

Presión Intraocular: Anatomía y Función del Cuerpo Ciliar en Diferentes Especies

Intraocular Pressure: Anatomy and Function of the Ciliary Body in Different Species

Ignacio Paniagua González¹⁷ ; María Candela Wiedmann¹⁷ ;

Rosana María del Rosario Gerometta¹⁷ .

RESUMEN

Introducción: El cuerpo ciliar, una estructura ocular de vital importancia en la producción de humor acuoso y el enfoque del cristalino, varía en morfología y función entre diferentes especies. El presente estudio compara las características anatómicas y fisiológicas del cuerpo ciliar humano con los de otras especies, como bovinos, equinos y porcinos.

Materiales y métodos: Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos, seleccionando artículos que abordan en la anatomía e histología del cuerpo ciliar en las especies mencionadas. Se utilizaron criterios de inclusión para la selección de estudios relevantes.

Resultados: Se revelaron significativas diferencias en la forma, tamaño y distribución de las estructuras del cuerpo ciliar, lo que sugiere específicas adaptaciones a las necesidades fisiológicas y ambientales de cada una. Inclusive, se llevó a cabo un análisis de los mecanismos de formación de humor acuoso en cada uno, resaltando variaciones en los transportadores y canales iónicos implicados.

Conclusión: Las variaciones encontradas reflejan la diversidad evolutiva y adaptativa en la anatomía ocular. Destacando la importancia del enfoque comparativo para comprender la fisiología ocular y sus implicaciones clínicas y terapéuticas.

Palabras clave: cuerpo ciliar - histología comparativa - animales domésticos

Fecha de recepción: agosto 2025. Aceptado: noviembre 2025

¹⁷ Facultad de Medicina, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

Autor de Correspondencia: Francisca Angélica Hernández-Torres. Email: fherandez@secespslp.gob.mx



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons.

ABSTRACT

Introduction: The ciliary body, an ocular structure of vital importance in aqueous humor production and lens focusing, varies in morphology and function among different species. The present study compares the anatomical and physiological characteristics of the human ciliary body with those of other species, such as bovine, equine and porcine.

Materials and methods: A systematic search of databases was performed, selecting articles dealing with the anatomy and histology of the ciliary body in the mentioned species. Inclusion criteria were used to select relevant studies.

Results: Significant differences in the shape, size and distribution of ciliary body structures were revealed, suggesting specific adaptations to the physiological and environmental needs of each one. An analysis of the mechanisms of aqueous humor formation in each was also carried out, highlighting variations in the transporters and ion channels involved.

Conclusion: The variations found reflect the evolutionary and adaptive diversity in ocular anatomy. Highlighting the importance of the comparative approach to understand ocular physiology and its clinical and therapeutic implications.

Keywords: ciliary body - comparative histology - domestic animals

INTRODUCCIÓN

El cuerpo ciliar, una estructura esencial en el globo ocular, desempeña un papel fundamental en la producción de humor acuoso y en la regulación de la presión intraocular. Patke (2020) sostiene que el humor acuoso es un líquido transparente que se encuentra en el interior del globo, entre la córnea y el cristalino, ayuda a mantener la forma y el tamaño del globo ocular y refractar la luz hacia la retina, siendo su composición química similar a la del plasma sanguíneo. De acuerdo a Delamere (2005) se forma en los cuerpos ciliares, estructuras ubicadas en la cámara posterior, mediante tres procesos: ultrafiltración, difusión y transporte activo. Estos procesos implican el paso de agua y solutos desde los capilares sanguíneos del cuerpo ciliar hasta el epitelio ciliar, donde se secreta el humor acuoso hacia la cámara posterior. El humor acuoso circula desde la cámara posterior a través de la pupila hacia la cámara anterior, donde se reabsorbe por la malla trabecular y el canal de Schlemm, que lo drenan hacia la circulación venosa. La tasa de producción y drenaje del humor acuoso determina la presión intraocular, que es un factor importante para la salud visual según Maisfeld (2019).

Sin embargo, a pesar de su relevancia, existen diferencias anatómicas e histo-

lógicas significativas entre especies, que pueden influir en la dinámica del humor acuoso y en la respuesta a tratamientos oftalmológicos.

