



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

# **Grado en Óptica y Optometría**

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

## La pupilometría

Presentado por Inés Ruiz Rodriguez

Tutelado por: Isabel Arranz de la Fuente

Tipo de TFG: Revisión

En Valladolid a, [fecha]



Índice de abreviaturas.....	1
Resumen .....	2
Abstract.....	2
1. Introducción. ....	3
1.1 Presentación del tema.....	3
1.2 Objetivos.....	3
2. Marco teórico. ....	4
2.1 Definición de pupilometría. ....	4
2.2 Historia y desarrollo.....	4
2.3 Respuestas pupilares y su regulación. ....	5
2.3.1 Vía de constricción pupilar .....	5
2.3.2 Vía de dilatación pupilar .....	5
2.3.3 Interacciones entre las vías de constricción y dilatación .....	5
2.4 Factores que afectan a la respuesta pupilar.....	6
2.4.1 Factores fisiológicos.....	6
2.4.2 Factores externos.....	7
2.5 Otras técnicas de pupilometría: Pupilometría cromática .....	8
3. Aplicaciones clínicas.....	9
3.1 Miopía.....	9
3.2 Interacción de la ametropía de las células ipRGCs y su respuesta pupilar .....	9
3.3 Influencia de la pupilometría en la implantación de lentes intraoculares .....	10
3.4 Cribado de enfermedades neurooftalmológicas .....	11
3.5 Glaucoma .....	12
3.6 Diabetes Mellitus (DM) .....	13
3.7 Trastornos del sueño y otras patologías relacionadas con la salud circadiana.....	13
4. Discusión y conclusiones.....	15
6.1 Aplicaciones clínicas y relevancia optométrica.....	15
Limitaciones.....	16
Investigación futura.....	16
Bibliografía.....	17

## Índice de abreviaturas

CG	Ganglio Ciliar
EWN	Núcleo de Edinger-Westphal
ipRGCs	Células Ganglionares Retinianas Intrínsecamente Fotosensibles
LC	Locus Coeruleus
nm	Nanómetros (unidad de medida para la longitud de onda de la luz)
PIPR	Respuesta Pupilar Post-Iluminación
PN	Núcleo Pretectal
SCG	Ganglio Cervical Superior
SCN	Núcleo Supraquiasmático
LIO	Lentes intraoculares
EDoF	Profundidad de foco extendido
HCP	Pupilometría cromática portátil
OCT	Tomografía óptica de coherencia
DM	Diabetes Mellitus

## Resumen

Este trabajo de fin de grado es una revisión sobre la pupilometría, el estudio y la medición de los cambios en el diámetro pupilar ante distintos estímulos. La pupilometría ha adquirido relevancia, no solo en optometría, sino también en oftalmología, fisiología y psicología cognitiva. La capacidad de la pupila para responder a estímulos visuales y emocionales convierte a la pupilometría en una herramienta valiosa para evaluar condiciones visuales y la función del sistema nervioso autónomo.

El marco teórico abarca la definición y el desarrollo histórico de la pupilometría, cómo las vías neuronales que regulan el tamaño pupilar (constricción parasimpática y dilatación simpática) y la interacción entre ellas. Se presta especial atención a la pupilometría cromática, que utiliza estímulos luminosos de diferentes colores para evaluar la función de distintas células retinianas, especialmente las células ganglionares retinianas intrínsecamente fotosensibles (ipRGCs) implicadas en funciones no visuales como los ritmos circadianos.

La revisión también analiza cómo el desenfoque y las ipRGCs influyen en la respuesta pupilar y se exponen aplicaciones clínicas como el tratamiento de la miopía, trastornos del sueño y circadianos, diabetes, implantación de lentes intraoculares y cribado de enfermedades neuro-oftalmológicas. El trabajo destaca el potencial interdisciplinar de la pupilometría, su relevancia en la práctica optométrica y las perspectivas de investigación futura.

## Abstract

This final degree project reviews the field of pupillometry, which is the study and measurement of pupil diameter changes in response to various stimuli. Pupillometry has become increasingly relevant not only in optometry but also in ophthalmology, physiology, and cognitive psychology. The pupil's ability to react to visual and emotional stimuli makes pupillometry a valuable tool for assessing visual conditions and autonomic nervous system function.

The theoretical framework covers the definition and historical development of pupillometry, the neural pathways regulating pupil size (parasympathetic constriction and sympathetic dilation), and the interaction between these pathways. Special attention is given to chromatic pupillometry, which uses colored light stimuli to assess the function of different retinal cells, especially ipRGCs involved in non-visual functions like circadian rhythms.

The review also explores how hyperopic defocus and ipRGCs influence the pupillary response and discusses clinical applications, including myopia management, sleep and circadian disorders, diabetes, intraocular lens implantation, and neuro-ophthalmological disease screening. The project highlights the interdisciplinary potential of pupillometry, its relevance in optometric practice, and future research perspectives.

## 1. Introducción.

### 1.1 Presentación del tema.

La pupilometría es el estudio de los cambios en el diámetro pupilar. Una herramienta que ha cobrado relevancia no solo en el ámbito clínico de la optometría, sino también en diversas disciplinas como la oftalmología, fisiología, trastornos del sueño... Desde mediados del siglo XX, investigaciones pioneras han demostrado que las respuestas pupilares pueden reflejar no solo los efectos de la luz ambiental, abriendo nuevas puertas para comprender cómo los procesos internos del cuerpo, como la carga cognitiva, las emociones y el equilibrio entre los sistemas nerviosos simpático y parasimpático, influyen en el comportamiento pupilar.

La capacidad de la pupila para responder a una variedad de estímulos visuales y emocionales hace que la pupilometría sea una herramienta valiosa para los profesionales de la optometría, al permitir una evaluación más detallada tanto de las condiciones visuales como de la función del sistema nervioso autónomo o función autónoma.

En el ámbito concreto de la cirugía refractiva, las mediciones pupilares pueden ser clave para ajustar los parámetros quirúrgicos y mejorar los resultados postoperatorios. En este sentido, la pupilometría se utiliza para evaluar la respuesta pupilar a diferentes estímulos y monitorizar la adaptación a los cambios visuales tras la intervención. Asimismo, las variaciones anormales en la respuesta pupilar pueden ser indicativas de patologías oculares o neurológicas, siendo de esta forma muy útil para un diagnóstico temprano de enfermedades como el glaucoma o el daño al sistema nervioso autónomo.

