

Parámetros de Influencia en el Cálculo y la Evaluación de la Sensibilidad al Contraste

Parameters of Influence on the Calculation and Evaluation of Contrast Sensitivity

Aser Cebollada Martínez, MSc^{1,2*}, Laura Remón Martín, PhD², Sara Perches Barrena, PhD², Carla Sierra Santamaria, GOO³, Marta Sancho Larraz, MSc², Blanca Fernández González, MSc⁴, Patricia Ponce Cabrera, MSc⁵, Kevin Moldvai, GOO⁶

1: Biotech Vision SLP

2: Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza

3: Multiópticas Puerto Venecia, Zaragoza

4: Ópticas Delgado, Sevilla

5: General Óptica, Sevilla

6: Eroski ópticas, San Sebastián

*asercbolladamtniez@hotmail.com

Recibido: 9 de enero del 2024

Aceptado: 2 de marzo del 2024

Publicado: 9 de junio del 2024

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflicto de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: El objetivo principal del estudio es comparar la curva de la Sensibilidad al Contraste (SC) obtenida con tres dispositivos diferentes en pacientes sanos. Dos de los instrumentos empleados utilizan redes sinusoidales como estímulo, mientras que uno de ellos emplea como estímulo letras.

Propósito: En el presente estudio se comparó la curva de SC obtenida con tres dispositivos diferentes, en pacientes sanos.

Material y Métodos: La muestra consistió en 72 ojos emétopes o con defecto refractivo previamente corregido, de los cuales el 44,45% fueron hombres y el 55,55% fueron mujeres. La edad media de los sujetos fue de $24,67 \pm 2,58$ años. Se replicaron las condiciones de medida para todos los sujetos.

Resultados: Los resultados obtenidos indican la presencia de diferencias significativas en la medida de SC obtenida mediante el CC-100XP® respecto a las medidas obtenidas con el OptoMeP® y el Optotab®. No se encontraron diferencias significativas entre las medidas recogidas con el OptoMeP® con respecto al Optotab®. Los tres instrumentos obtuvieron una buena repetibilidad.

Conclusiones: Los tres test proporcionan medidas fiables y reproducibles de SC. Aquellos que emplean redes sinusoidales, dan valores mayores de SC que aquellos que emplean letras. El Topcon CC-100XP sobreestima los valores de SC respecto a los otros dos instrumentos.

Palabras clave: Sensibilidad al Contraste, repetibilidad, redes sinusoidales.

Relevance: The main objective of the study is to compare the Contrast Sensitivity (CS) curve obtained with three different devices in healthy patients. Two of the instruments used employ sinusoidal gratings as stimuli, while one of them uses letters as stimuli.

Purpose: This study aimed to compare the CS curve obtained with three different devices in healthy patients.

Methods: The sample consisted of 72 emmetropic or previously corrected refractive error eyes, of which 44.45% were male and 55.55% were female. The mean age of the subjects was 24.67 ± 2.58 years. Measurement conditions were replicated for all subjects.

Results: The results indicate significant differences in CS measurements obtained using the CC-100XP® compared to measurements obtained with the OptoMeP® and Optotab®. No significant differences were found between measurements collected with the OptoMeP® and the Optotab®. All three instruments showed good repeatability.

Conclusions: The three tests provide reliable and reproducible CS measurements. Those employing sinusoidal gratings yield higher CS values than those using letters. The Topcon CC-100XP overestimates CS values compared to the other two instruments.

Keywords: sinusoidal networks, Repeatability, Contrast Sensitivity.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la principal forma de cuantificar la calidad de visión ha sido a través de la Agudeza Visual (AV). Esta es la capacidad del sistema visual para diferenciar dos puntos próximos entre sí y separados por un ángulo determinado, se trata de una prueba muy útil para identificar ambliopías, errores refractivos, así como para valorar el éxito de una operación de cirugía refractiva. (1)

Existen diferentes pruebas para evaluar la AV del paciente, caracterizados por presentar un contraste máximo. Sin embargo, en la vida cotidiana no se observa constantemente estímulos de máximo contraste por lo que se necesita de otras pruebas para conocer mejor la calidad de visión los pacientes.

La Sensibilidad al Contraste (SC) puede definirse como la habilidad del sistema visual para discernir un objeto con detalle sobre un fondo,(2)(3) así como la capacidad del sistema visual de distinguir diferencias relativas en la intensidad de la luz, (4)(5) cuyo umbral se define como la menor cantidad de contraste necesaria para lograr esta distinción. (6)

Para determinarla, se miden los umbrales de contraste de distintas frecuencias espaciales a través de redes sinusoidales o letras de contraste variado, es decir, que para cada frecuencia espacial (ciclos/grado (cpg)) se determina el mínimo contraste necesario que ha de tener la red o letra para que el observador sea capaz de verla, este se denominará contraste umbral. Para calcular el valor SC se realiza la inversa del mínimo valor de contraste necesario para poder detectar una red de una determinada frecuencia: $SC=1/C$. A partir de esa información se puede obtener la función de sensibilidad al contraste (CSF). En la figura 1 se muestra una gráfica típica de Sensibilidad al Contraste frente a la Frecuencia (CSF). Se observa que el sistema visual tiene una curva tipo pasa-banda con mayor sensibilidad para las frecuencias de 3-5cpg, lo que significa que las

frecuencias intermedias requieren de menores niveles de contraste que las frecuencias altas o bajas para ser detectadas.

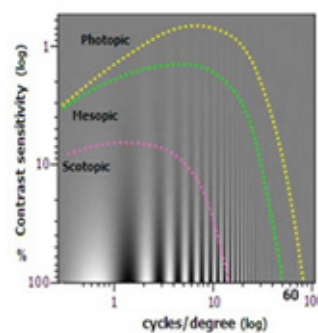


Figura 1. Curva de sensibilidad al contraste (expresada en unidades logarítmicas) para diferentes frecuencias espaciales. En la figura se muestra la curva de sensibilidad para diferentes condiciones de iluminación. (7)

Las características de los optotipos utilizados para la medida de la SC son las que se describen a continuación:

Frecuencia espacial: número de ciclos por grado de ángulo visual. Se habla de alta frecuencia espacial cuando en un grado entran un gran número de bandas y la red es delgada. Cuando la red se ensancha, en un grado entran menos bandas y por tanto su frecuencia espacial es menor. En el caso de las letras, las letras pequeñas se corresponden con las frecuencias altas y las letras grandes con las bajas. (8)

Contraste: Proporciona un número adimensional entre 0 y 1. Cuanto mayor sea el contraste, mayor será la diferencia de luminancias y mejor se distinguirá el objeto respecto al fondo. (9) Existen dos maneras de calcular el contraste dependiendo del tipo de optotipo utilizado.

En el caso de redes sinusoidales se calcula utilizando la fórmula de Michelson que define el contraste utilizando los valores límite de luminancia del estímulo: (9)(10)

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

Lmax: luminancia máxima; Lmin: luminancia mínima.