En la literatura científica se observa una escasez de estudios comparativos que analicen de manera sistemática las variaciones morfológicas y funcionales del cuerpo ciliar entre humanos y animales como bovinos, equinos y porcinos, los cuales son frecuentemente utilizados como modelos experimentales en investigación oftalmológica. Esta falta de información dificulta la extrapolación precisa de los hallazgos obtenidos en animales a la fisiología ocular humana.

Comprender estas diferencias es esencial no solo para el avance del conocimiento anatómico y fisiológico, sino también para el desarrollo de nuevos modelos experimentales, técnicas quirúrgicas y terapias dirigidas a enfermedades oculares relacionadas con la presión intraocular, como el glaucoma. Por lo tanto, surge la necesidad de realizar una revisión comparativa que permita identificar las similitudes y diferencias estructurales y funcionales del cuerpo ciliar entre diferentes especies, con el fin de aportar una base científica sólida para futuras investigaciones en oftalmología humana y veterinaria.

MÉTODO

Se realizó una búsqueda sistemática de artículos en las bases de datos PubMed, Scopus y Scielo. Se utilizaron como términos de búsqueda: cerdo (pig), vaca (cow), caballo (horse), humanos (humans), cuerpo ciliar (ciliary body), anatomía comparativa (comparative anatomy) y fisiología comparativa (comparative physiology). La búsqueda se llevó a cabo empleando los operadores booleanos «OR» y «AND»

con las siguientes combinaciones: human ciliary body OR cow ciliary body, human ciliary body AND comparative physiology, horse ciliary body OR pig ciliary body, ciliary body AND comparative anatomy y ciliary body AND comparative physiology.

La búsqueda inicial arrojó 17 resultados preliminares. Como criterios de inclusión, se consideraron trabajos científicos redac-

tados en inglés o español, publicados en revistas con referato, centrados específicamente en la anatomía e histología del cuerpo ciliar en humanos, cerdos, caballos y vacas, que utilizaran técnicas cuantificables como microscopía óptica y microscopía electrónica.

Fueron excluidos aquellos estudios que no abordaran de manera específica los aspectos histológicos o fisiológicos del cuerpo ciliar. Luego de aplicar los criterios mencionados, se seleccionaron 10 artículos que cumplieron con los requisitos, de los cuales se extrajeron y sistematizaron datos numéricos y medibles (como número de procesos ciliares, dimensiones estructu-

rales y características morfométricas).

Los datos recopilados se analizaron de forma descriptiva y comparativa, con el objetivo de cuantificar y determinar las similitudes y diferencias anatómicas y fisiológicas entre las especies estudiadas. Este enfoque permitió consolidar los resultados de diversos estudios en una síntesis cuantitativa, facilitando una interpretación objetiva y medible de las variaciones estructurales del cuerpo ciliar.

RESULTADOS

Seres humanos

De acuerdo a Miesfeld (2019) el cuerpo ciliar está formado por dos partes: el epitelio ciliar y el músculo ciliar. El epitelio ciliar está compuesto por dos capas de células: una capa interna no pigmentada y una capa externa pigmentada. El músculo ciliar, según Wullnik (2018), es un anillo de músculo liso que se inserta en el espolón escleral y en las fibras zonulares que sostienen la lente, en un corte transversal, presenta forma triangular. El cuerpo ciliar se extiende desde el borde del iris hasta el borde de la retina, tiene una forma de anillo que rodea el cristalino y se extiende desde la ora serrata hasta el limbo esclerocorneal. El diámetro interno, como afirma Kaser-Eichberger (2015), es de unos 12 mm y su grosor de unos seis mm, valores que varían según la edad y el estado refractivo del individuo. El músculo ciliar se divide en dos porciones: longitudinal y circular, que se contraen y relajan para modificar la forma y la posición del cristalino. Los procesos ciliares son unas 70 proyecciones que se originan en el músculo ciliar y se dirigen hacia el cristalino, formando el ligamento suspensorio que lo sostiene. Los procesos ciliares tienen una longitud de 1,5 mm y una anchura de 0,2 mm aproximadamente. El músculo ciliar se contrae y relaja para cambiar la forma de la lente y ajustar el enfoque de la visión. Está inervado por el nervio oculomotor y regulado por el sistema nervioso parasimpático.

