Rev Andal Med Deporte.. 2025; **18(4)**: *135-138*

Junta de Andalucía
Consejería de Turismo, Cultura y Deporte

Revista Andaluza de
Medicina del Deporte

https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd



Originales

Impacto del formato de visualización convencional 2D versus realidad virtual 3D sobre la superficie ocular en universitarios de deporte electrónico

Johanna Marcela González-Bermúdez[a,*], Darío Mendoza-Romero[b,**], Carlos Alberto Castillo-Daza[c,***], Alejandro León-Álvarez[d,****], Mario Andrés Agudelo-Padilla[e,*****], Paulo César Zapata Giraldo[f,******]

[a] *Grupo de Investigación de Ciencias de la Salud y del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia.*
[b] *Grupo de Investigación de Salud Pública y Epidemiología, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia.*
[c] *Grupo de Investigación GIBIOME, Centro de Estudios en Biomédica y Biotecnología, Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia.*
[d] *Grupo de Investigación de Ciencias de la Salud y del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia.*
[e] *Programa Profesional en Entrenamiento Deportivo, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia.*
[f] *Grupo de Investigación Salud Visual, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia.*

RESUMEN

Objetivo: Determinar el efecto de la exposición a videojuegos en formato de visualización convencional (2D) versus estereoscópico (3D/VR) sobre la superficie ocular en estudiantes universitarios. **Método:** Estudio cuasiexperimental con 49 estudiantes asignados a formatos 2D o 3D. Se evaluaron pre y post exposición: prueba de Schirmer I, menisco lagrimal, hiperemia conjuntival, TBUT y OSDI. El análisis empleó modelos mixtos para medidas repetidas (GLMM Gamma-log) y pruebas no paramétricas para el OSDI. **Resultados:** El grupo 3D presentó reducción significativa del menisco lagrimal en el ojo izquierdo (0.229 a 0.194 mm; p=.002) y misma tendencia en el derecho. La hiperemia aumentó significativamente en ambos ojos (χ^2=50.08; p<.001) y la prueba de Schirmer disminuyó en ambos grupos. El TBUT mostró tendencia a la baja sin alcanzar significancia (p>0.220); el OSDI fue similar entre grupos y momentos. **Conclusiones:** La exposición de una hora a videojuegos en los formatos 2D y 3D no produjo cambios significativos en la función lagrimal, excepto por un aumento en la hiperemia conjuntival

Palabras clave: Juegos de Video; Salud ocular; Realidad virtual; Síndrome de ojo seco; Competencia Profesional.

Impact of Conventional 2D Display Versus 3D Virtual Reality on the Ocular Surface in Esports University Students

ABSTRACT

Objective: To determine the effect of exposure to video games in conventional (2D) versus stereoscopic (3D/VR) viewing formats on the ocular surface in university students. **Methods:** A quasi-experimental study was conducted in 49 students assigned to 2D or 3D formats. Pre- and post-exposure assessments included the Schirmer I test, tear meniscus height, conjunctival hyperemia, tear break-up time (TBUT), and the Ocular Surface Disease Index (OSDI). Data were analyzed using mixed-effects models for repeated measures (Gamma-log GLMM) and nonparametric tests for OSDI. **Results:** The 3D group showed a significant reduction in tear meniscus height in the left eye (0.229 to 0.194

[*]**Autor de correspondencia:** Johanna Marcela González-Bermúdez. Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Fundación Universitaria del Área Andina. Carrera 14A #70A-34, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: jgonzalez231@areandina.edu.co Tel.: +57 3165367470 ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2106-4874 (Johanna Marcela González-Bermúdez)

[**]dmendoza16@areandina.edu.co (Darío Mendoza-Romero)

[***]carlos.castillo-da@escuelaing.edu.co (Carlos Alberto Castillo-Daza)

[****]aleon2@areandina.edu.co (Alejandro León-Álvarez)

[*****]magudelo69@areandina.edu.co (Mario Andrés Agudelo-Padilla)

[******]pczapata@areandina.edu.co (Paulo César Zapata Giraldo)

https://doi.org/10.33155/ramd.v18i4.1252
ISSN-e: 1888-7546/ © 2025 Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía.

mm; p = .002), with a similar trend in the right eye. Conjunctival hyperemia increased significantly in both eyes (χ^2 = 50.08; p < .001), and Schirmer I values decreased in both groups. TBUT showed a decreasing trend without reaching statistical significance (p > .220), while OSDI scores were similar across groups and time points. **Conclusions:** One hour of exposure to video games in 2D and 3D formats did not produce significant changes in tear function, except for an increase in conjunctival hyperemia.