En el caso de optotipos de letras se calcula utilizando la fórmula de Weber. Se define como la diferencia de luminancia de un objeto y su fondo, dividido por el brillo de ambos: (9)

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{fondo}}$$

Lmax: luminancia máxima; Lmin: luminancia mínima; Lfondo: luminancia del fondo. (11)

Fase: La fase se corresponde con el desplazamiento de una onda respecto a otra. Sólo es importante en el caso de optotipos con rejillas sinusoidales. (9)

Orientación: En el caso de optotipos con redes sinusoidales, estas se pueden presentar con diferentes orientaciones con respecto a la horizontal. Se detectan mejor las orientaciones vertical y horizontal. (11) (12)

Factores de influencia en la medida de la SC:

Existen diversos factores que influyen en la medida de la SC, entre ellos destacan:

Edad: Se produce una pérdida gradual de la SC conforme se envejece, debida a la disminución de iluminación que se produce en el plano retiniano como consecuencia del envejecimiento de estructuras oculares tales como la córnea y el cristalino y debido a la miosis senil. La edad produce una pérdida de SC especialmente notable en altas frecuencias. Derfeldt et ál., (11) estudiaron la SC en función de la edad, en rangos de: Grupo 1: 6-10 años, Grupo 2: 20-40 años y Grupo 3: 60-70 años, con ojos sanos y visión normal (AV Snellen=1,0). En la figura 2 se muestra la curva de SC en diferentes condiciones de medida (fotópicas y escotópicas) y para diferentes grupos de edad de manera binocular. Se observa que la CSF está influenciada por la edad. Se encontró que para todos los grupos hubo una atenuación típica cercana a los 3-5 cpd, mientras que el contraste binocular fue mayor que el monocular. No se encontraron diferencias significativas entre el grupo de jóvenes y de edad media, mientras que los mayores de 60 años presentaron una SC significativamente menor que los jóvenes en frecuencias medias y altas.

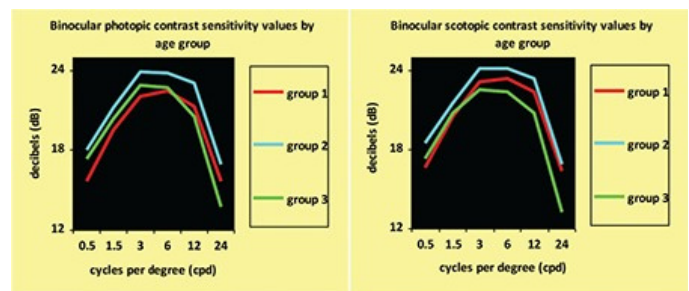


Figura 2. Curva de CSF binocular para diferentes grupos de edad en distintas condiciones de medida (11)

Desenfoque: Un error refractivo no compensado produce una borrosidad en la imagen resultante, lo que produce una fuerte pérdida en las frecuencias altas e intermedias. (13)

Diámetro de pupila: Cuanto mayor sea el diámetro pupilar, mayor será la aberración esférica del ojo, provocando una disminución de la SC en las frecuencias altas e intermedias. (13)

Patologías oculares: Existen varias patologías oculares que alteran la SC en determinadas frecuencias espaciales medias / altas, las cuales también se ven afectadas en pacientes operados de cirugías refractivas. (14) En la figura 3 se muestra la curva de SC obtenida por pacientes con diferentes patologías oculares, así como en pacientes con ojos sanos. Se observa que todas ellas producen una disminución generalizada de la SC, especialmente en frecuencias medias / altas. (15)

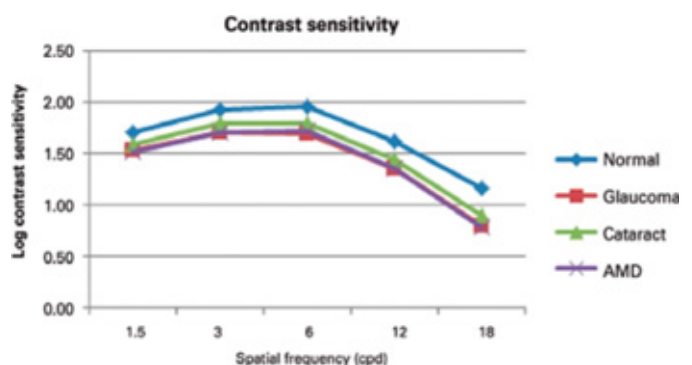


Figura 3. Gráfica de CSF para diferentes patologías oculares (15)

Luminancia: Cuanto mayor es la luminancia, mejores resultados de CSF se obtendrán. (16)(17) Para valores de luminancia bajos, los valores de SC se verán disminuidos, especialmente para frecuencias espaciales medias / altas.

OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es comparar la

curva de la sensibilidad al contraste obtenida con tres dispositivos diferentes, en pacientes sanos. En concreto: el OptoMeP® de SmarThing4vision™, el cual utiliza letras como estímulo, el OptoTab® de SmarThings4vision™ y el CC-100XP® de Topcon™, los cuales emplean redes sinusoidales como estímulo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Selección de la muestra

Se escogió una muestra de 36 personas (72 ojos), emétopes o con defecto refractivo previamente corregido, de los cuales 16 fueron hombres (44,45%) y 20 fueron mujeres (55,55%), con edades comprendidas entre los 19 y los 33 años (edad media: $24,76 \pm 2,58$ años) y previamente a realizar las pruebas firmaron un consentimiento informado para formar parte del estudio. En 9 personas (18 ojos) se les repitieron las pruebas en dos días diferentes para comprobar la repetitividad de los tres instrumentos.

Criterios de inclusión:

- Personas cuya edad comprenda entre los 18 y los 40 años.
- Pacientes con valores de AV decimal de Snellen de 0.9 o superior con compensación.

Criterios de exclusión:

- Pacientes operados de cirugía refractiva.
- Pacientes con patologías oculares y/o sistémicas que pudiesen afectar al objetivo principal del estudio.

Condiciones de medida

Se replicaron las mismas condiciones de medida para todos los sujetos. Las medidas se tomaron con luz indirecta y en condiciones mesópicas, y se siguió el mismo orden de pruebas para todos los pacientes con el objetivo de no influir en la toma de medidas. Todas las pruebas fueron evaluadas por el mismo examinador y realizadas en el mismo gabinete. A continuación, se describen las pruebas realizadas.

- 1º Realización de la refracción subjetiva.
- 2º Toma de AV monocular con compensación.
- 3º Toma de AV binocular con compensación.
- 4º Medida de la CSF.

El orden de los aparatos usado para tomar las medidas fue: OptoMeP®, OptoTab® y CC-100XP®.

1º) OptoMeP®

El OptoMeP® es un sistema de evaluación de la visión, destinado a la evaluación de screenings en medicina laboral, preventiva y/o reconocimientos médicos. Permite evaluar distintos parámetros entre los que se incluye la AV y la SC. Se pueden modificar distintos

parámetros para personalizarlos a cada paciente, según sus condiciones y requerimientos.