Como señala Meisfeld (2019) a nivel fisiológico, se explica cómo el cuerpo ciliar participa en procesos como la secreción del humor acuoso y la acomodación de la lente. La secreción del humor acuoso se produce por un mecanismo de transporte activo de iones y agua desde el epitelio ciliar al espacio intercelular y luego a la cámara posterior, el epitelio ciliar pigmentado tiene un cotransportador $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ en la membrana basolateral, que capta Cl^- desde el estroma. El epitelio ciliar no pigmentado tiene un canal de Cl^- en la membrana apical, que libera Cl^- hacia el humor acuoso, y un intercambiador $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ en la membrana basolateral, que regula el pH intracelular. El transporte de Cl^- es

la principal fuerza impulsora de la formación del humor acuoso, que regula la presión intraocular. Por otra parte, la acomodación de la lente se produce por un mecanismo de contracción y relajación del músculo ciliar, que modifica la tensión de las fibras zonulares y la curvatura de la lente. La acomodación permite enfocar objetos cercanos y lejanos. A su vez, expresa genes implicados en el desarrollo y la diferenciación, como Pax6, Otx2, Mitf y Lhx2. Los cuales poseen un gran papel en la regulación del crecimiento, el patrón, la especificación de tipos celulares y la diferenciación durante la organogénesis del globo ocular. Tal es así, que Pax6 es un factor de transcripción involucrado en la formación de estructuras oculares como la córnea y el cristalino, Otx2 es un gen regulador del cerebro anterior, implicado a su vez en la especificación y mantenimiento de la retina pigmentada y fotorrecepción. En cuanto a Mitf juega un importante rol en el desarrollo de la retina pigmentada, específicamente en la diferenciación y mantenimiento de las células pigmentadas. Por lo que se refiere a la acción de Lhx2 cumple un papel fundamental en la formación del campo ocular y la evaginación de la vesícula óptica, pasos importantes en la morfogénesis del globo ocular.

Coca-Prados (2007) plantea la hipótesis de que el cuerpo ciliar no es solo un sitio de secreción de humor acuoso, sino también una fuente de señales endocrinas que pueden comunicarse con los tejidos del segmento anterior del ojo, incluyendo las vías de salida del humor acuoso. Además, sugieren que el cuerpo ciliar puede estar implicado directamente en la patogénesis del glaucoma, una enfermedad que se caracteriza por la muerte progresiva de las células ganglionares de la retina y el aumento de la presión intraocular. Para apoyar esta hipótesis, los autores revisan la evidencia de que el cuerpo ciliar expresa genes asociados al glaucoma (como MYOC y CYP1B1), enzimas de procesamiento neuroendocrino, péptidos neuroendocrinos, enzimas de conversión de esteroides, y factores antiangiogénicos. A su vez, presenta transportadores y enzimas de metabolización de glutamato, como el transportador de glutamato excitatorio vesicular (VGLUT), la glutamina sintetasa (GS) y la glutamato deshidrogenasa (GDH), que podrían participar en un sistema de señalización glutamatérgico en el cuerpo ciliar, y modular la secreción de humor acuoso y la presión intraocular.

Los autores describen los métodos utilizados para estudiar la expresión y función de los genes y proteínas mencionados en el cuerpo ciliar humano y de otras especies, tanto *in vivo* como *in vitro*. Estos métodos incluyen técnicas de biología molecular, técnicas de bioquímica, técnicas de microscopía electrónica y óptica, y técnicas de fisiología ocular.