En la ciencia cognitiva, por ejemplo, el estudio de la pupila ha proporcionado información crucial sobre procesos mentales complejos, como la atención, el procesamiento de la información y la toma de decisiones.

### 1.2 Objetivos.

El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar la pupilometría como herramienta en la práctica optométrica, analizando sus aplicaciones en el diagnóstico y tratamiento de condiciones visuales, y su potencial para evaluar la respuesta del sistema nervioso autónomo y la carga cognitiva. También, se abordará su carácter interdisciplinar, por su utilidad como técnica de apoyo en el diagnóstico precoz de enfermedades oftalmológicas y neurodegenerativas. Además, se discutirán sus aplicaciones en campos como la psicología cognitiva, donde las variaciones pupilares se han relacionado con procesos como la atención, la carga cognitiva o la toma de decisiones. Por último, se describirán los nuevos dispositivos portátiles desarrollados para el cribado de estas patologías, como uso potencial en entornos de atención primaria.

## 2. Marco teórico.

### 2.1 Definición de pupilometría.

La pupila es la apertura central del iris que regula la cantidad de luz que entra al ojo, funcionando como un diafragma. Su papel es crucial para optimizar la calidad de la imagen proyectada sobre la retina.[\[1\]](#)

La pupilometría es el estudio y la medición del diámetro de la pupila en respuesta a diversos estímulos. Esta técnica se utiliza en múltiples disciplinas, principalmente en ciencias de la visión, incluyendo la optometría, oftalmología, neurociencia y psicología cognitiva. La medición del diámetro pupilar es un indicador clave en la evaluación de funciones fisiológicas, como la respuesta del sistema nervioso autónomo, y se aplica en diversas áreas clínicas, tales como el diagnóstico de enfermedades oculares y la monitorización de condiciones cognitivas. [\[2\]](#)

### 2.2 Historia y desarrollo.

El interés por el ojo y la pupila se remonta a la antigüedad. La pupila ha sido descrita como la "ventana del alma", una cita frecuentemente atribuida a Cicerón (106-47 a.C.), un político romano. La palabra "pupila" proviene del latín y significa "muñeca pequeña", debido a las imágenes reflejadas que se pueden ver al mirar los ojos de otra persona. En la época medieval, las personas utilizaban sustancias como la atropina (extraída de la planta *Atropa belladonna*) para dilatar sus pupilas y así parecer más atractivas durante el cortejo.

El estudio de la pupila se desarrolló con el tiempo a través de diversos métodos. Físicos como Arquímedes (287-212 a.C.) y Galileo (1564-1642) idearon técnicas específicas para determinar el tamaño de la pupila utilizando cilindros o piezas de papel rectangulares. A medida que avanzaba la tecnología, se emplearon herramientas más precisas como compases, retículos, y dispositivos ópticos que facilitaban la observación directa de la pupila. Además, en algunos casos, se utilizaron plantillas con círculos negros para comparar el tamaño real de la pupila.

A finales del siglo XIX y principios del XX, con la aparición de la captura de imágenes sobre soportes sensibles a la luz, los investigadores pudieron trabajar con imágenes fijas de la pupila. Para mejorar la precisión de las mediciones bajo distintas condiciones de iluminación, se empezaron a utilizar radiaciones ultravioletas y fotografía sensible a infrarrojos. El desarrollo de técnicas cinematográficas permitió obtener representaciones en línea de las variaciones del tamaño pupilar, denominadas pupilogramas. Estos gráficos eran el resultado de un proceso laborioso y largo en el que los investigadores tenían que desarrollar cada imagen, proyectar los fotogramas en una pantalla y medir el tamaño de la pupila con compases o reglas.

Con el tiempo, se hicieron esfuerzos significativos para automatizar la adquisición de datos del diámetro pupilar, lo que facilitó el proceso. La llegada de los *eye trackers* a principios del s. XXI (dispositivos para seguimiento ocular) supuso un avance importante, ya que permitieron registrar de manera automática y en tiempo real la variación del tamaño pupilar ya sea monocular o

binocular. Estos dispositivos son mucho más precisos, requieren menos intervención por parte del observador y permiten un análisis más objetivo y eficiente de los datos, ahorrando tiempo y esfuerzo en el proceso de medición [2]

## 2.3 Respuestas pupilares y su regulación.

La regulación del tamaño pupilar está controlada por dos vías neuronales principales, que, aunque interconectadas, se consideran generalmente como distintas: la vía parasimpática de constricción y la vía simpática de dilatación. Ambas vías son fundamentales para el control del diámetro pupilar y se activan en respuesta a diversos estímulos, como la luz, la excitación o el esfuerzo cognitivo. Estas vías son esenciales no solo para mantener el equilibrio homeostático, sino también para adaptar la respuesta pupilar a los cambios en el entorno y en el estado interno del organismo. [3]

### 2.3.1 Vía de constricción pupilar

La constricción de la pupila está controlada por el músculo esfínter del iris, que rodea la pupila y la reduce cuando se contrae. Este músculo está inervado por el sistema nervioso parasimpático, encargado de la regulación de los procesos homeostáticos del cuerpo. La vía de constricción es una vía subcortical que conecta la retina con el músculo esfínter del iris. La secuencia de este proceso comienza cuando la luz incide sobre la retina, lo que activa las fibras del nervio óptico. La información se transmite al quiasma óptico y, desde allí, al núcleo pretectal (PON), que dirige la señal al núcleo de Edinger-Westphal (EWN). A través del nervio oculomotor (III) y el ganglio ciliar (CG), la señal llega al músculo esfínter, provocando la constricción pupilar. [4]