Para realizar la prueba, se dispone de una pantalla de visualización y de una Tablet de manejo. En primer lugar, se evalúa la AV, para ello colocando al paciente a la distancia correspondiente (3 metros), primero le ocluímos el OI y posteriormente el OD. En la figura 4 se muestra el estímulo que ve el paciente.

Posteriormente se procede a la medida de la SC, para ello a la misma distancia de trabajo, el paciente verá lo que se muestra en la figura 5, es decir, la letra E de Snellen en diferentes orientaciones, y con distintos niveles de contraste y distintas frecuencias espaciales. El paciente indicará en qué dirección las ve y se marcará el 1er fallo que tenga, para posteriormente pasar a la siguiente pantalla que evaluará la SC para una nueva frecuencia espacial.

En la figura 6, se muestra una comparativa de los pasos de SC en unidades logarítmicas que evalúan el OptoMep® (círculos azules), el Optotab® (cuadrados rojos) y el CC-100XP® (rombos verdes), para las frecuencias de 1,5 cpg, 3cpg, 6cpg, 12cpg y 18cpg.



Figura 4. Test de AV en OptoMeP®



Figura 5. Test de SC en OptoMeP®

2º) OptoTab®

Se coloca al paciente sentado a 6 metros, se le ocluye primero el OI y posteriormente el OD. El OptoTab evalúa 5 frecuencias espaciales distintas (1,5, 3, 6, 12, 18 cpg) y cada ciclo de cinco frecuencias se repite tres veces. Para cada frecuencia se evalúan nueve valores de SC comenzando desde los valores más altos y decreciendo

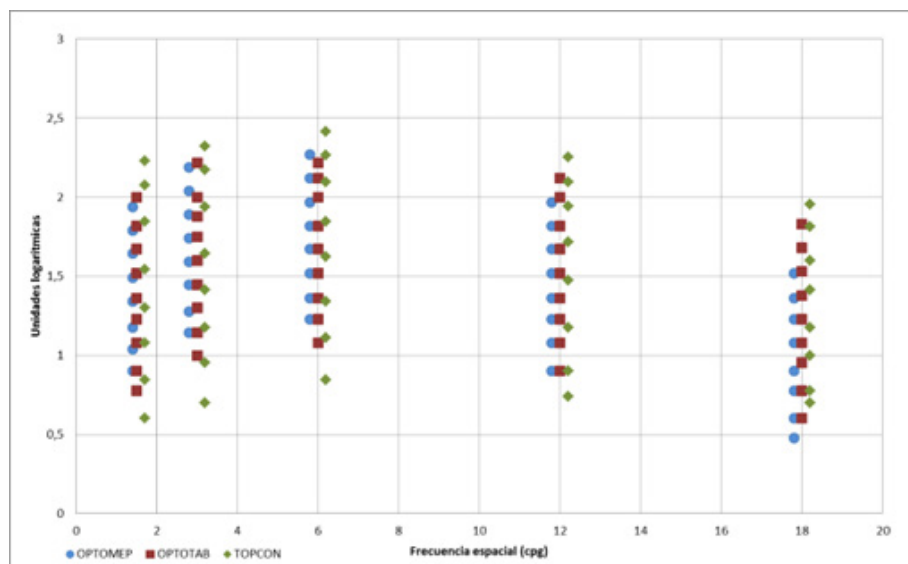


Figura 6. Valores de SC que evalúa cada aparato utilizado en este trabajo. Para mejor comprensión de la figura y para evitar que los valores de contraste se superpongan, se han considerado frecuencias ligeramente superiores e inferiores a los valores de 1,5cpg, 3cpg, 6cpg, 12cpg y 18cpg.

en función de los fallos del paciente. El paciente verá 3 patrones sinusoidales en la misma pantalla con orientaciones independientes (figura 7), y ordenadas de menor a mayor dificultad de izquierda a derecha. El paciente deberá indicar en que orientación está cada uno de los patrones, y se marcará el primero de los que falle en la tablet de manejo.

3º) CC-100XP®

Incluye diferentes pruebas entre las que incluye de SC. La prueba de SC se puede configurar de manera personalizada según la cantidad de niveles de contraste y frecuencias espaciales, dando como resultado información de la AV al contraste del paciente. Mide para diferentes frecuencias espaciales (1,5cpg, 3cpg, 6cpg, 12cpg, 24cpg). Estos resultados son expuestos en forma de gráfica.

Se coloca al sujeto sentado a 6 metros. Verá patrones sinusoidales aislados, como se muestra en la figura 8 y deberá indicar la orientación de cada uno de los que vayan apareciendo (arriba, inclinado a la derecha o inclinado a la izquierda), estos patrones irán con una dificultad creciente en función de los aciertos del paciente y siguiendo un orden fijo en cuanto a frecuencias espaciales, 1,5 -> 3 -> 6-> 12-> 18 cpg.

Análisis de datos

Los datos son recogidos en una hoja Excel para proceder a su posterior análisis. Los valores de SC se pasaron a unidades logarítmicas. Para comparar los diferentes test empleados se utilizaron las gráficas Bland-Altman. Para ello, el método de Bland-Altman cuantifica la diferencia media entre ambos métodos y un rango de confianza, entre los cuales se espera que se incluyan el 95% de las

diferencias entre una técnica de medida y la otra. Para valorar la reproducibilidad de cada uno de los métodos también se emplearon los gráficos Bland-Altman.



Figura 7. Test de SC en Optotab®

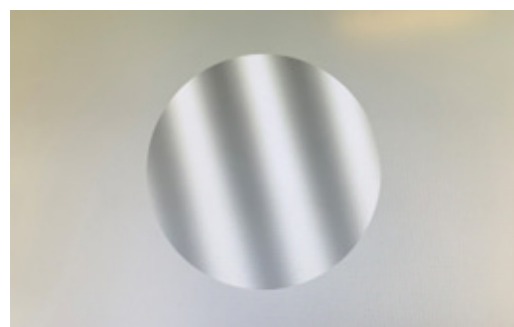


Figura 8. Test de SC en CC-100XP®

RESULTADOS

En este estudio participaron 36 personas (72 ojos), la edad media fue: $24,76 \pm 2,58$ años [19-33 años]. El error refractivo esférico medio fue de $-0,67 \pm 1,53$ D [-7,50 a +2,50 D], el error cilíndrico medio fue de $-0,08 \pm 0,19$ D [0,00 a -0,50 D]. De las 9 personas que realizaron una segunda medida, la media de edad fue: $25,00 \pm 3,57$ años [21-33 años]. El error refractivo esférico medio fue de $-0,43 \pm 0,69$ D, mientras que el cilíndrico fue de $-0,21 \pm 0,25$ D.

