

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

**Estudio comparativo entre cover test, videoculógrafo Perea ®
y estrabómetro GazeLab ® en la medición de la desviación
ocular**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Carlos Narváez Palazon

Directoras

**Rosario Gómez de Liaño Sánchez,
María Nieves Moreno
Elena Hernández García**

Madrid

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COVER TEST,
VIDEOCULÓGRAFO PEREA[®] Y ESTRABÓMETRO
GAZELAB[®] EN LA MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN
OCULAR

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Carlos Narváez Palazón

DIRECTOR

Rosario Gómez de Liaño Sánchez, María Nieves Moreno, Elena
Hernández García

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE COVER
TEST, VIDEOCULÓGRAFO PEREA[®] Y
ESTRABÓMETRO GAZELAB[®] EN LA
MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN OCULAR



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Carlos Narvéez Palazón

Directores: Rosario Gómez de Liaño Sánchez, María Nieves
Moreno, Elena Hernández García

Agradecimientos y dedicatorias

Quiero agradecer, en primer lugar, a mi directora, Rosario Gómez de Liaño, la oportunidad de realizar este trabajo con ella; la idea, el tiempo y todo lo que me ha enseñado de estrabismo. Y por supuesto, por su incansable empeño en que este trabajo saliese adelante. Gracias por contarme tan apasionadamente el estrabismo. Me quedo con una frase que me dijiste un día: “La motilidad ocular es muy bonita, pero no se lo digas al resto de especialistas”. También quiero agradecerle a María Nieves Moreno, mi otra directora de tesis, la inspiración y mi gusto por el estrabismo y la oftalmología infantil. Ha sido mi referente más cercano y un espejo donde mirarse. A Elena Hernández García le quiero agradecer todos los buenos ratos en la consulta y por todos los consejos que me ha dado sobre la parte menos interesante de todo este proceso del doctorado. Pero, sobre todo, por su amistad y por hacer un poco menos arduo aquello de ir a trabajar. También quisiera tener unas palabras de agradecimiento a la doctora Blanca Domingo, por haberme enseñado con tanto cariño el estrabismo y por esa infinita paciencia. Y finalmente, a mi otra gran mentora de esta rama de la oftalmología, la doctora Andrea Molinari, que tanto me enseñó en tan poco tiempo y que me apadrinó casi como a un hijo.

Quiero agradecer a mis compañeros de trabajo del servicio de oftalmología del Hospital Clínico San Carlos, todo el apoyo que he recibido por su parte. Pero especialmente, al doctor Néstor Ventura Abreu, por no dejarme de recordar que tenía que acabar esta tesis. Igualmente, me gustaría tener unas palabras para el doctor Álvaro Sánchez Ventosa, que tanto me ayudó en los primeros pasos de esta tesis. Así mismo, un agradecimiento especial a todo el personal que trabaja en la clínica Gómez de Liaño, que me ayudaron con todas las dudas que tenía sobre el funcionamiento de los videoculógrafos. No quiero olvidarme del resto de mis mentores del hospital Clínico San Carlos, de todos ellos he aprendido oftalmología y a todos les debo parte de quien soy hoy.

Este trabajo se lo dedico a todos mis compañeros de residencia, especialmente a Alejandra, Claudia, Sol, Gabriel, Mercedes, Clara, Irene, Álvaro, Samuel, Rebeca, Javier, Noemí, Blanca, Carlos Llorente, Bea, Bárbara, Pilar Peña, Daniela, Julia, Mario, Verónica, Pilar Pérez y Carlos Oribio, que tantos buenos momentos me han regalado durante mi formación y han hecho que resultase un placer ir a trabajar todos los días.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABD: abducción

AC/A: cociente convergencia acomodativa/acomodación

ADD: adducción

ARN: acomodación relativa negativa

ARP: acomodación relativa positiva

CCI: coeficiente de correlación intraclase (ICC en inglés)

Cpg: ciclos por grado

Cpm: ciclos por minuto

CT: cover test

D / dp: dioptrías

DHD: desviación horizontal disociada

DP: dioptrías prismáticas (PD en inglés)

DVD: desviación vertical disociada

EF: endoforia

ENG: electronistagmografía

EOG: electrooculografía

ET: endotropia

GL: estrabómetro GazeLab[®]

Hz: hertzios

IC: intervalo de confianza

MAVC: mejor agudeza visual corregida

MAVCOD: mejor agudeza visual corregida ojo derecho

MAVCOI: mejor agudeza visual corregida ojo izquierdo

N: nervio

OD/OI: ojo derecho sobre ojo izquierdo (hipertropía derecha = hipotropía izquierda)

OD: ojo derecho

OI/OD: ojo izquierdo sobre ojo derecho (hipertropía izquierda = hipotropía derecha)

OI: ojo izquierdo

PC: par craneal

PPC: punto próximo de convergencia

Rx: refracción

RxOD: refracción del ojo derecho

RxOI: refracción del ojo izquierdo

SE: equivalente esférico

SNC: sistema nervioso central

VFN/ RBN: vergencia fusional negativa/ reserva de base nasal

VFP/ RBT: vergencia fusional positiva / reserva de base temporal

VNG: videonistagmografía

VOG: videoculografía

VP: videoculógrafo Perea®

XF: exoforia

XT: exotropia

RESUMEN

Estudio comparativo entre cover test, videoculógrafo Perea® y estrabómetro GazeLab® en la medición de la desviación ocular 11

Deviation angle study with videoculographers Perea® and GazeLab® and comparison with Cover Test..... 13

INTRODUCCIÓN

1. Estrabismo 16

Definición. Breve introducción histórica 16

Epidemiología..... 18

Causas y factores de riesgo..... 19

Impacto psicosocial y sanitario..... 22

2. Músculos extraoculares y fisiología motora..... 24

Anatomía orbitaria general. Músculos extraoculares y sus acciones..... 24

Fascias, ligamentos y poleas..... 27

Movimientos monoculares y binoculares. Leyes de motilidad..... 27

Sacádicos, movimientos de seguimiento y nistagmo optocinético 29

Reflejo oculo vestibular..... 29

Control motor e inervación..... 30

3. Fisiología sensorial y visión binocular..... 34

Aspectos monoculares..... 34

Aspectos binoculares..... 34

Adaptaciones sensoriales a estímulos visuales anormales 37

4. Evaluación y estudio del paciente estrábico..... 39

Anamnesis e inspección general..... 39

Exploración del área sensorial 39

Exploración del área motora 43

Exploración oftalmológica general y refracción..... 44

5. Estudio de la alineación ocular 46

Test de Hirschberg y Krimsky 46

Cover test simple..... 47

Uncover test 48

Cover test alternante..... 48

<i>Cover test prismado</i>	49
<i>Varillas de Maddox</i>	49
<i>Test de las 4 dioptrías de Irvine-Jampolsky</i>	50
<i>Pantallas de Hess y Lancaster</i>	51
6. Videoculografía	52
<i>Antecedentes históricos: electronistagmografía y videonistagmografía</i>	52
<i>Interpretación de resultados en videoculografía</i>	54
<i>Videoculógrafo Perea</i> ®	55
<i>Funciones y exámenes con VOG Perea</i> ®.....	57
<i>Presentación de resultados con VOG Perea</i> ®	58
<i>Estrabómetro GazeLab</i> ®	63
<i>Funciones y exámenes con GazeLab</i> ®	65
<i>Presentación de resultados con GazeLab</i> ®.....	66

JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1. Justificación del estudio	71
2. Hipótesis	73
3. Estudio de validación	74
<i>Objetivo principal. Fiabilidad y validez</i>	74
<i>Correlación y concordancia entre dispositivos y cover test en pacientes ortotrópicos</i>	74
<i>Cálculo de los valores de normalidad para pacientes ortotrópicos</i>	75
4. Estudio en pacientes con estrabismo	76
<i>Objetivo principal</i>	76
<i>Comparación entre dispositivos</i>	76
<i>Evaluación del rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos</i>	76

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Diseño del estudio	79
2. Muestra	79
3. Exámenes realizados	80
4. Estadística	81
<i>Software estadístico</i>	81

<i>Estadística descriptiva</i>	81
<i>Determinación de fiabilidad y validez</i>	81
<i>Determinación de correlación y concordancia</i>	81
<i>Comparación entre dispositivos y frente a cover test</i>	82
<i>Cálculo de valores de normalidad en pacientes ortotrópicos, sensibilidad y especificidad</i>	82

RESULTADOS

1. Estudio de validación	84
<i>Descripción de la muestra</i>	84
<i>Fiabilidad y validez</i>	86
<i>Correlación y concordancia entre ambos dispositivos</i>	86
<i>Correlación y concordancia frente a cover test</i>	87
<i>Cálculo de los valores de normalidad para pacientes ortotrópicos</i>	89
2. Estudio en pacientes con estrabismo	90
<i>Estadística descriptiva</i>	90
<i>Diferencia de medias</i>	90
<i>Correlación y concordancia frente a cover test</i>	95
<i>Comparación y concordancia entre dispositivos</i>	99
<i>Rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos</i>	104

DISCUSIÓN

1. Estudio de validación	107
<i>Descripción de la muestra</i>	107
<i>Fiabilidad y validez</i>	107
<i>Correlación y concordancia entre ambos dispositivos</i>	108
<i>Correlación y concordancia frente a cover test</i>	109
<i>Valores de normalidad en cover test y videoculografía</i>	109
2. Estudio en pacientes con estrabismo	111
<i>Descripción de la muestra</i>	111
<i>Diferencia, correlación y concordancia frente a cover test</i>	112
<i>Correlación y concordancia entre dispositivos</i>	116
<i>Rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos</i>	120
3. Sesgos	123

4. **Trabajos futuros**..... 125

CONCLUSIONES

1. **Conclusiones** 129

REFERENCIAS..... 130

RESUMEN

Estudio comparativo entre cover test, videoculógrafo Perea® y estrabómetro GazeLab® en la medición de la desviación ocular

INTRODUCCIÓN

El cover test (CT) es actualmente la técnica gold standard para medir (en grados o en dioptrías prismáticas) la cuantía de desviación de cada ojo con respecto al otro y con respecto al eje "normal". El CT permite también evaluar la variabilidad en el tiempo de dicha desviación, la variabilidad que existe fijando un ojo o el otro y como cambia la magnitud del estrabismo entre las distintas posiciones de mirada. Sin embargo, hay varios factores que influyen en este método de medición: la propia variabilidad del estrabismo y la variabilidad que todo test subjetivo tiene (experiencia del examinador, técnica disociativa, punto final de neutralización empleado, distancia de la prueba). En los últimos años han surgido varios dispositivos, conocidos como videoculógrafos, que, entre otras muchas funciones, miden la cantidad de desviación mediante un sistema de grabación de los ojos. Actualmente en España están comercializados dos dispositivos de este tipo: el videoculógrafo Perea® (VP) (Synapsis, Francia, 2008) y el estrabómetro GazeLab® (GL) (BcnInnova, España, 2011).

OBJETIVOS, JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

El presente trabajo persigue comprobar la eficacia y la veracidad con la que los videoculógrafos miden el estrabismo. Hasta donde tenemos constancia, solo se ha publicado un estudio que ha estudiado la validez de un dispositivo similar (Video Frenzel Goggle®, SLMED, Seoul, Korea). Nuestro estudio es el primero, hasta donde tenemos constancia, que va a realizar un análisis similar con los dispositivos VOG Perea® y GazeLab®. Nuestra hipótesis de partida es que los videoculógrafos son buenas herramientas a la hora de cuantificar el estrabismo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha diseñado un estudio descriptivo y transversal que ha sido dividido en dos partes. En la primera fase del estudio se estudiará la fiabilidad y validez de los dos dispositivos, mientras que la segunda parte contempla la comparación y estudio de concordancia entre los videoculógrafos y las medidas del cover-test. En la primera parte del estudio, se seleccionaron 44 individuos sanos (sin estrabismo), mientras que en la segunda parte se seleccionaron 57 pacientes con estrabismo. A todos los pacientes se les realizó un CT alternante prismado con corrección, un examen con VP y un examen con GL. Para determinar la fiabilidad de cada dispositivo se calculó el coeficiente de correlación intraclase de VP y GL, la validez se estudió con una comparación de medias frente a CT, se calcularon los coeficientes de correlación entre cada dispositivo y el CT y la concordancia fue estudiada mediante el método de Bland-Altman. Se calcularon también los rangos de valores normales en pacientes ortotrópicos y los parámetros de rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos.

RESULTADOS

En el estudio de la fiabilidad, VP obtuvo un CCI de 0,98 y de 0,981 en horizontal y vertical respectivamente y GL un CCI fue 0,246 en la medida horizontal y 0,483 en la medida vertical. Aunque los datos de CCI de GL son malos, la distribución de los datos con una media centrada en cero y poca desviación estándar, provoca que esta cifra sea artificialmente baja, por lo que realmente GL sí puede considerarse un dispositivo fiable. El estudio de validez demostró que CT no tenía diferencia significativa frente a VP ($p=0,0593$) ni frente a GL ($p=0,042$). VP obtuvo

unos márgenes de variabilidad de $\pm 5,22$ DP para una medida horizontal y $\pm 9,415$ DP en vertical, mientras que en GL estos fueron de ± 2 DP en horizontal y vertical.

En el grupo de pacientes con estrabismo, no se encontraron diferencias significativas entre las medidas del CT y VP, ni horizontal ($p=0,743$) ni vertical ($p= 0,172$), y tampoco se encontraron en la comparación de CT con GL, ni horizontal ($p=0,348$) ni vertical ($p=0,091$). Tampoco se encontraron diferencias en el análisis por subgrupos endotropía y exotropía, tan solo para la medida vertical en pacientes con endotropía en GL ($p=0,03$). El 59% de los pacientes presentaron diferencias menores a 10 DP con respecto a CT en el grupo de VP y en el grupo de GL, este porcentaje fue del 64%, sin diferencias entre ellos ($p=0,585$). Pero hasta un 23% de los pacientes alcanzaron diferencias mayores a las 20 DP con respecto a Gold Estándar en VP y un 20% en GL, sin que se encontraran tampoco diferencias a este nivel ($p=0,6979$). VOG Perea obtiene medidas en vertical con una diferencia menor a 5 DP con respecto a CT en un 50% y GazeLab en un 80% de los casos. La presencia de diferencias tan altas entre CT y cada videoculógrafo provocaron una gran dispersión en los diagramas de Bland-Altman, y los intervalos de confianza obtuvieron medidas elevadas en ambos casos.

Ambos dispositivos obtuvieron coeficientes de correlación buenos con CT: VP 0,842 ($p<0,0001$) y GL 0,839 ($p<0,0001$). El 73,33% de los pacientes que tuvieron patrón alfabético en VP, lo tuvieron en el GL también; mientras que, si la referencia era GL, 40,85% coincidían con VP. En caso de incoincidencias laterales los videoculógrafos encontraron acuerdos en el 80,76% de los casos en el análisis horizontal y en el 51,85% en incoincidencias de la desviación vertical. En el caso de que existiese diferencia entre fijaciones monoculares, entre un 57 – 63% existió acuerdo entre ambos dispositivos.

Ambos videoculógrafos obtuvieron una sensibilidad del 100% y una especificidad del 81,29% VP y 93,02% GL. Aunque, si en el cálculo de la sensibilidad restamos a los verdaderos positivos los pacientes con diferencias mayores a 10 DP con CT, esta es del 52,54% en VP y 54,23% en GL. Así mismo, si en el cálculo de la especificidad sumamos a los falsos positivos los pacientes con diferencias mayores a 10 DP con CT, esta es del 50,72% en VP y 58,82% en GL.

CONCLUSIONES

En general se puede concluir que tanto VOG Perea ® como GazeLab ® son dos videoculógrafos fiables, cuyos resultados son la mayoría de las veces comparables a los de un cover test e intercambiables entre ellos. Ofrecen en poco tiempo gran cantidad de información, pero necesitan de un personal entrenado y un paciente colaborador. Aun así, presentan en ocasiones medidas muy alejadas de las obtenidas con CT, por lo que no son infalibles.

Deviation angle study with videoculographers Perea® and GazeLab® and comparison with Cover Test

INTRODUCTION

The gold standard of measuring and characterizing deviation angle in strabismus patients is cover test (CT). This technique not only measures (either in grades or prismatic diopters), the deviation angle, but also estimates its variability along time or how it differs depending on gaze position or fixating eye. Nevertheless, some factors may influence the result of this test: the variability of strabismus itself, the experience of the examiner, the dissociation technique, point of neutralization or the target distance. In the latest years, new devices known as video-oculographers have been developed. These devices can, amongst many other functions, measure the deviation angle through an eye recording system. In Spain, Perea video-oculographer® (VP) (Synapsis, France, 2008) and GazeLab strabometer® (GL) (BcnInnova, Spain, 2011) are the only two commercialized video-oculographers.

PROJECT RATIONALE, HYPOTHESIS AND OBJECTIVES

This investigation project aims to test the reproducibility, repeatability, and validity of the video-oculographers. As far as we know, only one study on a similar device (Video Frenzel Goggle®, SLMED, Seoul, Korea) has been published. Ours is the first study to analyze these features on VP and GL. The initial hypothesis is that both devices are valid tools to determine the deviation angle.

METHODS

A descriptive cross-sectional study was designed. It was divided into two parts. The first part of the study versed on estimating the reproducibility, repeatability, and validity of both devices. In the second part, a comparison between the measurements obtained by video-oculographers and by cover test, was made. For the first part, 44 healthy patients were selected, while 57 patients with horizontal strabismus were enrolled for the second part. An alternate prism cover test, an examination with VP and GL were performed in every patient. Intraclass correlation coefficient was used to determine reproducibility, a mean comparison test was used to estimate validity, correlation coefficients between CT and each device were calculated and concordance was studied using Bland-Altman method. We also calculated normal range values for orthotropic patients and diagnostic yield parameters of each video-oculographer.

RESULTS

VP obtained an ICC of 0.98 and 0.981 for horizontal and vertical measurements, respectively, while the ICC of GL were 0,246 and 0.483, for horizontal and vertical. An exceptionally low standard deviation caused GL to have an anomalously low ICC, so it can be considered a reproducible device. The study of validity found no differences between CT and VP ($p=0.0593$) and neither between CT and GL ($p=0.042$). The normal range values in VP were $\pm 5,22$ PD in horizontal and $\pm 9,415$ PD in vertical, while the normal range value was ± 2 PD both horizontal and vertical in GL.

No differences between CT and VP were found, neither in horizontal ($p=0.743$) nor vertical ($p=0.172$), in the group of patients with strabismus. GL was also equal to CT, both in horizontal ($p=0.348$) and vertical ($p=0.091$). Analysis by subgroups esotropia and exotropia was performed as well. Only the vertical measure in esotropia patients obtained by GL showed a significant

difference with CT ($p=0.03$). A difference lower than 10 PD compared to CT was found in 59% of the patients when examined by VP, and in 64% of the patients examined by GL. These two percentages were not different ($p=0.585$). Up to 23% of the patients in VP and 20% in GL obtained differences with CT higher than 20 PD. These two percentages were not different either ($p=0.6979$). A difference with CT lower than 5 PD in vertical measure was found in 50% of the patients with VP and in 80% with GL. The high differences between CT and video-oculographers caused great dispersion and wide confidence intervals in Bland-Altman diagrams.

Correlation coefficient can be considered good for both devices: VP 0.842 ($p<0.0001$) and GL 0.839 ($p>0.0001$). If reference was VP, the coincidence in the alphabetic patron reached 73,33% of the cases, whilst the agreement on the patron was found in 40.85% of the patients when reference was GL. Consensus between VP and GL on the lateral incomitance was found in 80.76% and 51.85% for horizontal and vertical measures, respectively. In case of difference between right or left monocular fixation, the video-oculographers were congruent in the 57-63% of the cases.

The sensitivity of both video-oculographers was 100%, and specificity was 81.29% in VP and 93.02% in GL. But when considering those patients who obtained differences greater than 10 PD part of the false positive group and subtract them from the true positive group, then the sensitivity lowers to 52.54% and 54.23% and specificity to 50.72% and 58.82%, for VP and GL, respectively.

CONCLUSIONS

We can conclude that VP and GL are both reliable devices. Their results are comparable and interchangeable with those obtained by CT most of the times. Video-oculographers can display great amount of information in little time, but trained examiners and collaborative patients are required. In some of the occasions they present aberrant measurements, highly different to CT, therefore they should not be considered infallible.

INTRODUCCIÓN

1. ESTRABISMO

Definición. Breve introducción histórica

Se define estrabismo a la condición médica en la que los ejes ópticos de ambos ojos no están alineados. Uno de los ojos está constante o intermitentemente desviado con respecto al otro. Este mal alineamiento entre ambos ojos puede acompañarse de una movilidad anormal de uno o de ambos ojos, visión doble, baja visión, cefaleas, mareos o posiciones anormales de la cabeza.

Hipócrates fue el primero en utilizar la palabra *strebloi* para referirse a las personas con desviaciones de los ojos. Este vocablo probablemente derivaría del verbo *strebloum*, que significa girar. Aunque las primeras referencias a las desviaciones oculares como enfermedades aparecen en algunos textos y elementos pictóricos de la civilización del Antiguo Egipto, como en una estatua del faraón Sesostris III (1889-1844 a.C.), quien parecía tener una exotropía, o en los papiros de Ebers, donde se sugiere el tratamiento del estrabismo con sesos de tortuga machacados mezclados con algunas especias picantes. Otra de las civilizaciones más antiguas donde encontramos referencias a algún tipo de estrabismo es China. Existen varias representaciones del legendario y mitológico emperador Fu Xi con lo que parece una endotropía de gran ángulo. A lo largo de la historia varias personalidades han ido aportando teorías y conocimiento sobre las desviaciones oculares. El médico bizantino Pablo de Egina (690 d.C.), en uno de sus siete volúmenes sobre medicina y cirugía, realizó grandes aportaciones a la oftalmología, entre ellos cirugía oftalmológica, dispositivos para guiar la dirección de la mirada y máscaras para el estrabismo¹. Las primeras referencias a la oclusión como tratamiento para evitar el desarrollo de ambliopía las encontramos en los médicos árabes Al-Kindi (800 d.C) y Abu Al-Hasan Al-Harrani (896 d. C).

Durante la edad moderna tomarían forma algunas de las teorías sobre el origen y el funcionamiento de la motilidad ocular, que acabarían concluyendo con los principios y leyes más importantes que aún hoy en día, rigen la fisiología de los movimientos oculares. Aunque Aristóteles ya apuntó que el estrabismo podría estar causado por un desequilibrio entre los músculos que movilizaban los ojos, fue René Descartes (1596 – 1650) quien introdujo el concepto de inervación recíproca de un músculo y su antagonista; esta idea sería posteriormente refinada y desglosada por el neurofisiólogo británico Charles Scott Sherrington (1857-1952), cuyos postulados dieron paso a la conocida ley de Sherrington de inervación recíproca. Una de las teorías de durante varios siglos tuvo gran aceptación, fue propuesta por Girolamo Mercuriale (1530-1606) a finales del siglo XVI. Esta teoría proponía que el origen del estrabismo estaba en un desplazamiento del cristalino, que provocaba que la imagen no se formara en la zona correcta de la retina. Esta idea enlazaba con la de Christiaan Huygens (1629-1695) de los puntos retinianos

correspondientes, que aún hoy en día se mantiene vigente. El desplazamiento del cristalino como origen del estrabismo fue defendido hasta bien entrado el siglo XIX. Georges Louis Leclerc (1707-1788) fue el primero en hablar de la anisometropía como otro de los posibles orígenes del estrabismo; su teoría fue refutada por varios y famosos médicos posteriores, como Johannes Evangelista Purkinje (1787 – 1869).²

Sin duda, fue durante finales del siglo XIX y principios del XX cuando aparecieron los grandes avances en el estrabismo. Las últimas décadas de los mil ochocientos vieron nacer a varios gigantes de la estrabología. El germen de este grandísimo avance de la ciencia de la motilidad ocular lo siembra a principios del siglo XIX Johannes Peter Müller (1801-1858), quien realizó las primeras clasificaciones del estrabismo e introdujo el término de desviación comitante, tal y como lo conocemos hoy. También es destacable la figura de Johann Friedrich Dieffenbach (1792-1847), quien llevó a cabo la primera intervención quirúrgica de un estrabismo con éxito, al realizar una miotomía en un paciente con endotropía en 1839. A mediados de siglo comenzaron a realizarse las primeras cirugías sobre músculos extraoculares: las tenotomías. Podemos considerar a Ludwig Böhm (1811-1869) como el gran padre de la subespecialidad. En su libro “Estrabismo y el efecto de la tenotomía en la posición y la agudeza visual ocular”, de 250 páginas y 18 capítulos, el autor expone nuevas clasificaciones, reúne el conocimiento de la cirugía hasta la fecha y expone resultados de anatomía patológica de las cirugías. Realiza también las primeras descripciones de patrones alfabéticos y de los síndromes de retracción. El inventor del estereoscopio, Charles Wheatstone (1802-1875) realizó grandes aportaciones en el campo de la visión binocular, aunque fue Peter Ludwig Panum (1820-1885), quien aunó las teorías de Wheatstone y las de la correspondencia retiniana y definió el concepto de área de estereopsis de Panum. Durante mediados de siglo surgieron figuras tan determinantes como Frans Cornelius Donders (1818-1889), Albrecht Von Graefe (1828-1870) y Herman Von Helmholtz (1821-1894) en Europa o Hermann Knapp (1832-1911), Samuel Doty Risley (1845-1920), George Thomas Stevens (1832-1921) y Alexander Duane (1885-1926) en América. Donders describió por primera vez la relación acomodación y convergencia, así como de la hipermetropía y la endotropía. Por su parte, Von Graefe fue el primero en proponer el uso de prismas para el diagnóstico y el tratamiento del estrabismo, definió las ciclorrotaciones y el concepto de correspondencia retiniana anómala. Albert Nagel (1833-1895) fue el primero en reglar las dioptrías en defectos de refracción y habló del tortícolis compensatorio de las torsiones oculares y Stevens fue el precursor de los términos tropía y foria. Otro americano, Lucien Howe (1848-1928) realizó la primera aproximación al test de ducciones pasivas, utilizando pesos para medir la resistencia de cada músculo en pacientes anestesiados. Ewald Hering (1834-1918) es conocido por la ley de inervación de Hering para músculos antagonistas. Carl Schweiger (1830-1903) fue el inventor del cover test y Julius Hirschberg (1843-1925) fue quien estableció la equivalencia entre grados y milímetros. Les

debemos a ambos, por tanto, el método de medición por excelencia de los estrabismos y, por tanto, el origen en parte de este estudio. Algunos aparatos de medición que utilizamos hoy habitualmente en la consulta vinieron de la mano de grandes oftalmólogos como Walter Rudolf Hess (1881-1973), Ernest Edmund Maddox (1863-1933), Claude Worth (1869-1936), Alfred Bielschowsky (1871-1940) y Marshall Miller Parks (1918-2005), cuyos nombres quedaron por siempre vinculados a las pruebas y dispositivos que inventaron.

La segunda mitad del siglo XX sería testigo del nacimiento de las grandes sociedades mundiales dedicadas a la oftalmología infantil y la patología estrábica. La primera en ser fundada fue la *American Association for Pediatric Ophthalmology*, en 1974, que un cuarto de siglo más tarde cambiaría su nombre por *American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus* (AAPOS). Al otro lado del atlántico, la *European Strabismological Association* (ESA) nació en 1961 en París con el nombre de *Consilium Europae um Strabismi Studio Deditum*, que en 1982 adoptaría su nombre actual. La *International Strabismological Association* (ISA) surgió en el año 1966, tras un congreso celebrado en Suiza. En España, la *Sociedad Española de Estrabología* (SEE, posteriormente SEEOP- Sociedad Española de Estrabología y Oftalmología Pediátrica) fue fundada en el año 1972 en el Hospital Niño Jesús.

Finalmente, los grandes avances tecnológicos del siglo XXI nos traen hasta la actualidad, con el desarrollo de los dispositivos que se estudiarán en el presente trabajo: los videoculógrafos. Este estudio ahondará y describirá las características y utilidades que estos dispositivos pueden aportar al estudio y manejo de la patología estrabológica.

Epidemiología

En la actualidad, existen varios estudios multicéntricos, realizados en diversos lugares del mundo, que cifran la prevalencia mundial del estrabismo entre el 1 y el 4%, por lo que estaríamos hablando entre 70 y 280 millones de personas afectadas. En América destacan los estudios BPEDS (*Baltimore Pediatric Eye Disease Study*)^{3,4} y MEPEDS (*Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease Study*)^{5,6}, promocionados por el *National Eye Institute* de los Estados Unidos. Ambos encontraron prevalencias entre el 2 y 5% de estrabismo y del 1-4 % de ambliopía. El estudio VIP (*Vision in Preschoolers*)^{7,8}, otro estudio americano halló una prevalencia el 1 y el 4,6%. En Asia, destaca el STARS (*Strabismus, Amblyopia and Refractive error in Singapore Study*)^{9,10}, que describe una prevalencia en torno al 1%, tanto de estrabismo como de ambliopía. En Centroeuropa un grupo alemán, en el estudio KiGGS (*Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland*) cifra la prevalencia de estrabismo en un 4,1 % (3,7-4,5)¹¹. En España no existen datos oficiales ni estudios que cifren la prevalencia de esta condición.

En cuanto a las distintas formas de estrabismo, la prevalencia de cada una de ellas varía

según la edad. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de un estudio retrospectivo americano en el que se analizaron los datos de 627 pacientes menores de 18 años entre 1985 y 1994¹². Es comúnmente aceptado que, en la población infantil, la endotropía es el tipo de estrabismo más frecuente. Por otra parte, en la tabla 2, están expuestos los datos de un estudio retrospectivo realizado por el mismo grupo que analizó la prevalencia, los tipos y el riesgo de aparición de estrabismo en población adulta. Vemos que el estrabismo de origen paralítico es el más frecuente y dentro de los mismos, la parálisis del VI par craneal, seguida del IV y del III¹³.

Causas y factores de riesgo

Aunque la causa exacta que lo provoca no siempre se puede determinar con exactitud, el estrabismo puede deberse a desajustes refractivos, alteraciones sensoriales de la vía visual, trastornos mecánicos musculares o neurológicos. Cualquiera de estos factores por sí solo puede provocar estrabismo, aunque frecuentemente es el resultado de la combinación de varios de ellos.

Si hablamos de factores de riesgo de aparición de estrabismo, debemos distinguir de aquellos que aparecen en la infancia de los que debutan en edad adulta. En primer lugar, se sabe que existen factores de riesgo perinatales, modificables y no modificables, que favorecen en el desarrollo de desviaciones oculares durante los primeros años de la vida. Entre los factores de riesgo no modificables que han sido determinados, se hallan la etnia, los defectos refractivos y las malformaciones.

Tipo de estrabismo	Número (%)	Incidencia por 100.000 pacientes menores <19 años
Endotropia acomodativa (total o parcialmente)	175 (27,9%)	50,3 (42,8-57,7)
Exotropia intermitente	106 (16,9%)	32,1 (25,9-38,2)
Endotropia adquirida no acomodativa	64 (10,2%)	18,6 (14-23,2)
Endotropia asociada a alteraciones del SNC	44 (7%)	12,5 (8,8-16,2)
Insuficiencia de convergencia	40 (6,4%)	13,7 (9,5-18)
Endotropia congénita	30 (4,8%)	8,3 (5,3-11,2)
Exotropia asociada a alteraciones del SNC	30 (4,8%)	9,1 (5,9-12,4)
Endotropia paralítica	25 (4%)	7,2 (4,4-10,2)
Endotropia sensorial	25 (4%)	7,2 (4,4-10,0)
Exotropia sensorial	17 (2,7%)	5,3 (2,7-7,8)
Endotropia indeterminada*	13 (2,1%)	4,1 (1,8-6,3)
Parálisis de IV PC	13 (2,1%)	3,4 (1,5-5,3)
Exotropia paralítica	8 (1,3%)	2,5 (0,7-4,2)
Otras hipertropias**	8 (1,3%)	2,5 (0,6-3,8)
Hiperfunción primaria de oblicuos inferiores***	7 (1,1%)	2,2 (0,6-2,8)
Síndrome de Brown	5 (0,8%)	1,5 (0,2-2,8)
Hipertropia asociada a alteraciones del SNC	5 (0,8%)	1,5 (0,2-2,7)
Hipertropia comitante indeterminada	4 (0,6%)	1,3 (0,0-2,6)
Otras endotropias****	4 (0,6%)	1,4(0,0-2,8)
Otras exotropias*****	4 (0,6%)	1,4(0,1-2,7)
*Incluye niños con endotropia no acomodativa de edad de comienzo no determinada		
**Incluye DVD, parálisis de recto inferior, parálisis de III PC, hipertropia sensorial y tras cirugía retiniana		
***Test de Parks negativo para parálisis de IV PC		
****Incluye endotropia cíclica, endotropia adquirida aguda y tras cirugía retiniana		
*****Incluye exotropias indeterminadas y exotropia congénita		

Tabla 1. Tipos de estrabismo en población infantil. Adaptada de Mohny B.G. *Commons Forms of Childhood Strabismus in an Incidence Cohort.* ⁽¹²⁾

Tipo de estrabismo	Número (%)	Incidencia por 100.000 pacientes >19 años	Edad media
Paralítico	333 (44,2%)	23,9 (21,3-26,5)	63 (19-100)
-IV PC		-10,4(8,7-12,2)	
-IV PC		-6,3 (5,0-7,6)	
-III PC		-3,5 (2,5-4,5)	
Insuficiencia de convergencia	118 (15,7%)	8,4 (6,9-10,0)	69 (22-97)
Hipertropia de pequeño ángulo*	99 (13,1%)	7,5 (6,0 -9,0)	72 (27-98)
Insuficiencia de divergencia (ARDE)	80 (10,6%)	6,0 (4,7-7,3)	74 (19-92)
Restrictivo	47 (6,2%)	3,2 (2,4-4,3)	59 (29-93)
- Enfermedad de Graves	- 21 (2,8%)	-1,41 (0,8-2,0)	-49 (29-84)
- Otras restrictivas**	- 26 (3,5%)	-1,9 (1,2-2,7)	-63 (42-93)
Sensoriales	27 (3,6%)	1,9 (1,2-2,6)	57 (20-94)
Exotropia intermitente	21 (2,8%)	1,3 (0,7-1,9)	40 (21-81)
Endotropia con AC/A alto	6 (0,8%)	0,3 (0,1-0,6)	28 (25-93)
Exotropia constante	4 (0,5%)	0,3 (0,0-0,5)	43 (36-61)
Endotropia adquirida no acomodativa	2 (0,3%)	0,2 (0,0-0,4)	71 (70-73)
No especificada	16 (2,1%)	--	--
*Hipertropia comitante <10DP sin evidencia de hipofunción de oblicuos			
** Incluye postraumáticas y posquirúrgicas que presenten restricción en las ducciones pasivas			

Tabla 2. Tipos de estrabismo en población adulta. Adaptada de Martínez-Thomson J.M., Diehl N.N., Holmes J.M., Mohny B.G. *Incidence, types, and Lifetime Risk of Adult-onset Strabismus* ⁽¹³⁾

Varios estudios en Estados Unidos, en Reino Unido y en Australia, encontraron que la raza blanca presenta una prevalencia más elevada de endodesviaciones, en comparación con etnias africanas, afroamericanas, latinas y asiáticas.¹⁴ No se han encontrado diferencias, sin embargo, en raza asiática, parece más frecuente la exotropía¹⁵. En cuanto a los errores refractivos, varios estudios coinciden que la hipermetropía es un factor de riesgo para la aparición de endodesviaciones, encontrándose una clara relación directamente proporcional entre las dioptrías de hipermetropía y el riesgo de desarrollo de endotropía. En el caso de las exotropías, el error refractivo que más se ha relacionado es el astigmatismo, en concreto, superior a 2,50 dioptrías. La anisometropía es factor de riesgo independiente de la refracción de cada ojo por separado. Diferencias superiores a 1 D en equivalente esférico aumentan el riesgo especialmente de endotropía, mientras que las diferencias en el cilindro superiores a 0,5-1 D aumentan el de exotropía¹⁶.