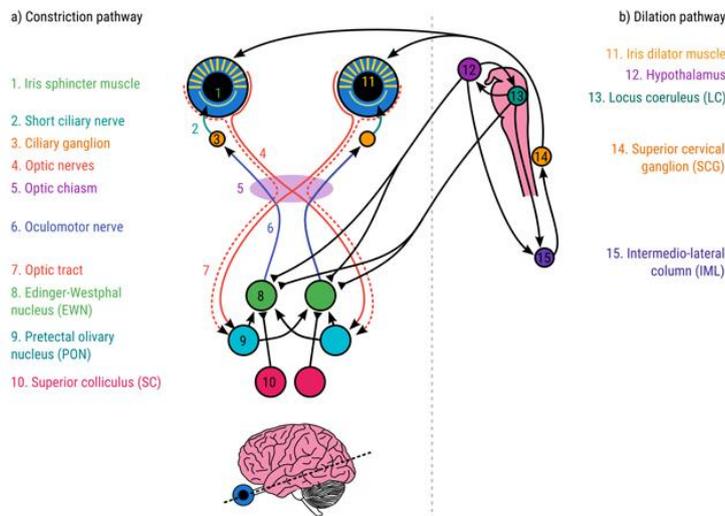
### 2.3.2 Vía de dilatación pupilar

Por otro lado, la dilatación de la pupila es controlada por el músculo dilatador del iris, que está compuesto por fibras radiales que, al contraerse, aumentan el tamaño de la pupila. Esta respuesta está mediada por el sistema nervioso simpático, que se activa en situaciones de alerta, excitación o estrés. La vía de dilatación también sigue un recorrido subcortical, comenzando en estructuras cerebrales como el hipotálamo y el locus coeruleus (LC), que están involucrados en la regulación de la vigilia y la excitación. La señal viaja desde el LC al cordón intermedio-lateral de la médula espinal, donde se conecta con el ganglio cervical superior (SCG), y finalmente llega al músculo dilatador del iris, provocando la dilatación pupilar [5]

### 2.3.3 Interacciones entre las vías de constricción y dilatación

A pesar de que las vías de constricción y dilatación pupilar se consideran principalmente distintas, interactúan entre sí de diversas maneras. Una de las interacciones más significativas ocurre a nivel del EWN, donde la actividad del LC puede inhibir la vía parasimpática de constricción, facilitando la dilatación pupilar. Esto sugiere que la dilatación de la pupila en respuesta a la excitación o el esfuerzo cognitivo puede depender de la inhibición simultánea de la vía parasimpática, en lugar de un incremento directo de la activación simpática [6]. Además, la luz tiene un doble efecto: activa directamente la vía de constricción y, al mismo tiempo, a través de la activación del núcleo supraquiasmático (SCN) en el hipotálamo, contribuye a la dilatación pupilar, en lo que se conoce como

una vía indirecta de dilatación [5] [7] [8] [9]



*Figura 1: Esquema de los circuitos de constricción y de dilatación pupilar  
Imagen obtenida de Mathot S. 2018*

## 2.4 Factores que afectan a la respuesta pupilar

El diámetro pupilar presenta una alta variabilidad entre individuos, incluso en igualdad de condiciones lumínicas. Los factores que influyen en el tamaño de la pupila pueden clasificarse en fisiológicos y externos. A continuación, se detallan ambos tipos de factores, basados en estudios previos.

### 2.4.1 Factores fisiológicos

1. Edad: La edad es uno de los factores fisiológicos que más influye en el diámetro pupilar. Es conocido que las personas mayores tienen un diámetro pupilar en reposo menor que los sujetos jóvenes, y la velocidad de dilatación y constricción de la pupila también disminuye con la edad [10]

2. Acomodación: La acomodación ocular afecta directamente al tamaño de la pupila. Durante el proceso de acomodación, la pupila se reduce, fenómeno conocido como reflejo de la visión [11]

3. Predominio del sistema nervioso: El equilibrio entre los sistemas simpático y parasimpático tiene un impacto directo en el diámetro pupilar. Durante la somnolencia, cuando predomina el sistema parasimpático, la pupila tiende a contraerse (miosis). En cambio, durante los estados de alerta o actividad, el sistema simpático domina, causando dilatación pupilar [12]

4. Carga cognitiva: La carga cognitiva a corto plazo influye en la respuesta pupilar y acomodativa durante tareas de visión próxima. En actividades que implicaban conflicto o cálculos continuos, se observó una dilatación pupilar, mientras que en aquellas que requerían razonamiento lógico, las fluctuaciones acomodativas son más pronunciadas. Estos hallazgos podrían estar relacionados con los modelos actuales sobre el estrés de la visión cercana y el desarrollo de la miopía. [13]

Se ha demostrado que factores no visuales, como el esfuerzo cognitivo, la carga de memoria y los cambios perceptivos, inducen la dilatación pupilar lo que probablemente constituye un subproducto de las variaciones en la actividad

del sistema simpático.

#### 2.4.2 Factores externos

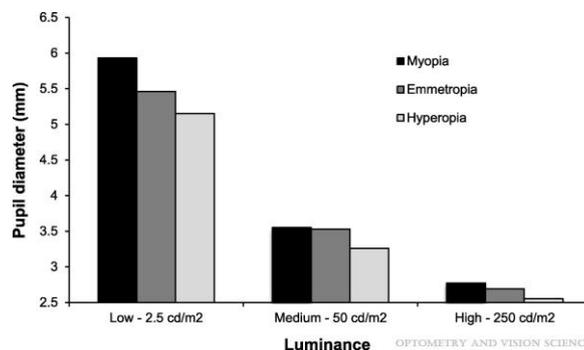
1. Luminancia: La luminancia del lugar observado es el factor externo más influyente sobre el diámetro pupilar. En condiciones mesópicas (luminancia entre 0,001 y 3 cd/m<sup>2</sup>), las pupilas grandes permiten que, entre más luz en el ojo, pero reducen la resolución espacial debido a las aberraciones de alto orden. En condiciones fotópicas (luminancia mayor de 3 cd/m<sup>2</sup>), las pupilas pequeñas (2,5 a 3 mm) ayudan a reducir las aberraciones, mejorando la calidad visual [14]

2. Estímulos lumínicos: La intensidad, longitud de onda y el tiempo de exposición de los estímulos lumínicos también afectan el diámetro pupilar. Además, la cantidad de luz que entra en el ojo es crucial para determinar su tamaño [14]

3. Fármacos y sustancias: El uso de fármacos como antidepresivos, opiáceos, barbitúricos, así como el consumo de drogas y alcohol, puede alterar la respuesta pupilar, afectando su dilatación o constricción [15]

4. Color del iris: el iris marrón muestra una mayor amplitud y velocidad en la contracción pupilar en comparación con el iris azul. Específicamente, el iris marrón tiene una mayor velocidad de contracción y una mayor velocidad de redilatación. Sin embargo, ambos tipos de iris presentan tiempos de contracción y latencia similares, así como un tamaño pupilar inicial casi igual. El color del iris no influye en el movimiento previo a la respuesta pupilar ni en el tamaño inicial de la pupila. [16]