Se muestra en la figura 9 la comparación de los valores medios de cada uno de los instrumentos, así como los valores standard tanto máximos como mínimos de SC medida de manera monocular en el estudio de Wachler BS et al. (líneas negras punteadas). Se observa que el CC-100XP® sobreestima los valores de SC, dando valores de la media de SC mayores que los que se obtuvieron tanto con el OptoMeP®, como con el Optotab®, los cuales sí que están comprendidos entre los valores standard del estudio de Wachler et al. (18)

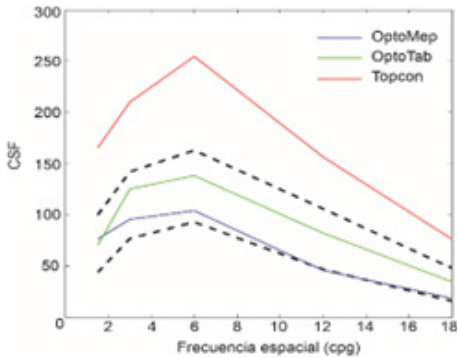


Figura 9. Comparación de valores medios de SC medidos OptoMeP®, Optotab® y CC-100XP® con los valores standard tanto máximos como mínimos de SC medidos de manera monocular (líneas negras discontinuas en la figura) (18)

En la Tabla 1 se muestra los valores medios de SC (uni-

dades logarítmicas) obtenidos para cada frecuencia espacial, con cada instrumento; el valor máximo de SC que se llegó a resolver y el valor mínimo que se necesitó para poder detectarlo. En la figura 10 se representan los valores numéricos de la tabla 1 en un diagrama de cajas. Se observa que los valores de SC son generalmente más altos con el test CC-100XP® que con los otros dos test para todas las frecuencias espaciales. Si se compara el OptoMeP® con el Optotab®, este último proporciona valores más altos excepto para la frecuencia de 1,5cpd. Además, se observa que hay mayor variación de respuestas tanto en el OptoMeP® como en el Optotab®, en comparación con el CC-100XP® (véase las diferencias entre los valores mínimos y máximos para cada frecuencia).

En la figura 11 se muestran los gráficos de Bland-Altman, representados como la diferencia de la SC media obtenida entre dos métodos [SC Optotab® - SC OptoMeP®] frente a la media entre ambos métodos $[(SC\ Optotab® + SC\ OptoMeP®)/2]$ para las frecuencias espaciales estudiadas. Se muestran las diferencias promedio obtenidas (línea naranja) y el intervalo de confianza del 95% (líneas punteadas). Se observa que el Optotab® sobreestima la medida de la SC con respecto al OptoMeP®. Sin embargo, existe una buena concordancia en todas las frecuencias, al tener valores de diferencia media entre los datos próximos a 0.

Frec. espacial [cpd]	OPTOME P®			OPTOTAB®			CC-100XP®		
	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX
1,5	1,87	1,34	1,94	1,84	1,48	2,00	2,22	1,85	2,23
3	1,96	1,28	2,19	2,09	1,51	2,22	2,32	2,18	2,32
6	2,00	1,36	2,27	2,13	1,83	2,22	2,41	2,20	2,41
12	1,65	0,90	1,97	1,91	1,32	2,12	2,19	1,48	2,26
18	1,25	0,00	1,52	1,54	1,08	1,78	1,88	1,18	1,95

Tabla 1. Comparación de las medias y rangos obtenida con cada instrumento

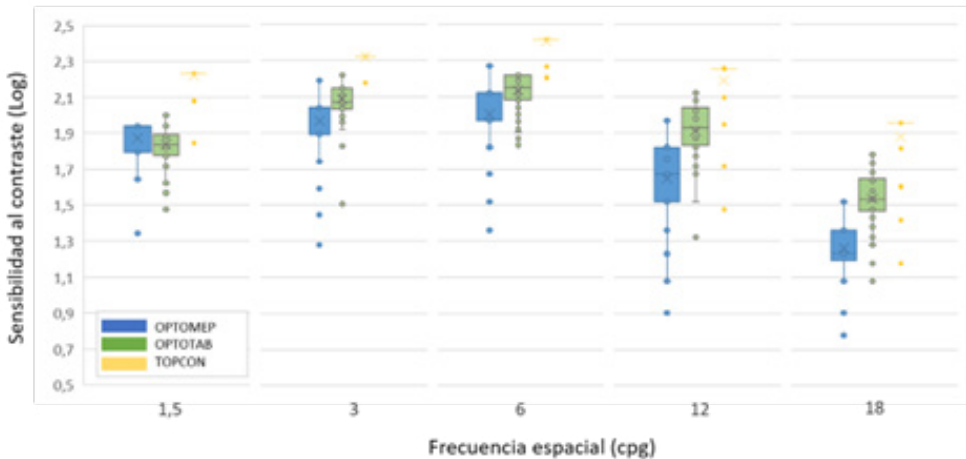


Figura 10. Diagrama de cajas comparando las SC medias obtenidas con cada instrumento

En la figura 12 se muestran los gráficos de Bland-Altman referentes a las medidas tomadas por el CC-100XP® y el OptoMeP®. Se observa una mala correlación, especialmente en frecuencias medias y altas, ya que las diferencias medias entre ambos instrumentos aumentan. Se observa como el CC-100XP® sobreestima los valores en comparación con el OptoMeP®, al ver que todas las diferencias son positivas, es decir, los valores del CC-100XP® son en todas las frecuencias mayores respecto al OptoMeP®.

En la figura 13 se muestran los gráficos de Bland-Altman obtenidos con el CC-100XP® comparándolo con el Optotab®. Se observa una mala correlación en todas las frecuencias, salvo para 3cpq; ya que los valores de diferencia media entre los datos obtenidos con ambos instrumentos son lejanos a 0; también se puede observar que el CC-100XP® sobreestima los valores de SC en comparación con los que nos proporciona el Optotab®. Con el objetivo de comprobar la reproducibilidad de cada aparato, se lleva a cabo una segunda medida a 9 sujetos en días diferentes. En la tabla 2 se muestra la media y rango de valores de SC que se obtuvieron con cada instrumento los días 1 y 2 de medida. Se observa que los valores obtenidos con los tres instrumentos en ambos días de medida presentan gran similitud. Se observa que la máxima diferencia entre los dos días es para el OptoMeP® y la frecuencia de 18cpq. Para valorar de manera más cuantitativa la reproducibilidad de cada instrumento se han utilizado los gráficos Bland-Altman.

Por simplicidad al mostrar los resultados se ha decidido estudiar la medida de la SC para tres frecuencias (1,5cpq, 3cpq y 18cpq). En la figura 14 se evidencia una notable reproducibilidad del OptoMeP® en todas las frecuencias analizadas, ya que la diferencia media entre ambas mediciones se aproxima a cero, siendo especialmente destacable en frecuencias bajas. Para el Optotab® también se observa una buena reproducibilidad para todas las frecuencias espaciales. En el CC-100XP® se denota una muy buena reproducibilidad, sobre todo en la frecuencia espacial de 3cpq, en el cual la diferencia media de valores de SC entre la 1ª medida y la 2ª es de 0. Para las frecuencias no mostradas en la figura se obtiene una buena reproducibilidad para todos los instrumentos.