Varios estudios ponen de manifiesto que algunos de los más importantes marcadores de salud fetal y neonatal suponen factores de riesgo para el desarrollo de estrabismo en los primeros años de la infancia. La prematuridad (edad gestacional al nacimiento menor a 37 semanas) se asocia con el desarrollo de estrabismo, especialmente de formas convergentes, con Odds Ratio entre 2,47 y 11,5; mientras que el crecimiento intrauterino retardado – CIR – se relacionaría con la aparición de exotropía. Un estudio danés encontró asociación entre la vía del parto y las desviaciones oculares, en concreto, la cesárea aumentaría la posibilidad de desarrollo de exotropía. El bajo peso al nacimiento (>2500 g), el Apgar bajo al primer minuto de vida, un elevado perímetro cefálico o la edad avanzada de la madre son otros factores que se han relacionado con la patología estrábica. Las alteraciones del desarrollo fetal y las malformaciones también son un importante grupo de factores de riesgo, sobre todo aquellas que afectan al sistema nervioso central, malformaciones craneofaciales y musculoesqueléticas, y estarían asociados fundamentalmente a la exotropía, según un estudio danés¹⁷. La aparición de retinopatía del prematuro parece ser también factor de riesgo para la aparición de estrabismo.¹⁸

Entre los factores de riesgo modificables más destacados se encuentra el consumo de tabaco materno durante la gestación. Se sabe que la cantidad de cigarrillos consumidos al día incrementa de forma proporcional el riesgo de aparición de estrabismo, especialmente de desviaciones divergentes^{14,15}.

En cuanto al origen primario del estrabismo en sí mismo, existe mucha controversia y desconocimiento. Se conocen algunos genes implicados en síndromes que cursan con estrabismo, como, por ejemplo, las mutaciones de KIF21A (cromosoma 12q, kinesina), provocan Fibrosis Congénita de los Músculos Extraoculares (CFEOM) tipo 1; las mutaciones de PHOX2A (11q,

factor de transcripción) provocan CFEOM tipo 2 y TUBB3 (16q, beta-tubulina) está implicado en CFEOM tipo 3. Los genes CHN1 (2q, alfa-quimerina) y SALL4 (20q, proteína sal-like 4) se han implicado en varias formas de otra enfermedad englobada dentro de los síndromes de desinervación craneal congénita, el síndrome de Duane. Sin embargo, en muchas otras formas de estrabismo infantil, no se han identificado genes concretos, aunque la carga genética es evidente, ya que se sabe que los antecedentes familiares son factor de riesgo para aparición de estrabismo. Muchos autores discuten la posibilidad de que el evento primario que provocaría el desarrollo de estrabismo sería una disrupción en la formación de los circuitos neurales implicados en el sistema visual, tanto prenatal como postnatal (anormalidades en la migración axonal de células ganglionares, en conexiones cortico-corticales, en el balance excitatorio-inhibitorio de las células corticales, etc).¹⁹ Algunas otras formas de estrabismo estarían relacionadas, con un daño o malformación en los propioceptores que los músculos extraoculares tienen en sus tendones, lo que afectaría a la señal que reciben el sistema nervioso central sobre la posición de dichos músculos.²⁰ En general, no existe un consenso ni pruebas de un origen único y claro del estrabismo en la edad infantil.

En el caso del estrabismo que aparece en la edad adulta, se han identificado varios factores de riesgo. El pico de aparición de estrabismo en edad adulta se produce durante la octava década y que la mayor parte de los estrabismos del adulto son de tipo paralítico. Varios estudios han relacionado la hipertensión arterial y la diabetes con las parálisis oculomotoras²¹. En el caso de la parálisis del cuarto nervio craneal, el nervio troclear, se han relacionado clásicamente con los traumatismos craneoencefálicos y así lo demuestran varios estudios. En el caso de las alteraciones de las vergencias, tanto la insuficiencia de convergencia como la insuficiencia de divergencia, más conocida como endotropía de lejos asociada a edad (ETAE o ARDE, según sus siglas en inglés- *Age Related Distance Esotropia*), se han relacionado directamente con la edad. En el caso de estrabismos más concretos, como el síndrome de ojo pesado (*Heavy Eye Syndrome* en inglés) y el denominado MAPE- *Myopic Acquired Progressive Esotropia*), se relacionan directamente con la longitud axial del globo ocular²².

Impacto psicosocial y sanitario

La aparición de estrabismo durante los primeros años del desarrollo suele tener como consecuencia una disminución del potencial visual de uno o ambos ojos, es decir, ambliopía. Se define como ambliopía una alteración del desarrollo visual, habitualmente unilateral, que provoca una falta de maduración en todas las funciones visuales (agudeza visual, sensibilidad al contraste, color, percepción de movimiento y patrones, visión binocular y estereopsis) producida en un ojo normal o que presenta alguna alteración (en el globo o en la vía óptica) y que no puede atribuirse únicamente al defecto anatómico.

La prevalencia de la ambliopía se cifra entre el 0,3% y el 3,6%, según distintos estudios^{4,5,6}. Carlton²³ realizó una revisión sistemática sobre la calidad de vida relacionada con la ambliopía, que incluyó estudios que analizaban la calidad de vida relacionada con el tratamiento de esta, desde la perspectiva de pacientes pediátricos y pacientes adultos tratados en la infancia. A nivel familiar, se observó que la ambliopía y su tratamiento podían tener un impacto negativo sobre las relaciones con los padres/tutores, y aumentaba la ansiedad por parte de los cuidadores. A nivel social, los niños con ambliopía en tratamiento sufrían más acoso escolar. La ambliopía influía en la elección de la formación universitaria y limitaba algunas actividades diarias (disminución de la habilidad motora fina, disminución de la velocidad de lectura). Además, tanto adultos como niños referían una menor autoestima, depresión, frustración y vergüenza. Un estudio demostró que la velocidad lectora en los niños con ambliopía está disminuida²⁴. Los adultos con ambliopía pueden ver limitadas sus opciones laborales, sobre todo en ciertas profesiones que requieren de una fina capacidad de la percepción de profundidad. Los accidentes que afectan al ojo con mejor agudeza visual pueden conducir a una pérdida de la calidad de vida e independencia. El riesgo de discapacidad visual bilateral es del 18% en una persona con ambliopía a lo largo de toda su vida, casi el doble de una persona sin ambliopía²⁵. Según varios estudios, el estrabismo *per sé*, a parte de la ambliopía, puede provocar en el individuo que lo sufre, una menor autoestima, conductas evitativas y dificultades en la interacción con otras personas. Se estudió el impacto de la corrección del estrabismo en la calidad de vida en adultos²⁶. La cirugía de alineamiento ocular disminuyó la fobia social en el grupo de adultos operados y aumentó la calidad de vida percibida en los ámbitos de relaciones laborales, familiares y sociales.

El estrabismo de aparición súbita en adultos (menos frecuentemente en niños, en los que este efecto puede ser transitorio) puede provocar la aparición de diplopía. La diplopía se define como la percepción de dos imágenes de una sola realidad. Los pacientes con diplopía reflejan habitualmente preocupaciones por su apariencia, relaciones sociales, dificultades en la comunicación, desorientación y dificultad en la realización de tareas como conducir o pasear. En general, los pacientes con diplopía suelen tener puntuaciones más bajas en los cuestionarios de calidad de vida en las preguntas referidas a aspectos funcionales, más que en las psicológicas, al contrario que los pacientes con estrabismo sin diplopía.²⁷

Por ello, a pesar de que el estrabismo tiene una incidencia relativamente baja en comparación con otras enfermedades oftalmológicas, en causante de un deterioro significativo en la calidad de vida del paciente que lo sufre y también es responsable de alteraciones en su esfera psicosocial.

2. MÚSCULOS EXTRAOCULARES Y FISIOLOGÍA MOTORA

Anatomía orbitaria general. Músculos extraoculares y sus acciones

Se conoce como órbita a las cavidades óseas craneales que contienen los órganos sensitivos de la visión y todos sus anejos. Se trata de una cavidad piramidal, de base cuadrangular, cuyo vértice está orientado hacia el interior del cráneo, ligeramente hacia la línea media y en dirección inferior. Los ejes de ambas órbitas forman entre sí un ángulo de 45° y el eje de cada una de ellas se angula unos 25° con el eje visual. La base de la pirámide cuadrangular se proyecta hacia fuera y constituye el orificio externo de las mismas, constituyendo las aristas de su base lo que conocemos como reborde orbitario.

La **pared medial** de la órbita la constituyen, desde anterior hacia posterior, por la apófisis frontal del maxilar, el hueso lagrimal, la lámina papirácea del etmoides y la porción más anterior de la cara lateral del esfenoides. El **suelo orbitario** está constituido, igual de adelante hacia detrás, por la apófisis orbitaria del maxilar, y la apófisis orbitaria del hueso palatino. La **pared lateral** está constituida por la apófisis orbitaria del hueso cigomático, y el ala mayor del esfenoides. Entre la pared lateral y el suelo orbitario, encontramos la **hendidura orbitaria inferior** o hendidura esfenomaxilar, por la cual acceden a la órbita, desde la fosa pterigopalatina, el nervio cigomático y ramas del sistema nervioso autónomo parasimpático del ganglio pterigopalatino y por la que transcurre la vena oftálmica inferior. Entre la pared lateral y el techo encontramos la **hendidura orbitaria superior** o hendidura esfenoidal (entre las alas mayor y menor del esfenoides). Esta hendidura esfenoidal, quedará dividida por el tendón común de Zinn en dos. La parte superior da paso a dos ramas del nervio oftálmico, el nervio lagrimal y el nervio frontal, y también al cuarto par craneal. Su parte inferior da paso a los otros dos nervios oculomotores, el tercer y el sexto par craneal y los nervios nasociliares. La hendidura esfenoidal queda cerca del vértice orbitario, constituido por el **canal óptico**, que da paso al nervio óptico y la arteria oftálmica. Finalmente, el **techo** orbitario está constituida por la porción orbitaria del hueso frontal y el ala menor del esfenoides.

En la órbita se encuentran los conocidos como músculos extraoculares, encargados de la movilización del globo ocular y de sus anejos. En concreto, son 7 músculos, de los cuales, seis movilizan el ojo y el elevador del párpado superior, moviliza hacia arriba el párpado superior. Todos los músculos, a excepción del músculo oblicuo inferior, se originan en el **anillo tendinoso común de Zinn**, que se inserta en el vértice orbitario, en torno al canal óptico y la hendidura esfenoidal. En las ilustraciones 1 a 3 se puede observar la anatomía de estos músculos, sus relaciones con el ojo y otras estructuras anejas, así como sus inserciones. El eje de los músculos y su anclaje en el globo determinan las acciones de cada uno de ellos. Las acciones primarias y

secundarias de cada músculo extraocular (a excepción del músculo elevador del párpado superior) están reflejadas en la tabla 3, así como detalles de su inervación, inserciones.

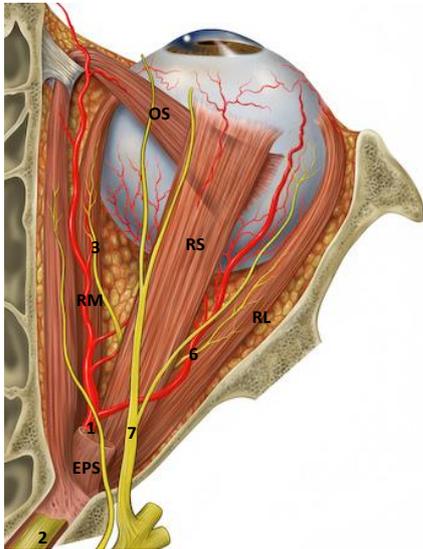


Figura 1. Músculos extraoculares en la órbita. Visión craneal

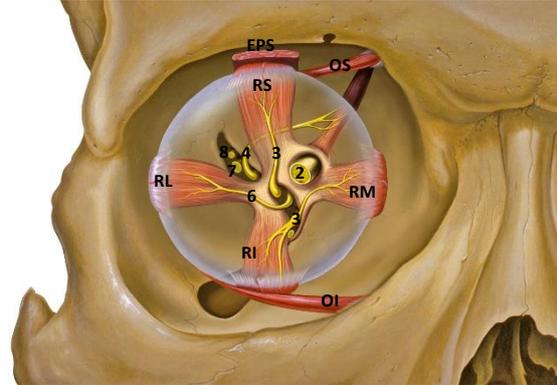


Figura 2. Músculos extraoculares en la órbita. Visión frontal

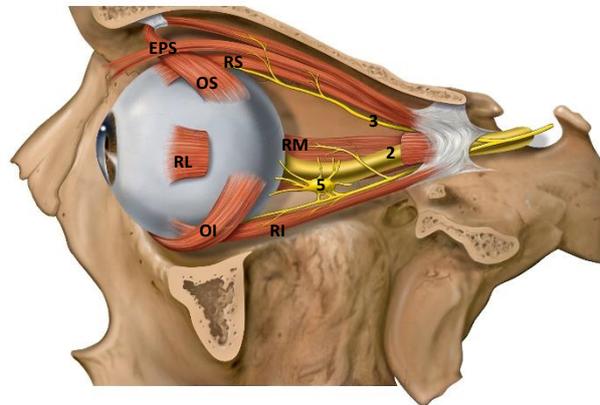


Figura 3. Músculos extraoculares en la órbita. Visión lateral

RM: recto medial; RS: recto superior; RI: recto inferior; RL: recto lateral; OS: oblicuo superior; OI: oblicuo inferior; EPS: elevador del párpado superior. 1: arteria oftálmica; 2: nervio óptico; 3: nervio motor ocular común; 4: nervio troclear; 5: ganglio ciliar; 6: nervio abducens; 7: nervio frontal; 8: nervio lagrimal.

Adaptadas de un archivo de Wikimedia Commons, creadas por Patrick J. Lynch (C. Carl Jaffe; MD; cardiólogo; Yale University Center for Advanced Instructional Media Medical Illustrations by Patrick Lynch, Yale University School of Medicine, Center for Advanced Instructional Media, 1987-2000); ilustraciones bajo licencia Creative Commons Attribution 2.5 License 2006. <https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/>

Músculo (longitud)	Origen	Inserción	Arco de contacto	Inervación	Acción primaria	Acciones secundarias	Posición de exploración
Recto medial o interno (40 mm)		Esclera, a 5,5 mm aprox. del limbo, 10 mm ancho Tendón: 4,5 mm	7 mm	Rama inferior del N. oculomotor (III PC)	Adductor	-Retropulsor	Adducción
Recto lateral o externo (40 mm)		Esclera, a 6,5-7 mm del limbo, 9 mm ancho Tendón: 7 mm	12 mm	Nervio abducens (VI PC)	Abductor	-Retropulsor	Abducción
Recto superior (40 mm)	Anillo tendinoso común de Zinn	Esclera, a 7,5-8 mm del limbo, 10,5 mm ancho Tendón: 6,5 mm	6,5 mm	Rama superior del N. oculomotor (III PC)	Supraductor/ sursumductor	-Adductor -Incioloductor (fibras más temporales)	Supra-ABD
Recto inferior (40 mm)		Esclera, a 6-6,5 mm del limbo, 9,5 mm ancho Tendón: 6,5 mm	6,5 mm	Rama inferior del N. oculomotor (III PC)	Infraductor/ deorsumductor	-Adductor -Excicloductor (fibras más temporales)	Infra-ABD
Oblicuo superior o amatorio mayor (32 mm)		Esclera. Cuadrante sup-post y lateral. Tendón: 26 mm	7-8 mm	Nervio troclear o patético (IV PC)	Incioloductor (fibras anteriores)	-Infraductor (fibras más posteriores) -Abductor (fibras más posteriores)	Infra-ADD
Oblicuo inferior o amatorio menor (37 mm)	Cara orbitaria del ángulo infero-medial de la órbita, en el hueso maxilar	Esclera. Cuadrante inf-post-lateral. Tendón: 1 mm	15 mm	Rama inferior del N. oculomotor (III PC)	Excicloductor	-Supraductor (fibras más posteriores) -Abductor (fibras más anteriores)	Supra-ADD

Tabla 3. Músculos extraoculares

Fascias, ligamentos y poleas

En torno a los músculos extraoculares están organizados una serie de elementos fibrosos que tienen, entre otras funciones, la de sostener el globo ocular y modular la acción de los músculos.

La **cápsula de Tenon** es una envoltura de tejido conectivo elástico que se fusiona posteriormente con la vaina del nervio óptico y anteriormente con el tabique intermuscular, situado unos 3 mm posterior al limbo. Los músculos extraoculares penetran esta cápsula unos 10 mm posteriores a sus inserciones, fundiéndose la parte posterior de su fascia con dicha cápsula. En el punto en el que los músculos penetran, el tejido conectivo resultante de la fusión de la fascia muscular y la cápsula de Tenon forman unas condensaciones conocidas como **poleas**, que se anclan al periostio de la órbita (periórbita). Estas poleas estabilizan la posición de los músculos en relación con la órbita durante los movimientos del ojo. Se conectan todas entre sí. La degeneración de estas condensaciones fibrosas con la edad hace que los músculos puedan desplazarse dentro de la órbita y causan estrabismo.

Justo por detrás de su inserción escleral, las vainas de los músculos rectos horizontales envían unas **expansiones** hacia la pared orbitaria. Estas expansiones tienen por función sostener el globo y limitar los movimientos oculares. La vaina del recto medio se expande hasta la cresta lagrimal posterior, formando el **ligamento frenador medial**, de unos 15 mm de largo, que limita la acción del recto lateral. Así mismo, la vaina del recto lateral dirige una formación fibrosa de unos 20 mm de largo (**ligamento frenador lateral**) que se ancla en el tubérculo de Withnall y limita la acción del músculo recto medio. Las vainas musculares de los músculos rectos superior, oblicuo superior y elevador del párpado superior se funden y forman el llamado **ligamento de Withnall**, que se fija en los rebordes orbitarios interno y externo y limita el movimiento vertical del ojo. La vaina del recto inferior, en su lugar de cruce con el músculo oblicuo inferior, forman una condensación fibrosa conocida como el **ligamento de Lockwood**, el cual envía unas expansiones hacia los rectos horizontales, formando una hamaca de sostén para el globo ocular²⁸.

Movimientos monoculares y binoculares. Leyes de motilidad.

Se denominan ducciones a los movimientos realizados por un solo ojo. Esto es una forma artificiosa de considerarlo, ya que los movimientos normalmente suelen ser binoculares. Existen las ducciones horizontales, la abducción (separación de la línea media) y la aducción (aproximación a la línea media); las ducciones verticales son la supraducción, elevación o sursumducción (en dirección craneal) y la infraducción, depresión o deorsumducción (hacia caudal); y las versiones torsionales, la incicloducción (mover el polo superior de la córnea hacia

nasal) y la excicloducción (mover el polo superior de la córnea hacia temporal). Además, existen las ducciones oblicuas: suprabducción, supraducción, infraducción e infraabducción. Se denomina agonista o sinergista al músculo o grupo de músculos que llevan a cabo la misma dirección de ducción en el mismo ojo y se denominan antagonistas a los músculos que provocan la acción contraria. La ley de Sherrington de inervación recíproca (Charles Scott Sherrington; 1857-1952) dicta que la cantidad de impulsos nerviosos que recibe un músculo agonista para realizar una ducción es igual a la cantidad de impulsos inhibidores del músculo antagonista, que se relaja en igual medida que el agostina se contrae. En la figura 4 se puede observar el músculo o grupos de músculos responsables de cada ducción.

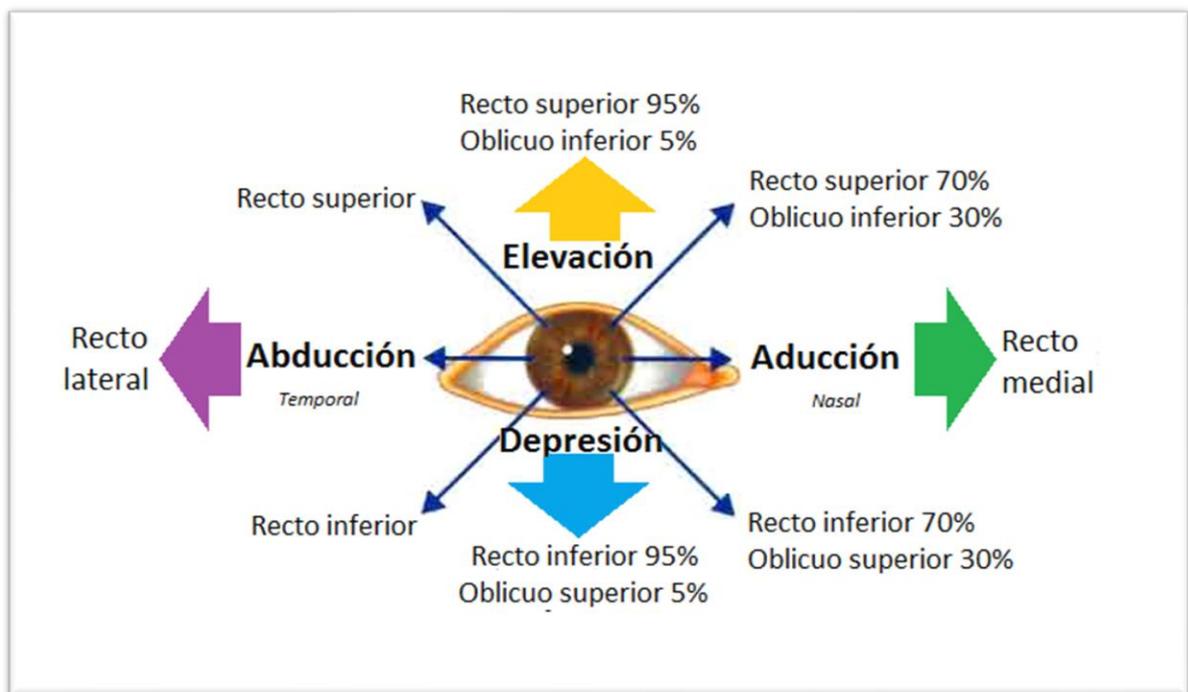


Figura 4. Músculos y ducciones en un OD. Los porcentajes de participación de cada músculo en las ducciones verticales están descritos según Romero ²⁶.

Se denominan versiones a los movimientos conjugados de ambos ojos para fijar en una misma dirección. Las versiones horizontales son la dextro y la levoversión (movimiento hacia la derecha o movimiento hacia la izquierda), las versiones verticales son la supra y la infraducción y las cuatro versiones oblicuas son la supradextroversión, la supralevoversión, la infradextroversión y la infralevoversión. Se denomina músculos yunta a la pareja de músculos de cada ojo que llevan a cabo la misma versión. Por ejemplo, el músculo yunta del recto lateral derecho es el músculo recto medial izquierdo, de tal manera que la contracción de ambos da lugar a la dextroversión. La ley de inervación de Hering (Edwald Hering; 1834-1918) enuncia que la cantidad de impulso nervioso que el cerebro manda a un músculo es igual que a la que envía al

músculo yunta del otro ojo.

Finalmente se definen las vergencias como movimientos binoculares para fijar a distintas distancias. La convergencia es el movimiento de ambos ojos hacia la línea media para fijar objetos cercanos. Es un proceso activo originado por la contracción de ambos rectos mediales y la relajación de ambos rectos laterales. Existen cuatro niveles o componentes de la convergencia. En primer lugar, la convergencia tónica, que consiste en el tono inervacional basal de ambos rectos medios para mantener los ojos rectos. En segundo lugar, la convergencia proximal, inducida por la presencia de un objeto cercano. Le sigue la convergencia fusional. Esta es un reflejo optomotor que mantiene la visión binocular de un objeto próximo y hace que este proyecte en las dos fóveas; está desencadenado por la disparidad bitemporal de las imágenes retinianas. Y por último está la convergencia acomodativa, inducida por el acto de acomodación (cambio de potencia de los dioptrios oculares para enfocar en la retina objetos cercanos). Es importante saber que cada dioptría de acomodación lleva acompañada una cantidad determinada de convergencia. Esta relación se denomina cociente convergencia acomodativa/acomodación (AC/A) y relaciona la cantidad de dioptrías prismáticas que los ojos se desvían hacia la abducción por cada dioptría acomodada por el cristalino. La relación normal es de $4DP/dp \pm 2$.²⁹

La divergencia es el movimiento de ambos ojos alejándose de la línea media para enfocar objetos lejanos. Es un proceso pasivo originado por la relajación de los rectos mediales.

Sacádicos, movimientos de seguimiento y nistagmo optocinético

Se definen las sacadas como movimientos rápidos que reposicionan el objeto observado en la fóvea. Se diferencian del resto de movimientos oculares por su gran aceleración inicial (que llega hasta 30.000 grados por segundo) acaban abruptamente, tienen una latencia de 200 milisegundos y su duración varía entre 50 y 100 milisegundos³⁰. El movimiento de seguimiento permite mover el ojo a la misma velocidad que el objetivo observado, de manera que éste se mantiene estable en la retina. Este movimiento depende de información visual, la predicción del movimiento y de las eferencias del tronco cerebral y de vías centrales, pero a diferencia de las sacadas, no son tan robustas. El nistagmo optocinético es una respuesta de seguimiento, donde el movimiento ocular se genera por el seguimiento de un campo visual y no de un solo objetivo. Tiene un componente de seguimiento en dirección del movimiento del campo visual, con sacada de re-fijación, cuando la mirada se hace excéntrica. La intención de este nistagmo es de estabilizar el campo visual.

Reflejo oculovestibular

Cuando el receptor periférico del vestíbulo detecta un movimiento, envía unos estímulos nerviosos, que, tras ser procesados por el cerebro, generan un movimiento reflejo del globo ocular

con un movimiento lento, en sentido opuesto al del giro, al unísono con el movimiento de la cabeza y de igual intensidad y magnitud al estímulo angular que lo generó, denominado Reflejo Vestíbulo Ocular (VOR). El VOR es el encargado de mantener la estabilidad ocular, atrapando los objetos de interés en la fovea, con el fin de proporcionar una visión clara, que permita orientarnos en el espacio. Puesto que el desplazamiento angular horizontal del ojo en la órbita está limitado, un movimiento sacádico (fase rápida del nistagmo) en sentido opuesto, interrumpe periódicamente el movimiento compensatorio para relocalizar el ojo en la órbita, y que dicho movimiento (fase lenta del nistagmo) continúe compensando el de la cabeza. Este movimiento rítmico e involuntario, con una fase lenta y una rápida de dirección opuesta, que marca la dirección de este, se denomina nistagmo vestibular.

Control motor e inervación

La organización neural de toda la motilidad descrita anteriormente tiene varios escalones y centros de control, empezando desde la corteza cerebral y acabando en las placas motoras de cada fibra muscular.

En los músculos extraoculares la proporción de fibras nerviosas y fibras musculares es muy alta (1:3-1:5) en comparación con la proporción de axones y fibras musculares en el músculo esquelético (1:50-1:125). Esta elevada proporción permite un control preciso de los movimientos oculares.

Los músculos extraoculares tienen dos tipos de fibras musculares. Las fibras musculares lentas o de tipo tónico son las más pequeñas y se localizan en la parte más superficial del músculo. Están inervadas por terminaciones nerviosas en racimos y son útiles para los movimientos de seguimiento suave. Las fibras musculares rápidas son más similares a las fibras del músculo esquelético. Son más grandes y se localizan más profundamente en el músculo, se contraen con una mayor rapidez y tienen terminaciones nerviosas en placa. Son necesarias para los movimientos sacádicos.^{31,32}

El **tercer nervio craneal** o nervio oculomotor común contiene unas 24.000 fibras e inerva, como refleja la tabla 3 a todos los músculos extraoculares con excepción del oblicuo superior y el recto lateral. El núcleo motor somático del III PC está situado en el mesencéfalo rostral a la altura del colículo superior, ventral a la sustancia gris periacueductal e inmediatamente rostral al núcleo del IV PC. Consta de varios subnúcleos (figura 5). Las fibras que parten del subnúcleo dorsal se decusan inmediatamente tras salir, de tal manera que se incorporan al tercer nervio contralateral y corresponden a las fibras de inervación del recto superior. Es decir, que los rectos superiores están inervados por el núcleo contralateral. Además, solo existe un núcleo que inerva ambos elevadores del párpado superior. El núcleo de **Edinger-Westphal**, cefálico y dorsomedial

respecto al núcleo del tercer par proporciona la inervación eferente motora visceral parasimpática preganglionar al músculo ciliar y al esfínter de la pupila. Las fibras del III par atraviesan el núcleo rojo y emergen a la cavidad craneal por los bordes mediales de los pedúnculos cerebrales y discurre bajo la arteria cerebral posterior hacia delante. Pasa lateralmente a las apófisis clinoides posteriores y se mete al seno cavernoso; lo atraviesa e ingresa en la órbita a través de la división inferior de la fisura orbitaria superior. Da una división superior para el RS y EPS y una división inferior para RI, OI y RM. Las fibras parasimpáticas, que viajan en la periferia del músculo constituyen la raíz motora parasimpática del ganglio ciliar, de donde surgen las fibras postganglionares, las cuales se distribuyen por los ciliares cortos.

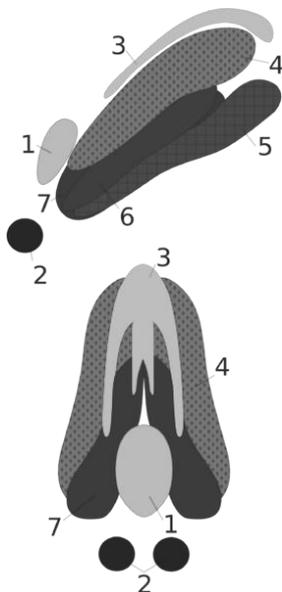


Figura 5. Subnúcleos dentro del núcleo del tercer par craneal y núcleo del cuarto par craneal. 1. Núcleo central caudal (elevador del párpado superior). 2. Núcleo del nervio troclear. 3. Núcleo de Edinger-Westphal. 4. Núcleo dorsal rostral (recto inferior y rectos horizontales). 5. Núcleo ventral (recto medial). 6. Núcleo intermedio (oblicuo inferior). 7. Núcleo medial (recto superior).

Adaptada de un archivo de Creative Commons, creación libre adaptada de Duane's Ophthalmology (William Tasman). Ilustración bajo licencia [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en). <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>

El **cuarto par craneal** es el nervio craneal con menos fibras (unas 3.400) pero con el recorrido más largo. El núcleo del nervio es caudal al del tercer par y sus células son más pequeñas que las del tercer par. Los fascículos se dirigen dorsocaudalmente a la materia gris periacueductal y se decusan completamente, abandonando el tronco del encéfalo justo por debajo de los colículos inferiores. Por tanto, los oblicuos superiores reciben inervación nuclear contralateral. El IV nervio craneal viaja por debajo del tentorium, acompaña al tercer nervio por debajo de la arteria cerebral posterior y entra en el seno cavernoso por debajo del III par. Entra a la órbita a través de la división

superior de la fisura orbitaria superior.

El **sexto par craneal** tiene su núcleo en el puente, bajo el suelo del cuarto ventrículo. La porción fascicular del nervio atraviesa la formación reticular pontina paramediana y emerge al cráneo en la unión bulbopontina. Discurre verticalmente pegado a la cara ventral de la protuberancia, pasa cerca del seno petroso inferior e ingresa en el seno cavernoso. Ingresa a la órbita a través de la porción inferior de la fisura orbitaria inferior e inerva al recto lateral.