5. Estado refractivo: El estado refractivo del ojo puede tener una influencia variable sobre el tamaño pupilar. Algunos estudios sugieren que los miopes tienen pupilas más grandes que los hipermétropes (sobre todo en condiciones de baja luminancia), aunque no todos los estudios están de acuerdo en esta relación. Las últimas investigaciones, que han aumentado los tamaños muestrales, analizan diferentes condiciones de luminancia en las que se mide la pupila. Se ha observado que en condiciones fotópicas la variación entre miopes e hipermétropes no es tan significativa como en condiciones escotópicas o incluso mesópicas donde la diferencia es más evidente) [17], [18] y [19]



[Figura 2: Diámetro de la pupila \(mm\) en función de la luminancia para cada grupo de error refractivo Imagen obtenida de Guillon, Michel, 2016.](#)

## **2.5 Otras técnicas de pupilometría: Pupilometría cromática**

La pupilometría cromática es una técnica que evalúa la respuesta pupilar a estímulos luminosos de diferentes colores (longitudes de onda), normalmente azul y rojo, para estudiar la función de distintas vías visuales y tipos de células retinianas, se centra especialmente en las ipRGCs.

Consiste en la estimulación del ojo con luces de distinta longitud de onda, principalmente azul 470 nm y rojo 640 nm, analizándose a continuación el comportamiento de la pupila ante estos estímulos midiendo distintos parámetros como el grado de constricción, el tiempo de recuperación a su estado basal etc. Estas respuestas se relacionan con receptores específicos; mientras que la luz azul, de cortas longitudes de onda, activa principalmente a las ipRGCs, que contienen melanopsina y están involucradas en funciones no visuales (ritmos circadianos, reflejo pupilar sostenido), la luz roja estimula el sistema de fotorreceptores conos y bastones, asociados a la visión diurna y nocturna.

Esta técnica se emplea para diferenciar entre tipos de disfunciones retinianas o neurológicas, así como para detectar glaucoma, neuropatías ópticas, enfermedades neurodegenerativas (como Alzheimer o Parkinson) y para evaluar el estado de las vías visuales no conscientes, como la que regula el ritmo circadiano o la respuesta pupilar sostenida post iluminación.

### 3. Aplicaciones clínicas

La pupilometría es una herramienta clínica valiosa que permite obtener información objetiva y cuantificable sobre el estado funcional del sistema nervioso autónomo, así como de la vía óptica y sus conexiones. Su uso clínico se ha extendido en áreas como neurología, oftalmología y, cada vez más, en optometría, dado que proporciona datos relevantes para la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas.

#### 3.1 Miopía.

El aumento de la miopía en la población general es un problema que está siendo investigado desde distintos puntos de vista. Uno de ellos analiza los distintos tipos de miopía, diferenciando entre miopía axial frente a la no axial; en este sentido, y relacionándolo con la pupilometría, Li et al 2023 han encontrado diferencias significativas en la actividad autónoma entre ojos con miopía axial y miopía no axial, lo que sugiere que la pupilometría podría utilizarse como un biomarcador en la clasificación y el manejo de la miopía en niños. Los resultados indican que los ojos con miopía axial presentan un diámetro pupilar significativamente mayor en condiciones de baja iluminación y una respuesta pupilar más lenta, tanto en la fase de contracción como de dilatación. Además, estos parámetros se correlacionaron con la longitud axial del ojo, lo que sugiere que una disminución en la actividad del sistema nervioso autónomo podría estar relacionada con la elongación axial característica de la miopía progresiva.

Desde una perspectiva clínica, estos hallazgos podrían tener implicaciones en la detección temprana y en el seguimiento de la progresión miópica. La medición de la respuesta pupilar mediante pupilometría automática podría ayudar a identificar a aquellos pacientes con mayor riesgo de elongación axial acelerada y, por lo tanto, facilitar la toma de decisiones en cuanto a estrategias de control de la miopía, como el uso de lentes oftálmicas específicas o tratamientos farmacológicos como la atropina en bajas concentraciones. [\[20\]](#)

#### 3.2 Interacción de la ametropía de las células ipRGCs y su respuesta pupilar

En el trabajo desarrollado por Chakraborty R et al. 2022 se analizó la sensibilidad pupilar a la luz azul de sujetos con desenfoque miópico e hipermetrópico. Encontraron que hay una mayor sensibilidad de la pupila a la luz azul en sujetos con desenfoque hipermetrópico y esto contribuye a la regulación del crecimiento ocular. [\[21\]](#)

Reidy et al. 2024 analizaron respuestas pupilares a estímulos de luz oscilante de colores rojo y azul en niños de entre 8 y 17 años, considerando también la estación del año y la longitud axial del ojo. Se observó que la luz azul provocaba una mayor constricción pupilar que la luz roja, especialmente cuando se aplicaban varios pulsos repetidos únicamente de color azul. Además, se encontró que, el escape o contracción fue más rápido con luz roja que con luz azul, lo que indica que los estímulos azules provocan una respuesta de contracción más sostenida. El escape fue más rápido con luz roja que con luz azul, lo que indica que los estímulos azules provocan una respuesta de contracción más sostenida.

También se observó que la velocidad con la que la pupila volvía a su tamaño normal tras la exposición (redilatación) era más lenta después de la luz azul que tras la luz roja. Estas diferencias en el comportamiento pupilar podrían estar relacionadas con una mayor activación de las ipRGCs, que contienen melanopsina y están implicadas en respuestas visuales a la luz.

Este estudio evidencia una asociación entre una menor longitud axial ocular en niños y alteraciones en las respuestas pupilares frente a estímulos repetidos de luz roja y azul durante los meses de verano. Estos hallazgos de deben posiblemente a una mayor liberación de dopamina retiniana inducida por la luz en la época estival. No obstante, no se puede descartar que esta relación también ocurra en invierno; sin embargo, los datos indican que se intensifica en verano debido a una mayor exposición lumínica. Este hallazgo podría aportar información relevante sobre los mecanismos implicados en el desarrollo de la miopía y los factores ambientales que influyen en su aparición.