Bovinos

El músculo ciliar está situado en el interior del ojo, específicamente en el cuerpo ciliar. Tiene forma de anillo y está adherido al cristalino mediante unas fibras, cada una constituye el ligamento suspensorio del cristalino. Su diámetro interno es de unos 10 mm y su grosor de unos tres mm. El músculo ciliar se divide en dos porciones: longitudinal y circular, que se contraen y relajan para modificar la forma y la posición del cristalino. Los procesos ciliares son unas 100 proyecciones que se originan en el músculo ciliar y se dirigen hacia el cristalino, formando el ligamento suspensorio que lo sostiene. Los procesos ciliares tienen una longitud de unos cuatro mm y una anchura de unos uno

coma cinco mm.

La contracción y relajación del músculo ciliar permite modificar la forma y la potencia del cristalino, lo que se conoce como acomodación visual. El músculo ciliar está inervado por el nervio oculomotor y recibe un aporte sanguíneo de las arterias ciliares posteriores largas.

La estructura anatómica del músculo ciliar en los bovinos es similar a la de otros mamíferos, aunque presenta algunas diferencias. Como señala Samuelson (2012) sobre la vía uveoescleral anterior en especies domésticas, el músculo ciliar de la vaca tiene una mayor proporción de fibras longitudinales que circulares, lo que le confiere una mayor capacidad de aplanar el cristalino. Además, el músculo ciliar de la vaca está dividido en dos partes por una banda de tejido conectivo, que se denomina ligamento ciliar.

El cuerpo ciliar bovino, siguiendo a este autor, está compuesto por tres capas: la esclera, el estroma y el epitelio ciliar. La esclera es la capa más externa, formada por tejido conectivo denso y fibras de colágeno. El estroma es la capa intermedia, formada por tejido conectivo laxo, fibras elásticas, vasos sanguíneos, nervios y células inflamatorias. El epitelio ciliar es la capa más interna, formada por dos capas de células: una pigmentaria y otra no pigmentaria. La capa pigmentaria es continua con el epitelio pigmentario de la retina, es más gruesa y contiene melanina. La capa no pigmentaria es continua con el epitelio neural de la retina y contiene enzimas y transportadores involucrados en la síntesis y secreción de humor acuoso.

La fisiología del músculo ciliar de la vaca está relacionada con el proceso de acomodación visual, que consiste en el ajuste del enfoque del ojo según la distancia del objeto observado. Posee una parte longitudinal y circular, estando esta última mejor desarrollada. Según lo expresado por De Maria (2017), el músculo ciliar recibe una estimulación parasimpática del nervio oculomotor, que provoca su contracción y el aumento de la curvatura del cristalino, lo que permite enfocar los objetos cercanos. Por el contrario, el músculo ciliar recibe una estimulación simpática del nervio cervical superior, que provoca su relajación y el aplanamiento del cristalino, lo que permite enfocar los objetos lejanos.

Como señala Do (2000), el propósito del estudio fue investigar los mecanismos fisiológicos del transporte de Cl- a través del epitelio ciliar bovino, que es responsable de la secreción del humor acuoso. Para su realización se utilizaron cámaras de tipo Ussing modificada para medir los parámetros eléctricos y el flujo unidireccional de Cl- radio-marcado en preparaciones. Los resultados sugieren que la principal vía de entrada de Cl- en las células pigmentadas es a través del cotransportador Na+/K+/2Cl-, pero no de los intercambiadores Cl/HCO3 y Na/H. Las uniones comunicantes entre las dos capas celulares y los canales de Cl- sensibles a NPPB, un bloqueador de los canales de Cl-, en la superficie basolateral de las células no pigmentadas también juegan un papel crucial en la regulación del movimiento de Cl- a través del sincitio funcional. Este transporte activo de Cl- puede proporcionar la fuerza impulsora para la formación del humor acuoso.

El cuerpo ciliar de la vaca expresa genes similares al humano, pero con algunas variaciones. Por ejemplo, el gen MYOC tiene una menor frecuencia de mutaciones causantes de glaucoma en la vaca que en el humano.

Porcinos

El cuerpo ciliar porcino es una estructura ocular que se encarga de la acomodación, la producción de humor acuoso y el control del crecimiento axial del ojo. Está formado por el músculo ciliar y los procesos ciliares, que son extensiones del epitelio pigmentario y no pigmentario de la retina. El músculo ciliar se inserta en la ora serrata y el espolón escleral. Los procesos ciliares contienen capilares fenestrados que permiten el paso de fluidos y nutrientes al humor acuoso.