Recientemente se ha desarrollado el concepto de inervación compartimental. Existen evidencias anatómicas y funcionales de que todos los músculos extraoculares (a excepción del recto superior) tienen dos ramas de inervación para cada uno y que estas controlan la acción de compartimentos anatómica y funcionalmente distintos.³³ Aunque esto abre un nuevo esquema en la comprensión de los mecanismos de la motilidad ocular, todavía queda mucho que definir a este respecto. Hasta ahora varios trabajos han esclarecido algunos detalles que cambian por completo el esquema clásico del funcionamiento de la motilidad ocular:

- En el caso del RM, su compartimento superior participaría en la supraducción, sería responsable de la adducción en las lateroversiones y participaría en los mecanismos compensatorios de torsión ocular frente a tortícolis. Su segmento inferior, por el contrario, estaría implicado en la infraducción y sería el responsable de la convergencia.

-En el caso del recto inferior, la rama que inerva sus dos tercios mediales estaría implicada en la infraducción, pero no en la ciclotorsión ni la adducción.

-En el caso del nervio troclear, una rama inerva la parte medial del músculo, cuyas fibras se insertan más anteriores. Estas fibras parecen ser las responsables de la inciclotorsión. La otra rama inerva el compartimento lateral, cuyas fibras se insertan más posteriores y se encargarían de la infraducción y participarían en el mecanismo de vergencia vertical del ojo hipertrópico.

-El sexto par craneal también da dos ramas. La rama superior inerva la mitad superior del músculo, que también estaría implicado en el proceso de vergencia vertical al descender el ojo hipertrópico. < y fibras inferiores estarían implicadas en los primeros grados de la infraducción y en los mecanismos ciclorrotacionales de compensación del tortícolis.

-En cuanto al oblicuo inferior, se conoce que existen dos compartimentos separados, pero no hay hasta la fecha publicaciones sobre la funcionalidad de cada una de ellas.

Como hemos visto, la acción conjugada de los músculos produce los distintos tipos de movimientos. Cada uno de estos, depende de un área de control supranuclear.

Los **movimientos horizontales** (a excepción de la convergencia) tienen su centro de

mando en el **área oculomotora frontal** (áreas 6,8 y 9 de Brodmann). De ahí parte una vía dirigida al **colículo superior** ipsilateral que controla la mirada horizontal voluntaria. Esta vía se decusa a nivel de mesencéfalo y termina en la **formación reticular paramediana pontina**, donde está el **centro de mirada horizontal**. Desde ahí surgen fibras a los núcleos del recto medio y al del sexto par por el **fascículo longitudinal medial**. La neuroanatomía de los centros y vías encargadas de la **convergencia** y divergencia es algo confusa. Se cree que los centros responsables estarían situados en el mesencéfalo, próximos al núcleo del tercer par.

En el caso de la mirada vertical, las órdenes salen también del área oculomotora frontal y viajan por las mismas vías que las de la mirada horizontal hasta llegar al **centro de mirada vertical**, situado en el mesencéfalo.

Los movimientos **de seguimiento** tienen dos componentes: el predictivo y el aleatorio. El primero es generado por la corteza frontal (en el campo visual frontal). El segundo es generado en la corteza **oculomotora occipito-parietal**, que recibe grandes aferencias de la corteza visual primaria. La vía camina hacia el colículo superior ipsilateral, se decusa en mesencéfalo y llega hasta el **núcleo pontino dorsolateral** y de ahí al **cerebelo**. Desde el cerebelo nacen vías hacia los núcleos vestibulares y de ahí a los núcleos del tercer y sexto par. Los movimientos sacádicos verticales se encontrarían dirigidos por el núcleo intersticial rostral del fascículo longitudinal medial.³⁴

Los movimientos sacádicos dependen de la coordinación de dos órdenes motoras (dirección rápida de la mirada) y mantenimiento del tono. Los centros de coordinación se encuentran en el núcleo prepósito del hipogloso, núcleo vestibular medial y en el cerebelo. El último nivel de control de las sacadas se encuentra en la corteza parieto occipital, lóbulo frontal, ganglios basales y colículo superior.

Los **reflejos oculo-vestibulares** de posición tienen sus vías aferentes desde los canales semicirculares del oído interno hasta los núcleos vestibulares. De ahí parten neuronas hacia los núcleos oculomotores III, IV y VI a través del fascículo longitudinal medial.

3. FISIOLÓGÍA SENSORIAL Y VISIÓN BINOCULAR

Aspectos monoculares: agudeza visual, campo visual

El proceso por el cual la luz se traduce en un estímulo en las retinas se transmite por la vía óptica, llega hasta la corteza cerebral y forma una imagen tridimensional es complejo y requiere la integridad de todos los componentes de la vía. En primer lugar, la integridad anatómica de todos los elementos de la vía óptica y en segundo lugar la correcta coordinación entre todos esos elementos.

La agudeza visual se define como la capacidad de percibir y diferenciar dos estímulos separados por una distancia angular determinada; es la capacidad de resolución espacial del sistema visual. No solo depende de un ajuste adecuado de las diferentes estructuras oculares, también de la vía óptica y de la corteza visual.³⁵ La fovea es el área de la retina que tiene esta mayor capacidad de discriminación, por su alta concentración de conos y por eso esta área debe apuntar hacia el objeto del mundo exterior que origina el interés visual.

El campo visual monocular es la porción del espacio que un ojo es capaz de abarcar. El objeto de interés, como se ha dicho, proyecta a la fovea, que se constituye como el centro del campo visual. Este campo visual tiene una forma ovalada ligeramente irregular y se extiende desde la fovea 60° hacia superior, 65° hacia nasal, 70° hacia inferior y 105° hacia la parte temporal.

Aspectos binoculares

Se denomina visión binocular a la que se obtiene con el uso simultáneo de ambos ojos y la fusión cortical de sus respectivas imágenes. En condiciones normales, las foveas de ambos ojos están dirigidas hacia el objeto de interés visual. Recordamos que la fovea se constituye como el centro del campo visual de ambos ojos. En esta situación, los objetos situados a la derecha de la fovea serán captados por la retina temporal del ojo derecho y por la retina nasal del ojo izquierdo, es decir, por los fotorreceptores a la derecha de ambas foveas (Figura 6, vía óptica). Por tanto, existen puntos de la retina de ambos ojos que se encargan de recoger la misma imagen del campo periférico. Estos puntos de la retina se denominan **puntos retinianos correspondientes**.

De esta forma, el primer paso de la visión binocular es conseguir que las foveas apunten al objeto de interés de tal manera que también los objetos periféricos se proyecten en puntos correspondientes de ambas retinas. Esto se consigue con la coordinación motora de ambos ojos, en un proceso que globalmente se conoce como **fusión motora**. Se produce gracias a la coordinación de los músculos extraoculares, mediante las versiones y vergencias. En condiciones en las que no existe coordinación motora y hay estrabismo, no se consigue que ambas foveas fijen el mismo objeto y los puntos retinianos correspondientes capten imágenes de objetos distintos. Si

esta situación se da en los primeros años del desarrollo, esto provocará que el cerebro suprima la imagen de uno de los dos ojos y surge la ambliopía; mientras que, en el caso de los adultos, da lugar a diplopía (dos campos visuales monoculares no superpuestos). La otra parte del proceso de fusión es lo que se conoce como **fusión sensorial** y depende de la integridad de la vía óptica (Figura 6). Si ambas fóveas proyectan a la misma área cerebral, la corteza visual primaria es capaz de integrar ambas imágenes.

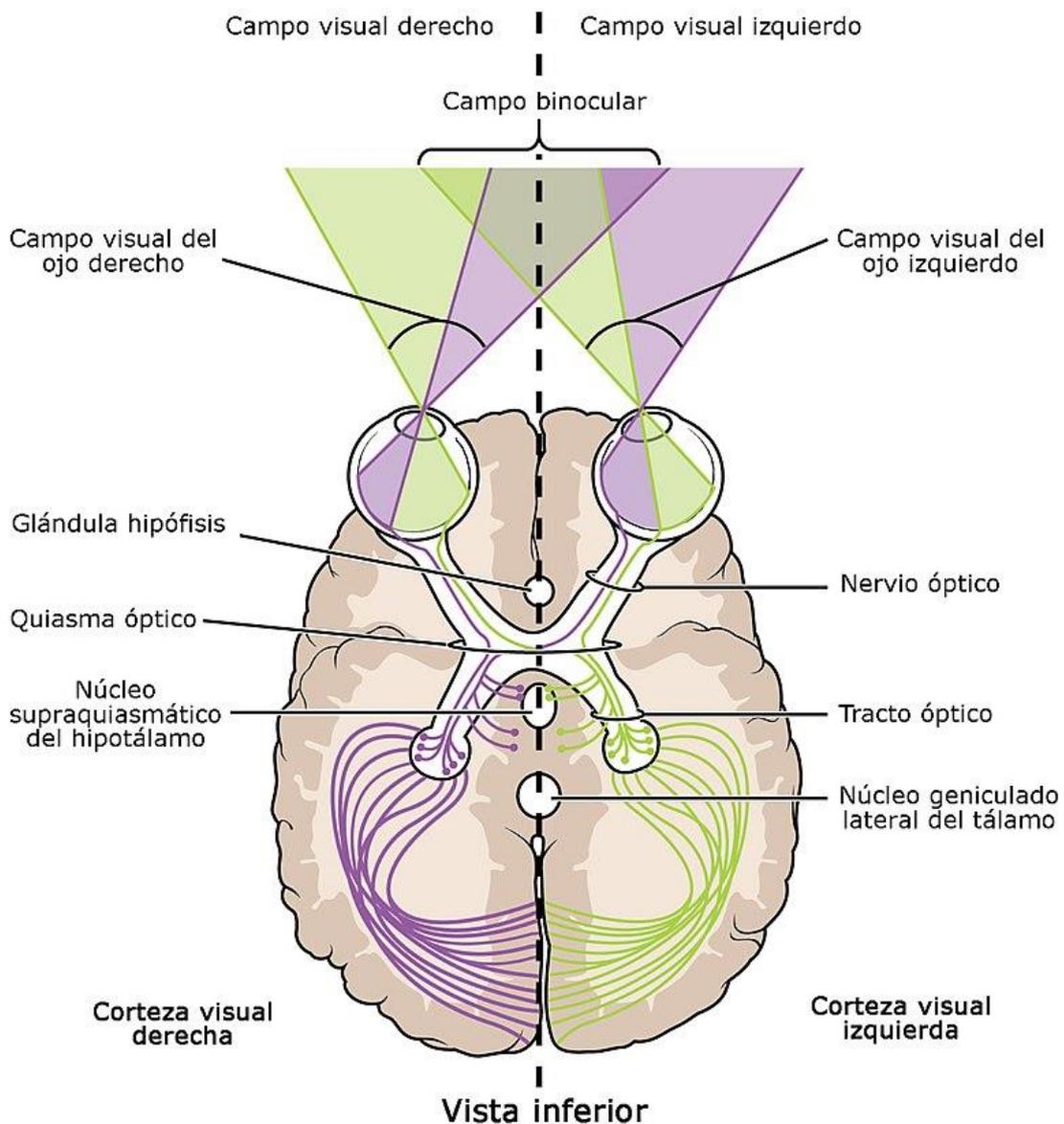


Figura 6. Vía óptica.

Archivo de Wikimedia Commons.

Ilustración bajo licencia e Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>

Se define el **horóptero** como un plano imaginario del espacio externo en el que todos los puntos estimulan elementos retinianos correspondientes y se ven como objetos únicos en el mismo plano. Dado que las retinas no son completamente planas, este horóptero tiene una forma elipsoide e incurvada en sentido vertical y horizontal. Los puntos contenidos en el horóptero serán fusionados por nuestro cerebro en una imagen binocular única. Sin embargo, los objetos del mundo externo no se sitúan en el mismo plano. Un objeto tridimensional podría estimular muchos puntos no correspondientes de ambas retinas. Sin embargo, el cerebro tiene cierta permisibilidad y acepta como correspondientes objetos ligeramente desplazados por delante o por detrás del plano del horóptero. Así que, en realidad, existe una cierta profundidad en el horóptero que conforma el **área fusional de Panum** (Figura 7). Los objetos situados dentro de esta área se ven únicos. Esta área tiene una anchura de unos 6'' en el área foveal y unos 30-40'' en la periferia.

La disposición de los ojos en el ser humano, a cierta distancia el uno del otro en el plano anterior de la cabeza, hace que las imágenes obtenidas por cada ojo al enfocar al mismo objeto no sean idénticas. Y precisamente esta pequeña disparidad retiniana, que produce que las mismas imágenes dentro del área de Panum estimulen puntos retinianos levemente no correspondientes es lo que en el cerebro se interpreta como una tercera dimensión. Y esta capacidad de detectar volumen, distancias tridimensionales y profundidad es lo que se conoce como **estereopsis**.

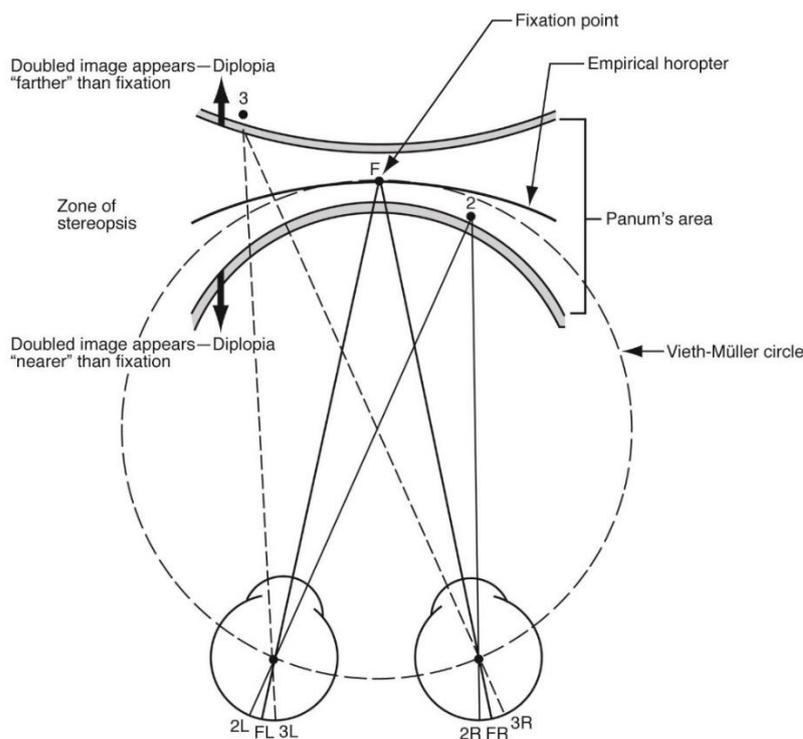


Figura 7. Horóptero y área fusional de Panum. © 2020 American Academy of Ophthalmology

Los objetos situados fuera del área de Panum son vistos como dobles. Todo lo que se encuentre por delante proyectará a retinas temporales a la fovea, de tal manera que el ojo izquierdo

lo percibirá a la izquierda del centro y el ojo derecho a la derecha del centro, provocando una diplopía homónima. Los objetos posteriores al área de Panum proyectan a retinas nasales a la fovea, de tal manera que el ojo izquierdo lo percibirá a la derecha del centro y el ojo derecho a la izquierda del centro, produciendo una diplopía heterónima o cruzada (Figura 8). Esta diplopía se denomina fisiológica y normalmente no es percibida.

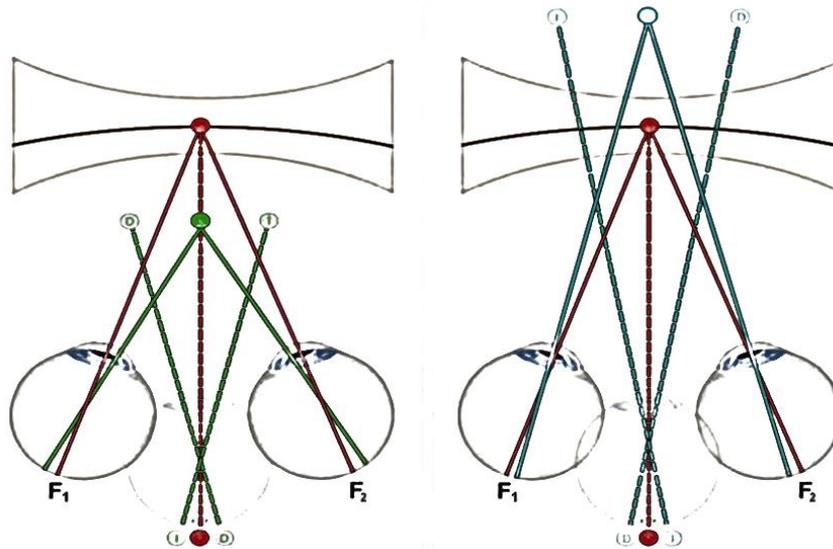


Figura 8. Diplopía fisiológica. Adaptada de Perea, J. (2006). Estrabismos.

Adaptaciones sensoriales a estímulos visuales anormales

La corteza cerebral visual se desarrolla posnatalmente gracias a una estimulación visual temprana. Una estimulación visual anómala causará un desarrollo anormal y provocará distintas adaptaciones en función del tipo de alteración, su duración y sobre todo del grado de desarrollo del sistema visual en el momento de la alteración.

En condiciones de estrabismo o en la que la imagen de un ojo sea más borrosa que la del otro, el cerebro no puede realizar una fusión correcta y para evitar una confusión, inhibe la respuesta cortical de la información visual del ojo problema. Esta inhibición cortical suele afectar a la zona central del campo visual y recibe el nombre de supresión cortical; la zona del campo visual suprimida se corresponde con una zona de la retina denominada escotoma de supresión, de forma que las imágenes que se forman en esta retina no son percibidas al usar ambos ojos. En esta situación el ojo bueno actúa como fijador e inhibe la imagen del ojo problema. Ocluido el ojo fijador, el escotoma de supresión desaparece y la imagen cortical correspondiente al ojo problema se forma, aunque sea de menor nitidez. La supresión cortical constante lleva a una disminución de neuronas binoculares y un aumento del desarrollo de células corticales monoculares del ojo sano. Si la supresión se mantiene, la vía visual completa su desarrollo favoreciendo al ojo bueno y el ojo problema queda con una agudeza visual baja irreparable. Esto se denomina ambliopía.

Algunos sujetos amblíopes, en vez de enfocar puntualmente con la fovea, lo hacen con una zona parafoveal más o menos extensa. Este fenómeno se denomina fijación excéntrica. Es decir, el punto de máxima agudeza visual no se da en la fovea. Es un signo de ambliopía profunda y de mal pronóstico.

En condiciones en las que una desviación es lo suficientemente grande como para que no se consiga fusión foveal ni periférica, puede producirse un fenómeno de reorganización cortical por la cual las imágenes del ojo desviado se fusionen con las del ojo fijador, cambiando las correspondencias de los puntos de una retina y otra, incluyendo la fovea (la fovea del ojo fijador se empareja con un punto extrafoveal del ojo desviado). Se crea lo que se denomina una correspondencia retiniana anómala (CRA). Es una forma de adaptación positiva en comparación con la supresión. Sin embargo, CRA no implica fijación extrafoveal. En casos de CRA, si se ocluye el ojo dominante, el ojo desviado fija otra vez con la fovea; mientras que, en el caso de la fijación excéntrica, el ojo desviado no corrige su desviación para buscar la máxima agudeza visual.

4. EVALUACIÓN Y ESTUDIO DEL PACIENTE ESTRÁBICO

Anamnesis e inspección general

La caracterización del paciente estrábico comienza, como todo en medicina, por una buena anamnesis. Es importante recoger los antecedentes personales generales médico-quirúrgicos (incluyendo cirugías, hospitalizaciones, enfermedades crónicas, medicaciones habituales y alergias a medicamentos), así como oftalmológicos (cirugías o tratamientos láser, colirios habituales, corrección óptica previa, uso de lentes de contacto). En caso de los niños pequeños es interesante recoger datos del embarazo, serologías maternas, parto y puerperio. Los antecedentes familiares de estrabismo o cualquier otra enfermedad oftalmológica son de vital importancia. Tanto en los niños que consultan por estrabismo como los adultos que acuden por diplopía, es importante, el momento del comienzo y la forma, si la desviación es constante o intermitente, si se manifiesta más en algún momento particular del día o si es más evidente de lejos que de cerca.

En el caso de los niños es importante hacer una buena inspección general, en busca de asimetrías faciales o signos sindrómicos. En particular, es importante la descripción del tortícolis. Este tiene un componente de cabeza hombro (derecho o izquierdo), mentón arriba o abajo y cara al lado derecho o izquierdo.

Exploración del área sensorial

Toda exploración oftalmológica debe comenzar con el registro de la agudeza visual. En el caso de los pacientes más pequeños, tenemos varias alternativas: tambor optocinético, tarjetas de visión preferencial o evaluación de los potenciales visuales evocados. Si bien no existen valores referencia estandarizados para cada edad, un estudio realizado en población infantil sana, en Boston en 1995 obtuvo una serie de valores que más o menos se pueden considerar normales para agudeza visual monocular en tarjetas de visión preferencial³⁶ (tabla 4). Igualmente, se han determinado valores de normalidad para el reflejo optocinético y los potenciales visuales evocados³⁷ (tabla 5). A partir de los tres años se pueden empezar a utilizar los optotipos convencionales, como el Piggasou o la E de Albin y más adelante los optotipos convencionales (EDRTS, Snellen, HTVO...). Si bien la AV es el principal factor diagnóstico y pronóstico en oftalmología, deben considerarse otras pruebas sensoriales monoculares para casos determinados, como la sensibilidad al contraste (se ve afectada en la ambliopía), la visión cromática (enfermedades como el monocromatismo de conos azules pueden justificar AV bajas y nistagmos) o el campo visual.

Edad (meses)	Distancia (cm)	Carta de inicio (ciclos/grado)	Media \pm DS (ciclos/grado)
1	38	0.22	0.94 \pm 0.44
1,5	38	0.22	1.11 \pm 0.42
2,5	38	0.44	2.16 \pm 0.43
4	38	0.44	2.68 \pm 0.47
6	55	0.86	5.65 \pm 0.47
9	55	0.86	6.79 \pm 0.43
12	55	0.86	6.42 \pm 0.29
18	55	1.57	8.59 \pm 0.37
24	55	1.57	9.57 \pm 0.27
30	55	1.57	11.52 \pm 0.48
36	84	3.55	21.81 \pm 0.36
48	84	3.55	24.81 \pm 0.31

Tabla 4. Valores normales de AV monocular en Test de Teller según edad. Mayer, D. L. et al. (1995). *Monocular acuity norms for the Teller Acuity Cards Between Ages One Month and Four Years. Invest Ophthalmol Vis Sci*, 36, 671–685.

Edad (meses)	Reflejo optocinético	Visión preferencial	Potenciales visuales evocados
0	20/400	20/400	20/400
2	20/200	20/200	20/60
4	20/200	20/200	20/60
6	20/100	20/150	20/40
12	20/60	20/50	20/20

Tabla 5. Valores de AV normales según edad y método utilizado para determinarla. Paik, H.J. (2017). *Pediatric visual acuity examinations and vision care. J Korean Med Assoc. Jan;60(1):49-56*

A continuación, es conveniente determinar la dominancia motora y sensorial y la fijación. En ocasiones el ojo dominante se puede observar a simple vista, ya que, en el caso de un paciente estrábico, es el ojo que fija el objeto de interés. En el caso de los adultos, puede ser interesante diferenciar el dominante motor (el ojo que no se desvía al realizar un punto próximo de convergencia) o el dominante sensorial (colocar una lente de +2.00 dp delante de cada ojo por separado y determinar cuál “subjetivamente” es más incómodo o empeora más la visión). Una de las pruebas más sencillas para determinar la fijación es la visuscopia. El oftalmoscopio directo dispone de un formato que incluye la proyección de una estrella. Debemos pedir al paciente que mire al centro de la estrella y ver si en el centro de la misma se encuentra el reflejo foveal (fijación foveal) o fuera de ella (fijación excéntrica).

El test de Worth es una prueba sencilla y excelente para determinar fusión, si existe supresión, alternancia y determinar la dominancia. El paciente debe llevar una gafa rojo-verde y mira a una serie de cuatro luces colocadas como los vértices de un rombo (normalmente proyectadas): la de arriba roja, dos verdes a los lados y uno blanco abajo. El ojo derecho, que lleva el cristal rojo, percibe la luz roja y la blanca (que se ve rosada) y anula las luces verdes (por ser colores complementarios); el ojo izquierdo, que lleva el cristal verde, percibe las luces verdes y la luz blanca (que se ve verdosa), pero anula la luz roja. La figura 9 ilustra las posibles respuestas

del test de Worth y su significado. Según la distancia a la que esté colocado y el tamaño del test, la distancia angular y por tanto el área retiniana explorada es distinta (cuanto más cerca, se explora más la periferia y cuanto más lejos se explora más el área macular o la fovea).

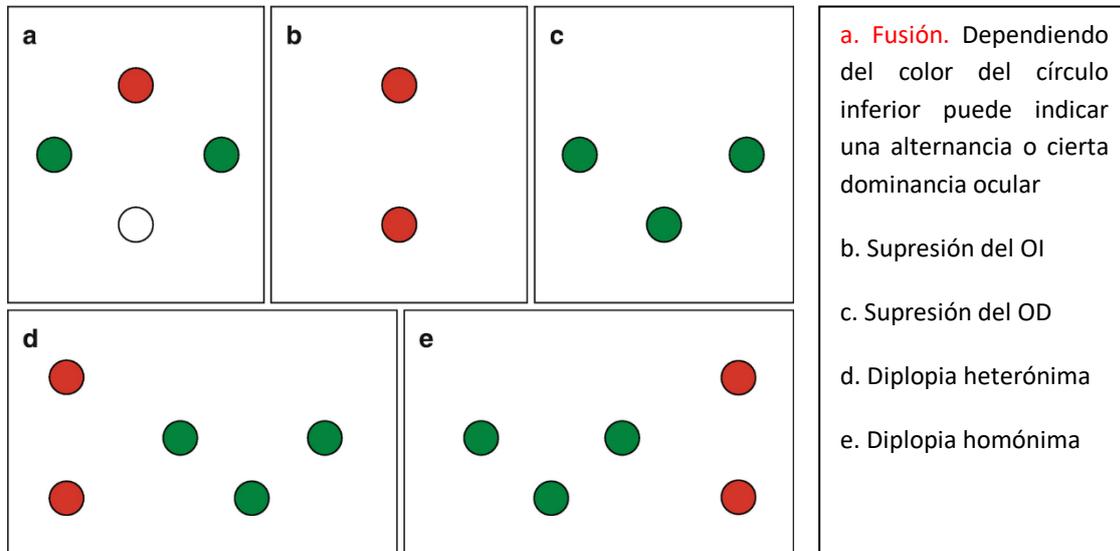


Ilustración 9. Test de Worth.

Los cristales estriados de Bagolini son unas lentes planas, marcadas con unas estrías muy finas y paralelas, que se colocan a 45° en el OD y a 135° sobre sendos ojos. El paciente, si mira a través de los mismos un punto de luz, verá una raya luminosa que cruza la luz, perpendicular a las estrías del cristal. Este test puede explorar tanto dominancia, como desviación, pero es interesante para explorar el escotoma de supresión de las microtropias. En la figura 10 se muestran las principales respuestas al test de las lentes de Bagolini.

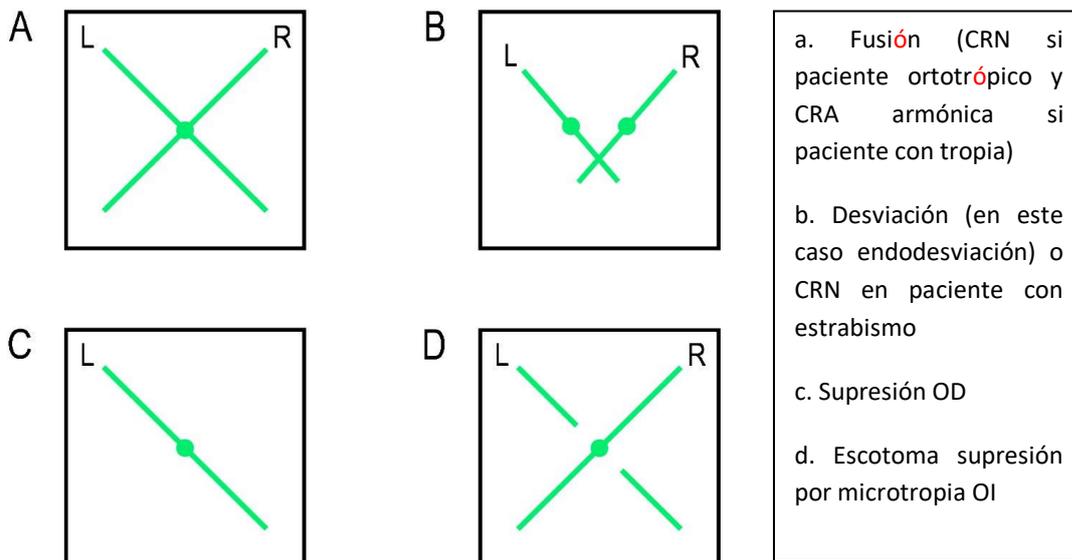


Figura 10. Test de Bagolini

Otro excelente dispositivo que puede estudiar fusión, correspondencia retiniana y amplitud de la desviación es el sinoptómetro. En este dispositivo se presentan dos imágenes separadas a cada ojo a través de dos tubos. El aparato tiene una serie de ruedas para desplazar estos tubos y variar su orientación, tanto en horizontal, vertical y torsional. El test puede determinar el ángulo objetivo de desviación mediante un cover test, realizado a través de las miras del dispositivo, y también determinar el grado de desviación subjetiva, pidiendo al paciente que junte ambas imágenes. Si ambos ángulos coinciden, nos encontramos ante una correspondencia retiniana normal, mientras que, en caso de diferir, nos encontramos ante una correspondencia retiniana anormal.

El último grado de visión binocular es la estereopsis. Existen varias pruebas estandarizadas para determinar la estereopsis (Preschool Randot, Frisby, Randot de lejos, test Frisby-Davis, Lang, Titmus). Se sabe que la estereoagudeza varía no solo según la edad, sino también el test utilizado, la distancia, las condiciones lumínicas y también se ha estudiado su variabilidad test-retest.^{38,39} El test de Lang es el más sencillo de todos y no necesita de gafas auxiliares. La tarjeta de Lang proporciona valores de estereoagudeza de 600, 400 y 200 segundos de arco. El test de Titmus de la mosca, necesita de gafas polarizadas y puede ser utilizados en niños muy pequeños, ya que proporciona estereoagudeza de 3000". Uno de los más utilizados es el test de TNO y necesita de gafas rojo-verde. Proporciona valores de estereoagudeza de 480, 240, 120, 60, 30 y 15 segundos de arco. En la tabla 6 se pueden observar los niveles normales de estereoagudeza y el límite inferior de la normalidad, obtenido en un estudio realizado en niños normales para el test de Randot.⁴⁰

Edad (años)	Media normal	Límite inferior
2-3	200"	400"
4-5	100"	200"
6-10	60"	100"
11-15	60"	100"
16-20	60"	100"
21-30	100"	200"
31-40	100"	200"

Tabla 6. Valores normales de estereoagudeza. Wang, J., Hatt, et al. (2010). Final version of the Distance Randot Stereotest: normative data, reliability, and validity. *Journal of AAPOS: the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 14(2), 142-146. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2009.12.159>

Exploración del área motora

Sabemos que los ojos realizan tres tipos de movimientos: movimientos monoculares o ducciones, versiones y vergencias. Las ducciones se pueden explorar pidiendo al paciente mirar en las 8 posiciones de mirada, con uno de los dos ojos ocluidos. Esto es una manera artificiosa de hacerlo, ya que sabemos que el otro ojo se mueve igualmente, pese a estar ocluido. El test de las ducciones forzadas (pasivas y activas) puede aportarnos información cuando observamos una limitación en la motilidad ocular. Realizada bajo anestesia tópica, intentamos movilizar el ojo (ducciones pasivas) y ver si este movimiento está limitado (por fibrosis, atrapamiento o contractura del músculo antagonista) o no (movilidad normal o paresia) y también podemos pedir al paciente que mueva el ojo mientras sujetamos la pinza para evaluar la fuerza del movimiento (ducciones activas).

Sin embargo, la exploración de las versiones es quizá, junto con el cover test, el procedimiento exploratorio y de diagnóstico más importante de la motilidad ocular. Es la exploración de los movimientos binoculares. Las hipofunciones o limitaciones se señalarán como -4/4 si el ojo no es capaz de llegar hasta la línea media desde la posición de partida; -3/4 si alcanza la línea media; -2/4 si llega hasta un punto intermedio entre la línea media y el punto final del recorrido teórico del ojo y -1/4 si le falta poco para llegar al punto final. Igualmente, si existen hiperfunciones, estas se señalan con el signo positivo. Dado que la torsión es difícil valorarla, se puede explorar de forma subjetiva mediante el doble cristal de Maddox o de forma objetiva observando el fondo de ojo.

Finalmente, hay que estudiar las vergencias, ya que existen multitud de problemas de visión binoculares no relacionados con estrabismo, pero que pueden simular los síntomas de este (alteraciones binoculares no estrábicas y problemas acomodativos). En primer lugar, recordamos que la convergencia es un proceso activo. La forma más sencilla de explorarla es mediante el cálculo del punto próximo de convergencia. Se acercará progresivamente un objeto al paciente, hacia su nariz hasta que observemos que uno de los dos ojos (el no dominante) se desvía o hasta

que el paciente manifieste que lo ve doble. El valor normal del PPC ha de ser igual o inferior a 10 cm. Enlazado con el área sensorial, es importante valorar la capacidad de vergencia fusional; es decir, la capacidad de fusión que tienen los ojos cuando se introduce un estímulo convergente o divergente. Se explora mediante la barra de primas. Se anotará el punto de rotura (primer prisma que produzca visión doble) y el de recobro (prisma que permite de nuevo la fusión). La vergencia fusional positiva o reserva de base temporal se realiza introduciendo prismas de base temporal progresiva y mide la capacidad de convergencia y la vergencia fusional negativa o reserva de base nasal mide la capacidad de divergencia. La tabla 7 muestra los valores normales en cerca y lejos de las vergencias fusionales ²⁹.