DISCUSIÓN

Tradicionalmente se ha caracterizado a la visión espacial humana por la medida de la AV. Sin embargo, es importante conocer como varía el grado de detectabilidad de la figura, no sólo según su tamaño, sino también en función de su contraste. La CSF manifiesta la capacidad de detección del sistema visual independientemente del tamaño.

El objetivo del presente estudio era comparar los valores obtenidos con tres instrumentos y ver la correlación existente entre ellos. Además, se ha repetido la medida en 18 ojos en diferentes días con cada uno de los instru-

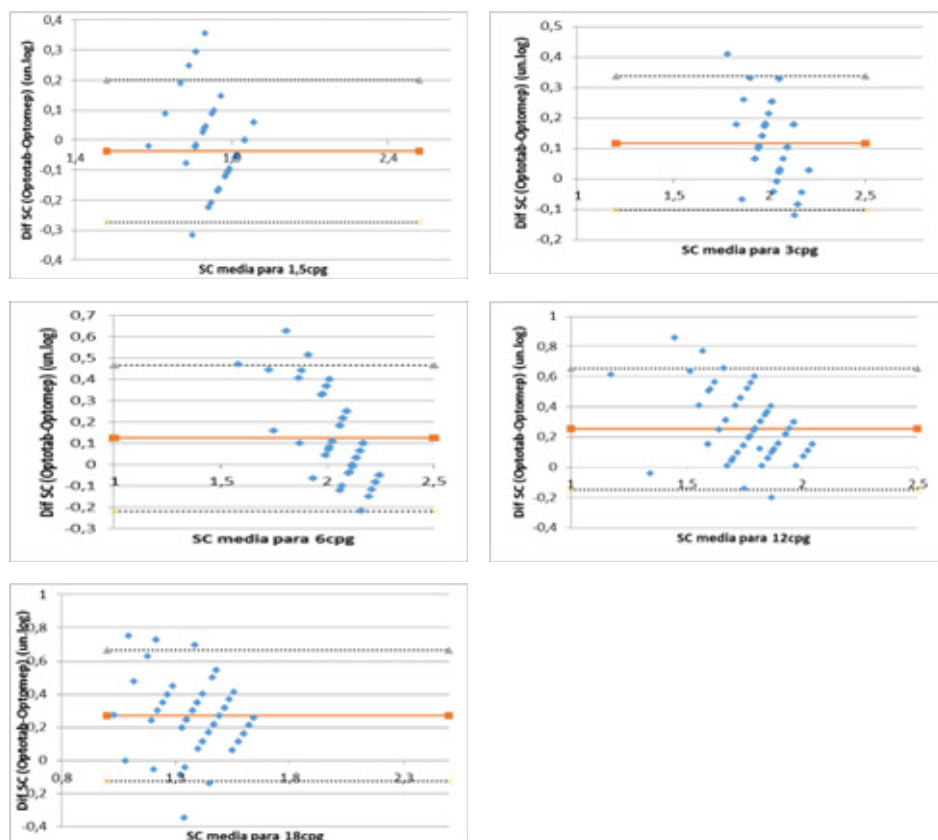


Figura 11. Gráficos Bland-Altman comparando los resultados obtenidos con el OptoMeP® y el Optotab®

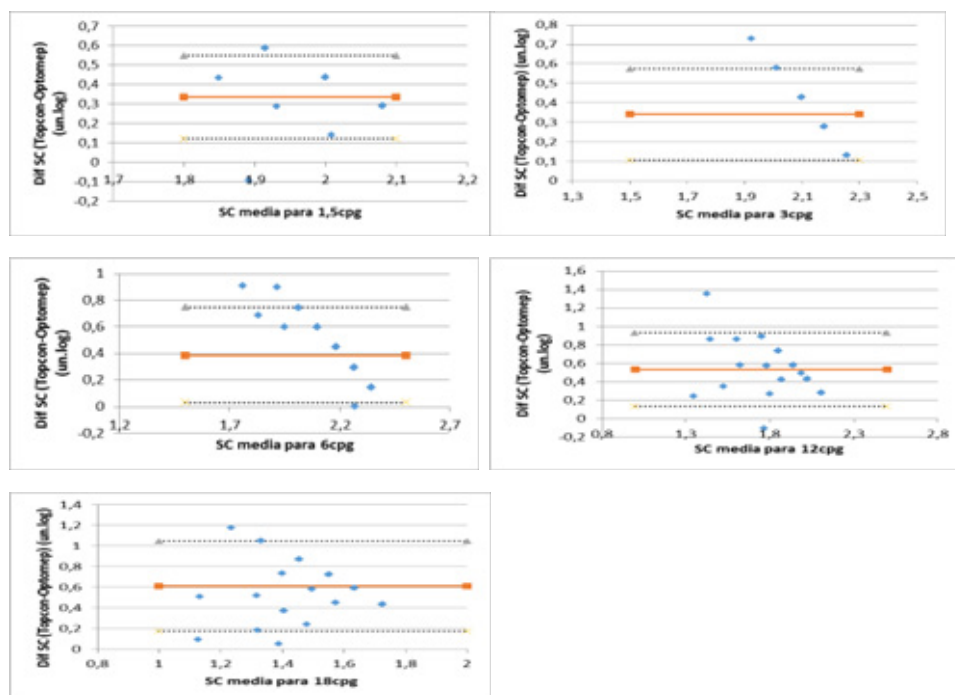


Figura 12. Gráficas de Bland-Altman comparando los resultados obtenidos entre el OptoMeP® y el CC-100XP®

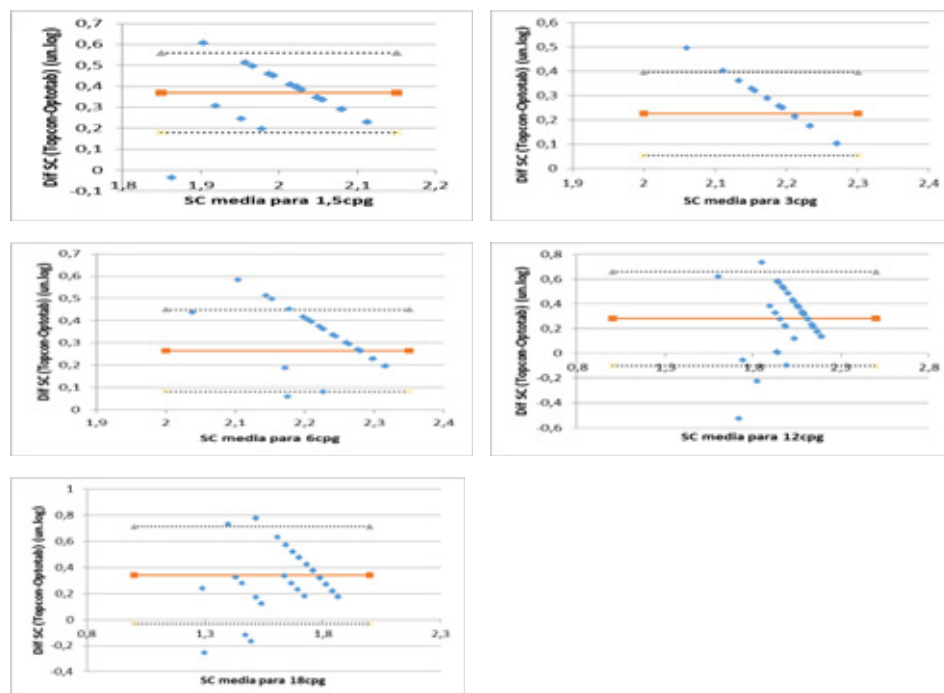


Figura 13. Gráfica Bland-Altman comparando los valores obtenidos en el Optotab® y el CC-100XP®