En su trabajo Mora Villate (2016) describe las similitudes y diferencias entre el ojo humano y el porcino, y las ventajas de realizar la disección del globo ocular. Menciona que el cuerpo ciliar porcino tiene una forma redondeada que rodea el cristalino y se extiende desde la ora serrata hasta el espolón escleral. Su diámetro interno varía entre los 6 y 8 mm y su grosor entre cero coma cuatro y uno coma uno mm, valores que dependen de la edad y el estado refractivo del animal. Samuelson (2012), afirma que el músculo ciliar se divide en tres porciones: longitudinal y dos porciones circulares, que se contraen y relajan para modificar la forma y la posición del cristalino. Los procesos ciliares son unas 80 proyecciones que se originan en el músculo ciliar y se dirigen hacia el cristalino. Los procesos ciliares tienen una longitud de 2 mm y una anchura de cero 0,5 mm.

Pucker (2014) sostiene que el cuerpo ciliar porcino está compuesto por capas: la esclera, el estroma, y el epitelio ciliar. La esclera es la capa más externa, formada por tejido conectivo denso y fibras de colágeno. Luego el estroma es la capa intermedia, y el epitelio ciliar es la capa más interna, formada por capas de células: una pigmentaria, otra no pigmentaria y una capa intermedia de células pigmentadas, que se cree cumple una función de barrera. La capa pigmentaria es continua con el epitelio pigmentario de la retina y contiene melanina. Mientras que, la capa no pigmentaria es continua con el epitelio neural de la retina y contiene enzimas y transportadores involucrados en la síntesis y secreción de humor acuoso.

El cuerpo ciliar porcino tiene tres funciones principales: la acomodación, la producción de humor acuoso y el control del crecimiento axial del ojo. La acomodación es el proceso por el cual el ojo ajusta su potencia óptica para enfocar objetos cercanos. Esto se logra mediante la contracción del músculo ciliar, que relaja el ligamento suspensorio y permite que el cristalino adopte una forma más esférica y convergente.

De acuerdo con Kong (2006) en su investigación mediante las cámaras de tipo Ussing investiga la electrofisiología y los mecanismos de transporte de cloruro, a través del epitelio ciliar porcino, su trabajo concluyó que el epitelio ciliar pigmentado tiene una menor actividad del cotransportador $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ que el humano, lo que implica una menor captación de Cl^- . El epitelio ciliar no pigmentado tiene una mayor actividad del canal de Cl^- que el humano, debido a que expresa un canal de Cl^- sensible al ácido niflúmico, lo que implica una mayor liberación de Cl^- . El transporte de Cl^- también depende de la concentración de bicarbonato, que es menor en el humor acuoso del cerdo que en el humano.

Asimismo, el cuerpo ciliar se encarga del control del crecimiento axial del ojo, el cual es un proceso por el cual el cuerpo ciliar regula la longitud del eje anteroposterior del ojo

para mantener la emetropía o evitar la miopía. Esto se logra mediante la modulación de la liberación de factores de crecimiento y la expresión de genes que afectan al desarrollo escleral.

Equinos

El cuerpo ciliar equino está formado por el músculo ciliar y los procesos ciliares, que son extensiones del epitelio pigmentario y no pigmentario de la retina. El músculo ciliar es de tipo liso y se inserta en la ora serrata y el limbo esclerocorneal. Los procesos ciliares contienen los capilares fenestrados que secretan el humor acuoso.

Miller (2001) sostiene que el cuerpo ciliar equino tiene forma de anillo y se sitúa entre el iris y la coroides. Su diámetro interno es de unos nueve mm y su grosor de unos dos mm. El músculo ciliar se divide en tres porciones: radial, circular y longitudinal, esta última encontrándose más desarrollada, que se contraen y relajan para modificar la forma y la posición del cristalino. Los procesos ciliares son unas 120 proyecciones que se originan en el músculo ciliar y se dirigen hacia el cristalino. Los procesos ciliares tienen una longitud de unos tres mm y una anchura de un mm.