Vergencia fusional	Punto de rotura (DP)	Punto de recobro (DP)
VFP / RBT lejos	11 ± 7	7 ± 2
VFP/ RBT cerca	19 ± 9	14 ± 7
VFN/ RBN lejos	7 ± 3	4 ± 2
VFN/ RBN cerca	13 ± 6	10 ± 5
Vergencia vertical	3-6 DP	-

Tabla 7. Valores normales de las vergencias fusionales. Montero, M.A. (2017). *Pre-cirugía refractiva: protocolo de exploración visión binocular y acomodación*. Bausch & Lomb.

Exploración oftalmológica general y refracción

Es siempre necesario hacer una evaluación oftalmológica general observando polo anterior y fondo de ojo para descartar causas orgánicas, por ejemplo, de una ambliopía o determinar la naturaleza sensorial de una desviación.

Otro punto fundamental en la exploración del paciente estrábico es la refracción, pues sabemos cuánto puede influir la misma sobre la motilidad ocular. En general, siempre habremos de realizar una refracción objetiva inicial, bien con autorrefractometría y/o con esquiopía (especialmente útil en niños pequeños), con y sin cicloplejia. En pacientes que colaboren, siempre será de utilidad realizar una refracción subjetiva.

A la hora de explorar la acomodación, podremos explorar, tanto la flexibilidad acomodativa (con flippers), la amplitud de acomodación (método de acercamiento), la capacidad para ponerla en juego (acomodación relativa positiva), la capacidad para relajarla (acomodación relativa negativa) y el AC/A. Los problemas acomodativos pueden influir de una forma determinante en la aparición y en el manejo de algunos estrabismos, así como simular problemas de visión binocular y son motivo de consulta frecuente en oftalmología infantil. En la tabla 8 se exponen los valores normales de las variables acomodativas.

Variable	Valores normales
Amplitud de acomodación	18 – 1/3 de la edad
Flexibilidad acomodativa monocular	Adultos 11 ± 5 cpm; niños 7 ± 2,5 cpm
Flexibilidad acomodativa binocular	Adultos 8 ± 5 cpm; niños 5 ± 2,5 cpm
ARP	+1.75 a +2.50
ARN	-1.75 a -3.50
AC/A	4 ± 2 DP/d

Tabla 8. Valores normales en el estudio acomodativo. Montero, M.A. (2017). Pre-cirugía refractiva: protocolo de exploración visión binocular y acomodación. Bausch & Lomb

5. ESTUDIO DE LA ALINEACIÓN OCULAR

El último paso en la exploración y caracterización del paciente con estrabismo es el estudio del alineamiento ocular y sus desviaciones. Existen dos grandes tipos de pruebas para determinar el ángulo de desviación. La primera clase de pruebas está basada en la posición del reflejo pupilar de ambos ojos, e incluyen el test de Hirschberg (1874, Julius Hirschberg) y el test de Krimsky (1948, Emanuel Krimsky). El segundo tipo de prueba se basan en disociar la imagen de ambos ojos e incluye el test de las 4 dioptrías, cover test y sus variantes. El primero en describir el funcionamiento de esta prueba fue Albrecht von Graefe (1828-1870), posteriormente, Carl Ernst Theodor Schweiger (1830-1905) en 1881 describiría el cover test alternante y finalmente el cover test alternado y prismado, descrito por Krimsky en 1948. Finalmente se describen un tipo de pruebas “mixtas”, que estudian tanto la desviación ocular como el área motora, que son las pantallas de Hess (1909, Walter Rudolf Hess) y Lancaster (1939, Walter Brackets Lancaster).

Test de Hirschberg y Krimsky

El test de Hirschberg es quizá la más inexacta de todas las pruebas y únicamente se utiliza en pacientes lactantes, poco colaboradores o personas con amaurosis como aproximación para detectar un estrabismo. Consiste en proyectar un punto de luz sobre la córnea de ambos ojos, procurando que el paciente fije sobre dicha luz. En un ojo no desviado, el reflejo se situará en el centro de la pupila, mientras que si existe estrabismo el reflejo se desvía. En caso de endodesviaciones el reflejo se situará hacia la parte externa del ojo, mientras que en caso de exodesviaciones el reflejo estará nasalizado. En función de la posición de este reflejo se puede estimar la cantidad de desviación, teniendo en cuenta que 1 mm equivale a 7° y 1° son 2DP aproximadamente (1,75); dado que el tamaño “normal” de una pupila suele estar alrededor de 4 mm, si el reflejo se sitúa en el borde pupilar, estaría a 2 mm del centro, luego a 14° o 28 DP. Si estimamos que el diámetro corneal normal son 12 mm, si el reflejo está situado en el limbo esclerocorneal, estaríamos hablando de 42° u 84 DP (figura 11). Sin embargo, este test está limitado por el ángulo kappa, el ángulo entre el centro pupilar y el eje visual. Este ángulo es positivo si el eje visual es nasal y negativo si es temporal, de tal manera que una persona con ángulo kappa muy positivo puede simular una exotropía y uno muy negativo una endotropía.

El test de Krimsky es una variante del primero. Consiste en la colocación de prismas de dioptrías prismáticas crecientes delante del ojo desviado hasta conseguir centrar el reflejo en el centro pupilar. También se pueden poner prismas delante del ojo fijador (medida de la desviación secundaria), que realizará un movimiento de “centralización”, y por la ley de Hering, el ojo adelfo se irá desplazando igualmente, hasta que ambos reflejos pupilares queden en el centro de la pupila.

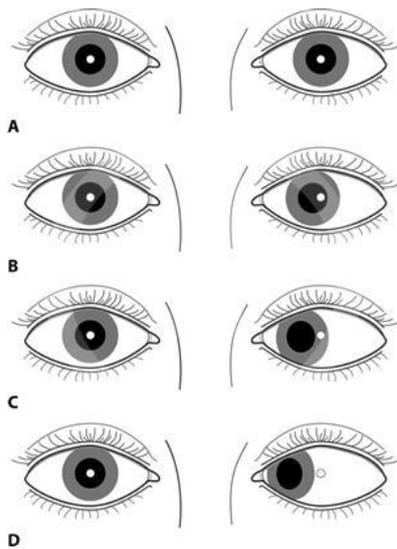


Figura 11. Test de Hirschberg. © 2020 American Academy of Ophthalmology

Cover test

Actualmente, es considerada como el gold estándar en la medición del estrabismo. Esta prueba permite detectar y medir tropías y forias. Puede ser realizado en visión lejana, visión cercana, con y sin corrección óptica. Se divide en cuatro “subtipos” o fases, cada una de las cuales tiene un objetivo. A pesar de ser el gold estándar, presenta una serie de inconvenientes:

- No se puede realizar en pacientes con ambliopías profundas, cuyo ojo ambliope tenga una pobre capacidad de fijación. Igualmente sucede con pacientes con estrabismos secundarios a privación sensorial.
- Difícil medición en aquellos pacientes que presenten nistagmos manifiestos y latentes.
- Difícil detección de microtropías, aunque un examinador bien entrenado puede detectarlas
- No se pueden detectar ni medir ciclodesviaciones
- Necesita cierta colaboración del paciente
- El cover test prismado, según el punto de neutralización y según su realizador, puede presentar cierta variabilidad. Esta será discutida más adelante.
- Varía en función de la distancia de trabajo

-Objetos de fijación morfoscópicos inducen una mayor acomodación que puntos luminosos. Los distintos grados de acomodación pueden variar los resultados del test.

El cover test consiste en, estando el paciente fijando un objeto o punto, tapar uno de los ojos y ver si el ojo contrario realiza un movimiento de refijación. Es decir, está diseñado para detectar tropias (desviaciones manifiestas). Si se ocluye el ojo fijador y el otro ojo no realiza movimiento, estamos ante un sujeto ortotrópico. Si se ocluye el ojo fijador y el otro ojo tiene que realizar un movimiento para refijar, este ojo estaba previamente desviado. Si el movimiento es de fuera hacia dentro, el ojo no fijador estaba en exotropía, mientras que si el movimiento es de dentro hacia fuera el ojo presentaba una endodesviación. Igualmente, para los movimientos verticales; una recolocación hacia arriba indica una hipotropía y una recolocación hacia abajo indica hipertropía.

Uncover test

La segunda maniobra consiste en observar lo que pasa al destapar el ojo tapado en la maniobra previa. Al ocluir un ojo, en pacientes ortotrópicos, se rompe la fusión y el ojo que no está fijando, se “desvía” a su posición de reposo. Dado que no hay objeto que fijar, las vergencias fusionales no actúan. Si al destapar un ojo este experimenta un movimiento de refijación hacia fuera, estaba previamente en endoforia, mientras que si la recolocación se realiza de fuera hacia dentro el ojo previamente ocluido estaba en exoforia. Similar interpretación tiene la prueba para las forias verticales.

Sin embargo, en pacientes con estrabismo manifiesto detectado por cover test, el uncover test pone de manifiesto otra información. Una vez ocluido el ojo fijador para que el ojo desviado recolocase su posición y se manifieste la tropía, debemos observar que sucede al destapar el ojo dominante. Si el ojo dominante reanuda la fijación y el ojo no dominante recupera su posición de desviación inicial, estamos ante un estrabismo constante y denota una dominancia sensorial importante del ojo fijador sobre el desviado. Si el ojo dominante, por el contrario, no efectúa una recolocación para reanudar la fijación y es el ojo “desviado” el que permanece centrado, estamos ante un estrabismo alternante.

Cover test alternante

El cover test alternante consiste en romper la fusión completamente. Se ocluyen alternativamente uno y el otro ojo, de tal manera que nunca haya un periodo de binocularidad. Se recomienda tapar cada ojo durante dos segundos. Dado que la disociación es total, pone de manifiesto la desviación máxima en un paciente estrábico (el resultado de la suma de su desviación manifiesta y su desviación latente).

Cover test prismado

Consiste en utilizar prismas colocados delante de los ojos durante la realización de cualquiera de las variantes de cover test, para medir la cantidad de desviación, ya sea de tropia o foria. El prisma produce la desviación de la imagen hacia la base, de tal manera que el ojo necesita realizar un movimiento hacia el vértice para recolocar el objeto de fijación en la fovea. De tal manera que para medir endotropias/endoforias usaremos prismas de base temporal, para medir exotropias/exoforias utilizaremos prismas de base nasal y para tropias/forias verticales utilizaremos prismas de base superior o inferior.

Al colocar el prisma delante del ojo desviado y realizar un cover alternante, el ojo desviado siempre (salvo ojos amauroticos) realizará un movimiento de refijación hasta que se coloque un prisma de potencia tal que sea igual a la desviación y el ojo no necesite rectificar porque el prisma enfoque la imagen directamente en la fovea (o al punto de máxima agudeza visual en casos de fijación excéntrica). Algunos examinadores siguen introduciendo prismas de potencia creciente hasta que el movimiento observado es el contrario a la tropia o foria y seleccionan el prisma inmediatamente inferior al que produce este efecto.

La medición puede hacerse con varias dianas de fijación y con/sin refracción, para detectar el efecto de la acomodación y puede realizarse en varias posiciones de mirada para detectar incomitancias laterales o patrones alfabéticos.

Varillas de Maddox

La varilla de Maddox es una lente formada por varios cilindros paralelos contiguos, de tal manera que refractan los rayos de luz paralelos a sus ejes. Un punto de luz blanca es visto como una línea recta perpendicular a los cilindros a través de esta lente. Es una lente muy disociante; es decir, colocada delante de uno de los ojos, produce una ruptura total de la fusión. No distingue entre tropia y foria, pero es muy útil para medir las ciclodesviaciones (doble cristal de Maddox, figura 2) ⁴¹. Si situamos las varillas horizontales sobre el ojo derecho, este verá una línea vertical de luz, muy útil para distinguir desviaciones horizontales (aparecerá una “diplopía” cruzada en caso de exodesviaciones y una homónima si hay endodesviaciones), mientras que si colocamos las varillas verticales el ojo derecho percibirá una línea horizontal de luz y podremos identificar mejor las desviaciones verticales. Igualmente, se puede combinar con el uso de prismas para calcular la cuantía de desviación horizontal o vertical; o rotar progresivamente el cristal de Maddox montado sobre una gafa de prueba para calcular los grados de ciclodesviación.

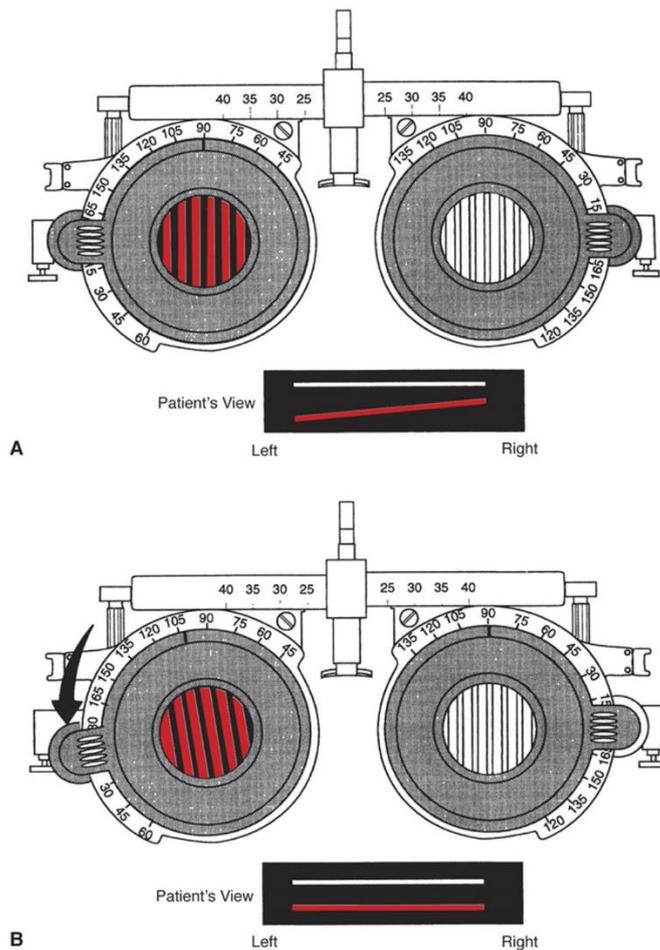


Figura 12. Cálculo de la ciclodeviación con el doble cristal de Maddox. Adaptado de Jeon HS., Park JY., Choi HY. (2019) Ocular Alignment and Movement Exam. In: Lee JS. (eds) Primary Eye Examination. Springer, Singapore.

Existen test utilizados en el estudio del área sensorial, que pueden dar cierta información sobre el alineamiento ocular, tales como el test de Worth, el test de cristal rojo sobre ojo derecho, o los cristales estriados de Bagolini.

Test de las 4 dioptrías de Irvine-Jampolsky

Clásicamente utilizado para la detección de microtropías, especialmente en pacientes lactantes que no colaboran para un cover test o en aquellos casos en los que el examinador no haya conseguido observar la tropía mediante el cover test. Se define una microtropía aquella menor a 10 DP⁴². Normalmente, estas tropías dan como resultado en el ojo desviado un escotoma de supresión central de un tamaño variable. El test se fundamenta en que, al colocar un prisma de 4 DP de base temporal sobre el ojo desviado, la imagen se desvía de la fóvea, pero cae dentro del escotoma de supresión, de tal manera que ni el ojo desviado ni el dominante producen movimiento alguno. Pero si se coloca este prisma delante del ojo fijador, en teoría, este ojo produce un movimiento para colocar la imagen en la fóvea, y el ojo adelfo, por la ley de Hering, le sigue. Una prueba similar es la prueba del bi-prisma de Gracis.

Sin embargo, recientes estudios del Dr. Perea⁴³ mediante han demostrado que este test en personas ortotrópicas puede mostrar varios patrones de respuesta:

-Pacientes que realizan un movimiento de convergencia lento, asimétrico, del ojo con el prisma para fusionar la imagen con la del ojo adelfo

-Pacientes que no realizan ningún movimiento. El ojo no prismado sigue manteniendo la fijación y se produce una diplopía incapaz de fusionar

-Pacientes que recolocan el ojo prismado y que por la ley de Hering desvían el ojo no prismado, pero son incapaces de recolocar este segundo ojo y mantienen una situación de diplopía

-Pacientes, que, según la respuesta clásica, recolocan el ojo prismado y que por la ley de Hering desvían el ojo no prismado, pero que finalmente recolocan el ojo no prismado en un movimiento de convergencia asimétrico para fusionar.

Pantallas de Hess y Lancaster

Aunque, al igual que las varillas de Maddox, se tratan de pruebas de percepción sensorial, estos dispositivos ofrecen mucha información del alineamiento ocular y de la función motora. Por tanto, son pruebas muy útiles en la caracterización del estrabismo. Se emplean para valorar el estrabismo en las 9 posiciones diagnósticas, especialmente útil en estrabismos incontinentes y para determinar la desviación primaria y secundaria.

Se trata de una pantalla tangencial formada por una cuadrícula de líneas (la variante de Weiss utiliza líneas rojas mientras que las pantallas de Hess y Lancaster suelen ser negras) que subtienden un ángulo de 5° entre ellas. En el centro de la pantalla y a 15° del centro, en puntos de intersección de líneas verticales y horizontales, se disponen unos 10 puntos rojos (9 en cada posición diagnóstica y uno central) que forman un cuadrado. También hay un cuadrado externo formado por puntos a 20° o 30° del centro.

Para la prueba se disocian los ojos mediante gafas anaglifas rojo-verde. Mientras que el paciente mantiene la fijación con un ojo (cristal verde) se mide y se representa la desviación del ojo adelfo. Las gráficas resultantes informan de hiperfunciones o hipofunciones musculares, restricciones en las versiones, desviaciones (verticales, horizontales y también torsionales). Por tanto, son pruebas que informan sobre funciones motoras y de desviación y tienen muy buena correlación con el resto de las pruebas descritas previamente, según un estudio.⁴⁴

6. VIDEOCULOGRAFÍA

Antecedentes históricos: electronistagmografía y videonistagmografía

La videoculografía tiene sus orígenes en el deseo de monitorización de la función vestibular. Dado que obtener datos de la función del sistema vestibular de forma directa es complicado, el sistema de reflejos vestíbulo oculares supone una forma más sencilla de evaluar todo el sistema de conexiones vestibulares del cerebro medio.

En primer lugar, surgió la electronistagmografía o electrooculografía (ENG o EOG), que consiste en traducir la diferencia de potencial eléctrico corneorretiniano en una señal que monitorice el movimiento ocular. En 1909 Buys realizó la primera nistagmografía basándose en principios mecánicos que enseguida se abandonaron. En 1911 Wojatschek utilizó el primero fotonistagmógrafo empleando para la impresión una película fotosensible. En general, todos los intentos de registro de los movimientos oculares que se intentaron realizar antes de la aparición de la ENG se abandonaron enseguida ya que fueron desplazados por ésta debido a que los resultados obtenidos eran cada vez más precisos y fiables. Con la aparición de los amplificadores diferenciales eléctricos en la década de los cuarenta y los circuitos impresos, se comenzaron a crear los elementos que permitieron registrar los campos eléctricos periorbitarios, naciendo así la electronistagmografía. Fueron Mowrer, Ruch, Miller y posteriormente Schott, Meyers, Marg, Kris y Shackel los que lograron poner a punto un sistema de registro eléctrico del nistagmo que se denominó electronistagmografía y que comenzó a utilizarse hacia los años 50.⁴⁵

Existe una diferencia de potencial eléctrico entre la córnea y la retina, de tal manera que la córnea tiene carga positiva y la retina carga negativa. Este potencial aumenta su magnitud con luz, ya que la actividad del EPR aumenta y de forma paralela aumenta la carga negativa. Este potencial corneorretiniano (CRP) puede usarse para monitorizar el movimiento ocular situando varios electrodos. Si se colocan un par de electrodos a ambos lados del ojo unidos a un galvanómetro, cualquier movimiento del ojo va a producir una variación en el potencial corneorretiniano, que se registrará como deflexiones positivas o negativas, según sea la córnea o la retina respectivamente la que se aproxima al electrodo activo. La magnitud del CRP varía unos 7 microvoltios por grado de movimiento horizontal, de tal manera que esta técnica tiene una gran resolución espacial (menor a 1°). Por convención, un movimiento ocular derecho debe traducirse en una deflexión hacia arriba de trazado y un movimiento horizontal izquierdo con una deflexión hacia abajo, un movimiento vertical superior se ha de corresponder con una deflexión hacia arriba y un movimiento vertical inferior con una deflexión hacia abajo ⁴⁶.

Hacia el año 1970 se comenzó a introducir las computadoras software para el análisis de los registros ENG que se han ido perfeccionando, al punto de que hoy en día existen múltiples

programas que determinan los estímulos y realizan una lectura automatizada y rápida de los parámetros cuantitativos y cualitativos de los movimientos oculares.

La videoculografía o videonistagmografía (VOG o VNG) consiste en un sistema de registro de los movimientos oculares por medio de una cámara de infrarrojos que, valiéndose de las propiedades reflectivas de la córnea, localiza la pupila y determina el ángulo de mirada. Sus orígenes se remontan a 1935, cuando se realiza los primeros intentos de fotoelectronistagmografía, cuyo fundamento era la reflexión de un haz de infrarrojos emitido sobre el ojo. Se consideró un sistema excelente que eliminaba los artefactos eléctricos y permitía la visualización de nistagmos muy finos y que sin duda sentó las bases para videonistagmografía actual. En los años 80, el otoneurólogo Eric Ulmer, en colaboración con CNRS (Centro de Investigación Científica de Francia), diseñó el primer sistema de VNG clínico. Otro de los antecedentes importantes de la videoculografía los encontramos en los trabajos de Quéré y Pechereau, que desarrollaron la foto-oculografía. Esta técnica se basaba en la medida de la dirección ocular y su amplitud teniendo como referencia el patrón de varios reflejos de luz corneales y la pupila⁴⁷.

El sistema de registro se compone de dos cámaras de infrarrojos en miniatura, capaces de filmar en ausencia de luz visible. Estas cámaras están montadas sobre unas gafas o cámara videonistagmoscópica, que están orientadas hacia un cristal dicróico. Un cristal dicróico es un cristal que está cubierto con múltiples capas de óxidos de metal que permite el paso de ciertas longitudes de onda (luz ambiental) y reflejar otras (infrarrojo). De esta manera, este cristal permite al paciente ver a través de ellos, mientras que la imagen infrarroja del ojo se refleja en las cámaras de registro. El reflejo del ojo recibido por las cámaras es sometido a un análisis conocido como “bright-pupil technique”, que hace que la pupila aparezca más clara que el iris. De tal manera que el contraste entre la pupila y el iris es lo que permite a la máquina monitorizar el movimiento. Esto se consigue gracias a un algoritmo que identifica el centro de la pupila como el centro de un círculo o elipse. En general, la mayoría de los dispositivos tienen disponible una opción para ajustar el brillo y contraste entre el iris y las pupilas para asegurar una correcta identificación y seguimiento. El sistema está además conectado a un videoprojector o a un sistema luminoso para realizar la estimulación visual necesaria para algunas de las pruebas. La capacidad resolutive de los videoculógrafos es de hasta 0, 25°.

Los sistemas de calibración de los modernos ENG y VNG utilizan el mismo principio que los métodos de calibración de los videoculógrafos utilizados en este estudio. Normalmente, el paciente está situado a una distancia conocida respecto a un estímulo visual. En el caso del ENG esta distancia es particularmente importante, ya que los estímulos visuales cardinales de las direcciones de mirada deben tener una distancia angular conocida para calibrar de forma correcta

el dispositivo. En el caso de los videoculógrafos, la correcta calibración depende sobre todo de una correcta determinación del centro pupilar. Ambos dispositivos pueden verse artefactados. En el caso de la EOG, los ojos deben permanecer abiertos durante todo el examen, ya que los parpadeos pueden descolocar los electrodos o interferir en el trazado, así como la contracción de los músculos periorbitarios. Los principales elementos que pueden afectar a la videoculografía tienen que ver con la calibración y con la identificación incorrecta del centro pupilar, por ejemplo, con otros elementos como las pestañas. En general, la videoculografía requiere menos preparación, es menos invasiva, más rápida y permite registros simultáneos de los movimientos verticales y horizontales, así como de los torsionales.⁴⁸

Interpretación de resultados en videoculografía

En una curva de estudio de movimientos sacádicos, una de las curvas mostrará el recorrido del estímulo y la otra u otras curvas los movimientos oculares. Los giros hacia arriba son desplazamientos a la derecha y los giros hacia abajo son movimientos a la izquierda. Se denomina precisión al porcentaje de movimiento angular realizado por los ojos con respecto al movimiento realizado por el estímulo. Si el porcentaje es superior al 110% se denomina respuesta hipermétrica y es típica de lesiones del vermis cerebeloso, mientras que si el recorrido ocular es inferior al 90% del recorrido del estímulo se denominan sacadas hipométricas y son típicas de lesiones cerebelosas, oftalmoplejías internucleares, parálisis supranuclear progresiva y lesiones en ganglios basales. La velocidad se mide en grados por segundo. Son típicas las sacadas lentas de la oftalmoplejía internuclear, aunque también aparecen en paresias de pares oculomotores, miopatías o síndromes motores subcorticales. Otro concepto importante es la latencia, es el tiempo de reacción en milisegundos desde que aparece el estímulo hasta que inicia la respuesta ocular. Latencias largas se suelen deber a falta de atención, edad o baja visión.

El estudio de las curvas de los movimientos de seguimiento se guía sobre todo por la morfología de sus gráficas y no tanto por los datos cuantitativos. Desde el punto de vista cualitativo, cualquier respuesta distinta a un senoide limpio, debe considerarse patológica. Si la morfología de la curva es normal, se pueden analizar algunos parámetros cuantitativos, como la ganancia y la fase. La ganancia, que es la relación entre la velocidad máxima ocular y la del estímulo en condiciones óptimas debe ser 1. La fase es la medida de lo que el ojo se retrasa con respecto al movimiento del objetivo y lo normal es que el ojo este en fase con respecto al objetivo. Las curvas de seguimiento se ven alteradas por la aparición de nistagmos desencadenados por la mirada, nistagmos motores congénitos o lesiones cerebelosas. También los seguimientos se pueden ver sustituidos por movimientos sacádicos en el caso de lesiones corticales, núcleos vestibulares y otros núcleos pontinos.

Finalmente, durante el estudio del nistagmo optocinético, debemos fijarnos también en la ganancia (relación entre la velocidad de movimiento del estímulo y la velocidad del movimiento ocular) y en la asimetría entre el movimiento hacia la derecha y la izquierda. La ganancia es baja en pacientes con problemas de visión central (maculopatías) y periféricas (glaucoma), aunque en los pacientes con déficits de visión central recuperan ganancias normales según avanza la prueba. Las asimetrías son típicas de nistagmos vestibulares, aunque también se encuentran en lesiones cerebrales.

Videoculógrafo Perea®

El videoculógrafo Perea® (VP) es un dispositivo completo de registro y análisis de los movimientos oculares que permite explorar la oculomotricidad y medir las desviaciones oculares. El dispositivo comienza a desarrollarse en 2003 impulsado por el Dr. José Perea en colaboración con la empresa francesa Synsapsis. El primer modelo definitivo presentó sus primeros resultados en la segunda edición del libro “Estrabismos” del Dr. Perea en el año 2008.⁴⁹

El dispositivo consta de una unidad de apoyo de la cabeza con mentonera y apoyo frontal, con un cristal dicróico situado frente a los ojos del paciente inclinado 45°. Además, consta de dos iluminadores infrarrojos situados frente a ambos ojos, que apuntan hacia los mismos desde abajo, lo que permite realizar la exploración con gafa. Consta de un sistema de video proyección para los estímulos visuales, que se proyecta en una pantalla situado frente al sistema de apoyo, a una determinada distancia (1 o 1,5 m). Además, cuenta con un sistema de grabación con cámaras a 25 Hz por defecto. (Figura 13)

La pantalla de inicio se puede observar en la figura 14. Arriba a la izquierda tenemos el área de gestión de paciente, donde encontramos las opciones de introducir nuevos datos, modificar los previos, eliminar un registro y búsqueda de registros. Los datos pueden ser organizados en bases de datos. Justo debajo, una vez seleccionado el paciente y la fecha del examen, podremos ver las pruebas realizadas en ese examen. Así mismo, da la opción de añadir nuevos exámenes, eliminar los ya realizados o imprimir los resultados. En la parte derecha superior vemos las imágenes de las cámaras, así como las opciones para ajustar la calibración, mientras que en la parte inferior derecha vemos las gráficas de los movimientos oculares.

El dispositivo tiene varias opciones de calibración. En primer lugar, se requiere el encuadre de la imagen del ojo dentro de la cámara. La detección de la pupila es automática, aunque se puede ajustar el umbral de detección de forma manual. Existe también la opción de calibrar la equivalencia entre píxeles y grados para cada paciente, bien determinando el diámetro corneal o mediante estímulos visuales, proyectados a una distancia conocida. Además, antes de comenzar el examen, debe marcarse el cero motor de cada ojo. Para realizar el cero motor del ojo

derecho, por ejemplo, se ocluye izquierdo, se solicita al paciente que fije el blanco en el centro de la pantalla de estimulación y se hace clic en el botón cero motor del ojo descubierto (derecho). La posición del centro de la pupila en el momento del clic se registrará y se utilizará como cero motor: esta posición será el origen de las marcas de las posiciones del ojo. La posición del cero motor se mostrará en el oculoscopio en forma de eje horizontal y vertical (rojo para el ojo derecho y azul para el izquierdo). Además, el dispositivo permite un “reajuste” a posteriori del examen, si se comprueba que ha habido una mala determinación del centro pupilar en algún momento.

Además, el aparato permite ajustar los estímulos visuales presentados durante las pruebas estáticas y dinámicas. Se puede modificar la forma y el tamaño de los estímulos, así como la posición y el orden donde deben aparecer. Además, para las pruebas dinámicas de nistagmo optocinético se pueden modificar la dirección, velocidad y el tipo de movimiento de los estímulos. En el estudio de los movimientos sacádicos se puede determinar también la velocidad con la que cambian los estímulos, así como en las pruebas de “coordimetría” (movimientos de seguimiento).

Durante los exámenes, la parte inferior de las gráficas puede mostrar hasta cuatro curvas: posición del centro pupilar derecho, del centro pupilar izquierdo, posición del estímulo visual y correspondencia entre ambos ojos. Las curvas que se muestran o no, pueden ser seleccionadas. No solo muestra la posición en horizontal, sino que también se puede estudiar su movimiento en vertical y con respecto a los ejes oblicuos de 45° y 135°. El gráfico muestra en el eje x el tiempo y en el eje y la desviación.



Figura 12. Unidad de apoyo del VP

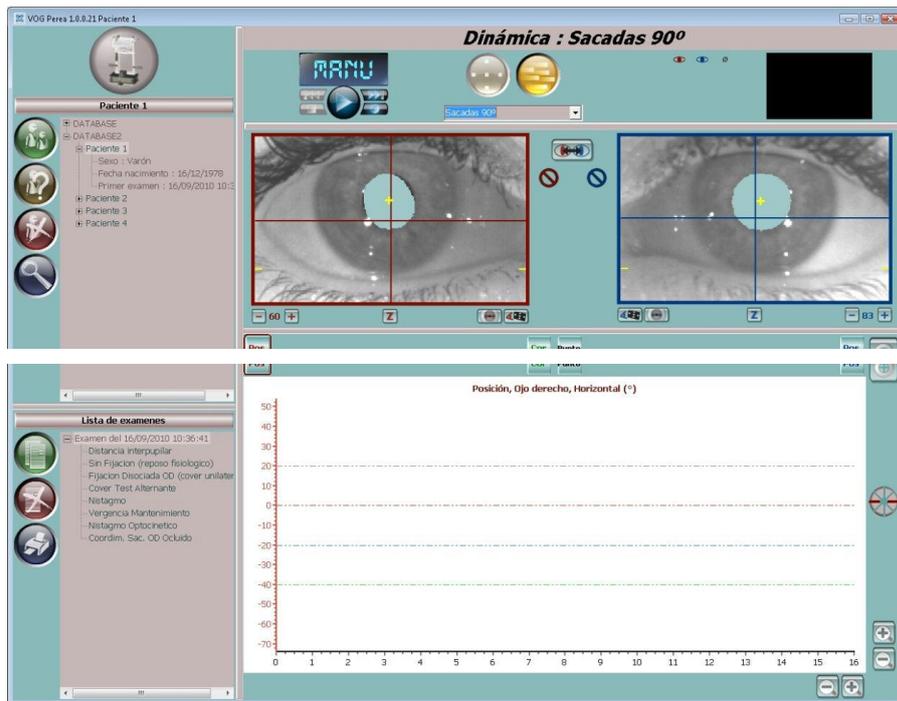


Figura 14. Pantalla de inicio VP

Funciones y exámenes con VOG Perea ®

- **Cálculo de la distancia interpupilar:** mediante una foto de ambos ojos, el software calculará la distancia en mm entre las dos pupilas, así como las superficies y diámetros pupilares.
- **Fijación en reposo:** estudia la posición que adoptan los dos ojos al perder la fijación. Se realiza ocluyendo ambos ojos. Dentro de las pruebas estáticas, seleccionando SIN FIJACIÓN.
- **Fijación disociada:** estudia la posición de cada ojo por separado, al romper la fijación mediante la oclusión de uno de ellos. Es útil en el estudio de las desviaciones disociadas (DVD, DHD), forias y nistagmos latentes. Dentro de las pruebas estáticas, seleccionando FIJACIÓN DISOCIADA.
- **Fijación asociada:** se pide al paciente que mire a un estímulo central con ambos ojos destapados (útil para determinar la dominancia). Además, incluye una fase de cover-uncover simple de cada ojo para detectar tropías. Se puede poner el estímulo en distintas posiciones de mirada para detectar incomitancias o patrones alfabéticos o en el caso de nistagmo, si existe alguna posición de bloqueo. Dentro de las pruebas estáticas, seleccionando FIJACIÓN ASOCIADA.