Frec. espacial [cpg]	OPTOME [®]						OPTOTAB [®]						CC-100XP [®]					
	DÍA 1			DÍA 2			DÍA 1			DÍA 2			DÍA 1			DÍA 2		
	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN
1,5	1,90	1,94	1,64	1,91	1,94	1,64	1,87	2,00	1,72	1,88	1,94	1,77	2,21	2,23	1,85	2,23	2,23	2,23
3	1,99	2,19	1,89	2,01	2,19	1,89	2,15	2,22	2,00	2,13	2,22	1,96	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32
6	2,05	2,27	1,82	2,06	2,27	1,82	2,19	2,22	2,08	2,18	2,22	1,98	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
12	1,78	1,97	1,52	1,80	1,97	1,52	2,00	2,12	1,72	1,96	2,12	1,72	2,21	2,26	1,72	2,24	2,26	1,94
18	1,31	1,52	0,90	1,38	1,52	1,08	1,61	1,78	1,18	1,63	1,78	1,28	1,93	1,95	1,60	1,95	1,95	1,95

Tabla 2. Valores obtenidos en cada instrumento en la primera medida y la segunda, realizada en un día diferente

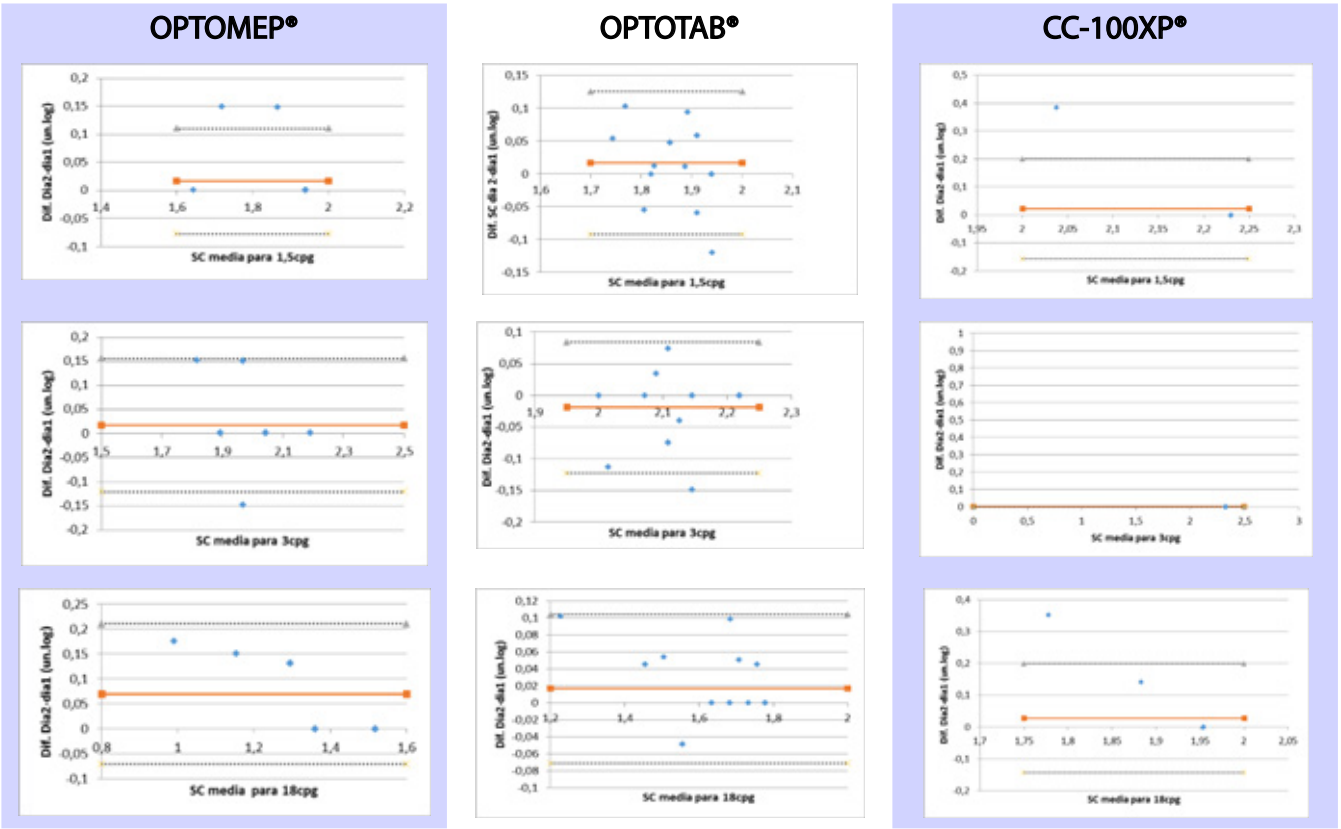


Figura 14. Gráficas Bland-Altman comparando la diferencia de SC entre los días 1 y 2 en las frecuencias espaciales indicadas

mentos para valorar la reproducibilidad de las mismas. Como se observa en la figura 9 y tabla 1 con el CC-100XP® se obtienen valores de SC mayores que con los otros instrumentos. Este hecho se verifica también en la figura 10 donde se muestra la curva de SC para cada instrumento comparada con los valores standard SC medida monocularmente establecidos en el artículo de Wachler et al. (18) En esta figura se observa que la CSF del sistema visual es pasa-banda, es decir, las frecuencias intermedias requieren de menores niveles de contraste para ser detectadas.