El cuerpo ciliar equino, de acuerdo con Samuelson (2012), no se diferencia en gran parte de los demás mamíferos, ya que está compuesto por capas: la esclera, el estroma, y el epitelio ciliar. La esclera es la capa más externa, formada por tejido conectivo denso y fibras de colágeno. El estroma es la capa intermedia, formada por tejido conectivo laxo, vasos sanguíneos, entre otros. El epitelio ciliar es la capa interna, formada por dos células: una pigmentaria y otra no pigmentaria.

El cuerpo ciliar equino participa en el proceso de secreción de humor acuoso, en el cual, ambos epitelios expresan intercambiadores de aniones, como el Cl-/HCO3- y el Na+/H+, que regulan el transporte de Cl-. El transporte de Cl- también depende de la concentración de bicarbonato, que es mayor en el humor acuoso del caballo que en el humano.

Por otra parte, la acomodación del cristalino se produce por la contracción del músculo ciliar, que relaja el ligamento suspensorio y aumenta la curvatura del cristalino, permitiendo el enfoque de los objetos cercanos. El cuerpo ciliar del caballo expresa genes similares al humano, pero con algunas variaciones. Por ejemplo, el gen MYOC tiene una mayor frecuencia de mutaciones causantes de glaucoma en el caballo que en el humano.

Tabla 1: Características del Cuerpo ciliar en diferentes especies

Aspecto	Humano	Porcino	Bovino	Equino
Forma del cuerpo ciliar	Triangular	Redondeado	Anillo	Anillo
Número de procesos ciliares	70	80	100	120
Tamaño del cuerpo ciliar	Diámetro interno: 12 mm Grosor: 6 mm	Diámetro interno: 9 mm Grosor: 2 mm	Diámetro interno: 10 mm Grosor: 3 mm	Diámetro interno: 9 mm Grosor: 2 mm
División del músculo ciliar	Longitudinal y circular	Longitudinal y 2 porciones circulares	Longitudinal y circular	Longitudinal, radial y circular
Características histológicas	Dos capas: Una externa pigmentada y una interna no pigmentada	Tres capas: Una externa pigmentada, una intermedia pigmentada y una interna no pigmentada	Dos capas: Una externa pigmentada más gruesa y una interna no pigmentada	Dos capas: Una externa pigmentada y una interna no pigmentada
Mecanismos de formación del humor acuoso	Transporte de Cl- hacia el humor acuoso, depende de cotransportador Na+/K+/2Cl- en capa pigmentada, un canal de Cl- y un intercambiador Cl-/HCO3- en capa no pigmentada	Transporte de Cl- hacia el humor acuoso, depende de cotransportador Na+/K+/2Cl- en capa pigmentada, y un canal de Cl- en la capa no pigmentada	Transporte de Cl- hacia el humor acuoso, depende del cotransportador Na+/K+/2Cl- en capa pigmentada	Transporte de Cl- hacia el humor acuoso, depende de intercambiadores de aniones Cl-/HCO3- y Na+/H+, expresados en ambas capas

Nota. Elaboración propia con base en la revisión de literatura sobre anatomía del cuerpo ciliar.

DISCUSIÓN

La revisión bibliográfica presentada abarca estudios realizados mediante diversas metodologías de investigación. No obstante, se limitó a considerar únicamente los escritos en dos idiomas, excluyendo así estudios que podrían haber enriquecido aún más el debate. El cuerpo ciliar, estructura que produce el humor acuoso, tiene una forma triangular en el ojo humano, mientras que es más redondeado en el ojo porcino. La diferencia morfológica tendría un papel influyente en la eficacia del proceso de producción y drenaje del humor acuoso en cada especie.

En lo que respecta al número, tamaño y forma de los procesos ciliares, varían entre las distintas especies estudiadas. Por ejemplo, el ojo humano tiene unos 70 procesos ciliares, el ojo porcino unos 80, a comparación del ojo bovino que cuenta con unos 100 y el ojo equino unos 120. La variabilidad podría influir en la cantidad de humor acuoso producido y en la capacidad de ajuste del enfoque visual en diferentes especies, lo que podría implicar en la fisiología ocular y en la predisposición de enfermedades oculares.