- **Cover test alternante:** a diferencia del examen anterior, se realiza un cover test alternante para encontrar el estado de máxima disociación, obteniendo los valores máximos de desviación (tropia + foria), pudiéndose detectar incoherencias según el ojo fijador. También se puede realizar con estímulos en distintas posiciones. Dentro de las pruebas estáticas, seleccionando COVER TEST ALTERNATE.
- **Test de las 4 dioptrías (Irvine-Jampolsky):** test clásico para diagnosticar microtropías, se realiza con un prisma de 4 DP. Dentro de las pruebas estáticas, seleccionando IRVINE JAMPOLSKY.
- **Test de vergencias:** para explorar la capacidad de convergencia. Dentro de las pruebas estáticas, seleccionando VERGENCIAS.
- **Test de sacadas:** para el estudio de los movimientos sacádicos, tanto en el eje horizontal (0°) como en el vertical (90°). Dentro de las pruebas dinámicas, seleccionando SACADAS 0/90°.
- **Test de seguimiento:** para el estudio de los movimientos de seguimiento, tanto en el eje horizontal (0°) como en el vertical (90°). Dentro de las pruebas dinámicas, seleccionando SEGUIMIENTO
- **Test de nistagmo optocinético:** para el estudio del nistagmo optocinético. Dentro de las pruebas dinámicas, seleccionando NISTAGMO OPTOCINÉTICO.
- **Coordimetrías:** sirven para determinar limitaciones e hiperfunciones. Puede hacerse mediante sacádicos, movimientos de seguimiento, con ambos ojos descubiertos, o con disociación cubriendo cada uno de los ojos. Dentro de las pruebas dinámicas, seleccionando COORDIMETRÍA.

Presentación de resultados con VOG Perea®

El dispositivo ofrece una serie de tablas y gráficas que expresan los resultados de los exámenes realizados.

- **Oculocartógrafo:** El oculocartógrafo mostrará las posiciones verticales en función de las posiciones horizontales: «f(X,Y)». Las mediciones mostradas son las posiciones pupilares de cada uno de los ojos en grados, así como la posición del blanco en grados. (Figura 15)

- **Cuadro de desviación disociada:** El cuadro de desviación disociada se presenta en forma de cuadro de valores. Cada valor representa el desfase angular máximo estabilizado de un ojo con respecto a su propio «cero motor». (Figura 16)
- **Cuadro de equilibrio bi-ocular:** Muestra los valores angulares existentes entre los dos ojos. Se observan las posiciones del estímulo visual y las desviaciones medidas en grados. Los positivos hablan de endodesviación, los negativos de exodesviación y en el caso del vertical, azul se traduce como OI/OD y rojo OD/OI. (Figura 17)
- **Diagrama de desviación:** Cada punto representa la posición de un ojo para una fase de adquisición (posición del estímulo). El color rojo se asocia al ojo derecho y el color azul al ojo izquierdo. Las cruces negras representan las posiciones de los estímulos. (Figura 18)
- **Diagrama y cuadro de nistagmo:** El diagrama permite visualizar las frecuencias de los nistagmos en función de la posición del blanco y de la fase visual (Figura 19). El cuadro muestra la frecuencia del nistagmo de cada ojo y en cada posición de mirada.
- **Cuadro de vergencias:** Este cuadro muestra la diferencia angular existente para cada ojo entre la fijación establecida a ~1,5 m (estimulación central fija) y una prueba morfológica situada sobre la línea media a una distancia de ~15 cm. Además, el software mostrará los valores de velocidad máxima alcanzada durante el movimiento de cada ojo (Figura 20).
- **Cuadro de nistagmo optocinético:** en el examen de nistagmo optocinético, expresa para cada dirección de desplazamiento, la frecuencia de nistagmo de cada ojo.
- **Velocidad máxima/amplitud:** en el examen de sacadas, presenta una gráfica de máximas velocidades de sacada en función de la amplitud y una tabla en el que se dan los datos de latencia, velocidad máxima y precisión de cada ojo y para cada sacada. (Figura 21).
- **Diagrama de ganancia:** para el examen de movimientos de seguimiento, se observa una gráfica con los movimientos de cada ojo (Figura 22).
- **Diagrama coordimétrico:** similar al diagrama de desviación, morfología muy similar a una pantalla de Lancaster (Figura 23). Solamente disponible en el examen “coordimetría” (seguimiento).

- **Diagrama de límites oculomotores:** muestra el área total recorrida y además muestra las máximas posiciones alcanzadas en el eje horizontal, vertical y ejes oblicuos (Figura 24).

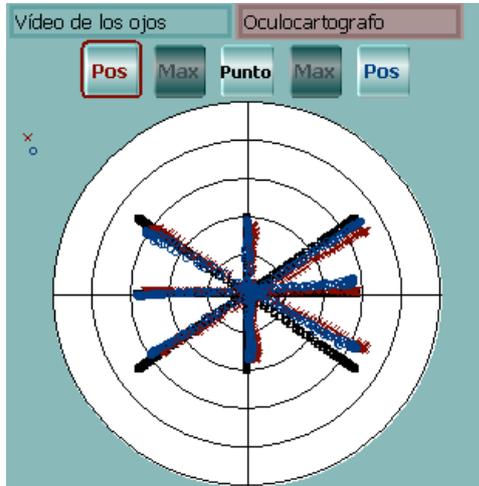


Figura 15. Oculocartógrafo VP

Vision	 	 
Cible	H : 0° ; V : 0°	H : 0° ; V : 0°
↔	20,3° 0,0°	26,7° 0,2°
↕	3,3° 0,3°	14,6° 0,2°

Figura 16. Cuadro de desviación disociada del OD en VP

Vision	 	 	 	 
Cible	H : 0° ; V : 0°	H : 30° ; V : 0°	H : -30° ; V : 0°	H : 0° ; V : 0°
↔	0,3°	15,2°	-0,4°	0,3°
↕	0,7°	0,7°	0,3°	1,1°
Vision	 	 	 	
Cible	H : 0° ; V : 20°	H : 0° ; V : -20°	H : 0° ; V : 0°	
↔	-0,4°	0,7°	0,3°	
↕	0,7°	0,3°	0,7°	

Figura 17. Cuadro de equilibrio bi-ocular de VP

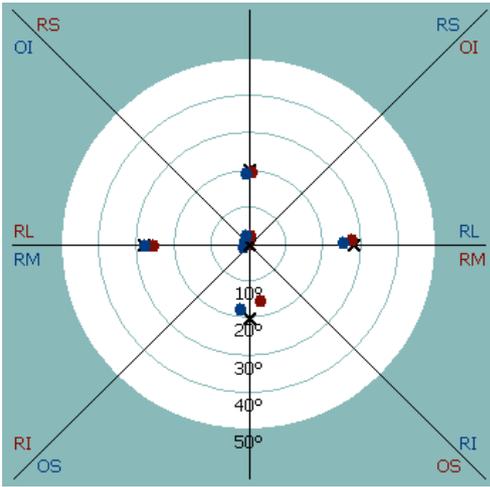


Figura 18. Diagrama de desviación de VP

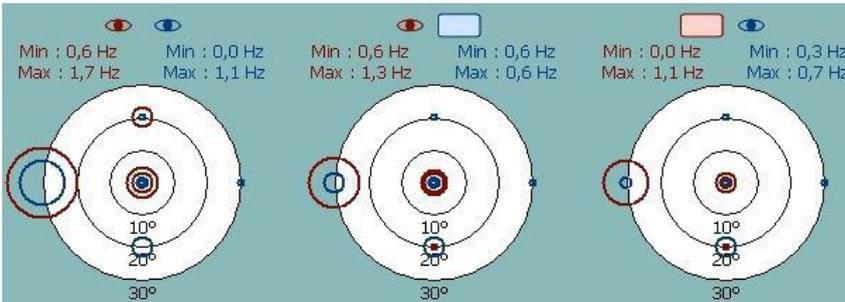


Figura 19. Diagrama de nistagmo.

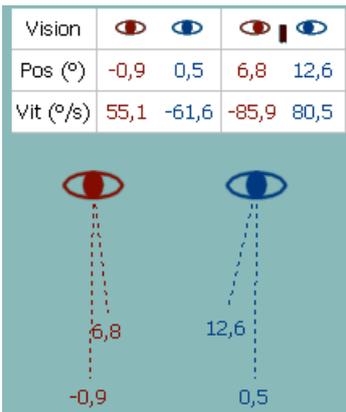


Figura 20. Cuadro de vergencias

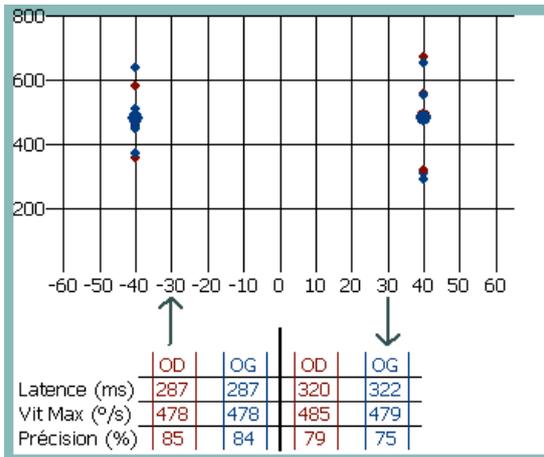


Figura 21. Gráfica y tabla de sacadas VP

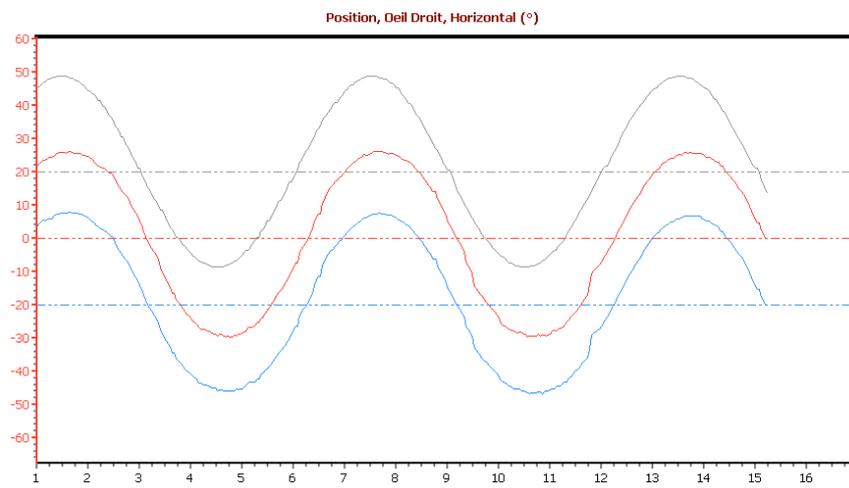


Figura 22. Diagrama de ganancia (movimientos de seguimiento) VP

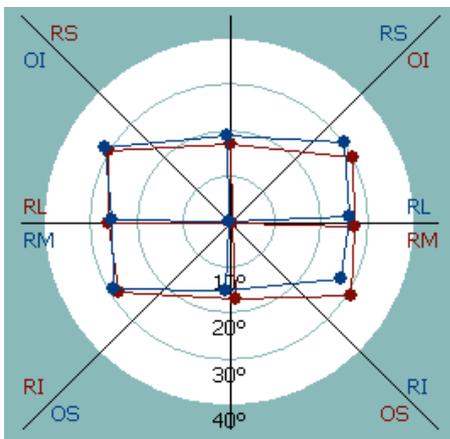


Figura 23. Diagrama coordimétrico VP

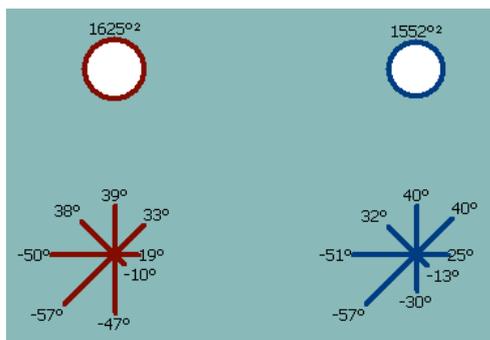


Figura 24. Límites oculomotores VP

Estrabómetro GazeLab®

El estrabómetro GazeLab® (GL) es un dispositivo desarrollado por BcnInnova en colaboración con los profesionales del hospital Sant Joan de Deu de Barcelona. Su desarrollo comenzó en 2008 y en 2011 se presentaron los resultados del primer prototipo. ⁵⁰

El dispositivo consta de un casco abierto, que incorpora en la zona interocular un sistema de proyección, que muestra los estímulos visuales. El casco se monta en torno a un soporte similar a una gafa de prueba, que permite montar lentes de prueba según la refracción del paciente. Además, dispone de un sistema de grabación compuesto por dos cámaras infrarrojas que están dirigidas a dos cristales dicroicos, situados frente a la montura de prueba. (Figura 25). La unidad debe conectarse a un ordenador y lleva un mando a distancia para el control de las distintas pruebas, así como un ocluser.

La calibración del dispositivo debe comenzar por una buena colocación y adaptación del casco. Se ha de ajustar en primer lugar el sistema de proyección, para que esté correctamente colocado. En segundo lugar, ajustar las dimensiones de las gafas, tanto en distancia interpupilar, longitud de las patillas de las gafas, refracción (la casa comercial recomienda utilizar el equivalente esférico montado en la gafa de prueba colocando los cristales de forma oblicua al plano del ojo para evitar reflejos en las cámaras). Además, los cristales dicroicos deben colocarse correctamente.

La pantalla de inicio se muestra en la figura 26. En la parte superior de la pantalla está el área de gestión de pacientes, donde se puede observar un listado de los pacientes ya registrados, además de la opción de añadir nuevos pacientes. En la parte de media de la pantalla, seleccionando un paciente de la parte superior, podremos observar el listado de exploraciones realizadas a dicho paciente. Finalmente, en la parte inferior, podemos observar los informes con los resultados de cada una de las pruebas realizadas.

La segunda fase de la calibración comienza tras seleccionar uno de los test, antes de comenzar la prueba. Las cámaras deben grabar de forma centrada los ojos. Se puede ajustar la detección de la pupila de forma manual, ajustando un “círculo de detección”, centrándolo en la pupila o ajustando el umbral de detección. Existe un modo especial denominado “ojos azules”, ya que el contraste entre la pupila y el iris en estos ojos es menor. La tercera fase de calibración se realiza automáticamente al comenzar los test. El test toma varias medidas iniciales; si estas no son similares entre sí, la prueba termina y hay que reiniciarlo.



Figura 25. Casco de Gazelab

Gazelab - [Gestión Pacientes, Configuración] Paciente seleccionado: Marcos Pac2

Gestión Pacientes + Nuevo Test Configuración

Búsqueda
 Id.Paciente: Nombre:
 Exploraciones: Todos los tests

Listado de los pacientes seleccionados:

Id.Paciente	Nombre	Apellido	Sexo	Fecha nacimiento	Diagnóstico	Comentarios Diagnóstico
4560-9815	Curso	IMO estrabismo	Masculino	21/10/2016	Por Determinar	-
1234567890	Marcos	Pac2	Masculino	28/06/2016	Por Determinar	-
1249803456	Marcos	pac1	Masculino	28/06/2016	Por Determinar	-
59406	Mirala	Mari	Masculino	27/07/2015	Por Determinar	-
128901098	Celia	Almoh	Masculino	20/01/2016	Por Determinar	-
6334835435	Pupilo	Pupilo	Masculino	07/04/2016	Por Determinar	-
2340922559	Fal32	fal32	Masculino	21/03/2016	Por Determinar	-

Listado de exploraciones:

Nombre	Apellido	Fecha	Exploraciones	Distancia pared (cm)	Comentarios
Marcos	Pac2	12/07/2016 11:28	Pupila 3 luces	-	-
Marcos	Pac2	12/07/2016 11:26	Pupila 2 luces	-	-
Marcos	Pac2	28/06/2016 13:50	Test Libre	15	sin graduacion
Marcos	Pac2	28/06/2016 13:47	Test Libre	15	Con graduacion
Marcos	Pac2	28/06/2016 13:44	Test Libre	15	sense estabilizador

Informes del Paciente:

Fecha	Exploración
12/07/2016 11:28:26	Informe Pupila 3 Luces
12/07/2016 11:26:44	Informe Pupila 2 Luces
28/06/2016 13:50:39	Informe Test Libre Estrabismo
28/06/2016 13:47:29	Informe Test Libre Estrabismo
28/06/2016 13:44:00	Informe Test Libre Estrabismo

+ Nuevo Test

Figura 26. Pantalla de inicio de Gazelab

Durante las diferentes pruebas, el examinador debe comprobar que el paciente está siguiendo las instrucciones dadas y comprobando que mira la diana requerida. Una vez se comprueba esto, es el examinador, con ayuda del control remoto, quien registra la medida. El sistema muestra un cuadrado de color verde sobre cada ojo que indica dónde debería mirar el paciente con alguno de los dos ojos (un paciente sano fijaría con los dos, y uno patológico fijaría con el dominante), si la fijación no se produce dentro del cuadrado verde indica que el paciente no colabora o tiene una parálisis ocular que le impida llegar a ver fijar la mirada en el punto. Si la pupila del ojo dominante se encuentra dentro del cuadrado verde y está estable, el examinador realizará la medida con el mando. Esto supone el último punto de calibración y control de la toma de medidas.

- **Test de las 5/9 posiciones de la mirada (con / sin parálisis):** Para medir el estrabismo en paciente que puedan fijar con el ojo fijador en las 5 / 9 posiciones de mirada. El paciente debe mirar a los 9 puntos del patrón con el ojo fijador. Se realizan tres medidas en cada uno de los puntos a explorar, el primer punto a explorar es el punto central del patrón. La primera medida será con el ojo derecho tapado (ojo izquierdo fijador), la segunda con el ojo derecho tapado (ojo derecho fijador) y la tercera con ambos ojos descubiertos.
- **Test Acomodativo:** Para medir las desviaciones oculares a corta distancia. Tras la calibración inicial, se seleccionará una diana a larga distancia y otra a corta. Se toman medidas con fijación de ojo derecho, izquierdo y ambos ojos destapados.
- **Test Lejos:** para medir los estrabismos a distancias largas. En este caso la primera medida será a distancia media y posteriormente el sistema nos pedirá seleccionar una diana a larga distancia.
- **Test de Bielschowsky:** Para medir las desviaciones oculares a media distancia (mínimo 100cm) con la cabeza inclinada sobre hombro derecho y sobre hombro izquierdo. Tras las calibraciones, toma medidas de la desviación con la cabeza sobre hombro derecho y luego sobre hombro izquierdo.
- **Test de Hirschberg:** Para medir las desviaciones oculares en pacientes afectados por una paresia o restricción severa en el que un ojo no puede fijar la mirada en posición primaria de mirada. En casos de pacientes con baja visión o pacientes muy poco colaboradores, ya que este modo puede prescindir de la calibración inicial.

- **Test de nistagmo:** En el caso binocular (para pacientes con nistagmo que no pueden fijar la mirada en el punto primario de la mirada, o pacientes poco colaboradores, o pacientes con mirada excéntrica, o pacientes con baja visión) el paciente debe intentar fijar la mirada en el punto de central del patrón durante 4 segundos, el sistema cogerá una media de las medidas tomadas durante estos 4 segundos para poner la referencia de cada ojo (medidas sin cubrir). Luego el sistema grabará video, tomará datos de los movimientos horizontales, verticales y torsionales (cálculo OFFLINE). En el caso monocular (deberemos hacer dos mediciones mirando al punto central, primero ocluyendo el derecho e inicializando el izquierdo, y luego ocluyendo el izquierdo inicializando el derecho). Este test es útil para la medida de movimientos sacádicos dentro y fuera del patrón.

- **Test del reflejo pupilar:** sirve para valorar la respuesta pupilar a diferentes estímulos (acomodativo, luminoso).

- **Test pupila 2 o 3 luces:** sirve para determinar el ángulo kappa monocularmente en condiciones fotópicas y mesópicas y en el caso del test de 3 luces en condiciones escotópicas. Útil para valorar la implantación de lentes multifocales.

Presentación de resultados con GazeLab[®]

Los informes generados por GazeLab incluyen imágenes, gráficas y tablas numéricas (Figura 27 y 28). Las imágenes son fotografías de ambos ojos por separado, para cada momento del examen, en el que se marca el centro pupilar, el centro de referencia en posición primaria, así como el diámetro de la pupila. Las gráficas expresan la posición del blanco, la posición del ojo derecho y la posición del ojo izquierdo. Las tablas numéricas muestran la cantidad de desviación medida en dioptrías prismáticas para cada posición de mirada. El dispositivo ofrece tantos datos de desviación horizontal, vertical (especifica si OI/OD u OD/OI) y torsional de cada ojo por separado (con una E° para exciclotorsiones y una I° para inciclotorsiones).

En el caso del examen de nistagmo, se observan las gráficas de sacadas tanto en posición vertical como en horizontal y la medición de la frecuencia de batida de nistagmo, así como la posición de bloqueo para cada ojo (Figura 29). Los exámenes de pupilometría muestran una gráfica de variación de tamaño pupilar según tiempo (Figura 30).

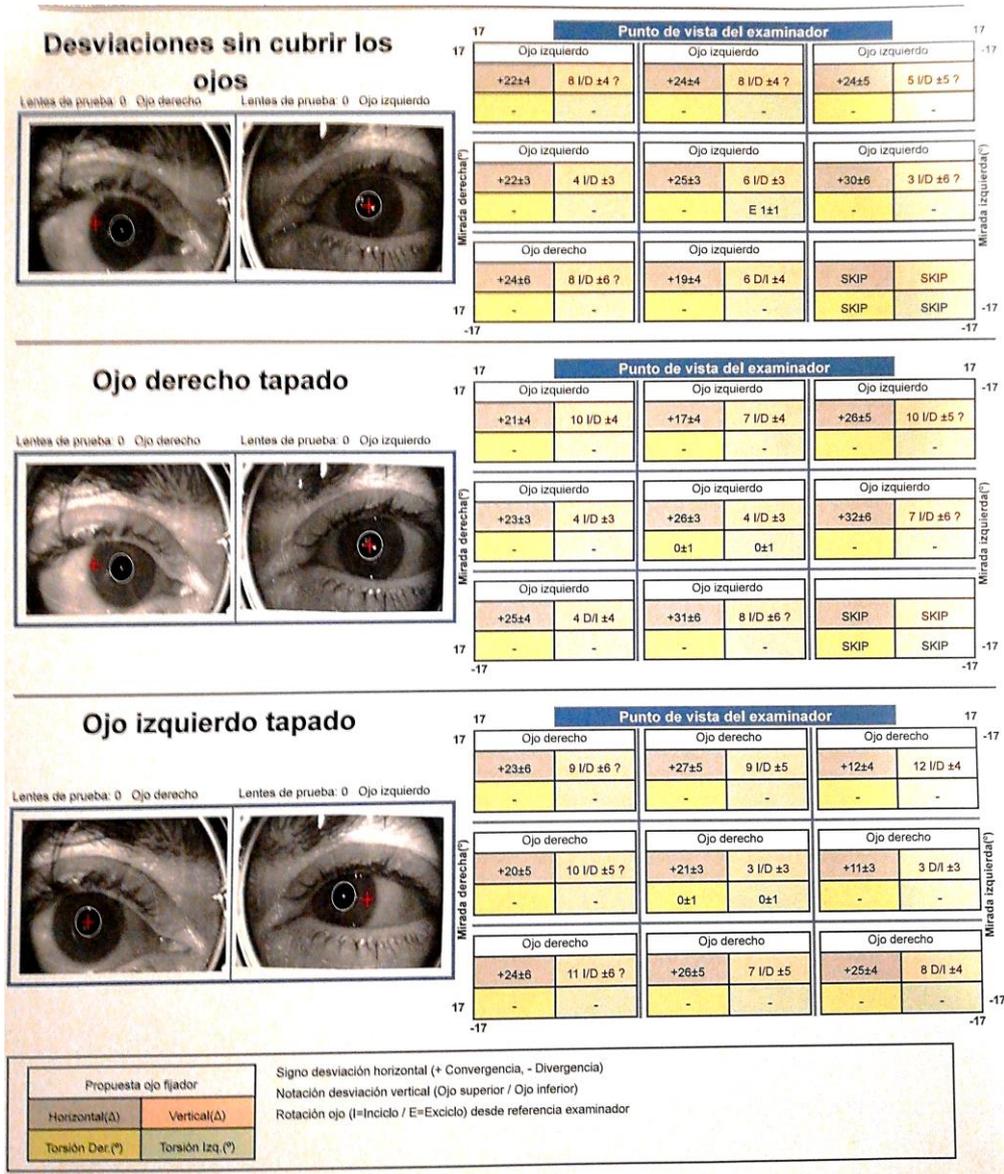


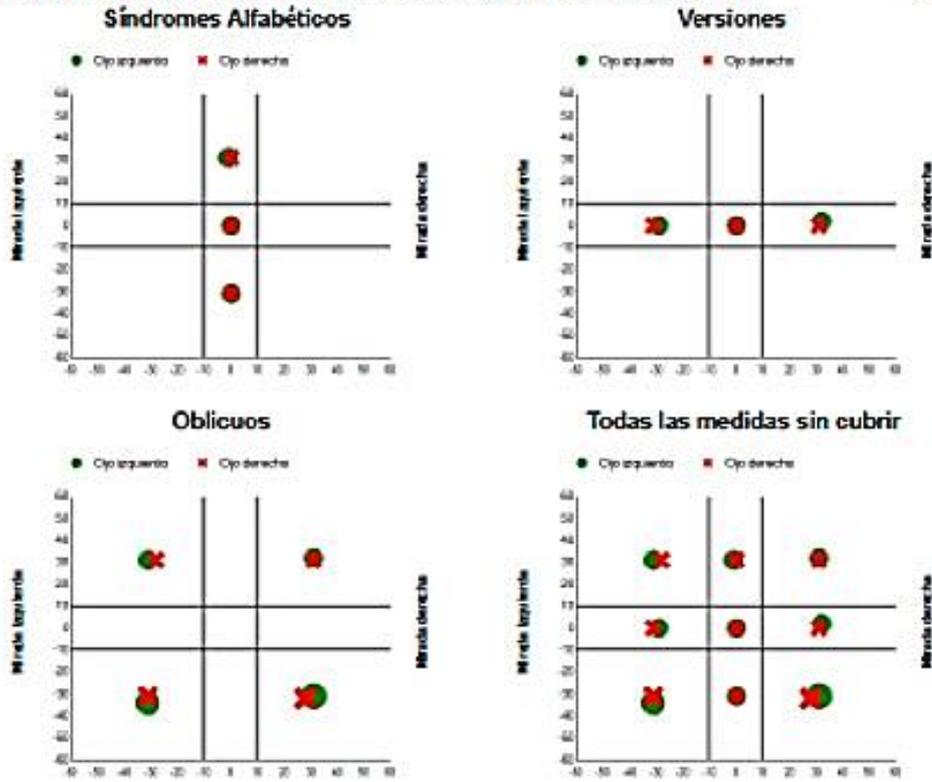
Figura 27. Informe de resultados GL

Id. Paciente:
Nombre:

Fecha y hora exploración:
* Test con control de posición

Gazelab

Posición de la mirada con ojos descubiertos - Dioptrias



Desviaciones con ojos cubiertos - Dioptrias

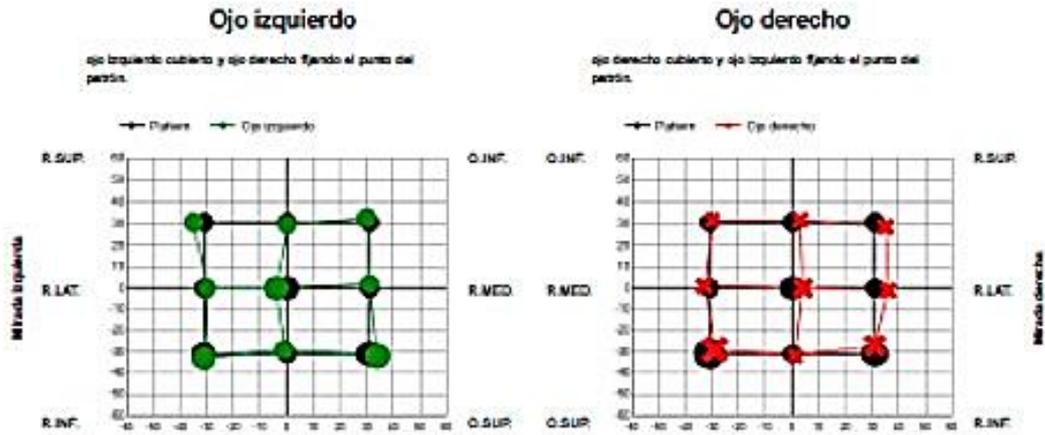


Figura 28. Informe de resultados (2) GL



Figura 29. Nistagmo en GL



Ilustración 30. Pupilas en GL

JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En el estudio del paciente con estrabismo se realizan varias pruebas, encaminados al diagnóstico, a la causa y a las consecuencias que tiene el estrabismo para el paciente. Sin embargo, es fundamental en el paciente estrábico, una cuantificación de la medida de las desviaciones de sus ojos. De ello, dependerá el grupo diagnóstico en el que encuadremos al paciente, el tipo de tratamiento más adecuado y, sobre todo, cuánto tratamiento ha de recibir. El cover test es actualmente la técnica gold standard para medir (en grados o en dioptrías prismáticas) la cuantía de desviación de cada ojo con respecto al otro y con respecto al eje "normal". El cover test permite también evaluar la variabilidad en el tiempo de dicha desviación, la variabilidad que existe fijando un ojo o el otro y como cambia la magnitud del estrabismo entre las distintas posiciones de mirada. Esto permitirá decidir, por ejemplo, cuantas dioptrías prismáticas deberán incorporar las gafas del paciente y en qué posición irán colocadas o cuantos milímetros de músculo deben ser operados para devolver a los ojos a la posición correcta. Tiene, por tanto, un valor fundamental y de gran impacto para el tratamiento del paciente estrábico. Una buena medición es fundamental para un buen resultado.

Hasta hace poco, el cover test era la única prueba diagnóstica que cuantificaba las desviaciones oculares. Sin embargo, se trata de un test realizado por una persona (médico, enfermero u optometrista) y, por tanto, con componente subjetivo. Como más adelante se desarrolla, la variabilidad de las medidas del cover test, tanto en forias como tropias, entre dos medidas de un mismo examinador o entre varios examinadores, está estudiada. Desde hace pocos años, se han desarrollado dispositivos, que permiten la medición de dichas posiciones oculares, los videoculógrafos. Si bien han sido ampliamente utilizados por otorrinolaringólogos y neurólogos en la medición de los nistagmos oculares durante años, el reciente desarrollo de nuevos softwares ha permitido la evolución del potencial diagnóstico de estas herramientas.

El presente trabajo persigue comprobar la eficacia y la veracidad con la que estos dispositivos miden el estrabismo. En segundo lugar, ver si, además, aporta información adicional, como medidas de desviación con fijaciones monoculares, complicadas de medir de otras formas. Se quiere esclarecer si estos dispositivos son útiles, no solo en el día a día la consulta de estrabismo, sino también para el oftalmólogo que no se dedica a la estrabología, a la hora de aproximar un diagnóstico y enfocar un tratamiento. Hasta donde tenemos constancia, solo se ha publicado un estudio que ha estudiado la validez de un dispositivo similar y lo ha comparado frente a cover test.⁵¹ El grupo coreano determinó la validez del Video Frenzel Goggles® (SLMED, Seoul, Korea) comparando la medida determinada por el dispositivo sobre un modelo de ojo artificial, que rotaban a una cantidad conocida. Evaluaron la reproducibilidad (acuerdo inter-observador) del videoculógrafo y la compararon con la del cover test, calcularon el coeficiente de correlación

y realizaron un estudio de concordancia mediante el método de Bland-Altman. Nuestro estudio es el primero, hasta donde tenemos constancia, que va a realizar un análisis similar con los dispositivos VOG Perea® y GazeLab®.

Por otro lado, los videoculógrafos, como hemos visto en su descripción previa, no solo están diseñados para el cálculo de la desviación en posición primaria, sino que, además, los dos dispositivos que se analizan en este estudio tienen la capacidad de evaluar la desviación en las distintas posiciones de mirada y en fijaciones monoculares. Estas exploraciones, si bien pueden hacerse mediante métodos convencionales, solo se realizan en casos seleccionados y conllevan mucho tiempo. Por eso, esta utilidad de los dispositivos, convendría ser evaluada a fin de observar si los datos que aportan son reproducibles y fiables y podemos incorporarlos a la práctica clínica habitual, aportando información y ahorrando tiempo de exploración. No tenemos constancia de que haya en la actualidad ningún estudio publicado analizando dicha función de estos dispositivos.

En conclusión, este estudio persigue la necesidad de comprobar la fiabilidad de estos aparatos y su correlación frente a cover test al medir la estática ocular a fin de determinar su verdadera utilidad en el diagnóstico y manejo del paciente con estrabismo.

2. HIPÓTESIS

La hipótesis principal de esta tesis doctoral es que los dispositivos VOG Perea[®] y Gazelab[®] son dispositivos fiables y válidos y que tienen un alto grado de equivalencia con el cover test. Las hipótesis secundarias son que, además, tienen una alta correlación entre ellos y que son sensibles y específicos a la hora de diagnosticar una desviación ocular.