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta. Por un lado, la muestra estuvo limitada a niños con ojos sanos, por lo que los resultados no pueden extrapolarse directamente a poblaciones con enfermedades visuales o sistémicas. Además, las mediciones se realizaron en condiciones específicas de laboratorio que podrían no reflejar completamente el comportamiento pupilar en situaciones naturales. También se señala que los efectos estacionales observados podrían estar influidos por variables no controladas, como la exposición previa a la luz o los hábitos de sueño. Estas limitaciones ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios adicionales con poblaciones más amplias y diversas, y bajo condiciones más representativas del entorno clínico real.[\[22\]](#)

### **3.3 Influencia de la pupilometría en la implantación de lentes intraoculares**

La implantación de lentes intraoculares (LIO) requiere una planificación individualizada que considere múltiples parámetros oculares y visuales. Entre ellos, la pupilometría ha adquirido un papel cada vez más relevante, especialmente en el contexto de la implantación de lentes multifocales y de foco extendido (EDoF), donde una correcta interacción entre el diámetro pupilar y la óptica de la lente es fundamental para obtener buenos resultados visuales y mayor grado de satisfacción.

El diámetro pupilar, medido bajo distintas condiciones de iluminación (fotópica, mesópica y escotópica), es uno de los factores clave a considerar antes de la cirugía. En condiciones mesópicas, un diámetro pupilar excesivamente grande puede generar fenómenos de disfotopsias, como halos o deslumbramientos, especialmente en pacientes con LIO multifocales. Por el contrario, una pupila muy pequeña puede limitar la eficacia de los anillos multifocales periféricos, reduciendo la visión cercana o intermedia.

Se considera que un diámetro pupilar mesópico entre 2.5 y 5 mm es adecuado para la mayoría de las LIO multifocales. Algunos fabricantes incluso proporcionan recomendaciones específicas según el diseño óptico de la lente. En el caso de lentes EDoF, la tolerancia es algo mayor, pero igualmente se recomienda una evaluación precisa del comportamiento pupilar.

Es muy importante tener en cuenta el pupilómetro que se está empleando para realizar las mediciones, ya que puede haber cierta discrepancia entre unos instrumentos y otros que pueden dar lugar a errores clínicamente significativos ya que podrían provocar una subestimación del diámetro pupilar y llevar a la selección de una LIO multifocal en un paciente cuya pupila no es adecuada para este tipo de lente, aumentando el riesgo de disfotopsias y disminuyendo la satisfacción postoperatoria.

Otro aspecto relevante es la relación entre el centro pupilar y el eje visual (ángulo kappa). En los casos en los que el ángulo kappa es grande y el centro pupilar se encuentra desalineado respecto al eje óptico de la lente, puede producirse un descentramiento funcional de la LIO, comprometiendo la calidad visual. Este fenómeno es más problemático en lentes multifocales o refractivas, cuya eficacia depende de una alineación precisa.

Además, como hemos señalado en apartados anteriores uno de los factores que más influye en la pupila es la edad, siendo habitual que personas mayores presenten una respuesta pupilar más lenta y un diámetro menor en todas las condiciones de luz. Este aspecto puede influir tanto en la selección de la LIO como en la expectativa visual del paciente, y debe ser considerado especialmente en casos donde se espera una alta demanda de visión cercana sin corrección adicional.

En la práctica clínica, la pupilometría permite identificar pacientes no candidatos a ciertas lentes multifocales o personalizar el tipo de lente según las características pupilares. Asimismo, se ha propuesto su uso para anticipar la aparición de disfotopsias o para guiar la elección de la zona óptica ideal durante el cálculo del lente.[\[23\]](#) [\[24\]](#) [\[25\]](#)

### **3.4 Cribado de enfermedades neurooftalmológicas**

En este sentido, la investigación es muy prometedora; se están desarrollando sistemas eficaces que identifiquen enfermedades neurooftalmológicas. Se ha desarrollado, como prototipo, un sistema portátil de pupilometría cromática dirigido específicamente a las ipRGCs, las cuales desempeñan un papel fundamental en funciones no visuales del sistema visual, como la regulación del ritmo circadiano, la sincronización del sueño y la respuesta pupilar a la luz.

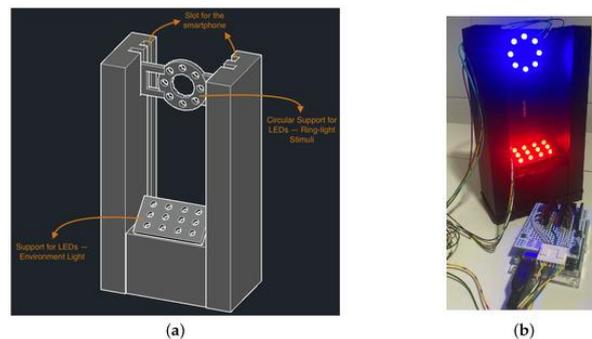
El sistema está compuesto por un soporte impreso en 3D que integra un teléfono inteligente y un sistema de iluminación controlado electrónicamente. La estimulación luminosa se dirige hacia la región perifoveal, lo que permite maximizar la activación de las ipRGCs. Se midió la respuesta pupilar post-iluminación (PIPR) en dos niveles de intensidad de luz LED a los 6 segundos, encontrándose una diferencia media del 9,5 % entre los estímulos de luz azul y roja, en consonancia con los resultados obtenidos previamente con dispositivos clínicos de campo completo.

Desde el punto de vista clínico, este sistema tiene el potencial de convertirse en una herramienta útil para el estudio funcional de las ipRGCs, especialmente en el cribado y seguimiento de enfermedades neurodegenerativas, alteraciones del sueño o disfunciones del sistema nervioso autónomo.

Los autores del estudio proponen que, en investigaciones futuras, se empleen LED de menor intensidad pero capaces de estimular adecuadamente las ipRGCs, ya que esto proporcionaría mayor confort al paciente sin comprometer la eficacia del estímulo. También sugieren ampliar la muestra de sujetos sanos con el fin de aumentar la validez y fiabilidad del sistema en el grupo control.

Asimismo, se plantea la posibilidad de optimizar el diseño del sistema de iluminación, en particular el uso de iluminantes con forma anular. Para ello, sería necesario realizar pruebas con distinta cantidad de LED para determinar el número óptimo y su distribución en el soporte. Además, se proponen experimentos adicionales que permitan refinar el protocolo de adquisición, como la evaluación de diferentes duraciones de estímulo, lo cual sería clave para lograr un sistema más estable y preciso.