En cuanto a la histología del músculo ciliar, que es el responsable de cambiar el enfoque del cristalino, tiene dos porciones en el ojo humano Miesfeld (2019), una longitudinal y otra circular, mientras que el ojo equino según Miller (2001) tiene una tercera porción radial, el ojo porcino, de acuerdo a Pucker (2014) tiene dos partes circulares y, mientras que el ojo bovino Samuelson (2012) sostiene que tiene una porción longitudinal más desarrollada.

En la Histología, el epitelio ciliar tiene dos capas en el ojo humano, de acuerdo a Maisfeld (2019), una externa pigmentada y una interna no pigmentada a comparación con el ojo porcino, según Pucker (2014),

tiene una capa intermedia de células pigmentadas, que se cree que tienen una función de barrera. Mientras que Samuelson (2012) sostiene que, el ojo bovino tiene una capa externa pigmentada más gruesa que la interna no pigmentada, y el ojo equino Miller (2001) indica que tiene una capa externa pigmentada más delgada que la no pigmentada. Las variaciones en cada especie tienen su papel en la regulación del humor acuoso y en la respuesta a los estímulos ambientales en cada especie.

En la formación del humor acuoso del ojo humano, Maisfeld (2019), establece que el transporte de Cl^- hacia el humor acuoso es la principal fuerza impulsora de la formación de humor acuoso, y depende de la actividad de los cotransportadores $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ en el epitelio pigmentado y de los canales de Cl^- sensibles a NPPB en el epitelio no pigmentado. En relación al ojo bovino, Do (2000) menciona que el transporte de Cl^- hacia el humor acuoso también es el principal mecanismo de formación de humor acuoso, pero depende principalmente de la actividad del cotransportador $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ en el epitelio pigmentado, y no de los canales de Cl^- en el epitelio no pigmentado.

En el ojo porcino, Kong (2006) indica que el transporte de Cl^- hacia el humor acuoso es el principal mecanismo de formación de humor acuoso, y depende de la actividad del cotransportador $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ en el epitelio pigmentado y de un canal de Cl^- sensible al ácido niflúmico en el epitelio no pigmentado. Por el contrario, en el ojo equino Miller (2001) destaca que el transporte de Cl^- hacia el humor acuoso no es el principal mecanismo de formación de humor acuoso, sino que depende más de la actividad de los intercambiadores de aniones, como el $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ y el Na^+/H^+ ,

en ambos epitelios.

Las diferencias halladas en la anatomía y fisiología del cuerpo ciliar entre las especies son fundamentales para comprender la fisiología ocular. A su vez, podría implicar un avance en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades oculares en seres humanos y animales.

CONCLUSIONES

El estudio comparativo del cuerpo ciliar en diferentes especies ha aportado una variedad de diferencias anatómicas y fisiológicas que reflejan la diversidad evolutiva y adaptativa en la anatomía del globo ocular. Las distintas variaciones en la morfología y estructura entre el ser humano, bovinos, porcinos y equinos sugieren adaptaciones para sus necesidades y la correcta desembocadura en su entorno.

Los hallazgos resaltan la importancia de comprender las características específicas del cuerpo ciliar en cada especie, ya que cumplen un importante papel en la fisiología, la acomodación visual y la producción del humor acuoso.

Además, en el análisis de los mecanismos de formación del humor acuoso en cada especie, se vislumbraron significa-

tivas diferencias en los transportadores y canales iónicos involucrados, enfatizando la complejidad y la diversidad de los procesos fisiológicos que regulan la homeostasis ocular.

En última instancia, el estudio brinda información para futuras investigaciones que puedan explorar de forma más profunda las adaptaciones del sistema ocular en cada especie, así como sus implicaciones clínicas y terapéuticas. Comprender estas diferencias permitirá adoptar un nuevo enfoque en la comprensión de la evolución y la diversidad biológica.