3. ESTUDIO DE VALIDACIÓN

Objetivo principal: fiabilidad y validez

En un estudio biomédico, no solo hay que tener en cuenta la variabilidad biológica del factor que se está midiendo, sino también la imprecisión del dispositivo o la forma en la que se obtiene la medida. Se puede definir la fiabilidad como el grado de confianza que merece determinada medida, o lo que es lo mismo, el grado de reproducibilidad de una medida ante las condiciones en que se desarrolla. Al estudio de la fiabilidad entre dos series de medidas puede llegarse mediante un estudio de concordancia entre medidas. Se puede definir la concordancia como una correlación que no solo implica tendencia, sino igualdad. Una aproximación posible al estudio de fiabilidad consiste en utilizar una prueba comparativa de estadístico t pareado, pero puede ser poco informativo. Aunque es planteable la posibilidad de aplicar este análisis de correlación en algunos estudios, especialmente cuando se trata de obtener una orientación sobre la adecuación de un nuevo instrumento de medida frente a otra técnica gold standard ya consagrada.⁵²

Este estudio, tiene por objetivo principal determinar la fiabilidad y validez de las medidas de desviación ocular obtenidas por los videoculógrafos Perea® y GazeLab® frente al gold standard actual. Por tanto, parece obvio que el primer paso, será determinar si estos dispositivos son fiables.

Sin embargo, fiabilidad, no implica validez. La validez expresa el grado en el que realmente se mide el fenómeno de interés. En los estudios que tratan de evaluar la validez de una medida, se comparan sus resultados con los obtenidos mediante una prueba de referencia (gold standard), que se sabe válida y fiable para la medición del fenómeno de interés.⁵³

Correlación y concordancia entre dispositivos y con cover test en pacientes ortotrópicos

Una vez medidas las variables es necesario estudiar la relación entre estas. Una de las principales opciones de las que se dispone cuando se quiere evaluar la relación entre dos variables de tipo continuo, independientes entre sí, es calcular el coeficiente de correlación entre ambas variables, de alguna forma, se evalúa la tendencia de la relación entre ambas. Sin embargo, series muy distintas pueden tener correlaciones altas si, por ejemplo, la cantidad que mide un instrumento es siempre el doble del otro. En general, se desaconseja el cálculo de coeficientes de correlación a la hora de comparar dos métodos de medida de la misma variable.⁵⁴

El siguiente y último paso radica en el estudio de la concordancia, que puede definirse como el grado en que dos o más observadores, métodos, técnicas u observaciones están de acuerdo sobre el mismo fenómeno observado.

Cálculo de los valores de normalidad para pacientes ortotrópicos

Determinada la fiabilidad y la validez de los videoculógrafos, se plantea definir los rangos de desviación ocular que podemos considerar normales en pacientes ortotrópicos. Es decir, valores umbrales a partir de los cuales, podemos determinar que una desviación detectada por dichos dispositivos puede considerarse patológica.

4. ESTUDIO EN PACIENTES CON ESTRABISMO

Objetivo principal

El principal objetivo de este estudio es evaluar si los videoculógrafos son equivalentes al cover test a la hora de medir la cantidad de desviación en un paciente con estrabismo. En definitiva, comprobar si resultan herramientas intercambiables. Por tanto, no solo nos tendremos que limitar a hacer una comparación entre ambos dispositivos, sino que debemos ver si existe una concordancia entre las medidas que toma cada uno con las medidas que toma un estrabólogo mediante cover test.

Comparación entre dispositivos

Aunque la lógica nos dice que, si cada dispositivo por separado es equivalente al cover test, ambos dispositivos deben ser equivalentes, hemos querido cuantificar esta equivalencia. Para ello, realizaremos el mismo análisis: comparación, correlación y concordancia entre ambos dispositivos. Además, en este caso, también se examinarán las equivalencias entre ambos dispositivos al evaluar la desviación ocular en las versiones horizontales y verticales de mirada y en fijaciones monoculares. Estos estudios, que no suelen hacerse de rutina mediante cover test por el tiempo y la laboriosidad que suponen. Por lo tanto, creemos que la determinación sobre si estos dispositivos son útiles a la hora de obtener una información reproducible, podrían ser de utilidad.

Evaluación del rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos

En términos generales, un test diagnóstico es útil si permite diferenciar dos o más condiciones que de otro modo podrían ser confundidas. En otras palabras, para diferenciar entre distintas enfermedades o condiciones clínicas, así como entre la condición de sano y la de enfermo.

En nuestro proceso de evaluación de los videoculógrafos, primero, hemos querido determinar su fiabilidad y su validez; a continuación, compararlos con la prueba de referencia para medir el estrabismo y finalmente queremos estudiar su rendimiento diagnóstico. Es decir, cuantificar lo buenos que son a la hora de detectar el estrabismo y clasificarlo bien. Los parámetros que evalúan el rendimiento diagnóstico de un test son la sensibilidad, especificidad, valores predictivos y las razones de verosimilitud.

La sensibilidad de un test diagnóstico corresponde a la proporción de individuos enfermos, identificados como tal por el examen; mientras que la especificidad corresponde a la proporción de individuos sin la patología, registrados así por el referente.⁵⁵ Más adelante definiremos las categorías que se consideraron para el cálculo de dichos parámetros. El más importante, en este caso, será la sensibilidad, ya que lo que realmente queremos ver es, no solo la

cuantía de pacientes patológicos que son detectados por los mismos, si no cuantos son detectados y bien clasificados. Parte del estudio VIP consistió en determinar la sensibilidad de varias pruebas diagnósticas utilizadas habitualmente en oftalmología pediátrica. Se determinó que, como herramienta de detección de estrabismo, el cover test tenía una sensibilidad del 60% y una especificidad del 98%.⁵⁶

A su vez, los valores predictivos buscan responder la inquietud sobre la probabilidad de que la persona efectivamente esté enferma ante un *test* positivo. Igualmente, en este caso, el valor que más nos interesaría conocer, sería el valor predictivo positivo; es decir, la posibilidad de que el paciente esté bien clasificado en función del resultado del examen de videoculografía. Sin embargo, sus resultados se encuentran altamente influenciados por la prevalencia de la enfermedad. Para paliar el efecto de la prevalencia surgieron los indicadores conocidos como razones de verosimilitud.

Se definen como la razón entre la probabilidad de tener determinado resultado del test en la población con la condición *versus* tener el mismo resultado en la población sin la condición. En términos sencillos, nos indica la magnitud y el sentido del cambio de la probabilidad pre a post test según sea el resultado del test diagnóstico. En la tabla 9 se pueden observar los valores de razones de verosimilitud que condicionan la utilidad clínica de un test diagnóstico.

Tabla 9. Rangos de valores de razones de verosimilitud e impacto en clínica. Adaptada de Silva Fuente-Alba C. Likelihood ratio: definición y aplicación en radiología.

Razón verosimilitud positiva	Razón verosimilitud negativa	Utilidad clínica de la prueba
10	< 0,1	Altamente relevante
5 – 10	0,1 – 0,2	Buena
2 – 5	0,5 – 0,2	Regular
< 2	> 0,5	Mala

MATERIAL Y MÉTODOS

1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Se diseñó un estudio observacional, descriptivo y transversal. El estudio se dividió en dos partes. En la primera fase del estudio, en la que se estudió la fiabilidad y validez de los dos dispositivos, se utilizaron pacientes sanos. Basándonos en el estudio de Park et al. que evaluó la validez y la concordancia de otro dispositivo similar, se estimó que sería necesario un tamaño muestral alrededor de 30 pacientes⁵⁰.

La segunda parte del estudio, que contempla la comparación y estudio de concordancia entre los videoculógrafos y las medidas del cover-test, se realizó en pacientes con estrabismo diagnosticado.

2. MUESTRA

En la primera fase del estudio, se utilizaron sujetos sin estrabismo diagnosticado que acudieron a las consultas de Oftalmología del Hospital Clínico San Carlos y acompañantes voluntarios de los pacientes, tanto del hospital como de una clínica oftalmológica privada (Centro Oftalmológico Gómez de Liaño, Madrid). En la segunda parte del estudio, todos los pacientes debían tener estrabismo manifiesto. Por tanto, el tipo de muestreo utilizado fue un muestreo por conveniencia. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética del Hospital Clínico San Carlos y todos los pacientes firmaron el consentimiento informado y fueron convenientemente informados de la naturaleza de las pruebas a realizar.

Los criterios de inclusión y exclusión fueron distintos en ambas partes del estudio. Los criterios están reflejados en la tabla 10.

Tabla 10. Criterios de inclusión y exclusión de ambos estudios

ESTUDIO DE VALIDACIÓN	ESTUDIO COMPARATIVO CON SUJETOS ESTRÁBICOS
<p><u>Criterios de inclusión</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Personas de ambos sexos con edad para comprender la naturaleza de las pruebas y dar su consentimiento. 2. Obtención de la firma del consentimiento informado antes de cualquier procedimiento del estudio. 3. Posibilidad de completar el curso del estudio y cumplir adecuadamente con las instrucciones que se le den. 4. Paciente ortotrópico 5. Paciente con agudeza visual monocular en ambos ojos superior a 0,7 con su corrección. 6. Refracción óptica o equivalente esférico comprendido entre -6 y + 7 	<p><u>CRITERIOS DE INCLUSIÓN:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Personas de ambos sexos con edad para otorgar el consentimiento legal. 2. Obtención de la firma del consentimiento informado antes de cualquier procedimiento del estudio. 3. Posibilidad de completar el curso del estudio y cumplir adecuadamente con las instrucciones que se le den. 4. Paciente con diagnóstico de estrabismo que no haya recibido tratamiento quirúrgico previo del mismo. 5. Paciente con agudeza visual monocular en ambos ojos superior a 0,3 con su corrección.
<p><u>Criterios de exclusión:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No cumplimiento de los criterios de inclusión. 2. Falta de colaboración para realizar las pruebas. 3. Enfermedades o situaciones oculares que contraindiquen la realización de las pruebas previstas. 4. Enfermedad o estado del paciente que, en opinión del investigador, aumente significativamente su riesgo, interfiera los resultados del estudio o dificulte notablemente la participación del enfermo en el estudio. 5. Paciente con enfermedad oftalmológica activa o crónica que provoque una agudeza visual menor al 0,7 de forma monocular en ambos ojos: DMAE, glaucoma, catarata, neuritis, etc. 6. Paciente con patología vestibular o neurológica que pueda causar alteración en la estática y dinámica ocular o nistagmo. 	<p><u>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No cumplimiento de los criterios de inclusión. 2. Falta de colaboración para realizar las pruebas. 3. Enfermedades o situaciones oculares que contraindiquen la realización de las pruebas previstas. 4. Enfermedad o estado del paciente que, en opinión del investigador, aumente significativamente su riesgo, interfiera los resultados del estudio o dificulte notablemente la participación del enfermo en el estudio. 5. Paciente con enfermedad oftalmológica activa o crónica que provoque una agudeza visual menor al 0,3 de forma monocular en ambos ojos: DMAE, glaucoma, catarata, neuritis, etc. 6. Paciente con patología vestibular o neurológica que pueda causar alteración en la estática y dinámica ocular o nistagmo.

3. EXÁMENES REALIZADOS

Se recogieron datos de edad, sexo, mejor agudeza visual corregida de cada ojo y refracción de cada ojo. A todos los pacientes se les realizó un CT alternante prismado con corrección, realizado por el mismo examinador, de cerca (33 cm) y lejos (5 m), un examen con el programa Nistagmo del VOG Perea® a 1,5 m y un examen con el programa 9 posiciones de la mirada-parálisis de GazeLab® a 1 m de distancia.

Dado que el VOG Perea realiza la medición en grados, se realizó la conversión a DP teniendo en cuenta que 1 grado son 0,57 DP⁵⁷, para todas las comparaciones realizadas en el estudio.

En el análisis del componente horizontal, se definió signo positivo para las desviaciones convergentes y signo negativo para las desviaciones divergentes. Para el análisis vertical, el signo positivo traduce hipertropía derecha mientras que el signo negativo traduce hipertropía izquierda.

4. ESTADÍSTICA

Software estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el programa SPSS Statistics 25.0 (IBM, E.E.U.U, 2017), y mediante la herramienta MedCalc versión 19.0.7 (MedCalc Software, Bélgica, 2019).

Estadística descriptiva

Se estudió la distribución de la muestra por sexo, edad, refracción y mejor agudeza visual corregida de cada ojo. Se determinaron la media y la desviación estándar de la desviación ocular medida en las diferentes posiciones de mirada, tanto en pacientes sanos como estrámbicos y con cada método diagnóstico.

Determinación de fiabilidad y validez

La fiabilidad indica hasta qué punto se obtienen los mismos valores al efectuar la medición en más de una ocasión, bajo condiciones similares. Se puede definir el coeficiente de fiabilidad como la proporción de variabilidad observada atribuible únicamente a la variabilidad biológica. Este coeficiente habitualmente se conoce como de correlación intraclase, que variaría entre 1 (ausencia de error de medida) y 0 (sin fiabilidad). Se suele aceptar, de modo puramente orientativo, que un coeficiente de correlación intraclase menor a 0,4 indica mala fiabilidad y por encima de 0,75 fiabilidad excelente. Para determinar la fiabilidad de cada dispositivo, por tanto, se calculó el coeficiente de correlación intraclase de ambos dispositivos, utilizando pacientes normales (ortotrópicos).

Como se dijo previamente, la fiabilidad no implica validez. Este concepto se refiere a la capacidad de medir el factor real. Para este propósito se realizó una comparación de medias de la desviación horizontal obtenida mediante cover test y la primera medición del componente horizontal en posición primaria de mirada de cada dispositivo en pacientes ortotrópicos.

Determinación de la concordancia

Para el estudio de concordancia, por tratarse de datos apareados se usó el método de Bland-Altman. El método de Bland - Altman propone un procedimiento para determinar si dos métodos de medida X e Y concuerdan lo suficiente para que puedan declararse intercambiables.

En general se desaconseja el uso de coeficientes de correlación para comparar dos métodos diagnósticos, por lo que, aunque han sido calculados, no suponen un buen estimador de la concordancia entre ambos dispositivos y entre cada dispositivo y el cover test.

Comparación entre dispositivos y frente a cover test

Para el análisis estadístico primero se determinó el ajuste de la distribución de datos a la normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La comparación entre cada dispositivo y el cover test se utilizó la prueba de t de Student para datos apareados en el caso en que la muestra se ajustaba a la distribución normal y la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon cuando la muestra no se ajustó a dicha distribución. El análisis se realizó de manera global y también por subgrupos según el tipo de estrabismo, exotropia y endotropia.

Además, se calcularon los porcentajes de pacientes con diferencias inferiores y superiores a las 10 DP, se determinó si existían diferencias estadísticamente significativas entre dichos porcentajes y se determinaron la mínima y la máxima diferencia encontradas.

Cálculo de los valores de normalidad para pacientes ortotrópicos, sensibilidad y especificidad

Para el cálculo de los valores de normalidad en cada videoculógrafo, se tomaron los percentiles 10 y 90 de cada serie de pacientes ortotrópicos, de tal manera que engloban al 80% central de la muestra.

También se procedió al cálculo de la sensibilidad y la especificidad, valores predictivos y razones de verosimilitud. Para ello se definieron primero las categorías de verdadero positivo, falso positivo, verdadero negativo y falso negativo.

- El verdadero positivo incluyó pacientes con estrabismo que los dispositivos detectaban como tal, restando a aquellos que presentaban diferencias superiores a las 10 DP.
- Los falsos positivos incluyeron aquellos pacientes estrábicos que presentaban medidas con diferencia superior a 10 DP con respecto a cover test, junto a los que siendo ortotrópicos en cover test, los dispositivos reconocieron como enfermos.
- En el caso de los verdaderos negativos, son los pacientes ortotrópicos que se detectan como sanos, es decir, con desviaciones por debajo de los umbrales determinados como valores de normalidad.
- Los falsos negativos fueron aquellos que, estando enfermos, el aparato detecta como sano, es decir, dentro de los límites de normalidad definidos previamente.

RESULTADOS

1. ESTUDIO DE VALIDACIÓN

Descripción de la muestra

Se reclutaron un total de 44 individuos sin alteraciones de la motilidad ocular, de los cuales 26 (59,09 %) fueron mujeres y 18 (40,91%) fueron hombres ($p=0,089$). En cuanto a la refracción el 13,63 % fueron miopes con un máximo de -3,75 dioptrías y un 86,37 % fueron hipermétropes (entre +1 y +4,00 dioptrías). La MAVC media del OD 0,985 y del OI 0,998 en fracción de Snellen.

La medida horizontal de desviación mediante cover test fue de -0,571 DP con una desviación estándar de 3,038 DP.

En el caso del VOG Perea® la media de la desviación horizontal en PPM fue de **0,22 DP** con una DS de 2,63. En el caso de la desviación vertical en PPM medida por VOG Perea® **-0,51 DP** con una DS de 4,76 DP. El resto de los datos para las versiones horizontales y verticales vienen reflejadas en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de población ortorrópica en posición primaria y versiones en VOG Perea®

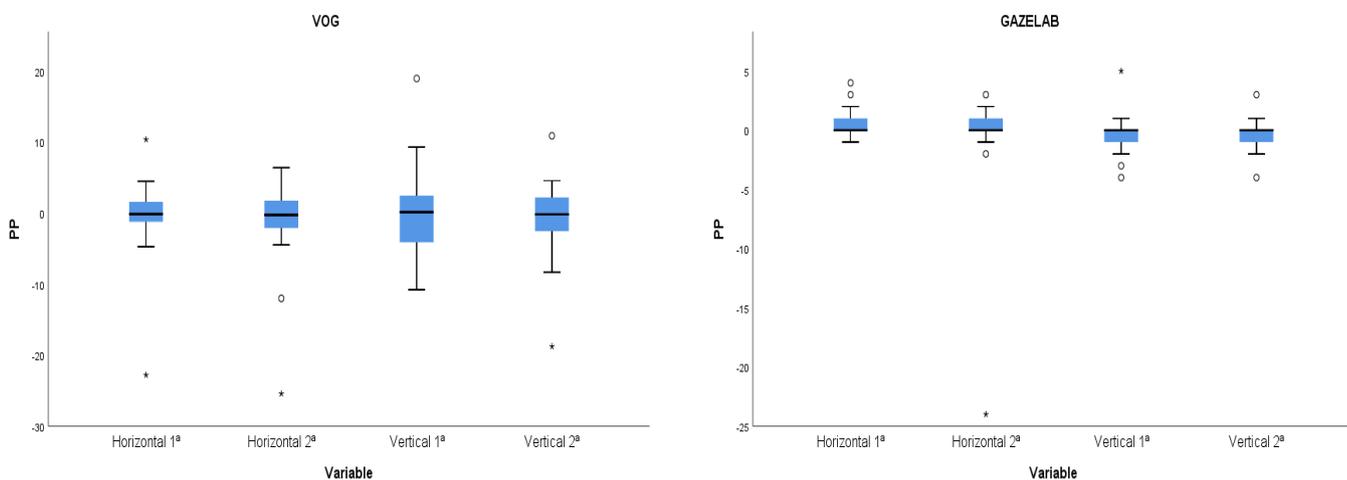
	PP		derecha		izquierda		arriba		abajo	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
Media	0,22	-0,51	0,58	3,43	2,27	-3,81	1,13	-0,24	2,95	-1,77
D.estándar	2,63	4,76	4,86	5,82	3,94	5,48	3,95	5,18	3,53	6,42
Percentil 10%	-2,65	-6,18	-4,56	-3,56	-1,96	-10,89	-3,17	-5,64	-0,87	-9,22
Percentil 90%	3,42	3,58	5,26	11,26	6,85	1,64	5	5,63	8,08	5,1
Percentil 2.5%	-4,38	-9,5	-7,72	-5,8	-6,2	-14,23	-5,28	-10,57	-1,75	-12,9
Percentil 97.5	6,06	9,33	8,6	15,05	8,6	4,77	7,28	9,51	9,55	7,9

En el caso del estrabómetro GazeLab®, la media de desviación horizontal en PPM fue de **0,4 DP**, con una DS 1,02. Para la desviación vertical en PPM, la media fue de **-0,29 DP** con una DS de 1,21 DP. El resto de las medidas para las versiones horizontales y verticales están recogidas en la tabla 12.

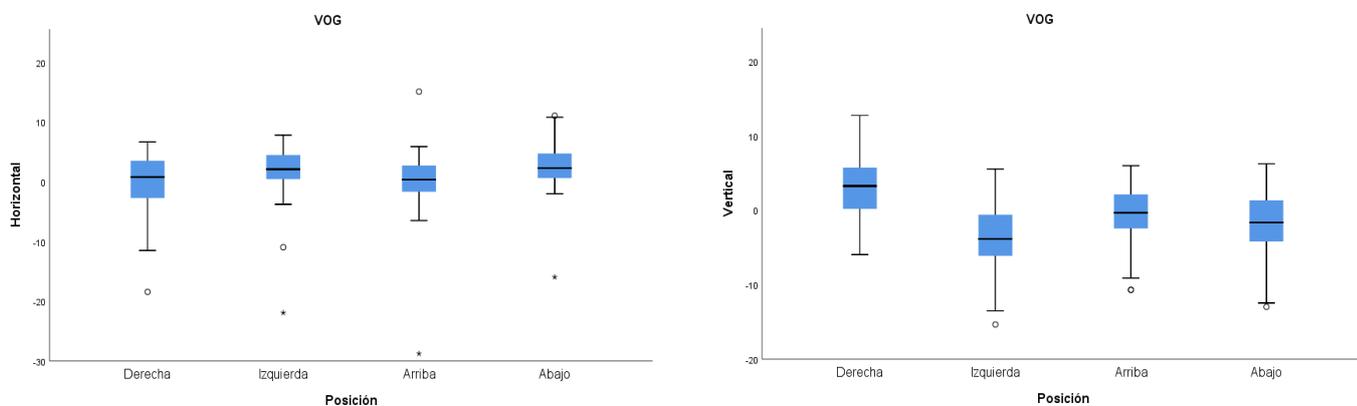
Tabla 12. Resultados de población ortorrópica en posición primaria y versiones en GazeLab

	PP		derecha		izquierda		arriba		abajo	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
Media	0,4	-0,29	0,33	0,18	0,8	0,19	-0,037	0,22	0,38	0,66
D.estándar	1,02	1,21	1,22	1,37	2,17	1,15	1,08	1,23	1,52	3,37
Percentil 10%	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2
Percentil 90%	2	1	2	1	3	1	1	2	2	4
Percentil 2.5%	-1	-3	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-4
Percentil 97.5	3	1	4	4	6	2	2	4	4	9

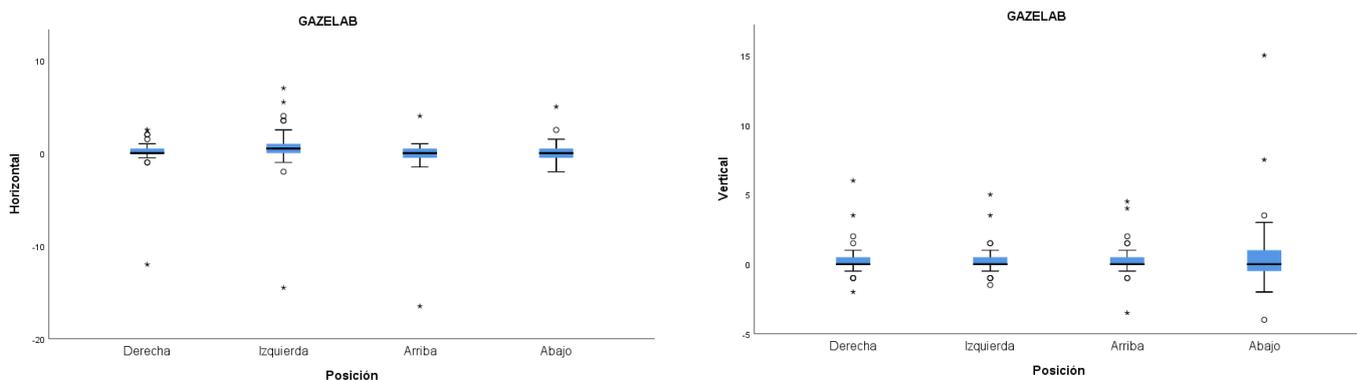
Las gráficas 1 a 3 muestran la desviación en posición primaria y versiones para los videooculógrafos.



Gráfica 1. Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de pacientes orotrópicos en VP (izquierda) y GL (derecha) en PPM. Se observa la distribución de la primera y segunda medida de la posición primaria de mirada, tanto el componente del eje horizontal como el vertical.



Gráfica 2. Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de pacientes ortotrópicos con VOG Perea en versiones de mirada. Se observa la distribución de las medidas en las distintas posiciones de mirada, tanto del eje horizontal (izquierda) como del vertical (derecha)



Gráfica 3. Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de pacientes ortotrópicos con GazeLab en versiones de mirada. Se observa la distribución de las medidas en las distintas posiciones de mirada, tanto del eje horizontal (izquierda) como del vertical (derecha)

Fiabilidad y validez

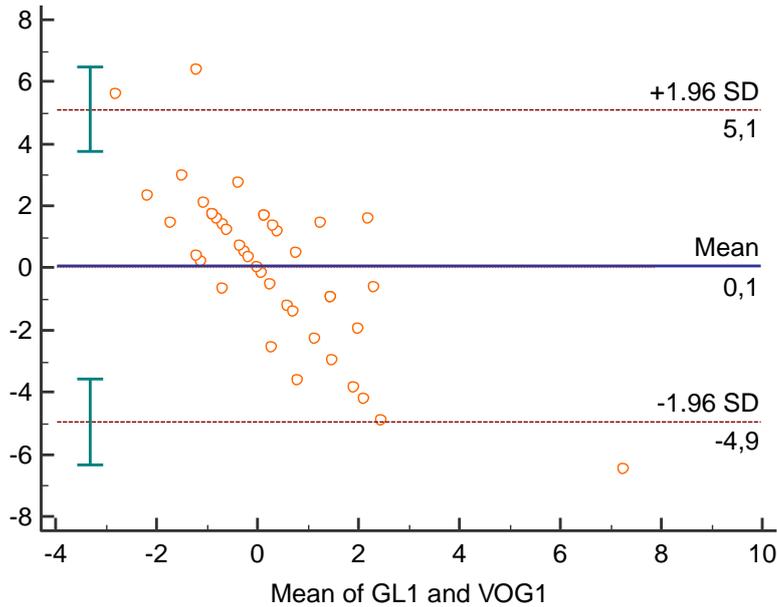
Los coeficientes de correlación intraclass fueron calculados para cada dispositivo. En el caso de GL, el CCI fue de **0,246 [IC 95% (-0,402 - 0,595)]** para la medida horizontal y de **0,483 [IC 95% (0,038 - 0,722)]** en la medida vertical. Para VP, se obtuvo un CCI de **0,984 [IC 95% (0,970 - 0,992)]** y de **0,981 [IC 95% (0,965 - 0,990)]** para los componentes horizontal y vertical respectivamente.

Para el estudio de la validez se realizó una comparación de medias entre la medida horizontal obtenida por cover test y la primera medida horizontal en posición primaria de mirada obtenida por cada dispositivo. La diferencia entre CT y GL fue de **-0,9286 [IC 95% (-1,822 - 0,0355)] (p=0,042)**. En el caso de la comparación entre VP y CT la diferencia fue de **-0,8423 [IC 95% (-1,7190 - 0,03450)] (p=0,0593)**. En el caso de la medida de la desviación vertical, la diferencia entre CT y GL fue **0,4118 [IC95% (0,05907 - 0,7645)] (p = 0,0227)** y entre CT y VP fue **-0,7858 [IC95% (-1,9269 - 0,3554)] (p=0,1746)**.

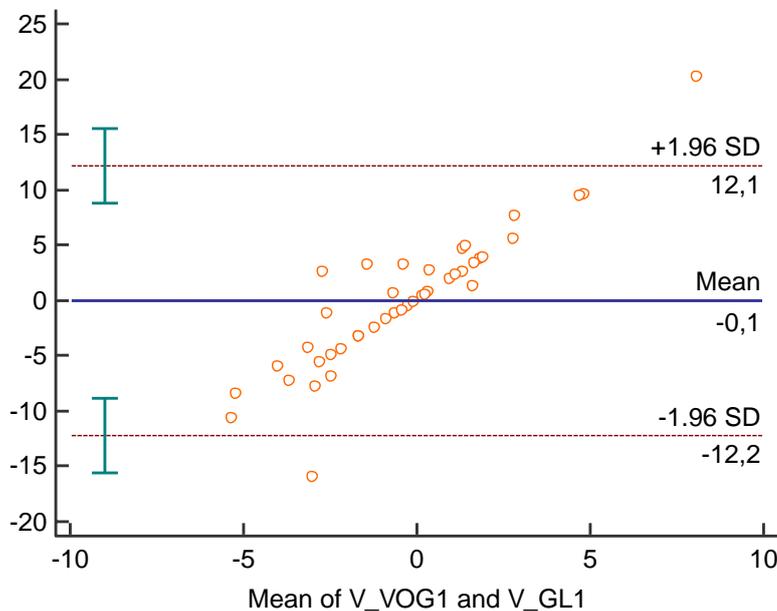
Concordancia entre ambos dispositivos

Antes de aplicar cualquier estadístico de correlación, se calculó si las medidas obtenidas con cada dispositivo y el cover test se ajustaba a una distribución normal. Según el test de Kolmogorov- Smirnov, como era previsible, ni las medidas obtenidas con CT (**D= 0,329, p=0,00014**) ni con GL (**D= 0,244, p=0,1102**) ni VP (**D= 0,342, p<0,00001**) se ajustaron a una distribución normal, ya que todos los pacientes deberían situarse en torno a 0 DP de desviación.

Como se dijo previamente, no se recomienda el uso del coeficiente de correlación como indicador de la concordancia entre dos métodos diagnósticos. Para la medida horizontal de posición primaria de mirada, ambos dispositivos presentaron un coeficiente de correlación **R= 0,382 [IC 95% (0,085 - 0,617)](p=0,0135)** y para la medida vertical **R= 0,447 [IC 95% (0,166 - 0,661)] (p= 0,003)**. La concordancia fue estudiada mediante diagramas de Bland-Altman.



Gráfica 4. Diagrama de Bland-Altman entre GazeLab y VOG Perea en la medida horizontal en posición primaria de pacientes ortorrópicos



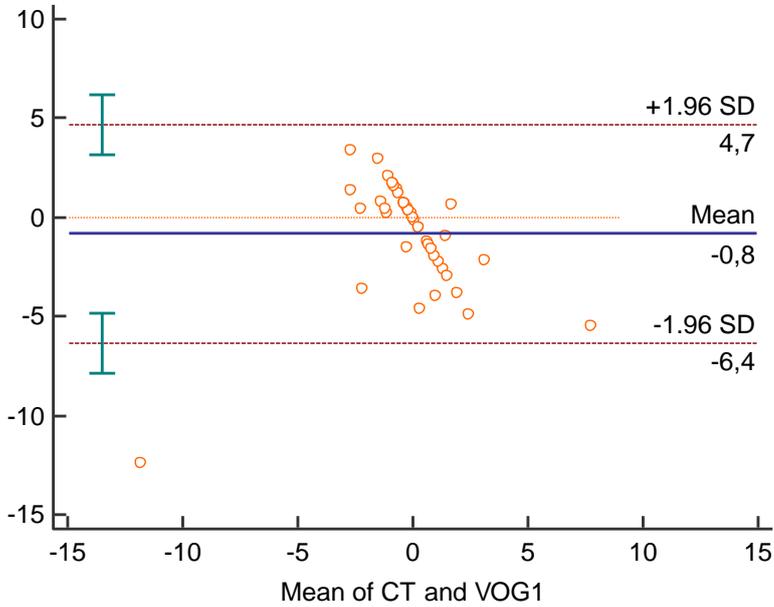
Gráfica 5. Diagrama de Bland-Altman entre GazeLab y VOG Perea en la medida vertical en posición primaria de pacientes ortorrópicos

Correlación y concordancia frente a cover test

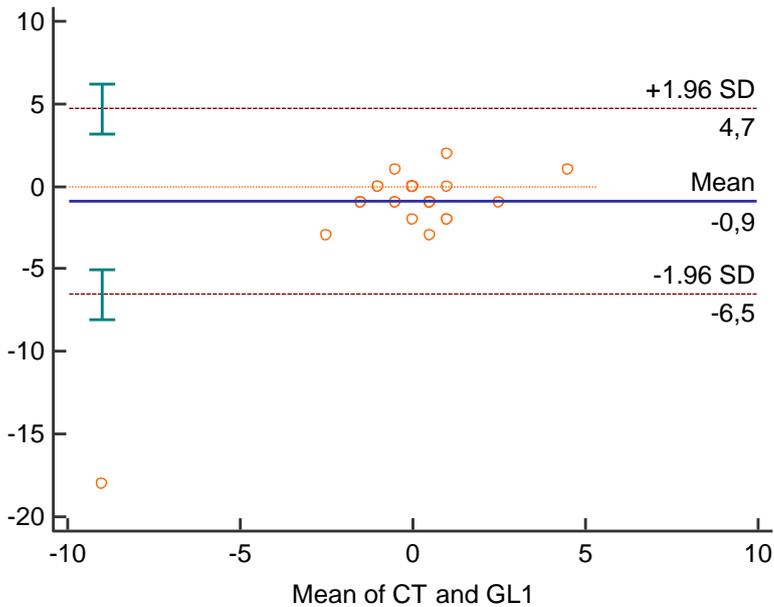
Los mismos cálculos que en el apartado anterior se realizaron para comparar cada dispositivo frente a cover test. En el caso de VOG Perea, el coeficiente de correlación **fue R = 0,5704 [IC95% (0,319 - 0,747)](p=0,0001)** y GazeLab obtuvo un coeficiente de correlación **R= 0,4539 [IC95% (0,174 - 0,666)] (p= 0,0025)**. En el caso de la medida de la desviación vertical, **R=0,05255 [IC95% (-0,1611 - 0,2615)] (p=0,6309)** es el coeficiente de correlación entre las

medidas del cover test y las de VOG Perea y en el caso de GazeLab frente al gold standard es $R=0,3929$ [IC95% (0,1961 - 0,5592)] ($p=0,0002$).