Keywords: Video games; Ocular surface; Virtual reality; Dry eye syndrome; professional competence.

Impacto do formato de visualização convencional 2D versus realidade virtual 3D na superfície ocular em universitários praticantes de esportes eletrônicos

RESUMO

Objetivo: Determinar o efeito da exposição a videogames em formatos de visualização convencional (2D) versus estereoscópico (3D/VR) sobre a superfície ocular em estudantes universitários. **Métodos:** Estudo quase-experimental realizado com 49 estudantes, alocados em formatos 2D ou 3D. Foram realizadas avaliações pré e pós-exposição: teste de Schirmer I, altura do menisco lacrimal, hiperemia conjuntival, tempo de ruptura do filme lacrimal (TBUT) e Ocular Surface Disease Index (OSDI). A análise utilizou modelos mistos para medidas repetidas (GLMM Gamma-log) e testes não paramétricos para o OSDI. **Resultados:** O grupo 3D apresentou redução significativa da altura do menisco lacrimal no olho esquerdo (0,229 para 0,194 mm; p = 0,002), com tendência semelhante no olho direito. A hiperemia conjuntival aumentou significativamente em ambos os olhos (χ^2 = 50,08; p < 0,001), e os valores do teste de Schirmer I diminuíram em ambos os grupos. O TBUT apresentou tendência de redução sem alcançar significância estatística (p > 0,220), enquanto os escores do OSDI foram semelhantes entre grupos e momentos. **Conclusões:** A exposição de uma hora a videogames nos formatos 2D e 3D não produziu alterações significativas na função lacrimal, exceto por um aumento na hiperemia conjuntival.

Palavras-chave: Videogames; Superfície ocular; Realidade Virtual; Síndrome do olho seco; competência profissional.

Introducción

En la última década, los esports han redefinido el consumo digital entre los jóvenes, imponiendo exigencias oculomotoras variables según el género: los títulos de disparos demandan sacadas rápidas, los estratégicos combinan fijación sostenida con exploración periférica, los de lucha exigen discriminación visual central y los simuladores requieren seguimiento ocular continuo (1). Cada género representa un reto visual único.

El formato de visualización determina demandas fisiológicas diferenciadas. Mientras el formato 2D opera con señales de profundidad monoculares, la realidad virtual introduce disparidad retinal binocular que activa el conflicto vergencia-acomodación, incrementando la carga oculomotora (2). Ambos escenarios se enmarcan en el síndrome visual informático, caracterizado por: ojo rojo, visión borrosa y fatiga visual, asociados a la reducción del parpadeo en visión próxima (3).

En poblaciones de alta exposición, como estudiantes universitarios y gamers, se ha documentado mayor prevalencia de alteraciones de la superficie ocular, incluyendo síndrome de ojo seco (4). Ante esta evidencia, el presente estudio determinó el efecto de la exposición a videojuegos en formato de visualización convencional (2D) versus estereoscópico (3D/VR) sobre la superficie ocular en estudiantes universitarios, con el propósito de generar evidencia fisiológica que oriente estrategias de prevención y ergonomía visual adaptadas a cada formato para la práctica segura de los deportes electrónicos.

Metodología

Estudio cuasiexperimental en 49 estudiantes universitarios (18–25 años), asignados aleatoriamente a grupos 2D (n=25) y 3D (n=24). La muestra por conveniencia incluyó participantes con corrección refractiva, agudeza visual 0.0–0.1 y binocularidad estable. Se excluyeron alteraciones oculares, binoculares y neuromotoras. El tamaño muestral se consideró adecuado para un diseño exploratorio con medidas repetidas y modelos mixtos. El estudio contó con consentimiento informado y aprobación ética (CV2025-SPE-BOG-13340).