Finalmente, una vez validado en individuos sanos, el siguiente paso consistiría en aplicar este sistema a pacientes con patologías neuro-oftalmológicas, como el glaucoma. Si los resultados son favorables, el dispositivo podría consolidarse como una herramienta de cribado accesible, portátil y eficaz para este tipo de enfermedades. [26]



*Figura 3. a) Planos tridimensionales del soporte para el smartphone y del sistema de iluminación del sistema propuesto. (b) Sistema desarrollado con soporte impreso en 3D y los LED de luz anular y luz ambiental encendidos. .Imagen obtenida de Ana Isabel Sousa 2024, Michel, 2016.*

### 3.5 Glaucoma

Utilizando únicamente tres características pupilométricas (constricción máxima a la luz azul, el PIPR a los 6 segundos y el área bajo la curva del PIPR), el modelo de regresión empleado fue capaz de discriminar ojos glaucomatosos de no glaucomatosos con una alta sensibilidad y especificidad. Este hallazgo refuerza el potencial clínico de la pupilometría cromática portátil (HCP) como método de apoyo en el diagnóstico del glaucoma, especialmente en pacientes con miopía alta, donde las pruebas estructurales convencionales como la tomografía óptica de coherencia (OCT) pueden verse afectadas por los cambios morfológicos típicos de estos ojos.

En este sentido, también se resalta que la miopía alta puede presentar adelgazamiento de la capa de fibras nerviosas de la retina incluso sin la presencia de glaucoma, lo que puede inducir a errores diagnósticos. Por tanto, contar con una prueba funcional adicional, objetiva y no invasiva como la HCP, podría mejorar la precisión diagnóstica en esta población compleja.

Los autores señalan varias limitaciones en su investigación. En primer lugar, los participantes con miopía alta sin glaucoma no presentaban alteraciones en el campo visual, por lo que no es posible extrapolar los resultados a casos de miopía alta con pérdida funcional. Además, el estudio se realizó en un entorno clínico con una alta prevalencia de glaucoma, lo cual puede influir en los valores de rendimiento diagnóstico de la prueba si se extrapolan a poblaciones generales. Por último, el tamaño muestral fue relativamente reducido, por lo que los resultados deben validarse en estudios con mayor número de participantes.

Desde una perspectiva optométrica, estos resultados abren la puerta a la utilización de la HCP no solo como herramienta de investigación, sino también como prueba de cribado en consulta clínica. Su bajo coste, portabilidad y facilidad de uso hacen de esta técnica una alternativa prometedora, especialmente en contextos donde la fiabilidad de pruebas estructurales como la OCT puede estar comprometida por la elongación axial y otras particularidades de los ojos miopes. [\[27\]](#)

### **3.6 Diabetes Mellitus (DM)**

La DM puede afectar la función pupilar desde sus fases más tempranas, especialmente por el daño de algunas fibras nerviosas pequeñas. En pacientes con neuropatía autónoma se observan alteraciones en la velocidad de constricción pupilar, en la fase inicial de dilatación y en la latencia. Incluso sin signos claros de neuropatía, los diabéticos de larga evolución suelen tener pupilas más pequeñas que los sujetos sanos.

En el caso de pacientes con DM con tratamiento se pueden encontrar tanto miosis como midriasis, en función de la sustancia empleada en el tratamiento.

Así, estudios con agentes farmacológicos (pilocarpina, metacolina y cocaína) han mostrado que estas alteraciones se deben principalmente al daño parasimpático, que ocurre antes que el simpático o el cardiovascular. La reducción del tamaño pupilar basal y la mayor respuesta a la pilocarpina indican una hipersensibilidad a la acetilcolina por pérdida crónica de inervación parasimpática.

Sin embargo, en casos de diabetes crónica, también puede haber midriasis exagerada tras fármacos simpaticomiméticos y una respuesta fotopupilar reducida. En pacientes insulín dependientes, el grado de daño parasimpático se relaciona con el tiempo de evolución de la enfermedad y el control glucémico. [\[1\]](#)

### **3.7 Trastornos del sueño y otras patologías relacionadas con la salud circadiana.**

En personas con hipersomnia, narcolepsia o apnea del sueño se han observado oscilaciones pupilares anómalas en oscuridad, sin cambios en el diámetro basal. Estas alteraciones se asocian principalmente a hipoxia o hipercapnia, y no a disfunciones autónomas primarias. Para evaluarlas se ha propuesto el índice de inquietud pupilar, que mide la cantidad de oscilaciones en un periodo de tiempo y se relaciona con el nivel de alerta del individuo, de forma

similar al test de latencia múltiple del sueño.

En estados de alerta, la pupila se mantiene dilatada y oscila a 1 Hz con una amplitud de 0.3mm. En situaciones de fatiga o somnolencia, estas oscilaciones se vuelven más amplias, lentas y con reducción progresiva del diámetro (ondas de somnolencia), reflejando la privación del sueño. Esto puede ser útil para detectar fatiga en profesiones críticas como pilotos o conductores.

Aunque la pupilometría es una prueba sencilla, económica y no invasiva, su sensibilidad diagnóstica es limitada y no reemplaza a otras más tradicionales como la polisomnografía o al test de latencia múltiple. Aun así, algunos autores promueven su uso como herramienta complementaria por ser muy práctica.[\[1\]](#)

En el estudio, Chan et al 2025 tomaron una población de adultos mayores sanos, sin signos de deterioro cognitivo ni patología ocular conocida, con el objetivo de analizar la relación entre la PIPR y ciertos marcadores fisiológicos del ritmo circadiano. Los resultados mostraron que un PIPR atenuado se correlacionaba con una menor amplitud en la producción urinaria de 6-sulfatoximetatonina (un metabolito de la melatonina) y con una mayor fragmentación en los patrones de actividad-reposo evaluados mediante actigrafía. Estas asociaciones se mantuvieron incluso tras ajustar variables como la edad, la duración del día, el momento del examen y la exposición previa a la luz.

Estos hallazgos sugieren que una PIPR reducida podría estar indicando una disfunción del sistema circadiano en personas mayores, lo que abre la puerta a futuras intervenciones. Aunque aún se necesitan más estudios para confirmar si una mayor exposición a la luz podría aumentar la amplitud circadiana en estos individuos, la evidencia apunta a un posible enfoque terapéutico no invasivo y fácilmente implementable.

Además, ya se han observado efectos beneficiosos de la fototerapia en poblaciones con enfermedades neurodegenerativas, como la enfermedad de Parkinson o el Alzheimer. En el caso del Parkinson, se ha demostrado la presencia de degeneración retiniana y pérdida de ipRGCs. La exposición a luz brillante dos veces al día ha mostrado beneficios no solo en la calidad del sueño, sino también en la mejora de síntomas motores.