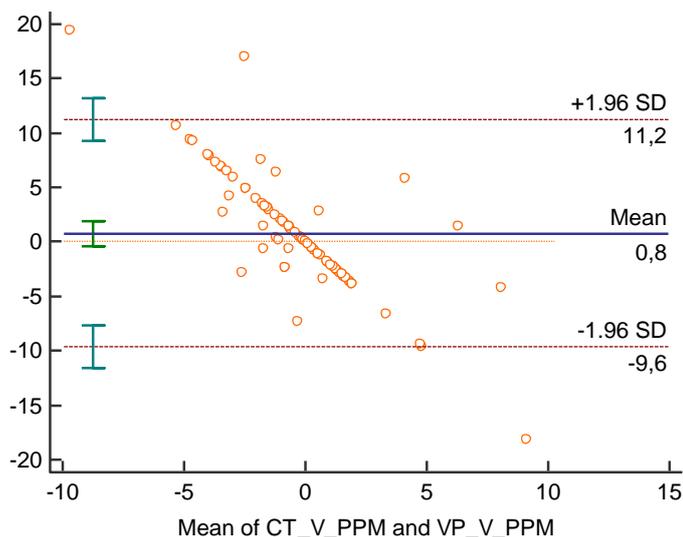
Los gráficos de Bland Altman entre cada dispositivo y el cover test se exponen en las gráficas 6 al 9.



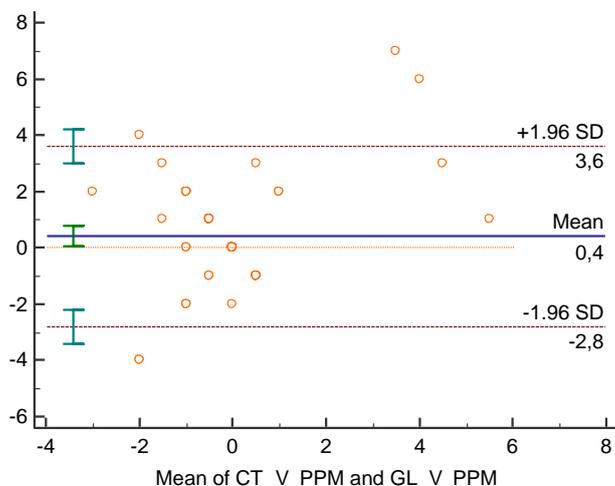
Gráfica 6. Diagrama de Bland-Altman de VOG Perea frente a cover test en posición primaria de pacientes ortorrópicos. Medida horizontal.



Gráfica 7. Diagrama de Bland-Altman de GazeLab frente a cover test en posición primaria de pacientes ortorrópicos. Medida horizontal.



Gráfica 8. Diagrama de Bland-Altman de VOG Perea frente a cover test en posición primaria de pacientes ortorrópicos. Medida vertical.



Gráfica 9. Diagrama de Bland-Altman de GazeLab frente a cover test en posición primaria de pacientes ortorrópicos. Medida vertical.

Cálculo de los valores de normalidad para pacientes ortorrópicos

En el caso de VOG Perea®, la medida del componente horizontal, el 80% central de la muestra de pacientes normales, se situó entre **-2,65 y 3,42 DP**, por lo que comprendió un rango de **6,07 DP**. En el caso del componente vertical, el 80% central de la muestra se encontró entre **-6,18 y 3,58 DP**, es decir, un rango de **9,76 DP**.

Para GazeLab® el 80% central de la muestra se encontraba entre **-1 y 2 DP**, siendo el rango intercuartílico p10-90 de **3DP** en el análisis del componente horizontal. El rango intercuartílico p10-p90 fue de **3 DP** en vertical, igual que para la desviación horizontal.

Teniendo en cuenta el 95% central de la muestra, los márgenes de variabilidad para una medida horizontal con VOG Perea son de $\pm 5,22$ DP y en GazeLab ± 2 DP. Y en el caso de una medida vertical, estos márgenes son de $\pm 9,4$ DP en VOG Perea y ± 2 DP.

2. ESTUDIO EN PACIENTES CON ESTRABISMO

Descripción de la muestra

La fórmula del cálculo del tamaño muestral para una diferencia clínicamente significativa de 10 DP en el componente horizontal, potencia 80% y error alfa 0,05, para un estudio de diferencia de medias y muestras pareadas cifró en 30 los pacientes necesarios para demostrar una posible diferencia.

Se seleccionaron un total de 57 pacientes con estrabismo horizontal. Del total de pacientes, 32 (56,15%) tenían endotropía y 25 (43,85%) exotropía. Los datos referidos a edad, sexo, agudeza visual y refracción vienen resumidos en la tabla 13. Se hizo un análisis por subgrupo, según los pacientes tuvieron endotropía o exotropía. En el grupo de endotropías, el 25 % fueron endotropías congénitas (n=8), el 50% fueron adquiridas acomodativas o parcialmente acomodativas (n=16), un 3,125% ET asociada a oftalmopatía tiroidea (n=1), un 3,125% paresia VI par craneal (n=1), un 3,125% microendotropía (n=1), 3,125% endotropía asociada a edad (n=1), un 3,125% ET restrictiva secundaria a miopía magna (n=1), un 3,125% endotropía adquirida del adulto (n=1), un 3,125% endotropía consecutiva (n=1) y un 3,125% endotropía no especificada (n=1). En el grupo de exotropías, el 36% era exotropías intermitentes (n=9), 12% exotropías consecutivas (n=3), 12% DHD (n=3), 12% exoforias descompensadas (n=3), 8% exotropías sensoriales (n=2), 8% exotropías adquiridas no especificadas (n=2), un 4% Síndrome de Duane con exotropía (n=1), un 4% exotropías residuales tras cirugía (n=1) y un 4% microexotropías (n=1).

Tabla 13. Distribución de la muestra de pacientes con estrabismo

	Sexo	Edad	MAVCOD	MAVCOI	Refracción
ET (n=32)	48,39% M 51,61% F (p= 0,80)	27,48 ± 15,97	0,8±0,2	0,9±0,2	<ul style="list-style-type: none"> • 29,03% Miopía. Media -3,25 dp. Rango -0,25 a -24 dp • 51,61% Hipermetropía. Media +1,13. Rango +0,25 a +6,25 • 17,74% Astigmatismo simple
XT (n=25)	60% M 40% F (p=0,16)	29,56 ± 13,57	1,0±0,16	0,8±0,3	<ul style="list-style-type: none"> • 26% Miopía. Media -1,96 dp. Rango -0,25 a -5,25 dp. • 52% Hipermetropía. Media +2,07 dp. Rango +0,25 a +7 dp • 22% Astigmatismo simple

Diferencia de medias

Se aplicó el test de Kolmogorov Smirnov al subgrupo endotropías y al subgrupo exotropías para ver si se ajustaban a la distribución normal. En el subgrupo endotropías, en

posición primaria de mirada, se ajustaron a la normal la medida horizontal (**D= 0,90 p=0,2**) y la vertical (**D= 0,73, p=0,2**) del VP, la horizontal (**D=0,148, p=0,71**) y la vertical (**D=0,155, p=0,50**) del GL y la medida horizontal con el cover test (**D=0,138, p=0,129**), pero no se ajustó a dicha distribución la medida vertical en posición primaria mediante cover test (**D=0,317, p<0,0001**). En el subgrupo exotropias, solo las medidas obtenidas por GL se ajustaron a la normal, tanto la horizontal (**D= 0,119, p=0,831**) como la vertical (**D= 0,118; p=0,838**), mientras que las medidas obtenidas por VP (**D_H= 0,35506, p< 0,0001; D_V= 0,37152, p<0,0001**) y CT (**D_H= 0,24668, p>0,0001; D_V= 0,38081, p<0,0001**) no se ajustaron a dicha distribución, por lo que en el análisis de este subgrupo se aplicaron pruebas no paramétricas. Dado que, a partir de 30 observaciones, en general, se puede asumir una distribución normal, el grupo global fue tratado con pruebas paramétricas.

Analizando la muestra de forma conjunta, la diferencia media entre VP y cover test fue de **-0,719 DP [IC95% (-5.103 – 3.665)](p=0,743)** en el componente horizontal y de **-1,384 DP [IC95% (-3,386 – 0,618)] (p= 0,172)** en el vertical. En la comparación global entre GL y cover test la diferencia media fue de **-2,013 DP [IC 95% (-6,276 – 2,248)](p=0,348)** en horizontal y **-0,974 DP [IC95% (-2,107 – 0,16)] (p=0,091)** en vertical. Por tanto, en el análisis global de los pacientes estrábicos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cover test y cada dispositivo.

El grupo de endotropias tuvo una desviación media de **27,38±18,73 DP** medida mediante VP, **26,16±16,17 DP** medidas mediante GL y de **28,54±15,60 DP** con cover test. En cuanto al componente vertical de la desviación, este fue de **1,17±5,67 DP** con VP, **0,97±5,99 DP** con GL y **-0,56±6,18 DP** con cover test. En la comparación de medias de cover test y VP no se encontraron diferencias significativas ni el componente horizontal (**D= -1,16 DP [IC 95% -7,320 - 5, 001], p= 0,704**) ni en el componente vertical (**D=1,69 DP [IC 95% -1.061 - 4,458], p=0,219**). Si comparamos cover test frente a GL, no existieron diferencias estadísticamente significativas en el componente horizontal (**D=-2,38 [IC 95%-6.51 a 1.74], p=0,248**), pero sí en el componente vertical (**p=0,03**), con una diferencia media entre ambos métodos de medida de **1,53 DP [IC 95% 0,16 a 2,90]**. En la tabla 14 se detallan las máximas (MAX) y mínimas (MIN) diferencias encontradas en el subgrupo ET en el componente horizontal y vertical, de cover test frente a cada videoculógrafo y los porcentajes de cada intervalo de diferencia.

Tabla 14. Distribución de los pacientes según la diferencia de desviación medida con cover test. Subgrupo endotropias

SUBGRUPO ENDOTROPIA				
Diferencia	CT- VOG PEREA		CT- GAZELAB	
	HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL
<5dp	43,75 %	50 %	46,88 %	84,38 %
5-10 dp	15,63 %	37,5 %	21,88 %	12,5 %
10-20 dp	18,75 %	9,38 %	18,75 %	3,13 %
>20 dp	21,88 %	3,13 %	12,5 %	0 %
<10 dp	59,38 %	87,5 %	68,75 %	96,88 %
MIN	0,375 DP	0 DP	0 DP	0 DP
MAX	37,7 DP	26,465 DP	25 DP	12 DP

En el grupo de exotropias se encontró una desviación media de **-20,68±15,63 DP** con VP, de **-16,04±15,16 DP** con GL y **-21,64±19,27 DP** con CT. La prueba de los rangos con signo de Wilcoxon determinó que no había diferencias estadísticamente significativas entre CT y VP, ni para la medida horizontal (**D= 0,69 DP [IC 95% -5,83 a 7,21], p=0,7414**) ni en la vertical (**D= 0,98 DP [IC 95% -1,97 a 3,93], p=0,6241**). Así mismo, no se encontraron diferencias tampoco entre CT y GL a la hora de medir desviación horizontal (**D=5,16 [IC 95%-2,94 a 13,26], p=0,1835**) y vertical (**D= 0,26 [IC 95% -1,62 a 2,14], p=0,7642**). En la tabla 15 se detallan las máximas y mínimas diferencias encontradas en el subgrupo XT en el componente horizontal y vertical, de cover test frente a cada videoculógrafo y los porcentajes de cada intervalo de diferencia.

Tabla 15. Distribución de los pacientes según la diferencia de desviación medida con cover test. Subgrupo exotropias

SUBGRUPO EXOTROPIA				
Diferencia	CT- VOG PEREA		CT- GAZELAB	
	HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL
<5dp	36 %	52 %	32 %	80 %
5-10 dp	20 %	28 %	24 %	20 %
10-20 dp	20 %	20 %	12 %	0 %
>20 dp	24 %	0 %	32 %	0 %
<10 dp	56 %	80 %	56 %	100 %
MIN	0,33 DP	0,055 DP	0,33 DP	0,05 DP
MAX	43,25 DP	14,59 DP	43,33 DP	14,6 DP

Con VP las diferencias con cover test menores a 10 DP fueron el 59,38 % en el grupo endotropias y del 56% en el grupo exotropias, lo que no difiere significativamente (**D= 3,38% IC 95% [-20,98% - 27,59%], p= 0,7993**). El porcentaje de diferencias superiores a las 20 DP fue del 21,88% si se trataba de endotropias y del 24% en las exotropias. En este caso tampoco se hallaron diferencias significativas (**D= 2,12% IC 95% [-18,89% - 24,38%], p= 0,8512**). Se realizó el mismo análisis en GazeLab[®]. En el caso de diferencias con cover test menores a 10 DP, estas se

hallaron en el 68,75% de los casos en las endotropias y en el 56% de los casos de exotropias en el análisis con GL. No existen diferencias significativas entre estos porcentajes (D= 12,75% IC 95% [-11,75% - 35,89%], p= 0,3263). GL obtuvo diferencias superiores a las 20 DP en el 12,5% de los pacientes con ET y en el 32% de los pacientes con XT. Estos porcentajes, tampoco difirieron significativamente (D= 19,5% IC 95% [-1,98% - 40,49%], p= 0,0757).

También se compararon estos porcentajes entre ambos dispositivos. En la medición de endotropias, VP obtiene diferencias menores a 10 DP con el cover test en un 59,38% de los pacientes, mientras que en GL estas diferencias se dan en el 68,75% de los casos. Estos dos porcentajes no difieren entre sí estadísticamente hablando (D= 9,37% IC 95% [-13,61% - 31,04%], p= 0,4383). Tampoco difiere el porcentaje de pacientes con endotropia que presentan diferencias mayores a las 20 DP cuando las mide VP (21,88%) y GL (12,5%) (D=9,38% IC95% [-9,6% - 27,86%] p= 0,3238). En el caso de las exotropias, VP mide desviaciones con diferencias frente a cover test menores a 10 DP en el 56% de los pacientes y GL obtiene el mismo porcentaje (56%), por lo que no son distintos. Si atendemos al porcentaje de pacientes con exotropia que presentan diferencias superiores a 20 DP con respecto a las mediciones del gold standard, se presentó en el 24% de los pacientes en el examen con VP y el en 32% con GL. Estos dos porcentajes no son diferentes según la estadística (D=8% IC95% [-16,42% - 31,24%] p=0,5329).

En las tablas 16 y 17 se detallan las máximas y mínimas diferencias encontradas entre cada dispositivo y el cover test, así como los porcentajes según intervalos de diferencia. La diferencia de porcentajes de pacientes con diferencias menores a las 10 DP, entre ambos dispositivos es del 5% y no significativa (IC95% [-12,54% - 22,12%] p=0,585). En el caso de diferencias superiores a las 20 DP, los porcentajes son de 23% para VOG Perea y 20% en GazeLab. La diferencia es de un 3% (IC95% [-12,10% - 17,95%] p=0,6979).

Tabla 16. Diferencias entre VOG Perea® y cover test

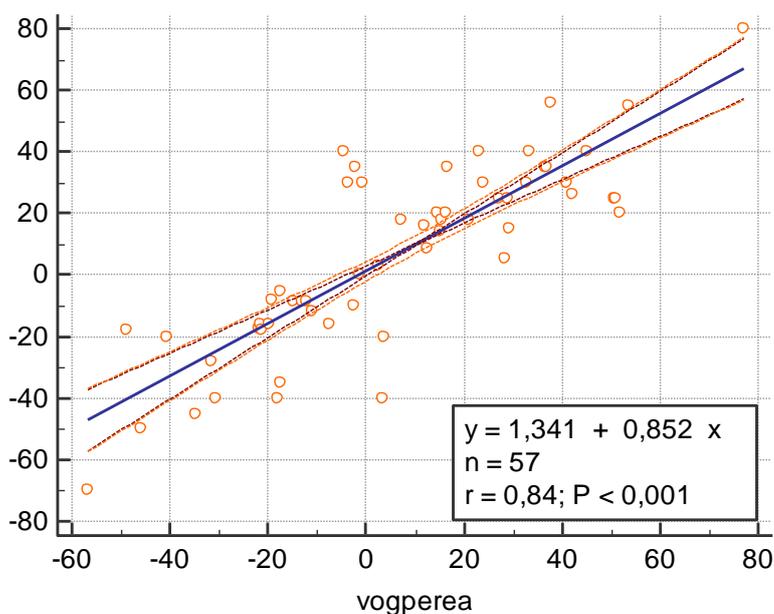
VOG PEREA - CT		
	HORIZONTAL	VERTICAL
Media	7,26	3,54
DS	11,54	5,05
<5dp	41%	52%
5-10 dp	18%	35%
10-20 dp	20%	12%
>20 dp	23%	1%
<10 dp	59%	87%
MIN	0,375	0
MAX	44,62	26,465

Tabla 17. Diferencias entre GazeLab® y cover test

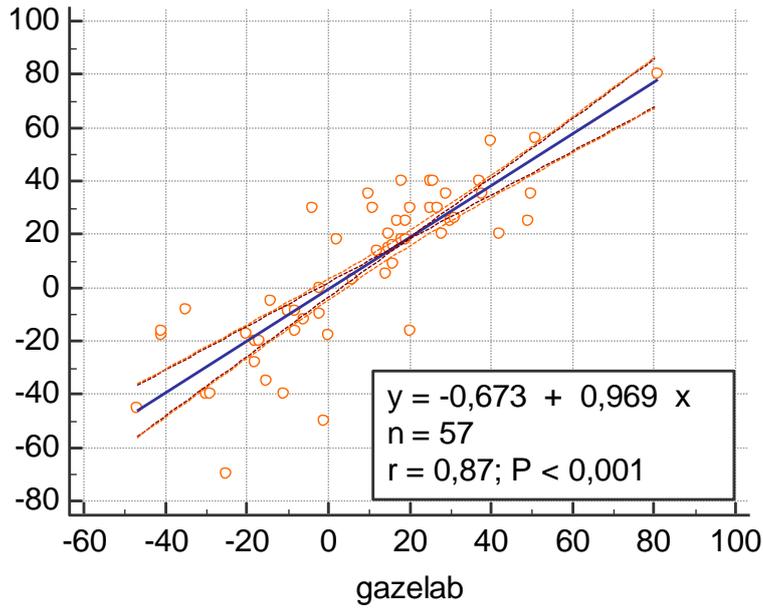
GAZELAB - CT		
	HORIZONTAL	VERTICAL
Media	7,59	2,70
DS	11,52	2,96
<5dp	41%	82%
5-10 dp	23%	14%
10-20 dp	16%	4%
>20 dp	20%	0%
<10 dp	64%	96%
MIN	0	0
MAX	49	12

Correlación y concordancia frente a cover test

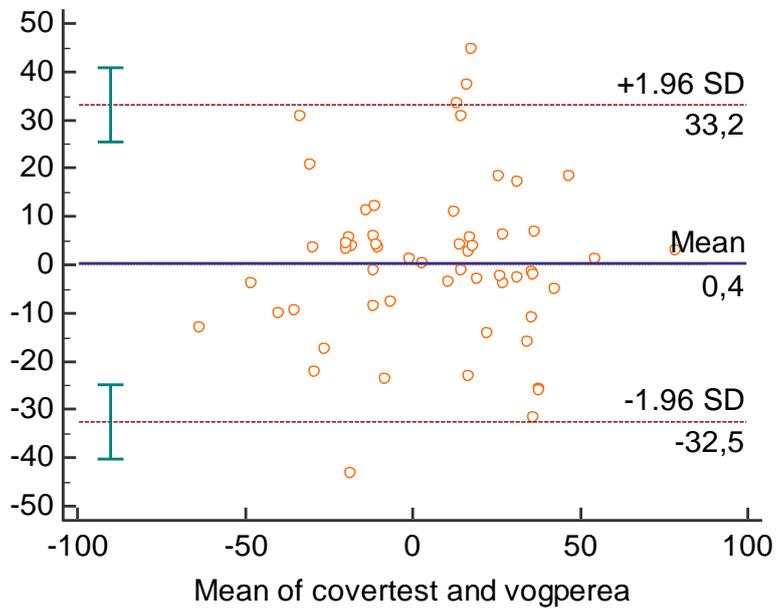
Se calcularon los coeficientes de correlación entre cada dispositivo y CT en la medición del componente horizontal en posición primaria de mirada, para el grupo global. En el caso de VOG Perea® el coeficiente de correlación es de **0,842 [IC95% 0,746-0,904](p<0,0001)** y en el caso de GazeLab® este fue de **0,839 [IC95% 0,741-0,902] (p<0,0001)**. En las gráficas 10 y 11 se representan las rectas de regresión obtenidas, mientras que las gráficas 12 y 13 muestran el análisis de Bland- Altman.



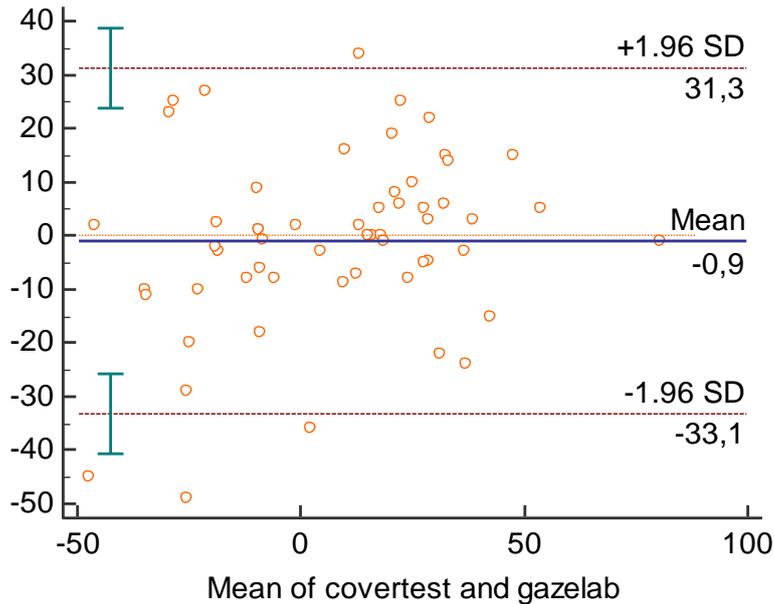
Gráfica 10. Recta de regresión y coeficiente de correlación grupo global entre cover test y VOG Perea.



Gráfica 11. Recta de regresión y coeficiente de correlación grupo global entre cover test y GazeLab



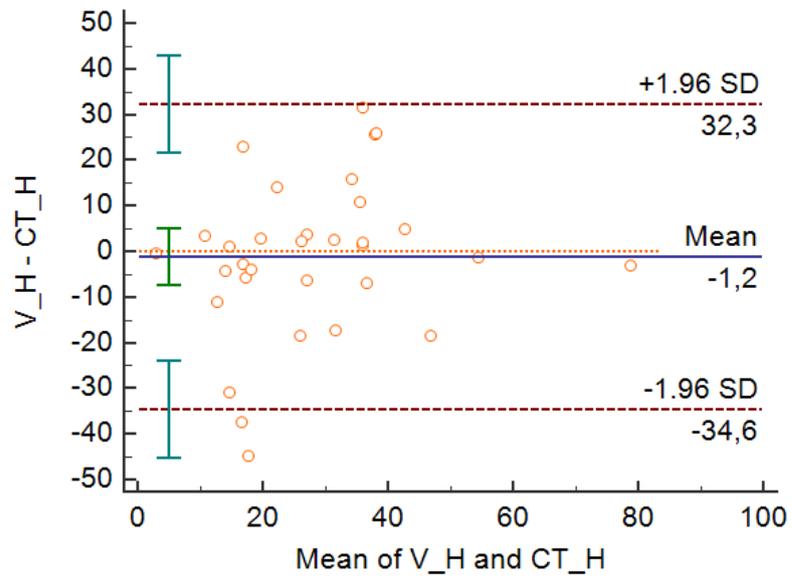
Gráfica 12. Diagrama de Bland-Altman entre cover test y VOG Perea en el grupo global



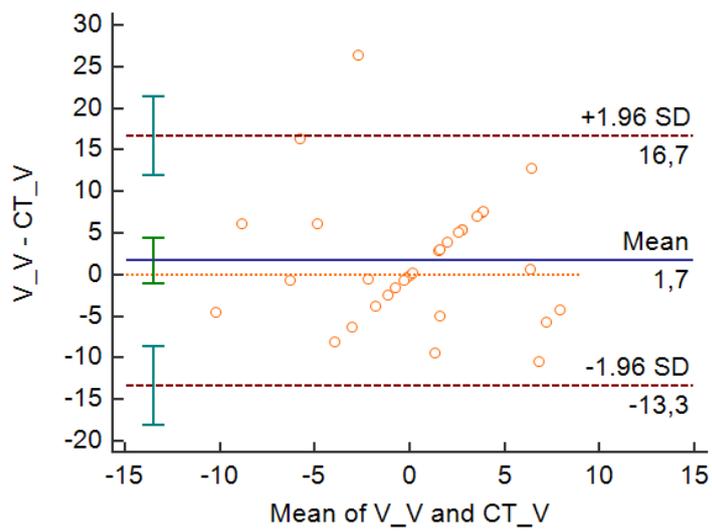
Gráfica 13. Diagrama de Bland-Altman entre cover test y GazeLab en el grupo global

En el análisis realizado en el subgrupo endotropía, los coeficientes de correlación de Pearson para el grupo de endotropías fueron $R= 0,517$ [IC95% (0,206 – 0,733)]($p=0,0024$) y $R= 0,17$ [IC95% (-0,191 – 0,489)]($p=0,355$) para la relación entre VOG Perea y CT en los componentes horizontal y vertical respectivamente y $R=0,741$ [IC95% (0,528-0,865)]($p<0,0001$) y $R=0,806$ [IC95% (0,635 – 0,901)]($p<0,0001$) para la comparación entre GazeLab y CT. En el grupo exotropías, se utilizó el test de Wilcoxon para comparar los grupos y en la correlación el estadístico ρ (rho) de Spearman, por tratarse de una población no normal. El test de Wilcoxon no detectó diferencias significativas entre VOG Perea® y cover test (**Diferencia de medianas 1,193 DP [IC95% (-4,965 – 7,1209) $p=0,6964$** para el componente horizontal y **D=-0,490 [IC95% (-3,675 – 2,580) $p=0,7775$** ni en el vertical. Así mismo sucede en el caso de GazeLab®, que presenta unas diferencias de medianas de **-5,000 DP [IC 95% (-13,250 – 1,875) ($p=0,1251$) y DP [IC 95% (-2 -2) $p=0,999$** con respecto a cover test. La ρ de Spearman fue de **0,492 [IC95% (0,120 -0,743) ($p=0,0126$) y 0,410 [IC95% (0,017 – 0,693) ($p=0,042$)** para la correlación de las medidas entre VOG Perea® y cover test. En el caso de GazeLab® los coeficientes ρ fueron de **0,337 [IC95% (-0,067 – 0,646) ($p=0,0995$) y de 0,478 [IC95% (0,102 -0,734) ($p=0,0157$)** para las medidas horizontal y vertical.

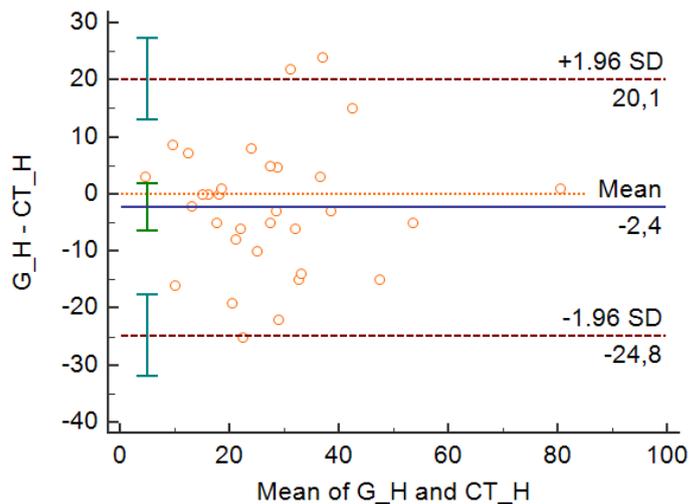
Los gráficos de Bland Altman correspondientes al análisis de la concordancia en los dos subgrupos se pueden observar en las gráficas 14 a la 17.



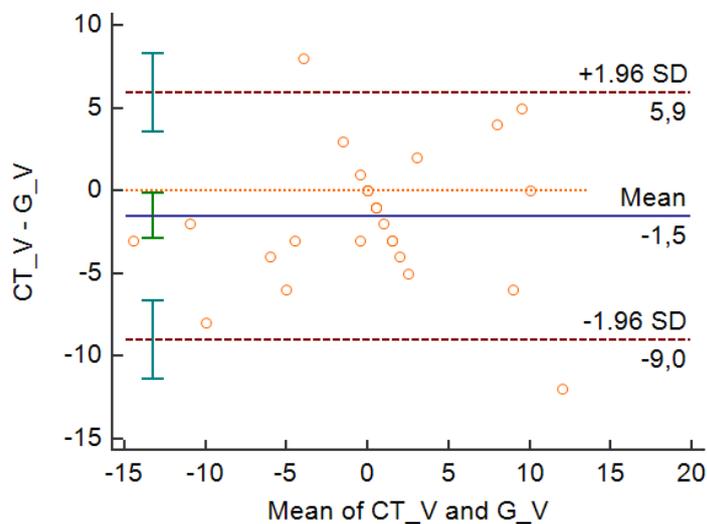
Gráfica 14. Diagrama de Bland-Altman entre cover test y VOG Perea, componente horizontal de PPM en subgrupo ET



Gráfica 15. Diagrama de Bland-Altman entre cover test y VOG Perea, componente vertical de PPM en subgrupo ET



Gráfica 16. Diagrama de Bland-Altman entre cover test y GazeLab, componente horizontal de PPM en subgrupo XT



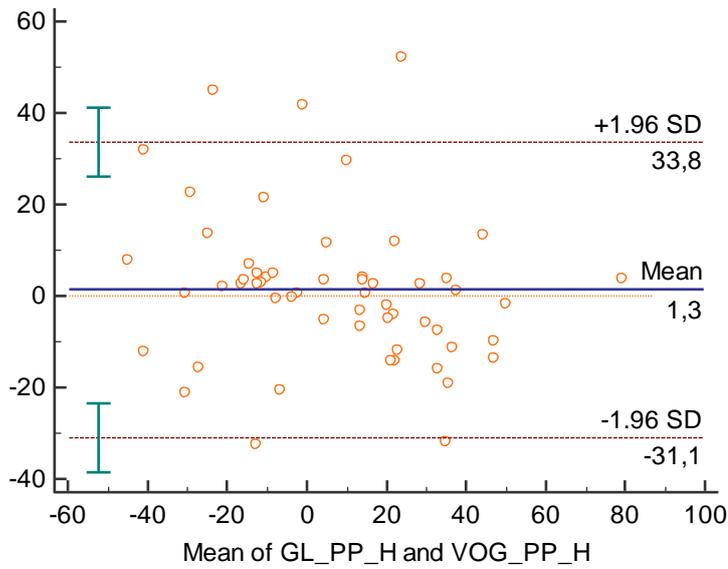
Gráfica 17. Diagrama de Bland-Altman entre cover test y GazeLab, componente vertical de PPM en subgrupo XT

Comparación y concordancia entre dispositivos

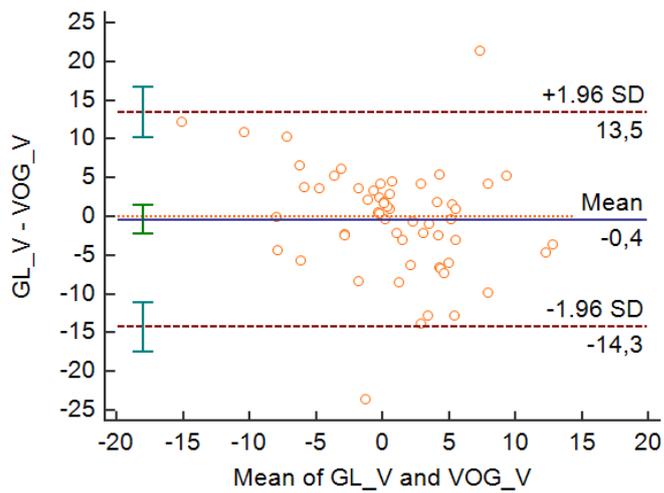
Como se dijo, aunque ya se han comparado ambos dispositivos frente a cover test, se ha querido enfrentar ambos dispositivos y realizar el mismo análisis. En este caso se ha analizado la muestra global, no se realizó el análisis por subgrupos, ya que se consideró que la cantidad de datos generados complicaría el análisis de manera innecesaria.

En la comparación de medias global para posición primaria de mirada, la diferencia media encontrada fue de **1,35 DP [IC95% (-3,038 – 5,737)](p=0,54)** en el componente horizontal y de **0,410 [IC95% (-1,466 – 2,286)](p=0,663)** en el componente vertical. Los coeficientes de

correlación fueron $R=0,832$ [IC95% (0,729-0,898)]($p<0,0001$) y $R=0,399$ [IC95% (0,154 – 0,597)]($p=0,0021$) para horizontal y vertical. Los diagramas de Bland-Altman se pueden observar en las gráficas 18 y 19.



Gráfica 18. Diagrama de Bland-Altman entre GL y VP del análisis del componente horizontal en posición primaria de mirada



Gráfica 19. Diagrama de Bland-Altman entre GL y VP del análisis del componente vertical en posición primaria de mirada

Los datos referentes a las versiones de mirada se pueden encontrar en la tabla 18.

Tabla 18. Diferencia de medias y coeficiente de correlación entre ambos dispositivos en el análisis de desviación en las distintas versiones de la mirada. Análisis con fijación binocular, componente horizontal

Binocular, horizontal	Diferencia de medias [IC 95%]	p de diferencia de medias	Coefficiente de correlación R [IC 95%]	p del coeficiente de correlación
Dextroversión	1,826 (-2,575 – 6,227)	0,4091	0,845 (0,747 – 0,908)	<0,0001
Levoversión	3,448 (-2,839 – 9,735)	0,2766	0,724 (0,571 – 0,828)	<0,0001
Supraversión	0,101 (-3,653 – 3,856)	0,9571	0,877 (0,798 – 0,927)	<0,0001
Infraversión	2,985 (-1,502 – 7,743)	0,188	0,833 (0,731 – 0,899)	<0,0001

El análisis de las versiones de mirada tiene interés en el análisis de los patrones alfabéticos y las incoincidencias laterales. La tabla 19 ofrece los datos de los pacientes que presentaron patrones alfabéticos. En general, el 73,33% de los pacientes que tuvieron patrón alfabético en VP, lo tuvieron en el GL también; mientras que, si la referencia era GL, 40,85% coincidían con VP.