La evaluación de la superficie ocular siguió un orden estandarizado: OSDI, valoración de la hiperemia conjuntival (escala de Efron), altura del menisco lagrimal, prueba de Schirmer I sin anestesia y tiempo de ruptura lagrimal (BUT).

La condición 2D se implementó con Valorant en computador portátil de 16 pulgadas (50–60 cm, posición sedente), y la condición de visualización estereoscópica por realidad virtual (VR) con Astro Bot mediante PlayStation VR (PSVR, ~5 cm ojo-pantalla, posición en bipedestación). La distinción entre formatos no refiere al motor gráfico, ambos juegos son tridimensionales en su renderizado, sino al mecanismo de procesamiento visual de la profundidad: el formato 2D emplea señales monoculares, mientras que el formato VR introduce disparidad retinal binocular real, activando el conflicto vergencia-acomodación propio de la visualización estereoscópica. La iluminación fue mixta y constante durante toda la sesión.

Se calcularon estadísticos descriptivos por ojo, grupo y momento. Dado el tipo de distribución de los datos, se aplicaron modelos mixtos para medidas repetidas con efectos fijos de grupo, momento e interacción, e intercepto aleatorio por participante: GLMM Gamma-log para menisco lagrimal y Schirmer; LMM sobre escala logarítmica para BUT y OPI; y GLMM ordinal para hiperemia conjuntival. Se obtuvieron medias marginales estimadas con IC95% y contrastes simples desde el modelo. El OSDI se evaluó complementariamente mediante pruebas no paramétricas bivariadas. Todos los análisis se realizaron en Jamovi v2.5.5 (GAMLj 4.0.3), con nivel de significancia p<.05.

Resultados

Se analizaron 49 estudiantes asignados a videojuegos en formato convencional 2D (n=25) o estereoscópico VR (n=24). Una hora de exposición aguda no produjo cambios consistentes en la mayoría de los indicadores de superficie ocular, con excepción de una interacción significativa Grupo × Momento en el menisco lagrimal del ojo izquierdo y un efecto principal del momento en la hiperemia conjuntival bilateral (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Medias marginales estimadas (IC 95%) para altura del menisco lagrimal y tiempo de ruptura lagrimal según grupo y momento.

Variable	Ojo	2D pre	2D pos	3D pre	3D pos
Menisco lagrimal (mm)	Derecho	0.216 (0.179–0.261)	0.215 (0.178–0.260)	0.268 (0.221–0.325)	0.231 (0.191–0.280)
Menisco lagrimal (mm)	Izquierdo	0.195 (0.159–0.239)	0.211 (0.172–0.259)	0.229 (0.186–0.282)	0.194 (0.157–0.238)
Tiempo de ruptura lagrimal (s)	Derecho	1.45 (1.04–2.01)	1.37 (0.98–1.90)	1.50 (1.07–2.09)	1.27 (0.91–1.78)
Tiempo de ruptura lagrimal (s)	Izquierdo	1.77 (1.20–2.60)	1.48 (1.00–2.18)	1.61 (1.09–2.37)	1.34 (0.91–1.98)

Nota Los valores corresponden a medias marginales estimadas (IC 95%). El menisco lagrimal se analizó mediante GLMM con distribución Gamma y enlace log, y el BUT mediante LMM sobre ln(BUT), reexpresado en la escala original. La inferencia estadística se presenta en el texto.

Tabla 2. Medias marginales estimadas (IC 95%) para test de Schirmer, índice de protección ocular e hiperemia conjuntival, y descriptivos del puntaje total del OSDI.