REFERENCIAS

1. Coca-Prados, M., & Escribano, J. (2007). New perspectives in aqueous humor secretion and in glaucoma: The ciliary body as a multifunctional neuroendocrine gland. *Progress in Retinal and Eye Research*, 26(3), 239–262. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17321191>
2. De Maria, A., Wilmarth, P. A., David, L. L., & Bassnett, S. (2017). Proteomic analysis of the bovine and human ciliary zonule. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 58 (1), 573–585. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5283081>
3. Delamere, N. A. (2005). Ciliary body and ciliary epithelium. *Advances in Organ Biology*, 10, 127–148. [https://doi.org/10.1016/S1569-2590\(05\)10005-6](https://doi.org/10.1016/S1569-2590(05)10005-6)
4. Do, C. W., & To, C. H. (2000). Chloride secretion by bovine ciliary epithelium: A model of aqueous humor formation. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41 (7), 1853–1860. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10845609>
5. Kaser-Eichberger, A., Schrödl, F., Trost, A., Strohmaier, C., Bogner, B., Runge, C., Motloch, K., Bruckner, D., Laimer, M., Schlereth, S. L., Heindl, L. M., & Reitsamer, H. A. (2015). Topography of lymphatic markers in human iris and ciliary body. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 56 (8), 4943–4953. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26225635>
6. Kong, C. W., Li, K. K., & To, C. H. (2006). Chloride secretion by porcine ciliary epithelium: New insight into species similarities and differences in aqueous humor formation. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47 (12), 5428–5436. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17122133>
7. Miesfeld, J. B., & Brown, N. L. (2019). Eye organogenesis: A hierarchical view of ocular development. *Current Topics in Developmental Biology*, 132, 351–393. <https://doi.org/10.1016/bs.ctdb.2018.12.008>
8. Miller, T. L., Willis, A. M., Wilkie, D. A., Hoshaw-Woodard, S., & Stanley, J. R. (2001). Description of ciliary body anatomy and identification of sites for transscleral cyclophotocoagulation in the equine eye. *Veterinary Ophthalmology*, 4 (3), 183–190. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11722782>
9. Patke, A., Young, M. W., & Axelrod, S. (2020). Molecular mechanisms and physiological importance of circadian rhythms. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21 (2), 67–84. <https://doi.org/10.1038/s41580-019-0179-2>
10. Pucker, A. D., Carpenter, A. R., McHugh, K. M., & Mutti, D. O. (2014). Guinea pig ciliary muscle development. *Optometry and Vision Science*, 91 (7), 730–739. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24901488>
11. Remington, L. A., & Goodwin, D. (2021). *Clinical anatomy and physiology of the visual system* (4th ed.). Elsevier - Health Sciences Division.
12. Sedacca, K., Samuelson, D., & Lewis, P. (2012). Examination of the anterior uveoscleral pathway in domestic species. *Veterinary Ophthalmology*, 15 (Suppl. 1), 1–7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22051120>
13. Villate, M., Méndez, J., & Echeverría, J. (2016). Anatomía quirúrgica del ojo: Revisión anatómica del ojo humano y comparación con el ojo porcino. *Morfología*, 8 (3), 21–44. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/morfologia/article/view/62493>
14. Wullink, B., Pas, H. H., Van der Worp, R. J., Schol, M., Janssen, S. F., Kuijjer, R., & Los, L. I. (2018). Type VII collagen in the human accommodation system: Expression in ciliary body, zonules, and lens capsule. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 59*(2), 1075–1083. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29490344>

Conflictos de interés: “Los autores declaran no poseer conflictos de interés relacionados al contenido del presente trabajo”.

Financiamiento: Autofinanciado

Biografías

Ignacio Paniagua Gonzalez:

Médico graduado de la Facultad de Medicina Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Becario en la beca de pregrado “Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional”, año 2023.

María Candela Wiedmann:

Médica graduada de la Facultad de Medicina Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Becaria en la beca de pregrado “Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional”, año 2022.

María del Rosario Rosana Gerometta:

Médica, Especialista en Docencia Universitaria, en Farmacología y en Oftalmología, Magister en Oftalmología y en Farmacología. Profesora Titular de Oftalmología UNNE.