Los resultados obtenidos en este trabajo con el OptoMeP® y el Optotab® son similares a los obtenidos en el trabajo de Rodríguez-Vallejo et al. (19) donde se comparó la SC con dos instrumentos de medida: ClinicCSF y el FACT. Los valores de SC para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpG fueron de 2,03, 1,99, 1,65 y 1,20 respectivamente para el ClinicCSF y de 2,06, 1,81, 1,48 y 1,08 para el FACT para el Grupo 1 (edad media 33 ± 12 años), esta edad fue parecida a la del grupo de población de esta investigación. En ese estudio evaluaron la SC a otro grupo de edad (edad media 37 ± 11 años), en el que obtuvieron unos valores de SC para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpG de 2,06, 1,95, 1,48 y 1,08 para el ClinicCSF y de 2,06, 1,88, 1,55, y 1,08 para el FACT, siendo menores que los obtenidos por el grupo de menor edad (Grupo 1). Resultados similares de SC fueron obtenidos por Franco et al. (20) que comparó la SC con el VCTS-6500 y el CSV-1000. La edad media de los participantes fue: $21,4 \pm 1,9$ años, similar a la de nuestro estudio. Los valores de SC obtenidos fueron 1,95, 1,99, 1,81, y 1,39 con el VCTS-6500, y de 1,65, 1,91, 1,60 y 1,20 para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpG con el CSV-1000. Bose et al. (21) por su parte comparó los resultados obtenidos con el test de Pelli-Robson y el Vistech 6000, en pacientes con glaucoma normotensivo y pacientes con ojo sano. Los valores de SC obtenidos con el Vistech 6000 fueron 1,49, 1,70, 1,64, 1,35 y 0,92 en el grupo de ojos sanos, y de 1,43, 1,52, 1,41, 1,11 y 0,63 en el grupo de pacientes glaucomatosos. Estos son inferiores a los obtenidos en nuestro estudio. Puede deberse a la diferencia de edad existente entre la población que participó en ambos estudios, ya que la de este fue de $65,4 \pm 7,8$ años en el grupo de pacientes sanos, y de $69,0 \pm 7,2$ años en el grupo de glaucomatosos, así como todavía son menores los valores del grupo de glaucomatosos, como consecuencia de su patología, que también es un factor de influencia.

Los resultados del presente estudio indican que los test que miden la SC mediante redes sinusoidales dan valores mayores de SC que aquellos que la evalúan mediante letras, excepto para la frecuencia espacial de 1,5 cpG, donde la diferencia media es de $-0,036 \pm 0,120$ unidades logarítmicas entre el OptoMeP® y el Optotab®, siendo menor el de este último. La diferencia media entre el OptoMeP® y el CC-100XP® para esa frecuencia es

de $+0,334 \pm 0,109$, siendo mayor la del CC-100XP®. Si se compara esta diferencia del OptoMeP®-CC-100XP® con la obtenida con el Optotab®-CC-100XP®, la diferencia media del Optotab® con el CC-100XP® es $+0,371 \pm 0,010$. Bose et al. (21) compararon los valores de SC obtenidos con el test de Pelli-Robson y el Vistech 6000, en 14 pacientes con glaucoma normotensivo y en un grupo control de 17 sujetos con ojo sano. Se obtuvo que el grupo de control tuvo unos valores medios de SC de 1,62 unidades logarítmicas con el Pelli-Robson, por 1,5 unidades logarítmicas para la frecuencia espacial de 1,5 cpG con el Vistech 6000; concordando en dar valores ligeramente mayores para frecuencias bajas en los tests de letras que los de redes sinusoidales. Resultado similar al encontrado en este trabajo si comparamos los valores de SC del OptoMeP® con el OptoTab®. En este trabajo con el test de Pelli-Robson sólo se evaluó una frecuencia al realizarlo solo a una distancia de trabajo (1 metro).

Por su parte, McAnany et al. (22) encontraron que obtenían mejores valores de CSF en frecuencias bajas con test de letras que con test de redes sinusoidales. Emplearon letras de Sloan diseñadas con un tamaño que diese los valores de frecuencia espacial correspondientes con la otra prueba empleada, y parches de Gabor como test de redes sinusoidales con frecuencias espaciales de entre 0,36 y 8,8 cpG. Se realizó en condiciones escotópicas y con la mejor corrección de los sujetos.

Centrándose en la comparación entre los dos instrumentos que emplean redes sinusoidales para obtener la CSF de los pacientes, y ver así la correlación existente entre ellos, encontramos una mala correlación entre el Optotab® y el CC-100XP® (véase figura 13). Estas diferencias pudieron deberse a la diferencia de niveles de SC que evalúa cada uno, a los saltos de SC que hay entre cada nivel, siendo menores los del Optotab®, o al diferente método psicofísico que emplean para obtener la curva de CSF. En estudios como el de Franco et al. (20) en el cual también se comparan dos instrumentos de redes sinusoidales: el VCTS-6500 con el CSV-1000, encontraron diferencias estadísticamente significativas siendo las diferencias medias de 0,30, 0,20, 0,08 y 0,18 para las frecuencias espaciales de 3cpG, 6cpG, 12cpG y 18cpG respectivamente. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, al ser mayores las diferencias en frecuencias bajas, observándose que la mayor diferencia se encontró en la frecuencia de 3 cpG.

Otro de los objetivos del estudio era conocer la reproducibilidad de los tres test, mediante la evaluación a una parte de los sujetos que accedió a volver a realizar la prueba otro día, y posterior comparación de los datos obtenidos en ambos días. En un estudio realizado por Kingsnorth et al., (23) en el cual se buscaba conocer la reproducibilidad y precisión de los test de Pelli-Robson y CSV-1000E. La muestra constó de 20 sujetos (19-28 años, edad media: $23,4 \pm 2,1$ años) y se concluyó que el

test de Pelli-Robson tenía una mejor reproducibilidad que el CSV-1000E; en el presente estudio, se observa una mejor reproducibilidad en los test de redes sinusoidales, que en los de letras (véase figura 14 y tabla 2) a diferencia de los resultados obtenidos por Kingsnorth et al. (23) Esto puede deberse a las diferentes condiciones de medida o a los diferentes test empleados para evaluar la CSF.

Centrándose en la reproducibilidad de los test de letras, Pelli y Robson (24) concluyeron que las letras eran un test eficaz y rápido para medir la AV y la SC, y que aportaban una buena reproducibilidad. En este estudio se obtuvo una buena reproducibilidad con el OptoMeP®. En un estudio realizado por Mäntyjärvi et al. (25) en el que se comprobó la reproducibilidad del test de Pelli-Robson en diferentes grupos de edad (6 a 9 años, 10 a 19 años, 20 a 29 años, 30 a 39 años, 40 a 49 años, 50 a 59 años y 60 o más años) evaluándose a 87 pacientes, obtuvieron que el test de Pelli-Robson tenía una buena reproducibilidad, demostrando que los test de letras son una herramienta eficaz y fiable para conocer la CSF. En cuanto a la reproducibilidad existente en test de redes sinusoidales, Takhor et al (26) realizaron un estudio comparando la correlación entre el Metrovision y el CSV-1000. En él participaron 52 sujetos cuya edad media fue: $37,3 \pm 26,4$ años, sin patologías oculares y en condiciones fotópicas. Concluyeron que el CSV-1000 daba valores de SC mayores que el Metrovision. Estas se acentuaban en las frecuencias espaciales bajas, siendo las diferencias medias entre ambos instrumentos de 0,35, 0,14, 0,011 y 0,04 para las frecuencias espaciales de 3, 6, 12 y 18cpG respectivamente. En este estudio se encontró que para los 2 test de redes sinusoidales, el CC-100XP® era el que sobreestimaba los valores de SC, sin embargo los sobreestimaba de manera más regular en las diferentes frecuencias, siendo estas diferencias de 0,34, 0,17, 0,22, 0,21 y 0,32 para las frecuencias de 1,5, 3, 6, 12 y 18cpG. Estas diferencias pueden deberse a las diferentes iluminaciones empleadas, a la diferencia de edad media entre los sujetos estudiados, al igual que el mayor rango de edades comprendida en el estudio de Takhor et al.(26) pudiendo dar una mayor variación de los valores de SC obtenidos.

el artículo de Wachler et al. (33) Se obtuvo una buena reproducibilidad para los tres instrumentos utilizadas y para todas las frecuencias evaluadas.