Variable	Ojo / Formato visualización	2D pre	2D pos	3D pre	3D pos
Schirmer (mm)	Derecho	12.5 (9.08–17.2)	11.4 (8.26–15.7)	16.6 (11.94–23.0)	16.1 (11.63–22.3)
Schirmer (mm)	Izquierdo	11.3 (8.38–15.4)	11.1 (8.11–15.2)	14.7 (10.9–19.8)	14.6 (10.7–19.8)
Índice de protección ocular	Derecho	0.194 (0.163–0.231)	0.169 (0.142–0.200)	0.184 (0.154–0.220)	0.155 (0.128–0.187)
Índice de protección ocular	Izquierdo	0.215 (0.164–0.284)	0.167 (0.137–0.203)	0.230 (0.185–0.307)	0.169 (0.135–0.212)
Hiperemia conjuntival	Derecho	2.00 (2.00–2.00)	2.00 (2.00–2.00)	2.00 (2.00–2.00)	2.00 (2.00–2.00)
Hiperemia conjuntival	Izquierdo	1.96 (1.80–2.12)	2.37 (1.98–2.76)	1.87 (1.63–2.11)	2.22 (1.90–2.54)

Nota Los valores de Schirmer, OPI e hiperemia corresponden a medias marginales estimadas (IC 95%). Schirmer se analizó mediante GLMM con distribución Gamma y enlace log; el OPI, mediante LMM sobre ln(OPI), retransformado a la escala original; y la hiperemia conjuntival, mediante GLMM ordinal con enlace logit acumulativo.

El grupo VR presentó una reducción significativa del menisco lagrimal en el ojo izquierdo (0.229 a 0.194 mm; χ^2=10.02, p=.002; −15.3%), mientras que el grupo 2D no mostró cambios significativos (0.195 a 0.211 mm; p=.127). En el ojo derecho, el grupo VR evidenció una tendencia a la disminución (0.268 a 0.231 mm; p=.052) sin alcanzar significancia estadística (Figura 1).

El BUT no mostró efectos significativos en ningún ojo; no obstante, se observó una tendencia descriptiva a la reducción posexposición en ambos grupos, más marcada en el grupo VR (OD: 1.50 a 1.27 s; OI 2D: 1.77 a 1.48 s; OI VR: 1.61 a 1.34 s). El Schirmer no evidenció efectos significativos de grupo, momento ni interacción. El OPI mostró una tendencia al efecto del momento en el ojo izquierdo (F(1,47)=4.03, p=.050) y una disminución descriptiva posexposición en ambos grupos, sin alcanzar significancia.

La hiperemia conjuntival aumentó significativamente tras la exposición en ambos ojos, independientemente del formato: OD (χ^2(1)=50.08, p<.001) y OI (χ^2(1)=9.01, p=.003), sin efecto de grupo ni interacción. El OSDI no mostró diferencias entre grupos en síntomas oculares (p=.786), limitación funcional (p=.533), desencadenantes ambientales (p=.752) ni en la puntuación total (U=273.5, z=−0.53, p=.595), con medianas de 29.2 (RIC=16.7) para 2D y 30.2 (RIC=22.9) para VR.

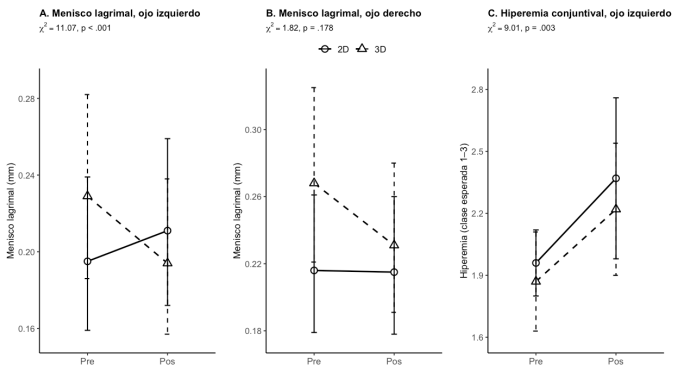


Figura 1. Cambios pre–pos en la altura del menisco lagrimal e hiperemia conjuntival según grupo de exposición (2D: círculos; 3D: triángulos). A) menisco lagrimal izquierdo: interacción Grupo × Momento, χ^2(1)=11.07, p<.001; B) menisco lagrimal derecho: interacción Grupo × Momento, χ^2(1)=1.82, p=.178; C) hiperemia conjuntival izquierda: efecto principal del momento, χ^2(1)=9.01, p=.003. Las barras de error representan IC 95% de las medias marginales estimadas.

