicas y las condiciones de evaluación.

En el modo exploratorio del panel BINOVI, los deportistas mostraron una ligera ventaja (MEXPL2 = 37.76 vs. 38.94 en sedentarios), pero el valor $p = 0.06$ no alcanzó significancia estadística, indicando una tendencia que podría confirmarse con un mayor tamaño muestral. La mejora más notable en los sedentarios en el modo aleatorio ($p < 0.05$) refuerza la idea de que el ejercicio moderado beneficia agudamente a individuos menos entrenados.

IMPLICACIONES Y LIMITACIONES

Los resultados sugieren que el sistema visual responde dinámicamente al ejercicio físico, con efectos diferenciales según el nivel de entrenamiento y la edad. La mayor sensibilidad de los deportistas a cambios en la foria lejana y la mejora en AVD y tiempos de reacción en sedentarios desafían la percepción del sistema visual como un componente pasivo, apoyando la hipótesis de que la resistencia visual bajo presión es una frontera clave en el rendimiento deportivo. Sin embargo, el diseño de una sola sesión de ejercicio moderado limita la generalización de los hallazgos. Futuros estudios deberían incorporar diseños longitudinales, controlar la edad como variable de confusión y explorar intensidades de ejercicio variables para determinar umbrales críticos de estrés visual.

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que el ejercicio físico induce cambios significativos en la foria lejana y el rendimiento visual dinámico, con respuestas diferenciales entre deportistas y sedentarios. La edad emerge como un factor determinante en la AVD, mientras que el nivel de entrenamiento modula la reactividad visual al esfuerzo. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar el sistema visual

como un componente activo y entrenable en el rendimiento deportivo, abriendo nuevas líneas de investigación sobre la optimización visual en contextos de alta presión.

ABREVIATURAS

APP: Aplicación; AV: Agudeza Visual; AVB: Agudeza Visual Binocular; AVD: Agudeza Visual Dinámica; AVE: Agudeza Visual Estática; AVM: Agudeza Visual Monocular; EF: Endoforia; FA: Flexibilidad Acomodativa; FAM: Flexibilidad Acomodativa Monocular; FL: Foria lejos; FC: Foria cerca; HPM: Hits por minuto; MOES: Músculos extra-oculares; OD: Ojo Derecho; OI: Ojo Izquierdo; RPM: Revoluciones por minuto; XF: Exoforia; WSF: Wayne Saccadic Fixator.

REFERENCIAS

- Ando, S. (2013). Peripheral visual perception during exercise: why we cannot see. *Exerc Sport Sci Rev*, 41(2), 87-92. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318259ad37>
- Bard, C., & Fleury, M. (1978). Influence of imposed metabolic fatigue on visual capacity components. *Percept Mot Skills*, 47(3 Pt 2), 1283-1287. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.3f.1283>
- Baroud, M., Jan, H., Hernandez, M., Boutinon, S., Jolly, A., Sheynikhovich, D., & Bernardin, D. (2025). Presbyopia onset affects dynamic visual acuity via motor adaptation in naturalistic viewing conditions. *medRxiv*, 2025.2004.2004.25325235. <https://doi.org/10.1101/2025.04.04.25325235>
- Belicard, P., & Leonhardt-Jambon, C. (1978). [The Visiotest. Summary detection of visual anomalies (author's transl)]. *J Fr Ophthalmol*, 1(3), 217-219. (Original work published Le Visiotest. Dépistage sommaire des défauts visuels.)
- Coetzee, D., & de Waal, E. (2022). An Exploratory Investigation of the Effect of a Sports Vision Program on Grade 4 and 5 Female Netball Players' Visual Skills. *Int J Environ Res Public Health*, 19(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph19169864>
- Daub, B. D., McLean, B. D., Heishman, A. D., Peak, K. M., & Coutts, A. J. (2023). Impacts of mental fatigue and sport specific film sessions on basketball shooting tasks. *Eur J Sport Sci*, 23(8), 1500-1508. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2161421>
- de Oliveira, D. C., Zuardi, A. W., Graeff, F. G., Queiroz, R. H., & Crippa, J. A. (2012). Anxiolytic-like effect of oxytocin in the simulated public speaking test. *J Psychopharmacol*, 26(4), 497-504. <https://doi.org/10.1177/0269881111400642>
- Jorge, J., Cymbron, F., da Silva, P. H., & Almeida Couto, P. (2024). Comparative analysis of visual and cognitive performance in esports athletes and soccer players. *Clin Exp Optom*, 1-6. <https://doi.org/10.1080/08164622.2024.2430637>
- Klostermann, A., Vater, C., Kredel, R., & Hossner, E. J. (2015). Perceptual Training in Beach Volleyball Defence: Different Effects of Gaze-Path Cueing on Gaze and Decision-Making. *Front Psychol*, 6, 1834. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01834>
- Marini, D., Calastri, J., Maddii, S., Tosi, G. M., & Fruschelli, M. (2025). Effects of physical exercise on phoria: a pilot study. *Strabismus*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/09273972.2025.2457359>
- Mon-López, D., Bernardez-Vilaboa, R., Fernandez-Balbuena, A. A., & Sillero-Quintana, M. (2020). The Influence of COVID-19 Isolation on Physical Activity Habits and Its Relationship with Convergence Insufficiency. *Int J Environ Res Public Health*, 17(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph17207406>

- Mon-López, D., Bernardez-Vilaboa, R., Sillero-Quintana, M., & Alvarez Fernandez-Balbuena, A. (2022). Air shooting competition effects on visual skills depending on the sport level. *Eur J Sport Sci*, 22(3), 336-343. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1874540>
- Polikanova, I. S., Sabaev, D. D., Bulaeva, N. I., Panfilova, E. A., Leonov, S. V., Bugriy, G. S.,...Kruchinina, A. P. (2024). Analysis of Eye and Head Tracking Movements During a Puck-Hitting Task in Ice Hockey Players, Compared to Wrestlers and Controls. *Psychol Russ*, 17(3), 64-81. <https://doi.org/10.11621/pir.2024.0305>
- Poltavski, D., & Biberdorf, D. (2015). The role of visual perception measures used in sports vision programmes in predicting actual game performance in Division I collegiate hockey players. *J Sports Sci*, 33(6), 597-608. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.951952>
- Reddy, A. V. C., Mani, R., Selvakumar, A., & Hussaindeen, J. R. (2020). Reading eye movements in traumatic brain injury. *J Optom*, 13(3), 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2019.10.001>
- Scheiman, M., & Wick, B. (2020). *Clinical management of binocular vision : heterophoric, accommodative, and eye movement disorders* (Fifth edition. ed.). Wolters Kluwer.
- Tokarz, D. A., Gruebbel, M. M., Willson, G. A., Hardisty, J. F., Pearse, G., & Cesta, M. F. (2022). Spontaneous Primary Pleural Mesothelioma in Fischer 344 (F344) and Other Rat Strains: A Retrospective Review. *Toxicol Pathol*, 50(2), 167-175. <https://doi.org/10.1177/01926233211053631>
- Vaillancourt, D. E., & Christou, E. A. (2013). Slowed reaction time during exercise: what is the mechanism? *Exerc Sport Sci Rev*, 41(2), 75-76. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31828aade3>
- Yee, A., Thompson, B., Irving, E., & Dalton, K. (2021). Athletes Demonstrate Superior Dynamic Visual Acuity. *Optom Vis Sci*, 98(7), 777-782. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001734>