Como trabajos futuros, se podría ampliar la muestra de sujetos, ampliar a más grupos de edad para comparar los datos obtenidos entre los distintos grupos y estudiar la influencia de la edad en la SC y ampliar a pacientes con patologías, tales como glaucoma y catarata y ver la influencia de estas patologías en la CSF.

CONCLUSIONES

Con los tres test utilizados se obtiene una CSF tipo pasa-banda. Con el test CC-100XP y el Optotab®, que utilizan redes sinusoidales como estímulo, se obtienen valores de SC mayores que con el OptoMeP® (letras) excepto para la frecuencia de 1,5 cpG entre Optotab® y OptoMeP®. El CC-100XP® sobreestima los valores de SC comparado con los otros dos instrumentos, siendo estos valores mayores que los standard referenciados en

REFERENCIAS

1. Ginsburg, A. (1983). Contrast sensitivity: relating visual capability to performance. USAF Medical Service Digest, 15-20.
2. Dr. Melody Huang . What is Contrast Sensitivity, vision center. Disponible en: https://www.visioncenter.org/refractive-errors/contrast-sensitivity/#div_block-60-4852
3. Dr Leena Vadhel, Dr Mrudula Bhav. Contrast Sensitivity; Disponible en: <https://www.slideshare.net/laxmi-eye-institute/contrast-sensitivity>
4. David I. T. Sia, Sean Martin, Gary Wittert, Robert J. Casson. Age-related change in contrast sensitivity among Australian male adults: Florey Adult Male Ageing Study. Acta Ophthalmologica, Volume 91, Issue 4.
5. Nio YK, Jansonius NM, Fidler V, Geraghty Enorby S, Kooijman AC. (2000). Age-related changes of defocus-specific contrast sensitivity in healthy subjects. Ophthalmic Physiol Optics;20:323-34.
6. Hyvärinen L. (1999). Visual Perception in 'Low Vision.' Perception.;28(12):1533-1537.
7. Kamiya, K., Fujimura, F., Kawamorita, T., Ando, W., Iida, Y., & Shoji, N. (2021). Factors Influencing Contrast Sensitivity Function in Eyes with Mild Cataract. Journal of clinical medicine, 10(7), 1506.
8. Alia A. Alghwiri, Susan L. Whitney, Chapter 10 - Balance and Falls in Older Adults, Editor(s): Dale Avers, Rita A. Wong, Guccione's Geriatric Physical Therapy (Fourth Edition), Mosby, 2020, Pages 220-239.
9. Kukkonen, Heljä & Rovamo, Jyrki & Tiippana, Kaisa & Näsänen, Risto. (1993). Michelson contrast, RMS contrast and energy of various spatial stimuli at threshold. Vision research. 33. 1431-6.
10. Pelli, D. G., & Bex, P. (2013). Measuring contrast sensitivity. Vision research, 90, 10-14.
11. Derefeldt, G., Lennerstrand, G., & Lundh, B.L. (1979). Age variations in normal human contrast sensitivity. Acta Ophthalmologica, 57.
12. Karatepe, A. S., Köse, S., & Eğrilmez, S. (2017). Factors Affecting Contrast Sensitivity in Healthy Individuals: A Pilot Study. Turkish journal of ophthalmology, 47(2), 80-84.
13. Kay, C. D. and Morrison, J. D. (1987). A quantitative investigation into the effects of pupil diameter and defocus on contrast sensitivity for an extended range of spatial frequencies in natural and homotropized eyes. Ophthal. Physiol. Opt. 7, 21-31.
14. Kamiya, K., Fujimura, F., Kawamorita, T., Ando, W., Iida, Y., & Shoji, N. (2021). Factors Influencing Contrast Sensitivity Function in Eyes with Mild Cataract. Journal of clinical medicine, 10(7), 1506.
15. Kara S, Gencer B, Ersan I, Arian S, Kocabiyik O, Tufan HA, Comez A. (2016). Repeatability of contrast sensitivity testing in patients with age-related macular degeneration, glaucoma, and cataract. Arq Bras Oftalmol. 2016 Sep-Oct;79(5):323-327.
16. Blackwell, H. R. (1946) Contrast threshold of the human eye. J. Opt. Soc. Am. 36, 624- 643.
17. De Valois RL, Morgan H, Snodderly DM. (1974). Psychophysical studies of monkey vision-III. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers. Vision Research. 14(1):75-81.
18. Wachler, B. S., & Krueger, R. R. (1998). Normalized contrast sensitivity values. Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995), 14(4), 463-466.
19. Rodríguez-Vallejo, M., Remón, L., Monsoriu, J. A., & Furlan, W. D. (2015). Designing a new test for contrast sensitivity function measurement with iPad. Journal of optometry, 8(2), 101-108.
20. Franco S., Silva AC., Carvalho AS., Macedo AS., Lira M. (2010). Comparison of the VCTS-6500 and the CSV-1000 tests for visual contrast sensitivity testing.
21. Bose, S., Piltz, J. R., & Breton, M. E. (1995). Nimodipine, a centrally active calcium antagonist, exerts a beneficial effect on contrast sensitivity in patients with normal-tension glaucoma and in control subjects. Ophthalmology, 102(8), 1236-1241.
22. McAnany, JJ., Alexander, KR. (2006). Contrast sensitivity for letter optotypes vs. gratings under conditions biased toward parvocellular and magnocellular pathways, Vision Research, Volume 46, Issue 10, 2006, Pages 1574-1584, ISSN 0042-6989.
23. Kingsnorth, A., Drew, T., Grewal, B., & Wolffsohn, J. S. (2016). Mobile app Aston contrast sensitivity test. Clinical & experimental optometry, 99(4), 350-355.
24. Pelli, D.G., Robson J.G. (1990). Letter to the editor. Are letters better than gratings?. Clin. Vision Sci. Vol. 6, No.5, pp. 409-411, 199.
25. Mäntyjärvi, M., & Laitinen, T. (2001). Normal values for the Pelli-Robson contrast sensitivity test. Journal of cataract and refractive surgery, 27(2), 261-266.
26. Tahkor, A., Heravian Shandiz, J., Azimi Khorasani, A., & Ansari Moghadam, A. (2021). Comparison of CSV-1000 and Metrovision contrast sensitivity tests in normal eyes. Medical Hypothesis, Discovery & Innovation in Optometry.

ABREVIATURAS

- AV: Agudeza visual
- cpg: ciclos por grado
- SC: Sensibilidad al contraste
- CSF: Función de Sensibilidad al Contraste
- OD: Ojo derecho
- OI: Ojo izquierdo