Discusión

El presente estudio evaluó la superficie ocular pre y post exposición a videojuegos en formato convencional (2D) y estereoscópico por realidad virtual (VR). La mayoría de los parámetros no mostró cambios significativos; no obstante, se observó una interacción Grupo × Momento en el menisco lagrimal del ojo izquierdo y un efecto significativo del momento en la hiperemia conjuntival bilateral.

Los valores basales sugieren una superficie ocular previamente comprometida, atribuible a la exposición crónica a dispositivos electrónicos en esta población. Tras una hora de exposición, no se registraron cambios significativos en la película lagrimal, hallazgo coherente con la literatura, que indica que las alteraciones clínicamente relevantes emergen con exposiciones más prolongadas, asociadas a reducción del parpadeo, mayor evaporación lagrimal y disminución de la producción acuosa.(5)(6)(7)

La ausencia de cambios significativos en BUT, Schirmer y OPI tras una hora de exposición podría explicarse por mecanismos compensatorios lagrimales propios de usuarios habituados, en quienes la producción lagrimal basal se preserva a pesar de la exposición acumulada (7). No obstante, los valores basales reducidos de estabilidad lagrimal previos a la exposición sugieren una adaptación crónica subyacente (6), en la que la hipoestesia corneal podría enmascarar la sintomatología subjetiva aguda al disociar los signos clínicos de los síntomas percibidos (8).

Exposiciones menores a dos horas no siempre evidencian diferencias objetivas en BUT o Schirmer, incluso en poblaciones pediátricas, lo que sugiere un daño acumulativo sin expresión clínica en exposiciones cortas (9). El aumento significativo de hiperemia conjuntival observado en el presente estudio indica que el estrés vascular precede a la alteración lagrimal, confirmando que el daño inducido por pantallas es multifactorial y puede manifestarse de forma selectiva (10). Estos hallazgos respaldan la recomendación de pausas activas antes de superar una hora de exposición para prevenir la progresión hacia alteraciones crónicas.

La reducción significativa del menisco lagrimal tras exposición a formato estereoscópico, particularmente en el ojo izquierdo con

tendencia no significativa en el derecho (p=.052), sugiere una respuesta asimétrica posiblemente relacionada con parpadeo asimétrico durante la fusión estereoscópica o variaciones en la apertura palpebral. Dado que la dominancia ocular no fue evaluada, no puede descartarse variabilidad de medición. Esta reducción del volumen de reserva lagrimal, sin afectación del BUT, podría constituir un marcador temprano de estrés ocular previo a la inestabilidad lagrimal (11), resaltando la importancia de incorporar la lateralidad ocular en futuros estudios de fatiga visual digital.

Aunque el formato de visualización no generó diferencias significativas en la mayoría de los parámetros, el formato VR mostró una tendencia hacia mayor inestabilidad de la película lagrimal, consistente con el conflicto vergencia-acomodación propio de la visualización estereoscópica, que genera un esfuerzo visual sostenido asociado a fatiga ocular y deterioro lagrimal (12).

Estos hallazgos son coherentes con la literatura en dispositivos de visualización montados en la cabeza (HMD), donde se ha documentado mayor carga oculomotora respecto a monitores convencionales, reducción de la tasa de parpadeo, inestabilidad lagrimal y disconfort visual tras exposiciones de 30 a 60 minutos. Las características propias de los HMD, distancia fija ojo-pantalla, ausencia de señales ambientales de profundidad y restricción de la movilidad ocular natural, podrían explicar la tendencia consistente hacia mayor estrés ocular observada en el grupo VR, aun sin alcanzar significancia estadística en la mayoría de los parámetros.