De forma similar, en pacientes con Alzheimer se ha evidenciado también neurodegeneración retiniana y pérdida de ipRGCs, lo que se asocia con una mayor fragmentación y menor amplitud en los ritmos de actividad-reposo. En estos pacientes, la terapia con luz brillante ha demostrado ser eficaz para mejorar tanto los trastornos del sueño como los síntomas afectivos, especialmente en fases leves o moderadas de la enfermedad.

A partir de estos resultados, se plantea que en un futuro cercano las clínicas de medicina del sueño y cronobiología podrían incorporar la pupilometría como prueba rutinaria para evaluar la función circadiana. Esto permitiría identificar a aquellos individuos que podrían beneficiarse especialmente de intervenciones lumínicas personalizadas, con el fin de mejorar su sueño y salud circadiana general.[\[28\]](#) [\[29\]](#) [\[30\]](#) [\[31\]](#) [\[32\]](#)

## 4. Discusión y conclusiones.

En esta revisión bibliográfica se ha podido constatar que la pupilometría es una herramienta versátil con implicaciones tanto clínicas como de investigación. Desde su capacidad para reflejar el equilibrio autónomo hasta su utilidad en la selección de lentes intraoculares, se observa que la medición del diámetro pupilar va mucho más allá de un simple parámetro anatómico.

Se ha demostrado que factores como la edad, el estado refractivo, el tipo de iluminación y la carga cognitiva, entre otros, influyen en el comportamiento pupilar. Estos hallazgos tienen una repercusión directa en la práctica optométrica, especialmente en contextos como la cirugía refractiva y el cribado de enfermedades neurodegenerativas.

### 6.1 Aplicaciones clínicas y relevancia optométrica

Para el optometrista, como profesional sanitario de atención visual primaria, la pupilometría representa una herramienta potencialmente valiosa en el ámbito clínico. Su uso puede contribuir a la detección precoz de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o el Parkinson, mediante el análisis de patrones pupilares anómalos asociados a disfunciones del sistema nervioso autónomo.

Además, recientes investigaciones sugieren su utilidad para distinguir entre miopía axial y no axial, lo cual resulta fundamental en la práctica clínica para establecer estrategias eficaces de control de la progresión miópica, especialmente en la población infantil.

Uno de los aspectos más relevantes desde el punto de vista optométrico es el papel de la pupilometría en la elección de las LIOs. Las variaciones del tamaño pupilar bajo diferentes condiciones de iluminación pueden condicionar directamente el éxito visual, especialmente en lentes multifocales o difractivas, donde una discrepancia entre la zona óptica y el diámetro pupilar puede comprometer la calidad visual percibida por el paciente.

En patologías sistémicas como la diabetes mellitus o los trastornos del sueño, la pupilometría también ha demostrado su utilidad para evaluar la afectación del sistema nervioso autónomo de forma objetiva y no invasiva, añadiendo valor al rol del optometrista como profesional que puede detectar signos tempranos de enfermedades con manifestaciones visuales.

Gracias a la formación en óptica física y fisiología ocular, el optometrista se encuentra en una posición privilegiada para comprender el funcionamiento técnico de los dispositivos pupilométricos, interpretar sus resultados de forma crítica y aplicar esa información de manera integrada en la evaluación visual del paciente. El desarrollo y accesibilidad de dispositivos portátiles ha ampliado todavía más el abanico de posibilidades para su implementación, permitiendo su uso incluso en entornos de atención primaria.

En este contexto, la incorporación de la pupilometría en la práctica clínica optométrica no solo permitiría ampliar las capacidades diagnósticas del profesional, sino también fortalecer su papel como agente clave en la promoción de la salud visual y sistémica, desde una perspectiva preventiva, interdisciplinar y centrada en el paciente.

## Limitaciones

A pesar de sus múltiples beneficios, el uso de la pupilometría presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la falta de estandarización entre dispositivos puede generar discrepancias entre las mediciones, como se ha demostrado en los estudios comparativos entre distintos pupilómetros. Además, no todos los estudios analizados se han realizado bajo las mismas condiciones de laboratorio, por lo tanto, hay algunos resultados bastante dispares entre sí. [\[33\]](#)

Otro aspecto limitante es la escasa representación de poblaciones clínicas en algunos estudios, lo que restringe la generalización de los resultados. Finalmente, la respuesta pupilar puede estar influida por factores difíciles de controlar, como la fatiga, la exposición previa a la luz o el estado emocional del paciente.

## Investigación futura

En el ámbito optométrico, futuras investigaciones podrían centrarse en establecer protocolos estandarizados de medición pupilar, que permitan mejorar la precisión en la selección de lentes intraoculares. También sería relevante profundizar en la relación entre pupilometría, miopía y el uso de lentes de control miópico.

Los avances recientes en dispositivos portátiles y técnicas de estimulación cromática abren nuevas líneas de investigación. Será especialmente interesante evaluar la respuesta de las ipRGCs en pacientes con glaucoma, enfermedad de Alzheimer o Parkinson, con el fin de explorar la pupilometría como herramienta de cribado precoz.