Aunque el OPI no mostró cambios significativos, la mayor reducción observada en el formato VR sugiere que el esfuerzo visual estereoscópico podría alterar los patrones de parpadeo de forma más marcada. En conjunto, estos hallazgos indican que el esfuerzo visual sostenido induce cambios sutiles que, aunque no significativos tras una hora, podrían adquirir relevancia clínica con exposiciones prolongadas, resaltando la necesidad de estudios longitudinales.

Respecto a los síntomas subjetivos, el OSDI no evidenció diferencias significativas entre grupos, aunque el formato VR presentó valores ligeramente superiores, cuya confirmación requiere mayor tamaño muestral o exposiciones más prolongadas. El diseño de sesión única limita la extrapolación a exposiciones crónicas, por lo que se recomiendan estudios longitudinales que incorporen variables como tiempo acumulado, distancia de visualización e iluminación. Los valores basales alterados sugieren una afectación crónica asociada al uso continuo de pantallas, subrayando la necesidad de monitoreo en esta población y de estrategias preventivas como pausas visuales, lubricación ocular y educación en higiene visual.

Referencias:

1. Montolio-Vila A, Argilés M, Quevedo L, Sunyer-Grau B, Erickson G. Effect of action video games in eye movement behavior: a systematic review. J Eye Mov Res. 2024;17(3):1–22. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39526025/
2. Hoffman DM, Girshick AR, Akeley K, Banks MS. Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. J Vis. 2008;8(3):1–30. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18484839/
3. Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. Ophthalmic Physiol Opt. 2011;31(5):502–15. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21480937/
4. Liu D, Cook BL 3rd, Farris EP. The effect of four hours of continuous personal computer (PC) gaming on the development of dry eye symptoms in college students. Clin Ophthalmol. 2025;19:2229–38. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40671884/
5. Uchino M, Yokoi N, Uchino Y, Dogru M, Kawashima M, Komuro A, et al. Prevalence of dry eye disease and its risk factors in visual display terminal users: the Osaka study. Am J Ophthalmol. 2013;156(4):759–66. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23891330/
6. Al-Mohtaseb Z, Schachter S, Lee BS, Garlich J, Trattler W. The relationship between dry eye disease and digital screen use. Clin Ophthalmol. 2021;15:3811–20. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34531649/
7. Akkaya S, Atakan T, Acikalin B, Aksoy S, Ozkurt Y. Effects of long-term computer use on eye dryness. North Clin Istanb. 2018;5(4):319–22. Disponible en: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6371992/
8. Kaido M, Kawashima M, Ishida R, Tsubota K. Relationship of corneal pain sensitivity with dry eye symptoms in dry eye with short tear break-up time. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2016;57(3):914–9. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26943154/
9. Kazanci B, Eroglu FC. The effects of daily digital device use on the ocular surface in healthy children. Optom Vis Sci. 2022;99(2):167–71. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34889855/
10. Bron AJ, de Paiva CS, Chauhan SK, Bonini S, Gabison EE, Jain S, et al. TFOS DEWS II pathophysiology report. Ocul Surf. 2017;15(3):438–510. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1542012417301349?via%3Dihub
11. Zhang YH, Feng J, Yi CY, Deng XY, Zhou YJ, Tian L, Jie Y. Dynamic tear meniscus parameters in complete blinking: insights into dry eye assessment. Int J Ophthalmol. 2023;16(12):1911–8. Disponible en: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10700063/
12. Wee SW, Moon NJ. Clinical evaluation of accommodation and ocular surface stability relevant to visual asthenopia with 3D displays. BMC Ophthalmol. 2014;14:29. Disponible en: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3995804/

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki

Confidencialidad de los datos

Los autores siguieron los protocolos institucionales, garantizando la confidencialidad, anonimización de los datos y la no identificación de los participantes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores han obtenido el consentimiento informado de los participantes. Este documento obra en poder del autor de correspondencia

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Consideraciones adicionales

Durante la preparación de este manuscrito, los autores utilizaron herramientas de inteligencia artificial exclusivamente como apoyo en la corrección gramatical y traducción del texto. Los autores revisaron y editaron el contenido final y asumen plena responsabilidad sobre la versión publicada.