## Bibliografía

1. León-Sarmiento FE, Prada DG, Gutiérrez C. Pupila, pupilometría y pupilografía. *Acta Neurol Colomb* [Internet]. 2008 [citado el 23 de mayo de 2025];24(4):188–97. Disponible en: <https://actaneurolologica.com/index.php/anc/article/view/1571>
2. Sirois S, Brisson J. Pupillometry. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*. 2014;5(6):679–692.
3. Kardon R. Pupillary light reflex. *Curr Opin Ophthalmol*. 2005;16(6):351–355.
4. McDougal DH, Gamlin PD. Pupillary control pathways. In: Masland RH, Albright TD, editors. *The Senses: A Comprehensive Reference*. Vol. 1. San Diego: Academic Press; 2008. p. 521–536.
5. Wang CA, Munoz DP. A circuit for pupil orienting responses: implications for cognitive modulation of pupil size. *Curr Opin Neurobiol*. 2015;33:134–140. doi:10.1016/j.conb.2015.03.018
6. Mathot S. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function. *Journal of Cognition*. 2018;1(1):16. DOI: <https://doi.org/10.5334/joc.18>
7. McDougal DH, Gamlin PD. The influence of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells on the spectral sensitivity and response dynamics of the human pupillary light reflex. *Vision Res*. 2010;50(1):72–87.
8. Samuels ER, Szabadi E. Functional neuroanatomy of the noradrenergic locus coeruleus: its roles in the regulation of arousal and autonomic function part II: physiological and pharmacological manipulations and pathological alterations of locus coeruleus activity in humans. *Curr Neuropharmacol*. 2008;6(3):254–285.
9. Steinhauer SR, Siegle GJ, Condray R, Pless M. Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *Int J Psychophysiol*. 2004;52(1):77–86. doi:10.1016/j.ijpsycho.2003.12.005
10. P. BITSIOS, R. PRETTYMAN, E. SZABADI, Changes in Autonomic Function with Age: A Study of Pupillary Kinetics in Healthy Young and Old People, *Age and Ageing*, Volume 25, Issue 6, November 1996, Pages 432–438, <https://doi.org/10.1093/ageing/25.6.432>
11. Martín R, Vecilla G. *Manual de Optometría*. 1 a edición. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana. 2010.
12. Yu Y, Koss MC. Studies of alpha-adrenoceptor antagonists on sympathetic mydriasis in rabbits. *J Ocul Pharmacol Ther* [Internet]. 2003;19(3):255–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1089/108076803321908374>
13. Mihelčič M, Podlesek A. Cognitive workload affects ocular accommodation and pupillary response. *J Optom* [Internet]. 2023;16(2):107–15. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2022.05.001>
14. Ajasse S, Benosman RB, Lorceau J. Effects of pupillary responses to luminance and attention on visual spatial discrimination. *J Vis* [Internet]. 2018;18(11):6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1167/18.11.6>
15. Rollins MD, Feiner JR, Lee JM, Shah S, Larson M. Pupillary effects of high-dose opioid quantified with infrared pupillometry. *Anesthesiology* [Internet]. 2014;121(5):1037–44. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/ALN.0000000000000384>
16. Miller ME, McHugh JR. The influence of iris color on the pupillary light reflex. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1998;36(8):567–570
17. Hirsch MJ, Weymouth FW. Notes on ametropia: a further analysis of the relationship between refractive error and pupil size. *Am J Optom Arch Am Acad Optom*. 1947;24(12):601–608. Lippincott
18. Guillon M, Dumbleton K, Theodoratos P, Gobbe M, Wooley CB, Moody K. The effects of age, refractive status, and luminance on pupil size. *Optom Vis Sci*. 2016;93(9):1093–1100. [bibsonomy.org+7PubMed+7ResearchGate+7](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2711100/)
19. Winn B, Whitaker D, Elliott DB, Phillips NJ. Factors affecting light-adapted pupil size

in normal human subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1994;35(3):1132–1137.

20.Li M, Xu Q, Yan X, Wang J, Xiang Y. Relationship between autonomic nervous system activity and axial length in children. *Med Sci Monit [Internet].* 2023;29:e939451. Available from: <http://dx.doi.org/10.12659/MSM.939451>

21.Chakraborty R, Collins MJ, Kricancic H, Moderiano D, Davis B, Alonso-Caneiro D, et al. The intrinsically photosensitive retinal ganglion cell (ipRGC) mediated pupil response in young adult humans with refractive errors. *J Optom [Internet].* 2022;15(2):112–21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2020.12.001>

22.Reidy MG, Hartwick ATE, Mutti DO. The association between pupillary responses and axial length in children differs as a function of season. *Sci Rep [Internet].* 2024 [cited 2025 Apr 21];14(1):598. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-51199-0>

23.Fang X, Xue W, Yu C, Tao J, Wang Y. Correlation between pupillary size and depth of focus after the implantation of extended depth of focus intraocular lenses. *Arbeitsphysiologie [Internet].* 2024;262(12):3897–903. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00417-024-06528-4>

24.Romano V, Madrid-Costa D, Alfonso JF, Alio J, Allan B, Angunawela R, et al. Recommendation for presbyopia-correcting intraocular lenses: A Delphi consensus statement by the ESASO study group. *Am J Ophthalmol [Internet].* 2023;253:169–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajo.2023.05.002>

25.Fernández J, Burguera N, Rocha-de-Lossada C, Rodríguez-Calvo-de-Mora M, Rodríguez-Vallejo M. Agreement between two devices for measuring pupil diameter in patients implanted with multifocal intraocular lenses. *Vision (Basel) [Internet].* 2023;7(2). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/vision7020040>

26. Sousa AI, Marques-Neves C, Vieira PM. Development of a smartphone-based system for intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells targeted chromatic pupillometry. *Bioengineering (Basel) [Internet].* 2024;11(3):267. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/bioengineering11030267>

27. Finkelstein MT, Nongpiur ME, Husain R, Perera S, Baskaran M, Wong TT, et al. Handheld chromatic pupillometry can reliably detect functional glaucomatous damage in eyes with high myopia. *Br J Ophthalmol [Internet].* 2024 [cited 2025 May 16];108(6):818–25. Available from: <https://bjoo.bmj.com/content/108/6/818>

28.Chan JWY, Li CT, Chau SWH, et al. Attenuated melanopsin-mediated post-illumination pupillary response (PIPR) is associated with reduced actigraphic amplitude and mesor in older adults. *Sleep.* 2025;48(2):1–11. doi: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsae239>

29.Joyce DS, Feigl B, Kerr G, Roeder L, Zele AJ. Melanopsin-mediated pupil function is impaired in Parkinson's disease. *Sci Rep [Internet].* 2018 [cited 2025 Apr 24];8(1):7796. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-26078-0>

30.Videnovic A, Klerman EB, Wang W, Marconi A, Kuhta T, Zee PC. Timed Light Therapy for Sleep and Daytime Sleepiness Associated With Parkinson Disease: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurol.* 2017;74(4):411–418. doi:10.1001/jamaneurol.2016.5192

31.La Morgia C, Ross-Cisneros FN, Koronyo Y, Hannibal J, Gallassi R, Cantalupo G, et al. Melanopsin retinal ganglion cell loss in Alzheimer disease: MRGC Loss in AD. *Ann Neurol [Internet].* 2016;79(1):90–109. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/ana.24548>

32. Sekiguchi H, Iritani S, Fujita K. Bright light therapy for sleep disturbance in dementia is most effective for mild to moderate Alzheimer's type dementia: a case series. *Psychogeriatrics [Internet].* 2017;17(5):275–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/psyg.12233>

33.McDonnell C, Rolincova M, Venter J. Comparison of measurement of pupil sizes among the colvard pupillometer, procyon pupillometer, and NIDEK OPD-scan. *J Refract Surg [Internet].* 2006;22(9 Suppl):S1027-30. Available from: <http://dx.doi.org/10.3928/1081-597X-20061102-04>