Tabla 19. Pacientes con patrones alfabéticos según cada videoculógrafo y coincidencias entre ambos

	% sobre el total (número)	Mismo patrón en el otro videoculógrafo pero no cumple criterios	Mismo patrón en el otro videoculógrafo, sí cumple criterios
Patrón encontrado en VP	26,32% (15)	60 %	13,33%
Patrón encontrado en GL	12,28% (7)	12,28%	28,57%

Solo dos pacientes que tenían patrón alfabético clínicamente relevante fueron detectados por ambos videoculógrafos con similares medidas. Fueron dos ET: una ET consecutiva de 45 DP con patrón V (detectado por CT y con una diferencia de 25 DP entre la supraversión y la infraversión) y una ET asociada a enfermedad de Graves de 50 DP con patrón A, que no fue detectado por cover test. Los videoculógrafos detectaron patrones contrarios en un 19,29% de los casos cuando al menos uno de los dos dispositivos señalaba un patrón clínicamente relevante. Mediante cover test, 14 pacientes tuvieron un patrón alfabético (5 V, 4 A, 5 X). El cover test coincidió con GazeLab en 4 pacientes (28,57%) (dos endotropías – una endotropía asociada a edad y una endotropía consecutiva- con V, una exotropía – Síndrome de Duane- con A y una exotropía intermitente con V) y con VOG Perea en 4 pacientes (28,57%) (misma endotropía consecutiva con V que coincidió en ambos videoculógrafos, el síndrome de Duane con exotropía, una exotropía intermitente con patrón A y una exotropía intermitente con patrón V). Es decir, CT, VP y GL solo coincidieron en un paciente con medidas que constituía un patrón alfabético clínicamente significativo (ET consecutiva). Aunque el paciente con síndrome de Duane fue

clasificado correctamente por los tres métodos, en GL sus medidas no cumplen criterios de síndrome A (7 DP de diferencia entre supra e infraversión, aunque eran muy similares a las 10 DP medidas por CT y las 15 DP por VP).

Si bien en el estudio de los patrones alfabéticos solo se ha analizado el componente horizontal de la desviación, a la hora de analizar las versiones laterales, también se ha analizado el componente vertical, ya que las asimetrías en la desviación vertical en las lateroversiones es útil para diagnosticar disfunciones de los músculos oblicuos o los rectos verticales y algunas anomalías de los rectos horizontales.

VOG Perea detecto algún tipo de incomitancia lateral en el 54,38% (31) de los pacientes y GazeLab en el 42,10% (24). En total, el 64,91% (37) de los pacientes obtuvo un análisis con alguna incomitancia: 26 obtuvieron alguna incomitancia en el componente horizontal, 27 en el componente vertical y 17 tenían alteraciones en ambos componentes. En la tabla 20 se pueden observar los datos de las incomitancias en las lateroversiones. En cinco pacientes se encontraron incomitancias laterales opuestas en la desviación horizontal (19,23%) (3 endotropías y 2 exotropías), frente al 80,76% de los pacientes en los que los videoculógrafos tuvieron acuerdo en cuanto a la incomitancia. En el caso de la desviación vertical 13 pacientes (9 endotropías y 4 exotropías)±± (48,14%) mostraron incomitancias opuestas del componente vertical y en el 51,85% de los casos al menos hubo acuerdo en la dirección de la incomitancia vertical (OD/OI versus OI/OD).

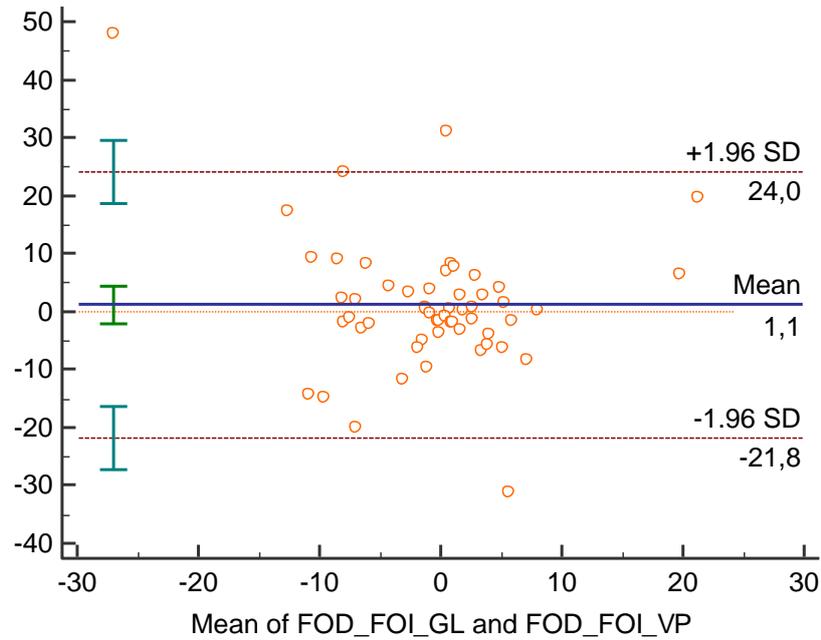
Tabla 20. Incomitancias laterales y coincidencias entre ambos videoculógrafos

	Ambos videoculógrafos coinciden en dirección, pero al menos en uno la desviación no es importante (10DP)	Ambos videoculógrafos coinciden en dirección y magnitud importante (>10DP)	
		Diferencia entre ambos >10 DP	Diferencia entre ambos <10 DP
Desviación horizontal	46,15% (12/26)	5	4
Desviación vertical	37,03% (10/27)	1	3

Por último, se ofrecen los datos del análisis de la desviación (solo se ha analizado posición primaria de mirada) en fijaciones monoculares de ojo derecho y ojo izquierdo (incomitancia de desviación en posición primaria). La desviación en posición primaria en fijación de ojo derecho presentó una diferencia de **-1,974 DP [IC95% (-6,313 – 2,364)] (p=0,3657)** en el componente horizontal, de **1,609 DP [IC95% (-0,725 – 3,944)] (p=0,1727)** en el componente vertical y unas correlaciones entre ambos dispositivos de **R=0,839 [IC95% (0,738 – 0,903)] (p<0,0001)** y **R=**

0,426 [IC95% (0,181 – 0,621)] (p=0,0012). En la fijación de ojo izquierdo la diferencia encontrada en la desviación en posición primaria entre ambos dispositivos fue de **-0,438 DP [IC95% (-5,093 – 4,218)] (p=0,8513)** y de **0,986 DP [IC95% (-1,660 – 3,632)] (p=0,4585)** y los coeficientes de correlación fueron **R=0,842 [IC95% (0,744 – 0,903)] (p<0,0001)** y **R= 0,193 [IC95% (-0,071 – 0,432)] (p=0,1497)** en los componentes horizontal y vertical, respectivamente. Es decir, ambos dispositivos no presentan diferencias entre sí en las fijaciones monoculares y tienen buena correlación en la medida horizontal.

Se comprobó si en el caso de que se detectaran diferencias importantes entre la desviación con FOD y FOI, estas eran detectadas por ambos dispositivos de igual manera. Se consideraron diferencias importantes las superiores a las 10 DP entre fijar con un ojo y otro. VOG Perea detectó diferencias superiores a las 10 DP entre FOD y FOI en un 19,64% (11) de los pacientes. Esa diferencia entre la FOD y la FOI (diferencia de mismo signo, es decir FOD>FOI o FOI>FOD) también fue detectada por GazeLab en el 63,63% (7) de estos pacientes, y en 4 de esos 7 (57,14%) pacientes las diferencias detectadas por ambos dispositivos fueron similares (menores a 10 DP). Es decir, que de aquellos pacientes que presentaron una diferencia importante en la desviación entre FOD y FOI en VOG Perea, GazeLab coincidió en un 63,63% de los casos y ofreciendo datos similares en el 36,36% de los casos. Si analizamos los datos al contrario, GazeLab detectó diferencias importantes entre FOD y FOI en un 12,5% (7) de los pacientes, de los cuales el 57,14% (4) fueron detectados e igualmente clasificados por VOG Perea y de estos solo 1 (25%) paciente presentó diferencias similares entre la FOD y la FOI en los dos videoculógrafos. Es decir, que cuando GazeLab detecta diferencias entre la FOD y la FOI, este análisis fue compartido por VOG Perea en un 57,14% de los casos, aunque solo un 14,28% de los pacientes coinciden en medidas similares. En conclusión, si un dispositivo detecta una diferencia importante entre FOD y FOI, entre un 57 – 63% de las veces el otro dispositivo también la detecta, aunque la magnitud de esa diferencia solo es similar en el 25 -57 % de ellos. El diagrama de Bland-Altman de las fijaciones monoculares se puede observar en la gráfica 20.



Gráfica 20. Diagrama de Bland-Altman para las diferencias entre FOD y FOI medidas con VP y GL

Rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos

Definidos los grupos de verdaderos positivos, falsos positivos, verdaderos negativos y falsos negativos, se agruparon los pacientes del grupo estrabismo con los pacientes sanos utilizados en el estudio primero. De tal manera se aplicaron las fórmulas de cálculo de sensibilidad y especificidad, valores predictivos y razones de verosimilitud. Los resultados se pueden observar en la tabla 21. En el caso de la sensibilidad (capacidad de detectar enfermos) los datos con asterisco tienen en cuenta los verdaderos positivos restando los pacientes estrábitos mal clasificados (diferencias con CT >10DP). En el caso de la especificidad (capacidad de detectar sanos), los datos con asterisco tienen en cuenta en el denominador los pacientes mal clasificados como falsos positivos.

Tabla 21. Principales indicadores del rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos

	VOG Perea	GazeLab
Verdaderos positivos	31	32
Falsos positivos	34	28
Verdaderos negativos	35	40
Falsos negativos	0	0
Sensibilidad	100% *52,54%	100% *54,23%
Especificidad	81,29% *50,72%	93,02% *58,82%
Valor predictivo positivo	47,69%	53,33%
Valor predictivo negativo	100%	100%
Razón de verosimilitud +	2,029	2,428
Razón de verosimilitud -	0	0

DISCUSIÓN

1. ESTUDIO DE VALIDACIÓN

Descripción de la muestra

Se trata de una muestra de pacientes sin alteraciones de la motilidad ocular. Se observaron diferencias significativas en la distribución de la muestra por sexos, pero la relevancia para el estudio es escasa o nula, ya que en ningún momento se realiza el análisis por sexos y no creemos que la variable del sexo influya en la desviación ocular, pues no hemos encontrado ningún estudio que corrobore este hecho.

Sabemos que el estrabismo y la desviación ocular puede estar influida por las ametropías, sobre todo en los pacientes con valores altos de refracción. Aunque sabemos por algunos estudios, que determinados tipos de forias sí están en relación con determinado tipo de errores refractivos, incluso en pacientes ortotrópicos. Así, la hipermetropía se asocia con endoforia y las miopías con exoforia.⁵⁸ No se realizó análisis por subgrupos en esta parte del estudio por error refractivo. Sin embargo, la media y la mediana de la foria medida por los tres exámenes se situó en torno a 0, con desviaciones estándar de 3,038 DP para cover test, 2,63 DP para VP y 1,02 DP para GazeLab, por lo que parece que la muestra estaba centrada en la ortoforia y si se presentaron forias, estas no fueron de gran cuantía.

En este grupo de pacientes no se recogió la variable edad, aunque todos los pacientes fueron mayores de edad. Por tanto, en este sentido, los resultados tampoco pueden extrapolarse a todas las edades.

En los diagramas de cajas ambos videoculógrafos tienen la mediana en 0 con unos rangos intercuartílicos muy estrechos y similares entre la primera y la segunda medida. Destacando unos límites superiores e inferiores más amplios en las medidas verticales del VOG Perea. Más adelante se comentará el análisis de las desviaciones verticales.

Fiabilidad y validez

El coeficiente de correlación intraclass da una idea del acuerdo entre dos observaciones. Según su valor el grado de acuerdo puede clasificarse como pobre (0-0,2), regular (0,2-0,4), moderado (0,4-0,6), bueno (0,6-0,8) o excelente (0,8-1). En este estudio, VP obtiene un CCI excelente, tanto para el componente horizontal (0,984) como para el vertical (0,981) en el análisis de la estática ocular en posición primaria de mirada. Por tanto, podríamos concluir que VOG Perea® es un dispositivo con una reproducibilidad excelente. Sin embargo, GL obtiene unos CCI de 0,24 y de 0,48 para componente horizontal y vertical, lo que puede ser calificado como regular y moderado, respectivamente. Sin embargo, el CCI presenta restricciones inherentes a su cálculo, ya que, en muestras muy homogéneas, el CCI tiende a ser bajo, ya que compara la varianza entre

pacientes con la varianza total observada. Mientras que, por el contrario, con muestras más heterogéneas el CCI suele ser alto.⁵⁹ Observando la distribución de datos del GL con una mediana centrada en cero y unos rangos intercuartílicos tan estrechos, podemos afirmar que el CCI del GL no da realmente una idea sobre la fiabilidad de dicho dispositivo y es artificiosamente bajo. No podríamos decir, a nuestro juicio, que es un videoculógrafo poco fiable.

Dentro del concepto de fiabilidad, cabe distinguir por un lado la reproducibilidad, que mide la concordancia entre observadores, y por otro lado la repetibilidad, que mide la concordancia intraobservador en tomas repetidas. Los exámenes con videoculografía fueron realizados indistintamente por varios observadores, por lo que no podemos analizar por separado estos dos indicadores.

Por otro lado, en cuanto a la validez o veracidad de los videoculógrafos, se estudió mediante comparación de medias con las medidas de cover test, por ser este el método de referencia o gold standard. Las diferencias fueron pequeñas y en ninguno de los dos dispositivos, esta diferencia alcanzó la significación estadística. Por lo tanto, dado que no se puede concluir que sean diferentes al cover test, podemos afirmar que VP y GL son dispositivos, no solo reproducibles, sino que también son veraces. Sin embargo, hemos de apuntar, que sí se encontraron diferencias significativas en la medida de la desviación vertical entre GL y el gold standard, por lo que a priori, GL no podría ser considerado un videoculógrafo válido para medir las desviaciones verticales de pacientes ortotrópicos en posición primaria.

Correlación y concordancia entre dispositivos

Como se ha dicho anteriormente, los coeficientes de correlación no son un buen indicador para medir la concordancia entre dos métodos de medida. Los coeficientes de correlación, tanto para la medida horizontal como para la vertical, pueden considerarse bajos.

El gráfico de Bland-Altman, tanto en el caso de la medida de la desviación en horizontal como en la vertical tienen algunas cosas en común. Primero, las medias están próximas a 0, en concreto, en 0,1 para la medida horizontal y -0,1 en la vertical. Esto quiere decir que ambos métodos obtienen medidas similares, por lo general. En ambos casos, los datos se distribuyen de tal manera que las diferencias son próximas a cero cuando la medida es cero y cuanto más se alejan del cero, aumentan su cuantía. Es decir, que cuando más ortotrópico es el paciente, parece que existe más acuerdo entre ambos métodos y cuando más nos alejamos de la ortotropía, horizontal o vertical, existe más desacuerdo entre ambos dispositivos. Los límites de acuerdo se sitúan, en el caso de la medida horizontal en +5,1 y -4,9 DP, por lo que estaríamos hablando de un rango unas 10 dioptrías prismáticas ($\pm 5DP$). El rango es mayor en vertical ($\pm 12 DP$).

Está estudiada la variación intra e interexaminador en la evaluación de heteroforias mediante cover test en pacientes ortotrópicos^{60,61}. Estos datos están resumidos en la tabla 22. Según estos datos, la variabilidad inter-videoculógrafo, sería algo superior a la que presentan dos examinadores nóveles. Por tanto, parece que los videoculógrafos son instrumentos menos precisos que el cover test para medir forias de pacientes ortotrópicos, especialmente verticales.

Tabla 22. Márgenes de variabilidad en la medición de forias mediante cover-un cover test en pacientes sanos

Heteroforia en paciente sano⁵⁸	(Media ± 1,96DS)
Intra-examinador	1,9 ± 1,8 dp
Inter-examinador	1,7 ± 1,3 dp
Intraexaminador con distinto punto de neutralización	1,6 ± 1,4 dp
Heteroforia de cerca en paciente sano⁵⁹	
Interexaminador experimentado	0,7 ± 3 dp
Interexaminador novel	-0,1 ± 4,4 dp
Interexaminador experimentados-noveles	0,8 ± 3,5 dp

Correlación y concordancia frente a cover test

El mismo análisis fue realizado frente a cover test. En el caso de los coeficientes de correlación, estos se mantienen en valores bajos, aunque con significación estadística.

En esta ocasión, los diagramas de Bland-Altman de cada dispositivo frente a cover test presentan algunos rasgos diferenciales. Ambos tienen una media centrada en cero, por lo que en líneas generales no presentan grandes diferencias con cover test y también los dos videoculógrafos tienen un rango en torno a las 10 dioptrías prismáticas de márgenes de variabilidad. Sin embargo, en el caso del VOG Perea[®] sucede como en el caso anterior, cuanto más se alejan los pacientes de la ortotropía, mayores parecen ser las diferencias entre VP y cover test, más o menos a razón de una dioptría de diferencia entre dispositivos por cada dioptría de foria. Sin embargo, GazeLab[®] mantiene unas diferencias más estables, independientemente de la cuantía de la foria real del paciente.

En general se puede decir que cuanto menor es la desviación en un paciente, más congruentes son los tres métodos de medición. Es decir, que los dos videoculógrafos detectan muy bien a los pacientes que el cover test determina como ortotrópicos y ortofóricos.

Valores de normalidad en videoculografía

Se determinaron, como se pudo ver en las tablas de distribución de la muestra, los percentiles p2,5, p10, p90 y p97,5. De esta manera, se pudieron determinar el 80% central de la muestra y el 95% central. Todos los pacientes habían sido calificados como ortotrópicos por el cover test, es decir, con una desviación manifiesta de 0°. Las medidas que se tomaron para realizar este estudio es la desviación que los videoculógrafos marcaban en posición primaria de mirada

con ambos ojos fijando, por lo que debían ser también ortotrópicos. Por tanto, se trataba de discernir, cuál era el rango que habitualmente determinaban estos aparatos en la mayoría de los pacientes ortotrópicos y, por tanto, los rangos por dentro de los cuales, no debíamos considerar las medidas determinadas por los videoculógrafos como patológicas.

Si bien se podían haber tomado los valores que dejaban el 95% de la muestra central, se decidió el 80% para ser menos exigentes y con vistas al cálculo de la sensibilidad y especificidad con los criterios que se comentaron previamente. Sin embargo, las tablas de distribución de la muestra podrían ser tomadas como referencias para pacientes ortotrópicos, a juicio del examinador, ya que como observamos, en posición primaria de mirada, una desviación horizontal de -4 o 6 DP (valores de p2,5 y p97,5 en VP) o de 1 o -3 DP en ocasiones son imperceptibles o no se consideran clínicamente relevantes. En tal caso, podríamos hablar de que GazeLab tiene unos márgenes de variabilidad de ± 2 DP y VOG Perea de $\pm 5,5$ DP para una medida aislada de desviación horizontal en posición primaria. Esto quiere decir, que debemos ser más considerados intervalos algo más amplios al interpretar el resultado ofrecido por el videoculógrafo Perea®. Esto puede ser debido a que dicho dispositivo calibra y mide en décimas de grados la desviación, una unidad de medida mucho menor a una dioptría prismática, por lo que afinar con tanta precisión puede ser una fuente de mayor variación. Finalmente, se decidió considerar los márgenes de variabilidad de pacientes ortotrópicos en los percentiles 10 y 90 para el cálculo de los parámetros de rendimiento (sensibilidad y especificidad, ver más adelante).

En general, se puede decir VOG Perea® ha obtenido un coeficiente de correlación intraclassa de 0,98 tanto para mirada horizontal como vertical, por lo que parece un dispositivo con una fiabilidad excelente. Aunque GazeLab® ha obtenido cifras peores, parece un artificio intrínseco al cálculo de dicho estadístico, ya que la distribución de la muestra ofrece muy poca variabilidad, como se puede comprobar en los diagramas de cajas y bigotes. Por tanto, parecen ambos dispositivos fiables. En cuanto a su validez, ambos dispositivos parecen igualmente veraces, ya que no han obtenido diferencias significativas frente al gold standard. Además, en este estudio hemos comprobado que ambos dispositivos detectan con mucha precisión a los pacientes ortofóricos. Para los valores adoptados por los investigadores como normales, los dispositivos presentarían un margen de variabilidad superior al de un examinador experto, pero muy similar al de un examinador novel. Incluso si miramos los percentiles p2,5 y p97,5, que comprenderían el 95% central de la muestra de pacientes (-4 a 6DP en VP y 1 a -3DP en GL, o lo que es lo mismo, los márgenes de variabilidad serían de $\pm 5,22$ DP y ± 2 DP respectivamente), los márgenes de medida son desviaciones imperceptibles y de baja importancia clínica, incluso para pacientes con estrabismo.

2. ESTUDIO EN PACIENTES CON ESTRABISMO

Descripción de la muestra

Se recogieron los datos de 57 pacientes con estrabismo horizontal, que luego se clasificaron en dos grupos según el tipo de estrabismo, endo o exotropía. No existió diferencia significativa entre el tamaño de ambos subgrupos ($p=0,1819$), así como tampoco en su edad ($p=0,6048$), MAVC del OI ($p=0,1376$), proporción de varones y mujeres ($p=0,3874$) y tampoco en la distribución por sexo dentro de cada subgrupo. Sí se observó diferencias significativas en cuanto a MAVC del OD ($p<0,0001$). En cuanto a la refracción en ambos grupos, no se observaron diferencias en la proporción de miopía ($p=0,8015$), hipermetropía ($p=0,9769$) o astigmatismo ($p=0,6903$).

En cuanto a la patología, el grupo de endotropía, el grupo más numeroso fue el de la endotropía adquirida parcial o totalmente acomodativa, seguida de la congénita y de las adquiridas no acomodativas. La distribución del grupo sigue una distribución similar a la de los distintos tipos de estrabismo en población pediátrica, si nos basamos en el estudio detallado en la introducción. En el estudio de Mohny la ET acomodativa o parcialmente acomodativa era el grupo más frecuente de ET en niños, al igual que en nuestra población de estudio. El segundo grupo lo conformaban las ET adquiridas no acomodativas, que si bien no es un grupo definido por nosotros, si incluimos todas las ET que cumplen estas características (ET asociada a enfermedad de Graves, microendotropía, ET adquirida de adulto, ET restrictiva asociada a miopía magna), en nuestro caso agrupa al 9,375%, lo que constituiría el tercer grupo más frecuente. El estudio de Mohny situaba la ET congénita en cuarto lugar tras la ET asociada a trastornos del sistema nervioso central, en nuestra cohorte, ocupa el segundo lugar. No se consideraron para el estudio ni estos pacientes ni las endotropías sensoriales. Las primeras, por necesidad de colaboración absoluta por parte del paciente y las segundas, por imposibilidad de fijación, lo que hacía inviable el examen mediante las pruebas seleccionadas de videoculografía. La ET paralítica ocupa el quinto lugar, mientras que en nuestro grupo ocupa el cuarto y la ET no especificada el último lugar en ambas cohortes. En el otro grupo, el grupo de exotropías, la patología más frecuente fue la exotropía intermitente, que resulta ser el tipo más frecuente de exotropía. El segundo tipo de exotropías más frecuente sería la sensorial, si bien en nuestro caso solo se incluyeron dos exotropías de este tipo, pues debían tener AV lo suficientemente altas como para identificar el punto de fijación, pero lo bastante bajas como para haber provocado este tipo de estrabismo. Es decir, la gran mayoría de pacientes con XT no cumplirían criterios para nuestro estudio. El resto de exotropías de nuestro estudio no estarían dentro de las principales categorías del estudio de Mohny.

Sin embargo, nuestro estudio se ha realizado en población adulta, no en población infantil. Si observamos las características de la población adulta estudiada por Mohnhey, vemos que el estrabismo paralítico ocupa el primer lugar, la insuficiencia de divergencia el segundo y los estrabismos restrictivos y acomodativos el tercer y quinto lugar respectivamente. En nuestra población cabría esperar lo mismo, sin embargo, el estudio de Monhey es de incidencia y, por tanto, la edad de mediana de aparición en este estudio fue de 65 años (rango 19-100 años), mientras que en nuestro grupo la media global del grupo es 30,98 años y se trata de un estudio transversal y mide prevalencia. Dado esto, cabe asumir que la mayor parte de nuestros pacientes, tenían estrabismos no tratados de la infancia o con debut en las primeras décadas de la vida. Por ello, la distribución del grupo se asemeja más a la de la población infantil y dadas las frecuencias de subtipos de estrabismo, parece bastante representativa de la población.

Diferencia, correlación y concordancia frente a cover test

Igual que el caso del estudio de forias, el cover test también tiene descritos unos márgenes de variabilidad para pacientes estrábicos. La tabla 23 recoge los principales resultados de los estudios realizados a este respecto.

Tabla 23. Márgenes de variabilidad en la medición de tropias mediante cover test en pacientes con estrabismo

Tropia de cerca y lejos en pacientes con parálisis del VI PC⁶²	
Cover test prismado lejos	0,8 ±6,3 dp
Cover test prismado cerca	-3,0 ±6,9 dp
Cover test alternante prismado lejos	0,2 ±10,2 dp
Cover test alternante prismado cerca	-3,9 ± 9,2 dp
Tropia de cerca y lejos en pacientes con estrabismo horizontal, cuatro examinadores expertos⁶³	
Cover test alternante prismado cerca	0,6 ± 10 dp
Cover test alternante prismado lejos	0,2 ± 9 dp
Pacientes pediátricos con endotropia⁶⁴	
	(IC95%)
ET >20 DP. Cover test alternante prismado lejos	±10.4 (±8.5 to ±12.2)
ET >20 DP. Cover test alternante prismado cerca	±11.7 (±9.9 to ±13.6)
ET 10-20 DP. Cover test alternante prismado lejos	±5.8 (±4.0 to ±7.5)
ET 10-20 DP. Cover test alternante prismado cerca	±4.7 (±2.9 to ±6.5)

Como se puede observar la variabilidad de este test ronda las 10 dioptrías prismáticas en su variante prismado y alternante y llega hasta las 13,6 dioptrías en pacientes infantiles con endotropias de gran ángulo. De esta manera, el gold estándar actual en la medición de pacientes con estrabismo, tiene una variabilidad definida. Estos márgenes, por lo general, se definieron como los intervalos de confianza del 95% de la diferencia de medias o en estudios de concordancia.

Por tanto, hemos considerado las diferencias menores a 10 dioptrías prismáticas como punto de corte para el cálculo de los parámetros de rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos y como una diferencia clínicamente significativa. Hemos considerado que, para

ser, al menos, igual de buenos que el gold standard, deberían tener una variabilidad igual a este en un test re-test. Es decir, que la diferencia de medir primero a un paciente con cover test y luego con un videoculógrafo, no debería exceder las 10 DP de diferencia. En ambos dispositivos esto se cumple en un 53% de los pacientes aproximadamente si consideramos los pacientes estrábicos (ver en “rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos); aunque si observamos la tabla, globalmente se cumple hasta en el 73% de los casos.

Solo hemos encontrado, como se adelantó en la introducción, un estudio publicado que comparase un videoculógrafo con cover test ⁵⁰. El estudio fue realizado por un grupo coreano y el dispositivo analizado fue el Video Frenzel Goggle[®]. Este estudio contó con 34 pacientes con exotropias comitantes (lejos-cerca), de 5 a 51 años, con una desviación máxima menor a 50 DP, sin gafas, con AV mínima de 20/70 y equivalente esférico entre +6.00 y -6.00 dioptrías. Los pacientes eran examinados 3 veces mediante cover-test y videooculografía, con fijación a 3 metros de distancia. El grupo coreano no solo analizó la correlación y concordancia entre cover test y el Video Frenzel Goggle[®], sino que también estudio la variabilidad del cover test prismado alternante entre los dos exploradores que realizaron el estudio y la variabilidad test-retest de uno de ellos, que revisó los pacientes en cuatro ocasiones. La variabilidad entre examinadores obtuvo unos márgenes de ± 4.63 DP y un coeficiente de correlación de 0.974 (IC95% 0.947 - 0.987; $p < 0.001$), mientras que la variabilidad test-retest por el mismo examinador obtuvo $R = 0.968$ (IC95% 0.941 - 0.985; $p < 0.001$). Estos márgenes de variabilidad son sensiblemente menores que los obtenidos por Holmes en sus estudios.

El estudio del grupo coreano también analizó la variabilidad del Video Frenzel Goggles[®], que obtuvo un coeficiente de correlación de 0.990 [IC95% 0.983 a 0.995]; $p < 0.001$, y un límite de acuerdo del 95% en el diagrama de Bland-Altman de ± 3.56 PD. En nuestro caso, el análisis no se realizó con un coeficiente de correlación al comparar un videoculógrafo consigo mismo, sino el coeficiente de correlación intraclase. Aunque ya se han comentado, estos CCI de la medida horizontal de la posición primaria fueron de 0,984 (IC95% 0,970 – 0,992) en VP y 0,246 (IC95%- 0,402 -0,59) en GL y unos márgenes de variabilidad de $\pm 5,22$ DP y ± 2 DP respectivamente. Por tanto, no consideramos que el método para estimar la variabilidad del videoculógrafo coreano sea la más correcta y no lo hace comparable con nuestro método.

En su caso, el 82,4% de los pacientes presentaron diferencias menores a las 3 DP entre cover test y videooculografía, el 11,7% entre 3 y 5 DP de diferencia y solo 5,9% (2 pacientes) diferencias superiores a las 5 DP. El estudio obtuvo un coeficiente $R = 0,934$ entre el Video Frenzel Goggles[®] y el cover test, mientras que nosotros hemos obtenido un $R = 0,84$ aproximadamente para los dos videoculógrafos. Sin embargo, llama la atención las diferencias evidentes en cuanto a las magnitudes de diferencias encontradas por el grupo coreano frente a las de nuestro estudio.

Por un lado, el videoculógrafo utilizado es distinto. Parte de este estudio radica en comparar dos dispositivos, por lo que este podría funcionar de forma distinta y podría presentar mejores resultados. En un futuro, podría plantearse la posibilidad de comparar más dispositivos. Por otro lado, se realizó en un grupo de 34 pacientes con unos criterios de selección más estrictos que los nuestros y solo se examinó un determinado grupo de estrabismo. Holmes utilizó un grupo de 23 pacientes con parálisis de VI par craneal, pero no especifica los rangos de desviación, ni define criterios de inclusión y exclusión tan estrictos. Pudiera ser que la variabilidad y el tamaño de la muestra de Holmes justificara las diferencias en la variabilidad del cover test alternante prismado frente al estrecho margen obtenido por el grupo coreano. En la misma línea, la variabilidad mucho mayor de nuestra muestra justificaría estas grandes diferencias en la distribución de la muestra, aunque los coeficientes de correlación sean similares. Si solo comparásemos nuestro grupo exotropía con el estudio de Korea, la rho de Spearman al ser una prueba no paramétrica detecta con menos fuerza la correlación y fue de 0,492 en VOG Perea[®] y de 0,337 en GazeLab[®]. Por tanto, sus resultados no son plenamente comparables con los nuestros.

También existen estudios que comparan la videoculografía con otros métodos de medida más invasivos, como la electrooculografía. El estudio comparó las medidas de posición ocular y velocidad de sacada de cuatro pacientes obtenidas simultáneamente por un sistema de electronistagmografía y por un sistema de “eye tracking” (EyeLink system version 2.04, SR Research Ltd/SMI GmbH, Germany) con un casco similar al de GazeLab[®]. Se presentaron estímulos en todas las direcciones de mirada, de forma aleatoria y también se registraron movimientos libres de los ojos en condiciones fotópicas y escotópicas. La videoculografía demostró un error de medida $<1^\circ$ para rangos de movilidad $<40^\circ$ y una alta correlación ($R=0,99$) con la electrooculografía tanto para medidas horizontales como verticales.⁶⁵

Los estadísticos de comparación de medias demuestran que nuestros dos dispositivos serían similares al cover test a la hora de medir la desviación horizontal y vertical en posición primaria de mirada en dichos pacientes, como nos sugería la experiencia clínica. Aun así, observamos que en algunos pacientes las diferencias encontradas entre ambos métodos de medición alcanzan cifras superiores a las 20 DP (20% de los pacientes en GL y 23% en VP), llegando hasta las 61.65 DP en VP y 50 DP en GL.

Aunque el estrabismo es una variable biológica y, por tanto, cambiante per sé, diferencias tan grandes en la medición no pueden ser atribuidas a dicha variabilidad biológica. Hemos revisado los pacientes que presentaron estas diferencias tan pronunciadas y no hemos encontrado ningún factor de similitud en ninguno de ellos en lo que respecta a edad, agudeza visual, refracción o limitaciones de la motilidad. En 5 pacientes, estas diferencias tan grandes se encontraron en ambos dispositivos. Por tanto, parece que, ya sea por errores de calibración o por fallos intrínsecos

de la tecnología, existen pacientes que dichos dispositivos no calibran o miden bien. Es posible, que las diferencias en la técnica de la disociación y la distancia explicasen al menos una parte de esas diferencias. Por otro lado, la colaboración del paciente es fundamental. Si bien al hacer un CT, se puede repetir si se detecta que el paciente mira a otro lado, estos dispositivos no pueden controlar eso, al menos de manera automática (se puede realizar un ajuste posterior al examen de forma manual). De momento no hemos sido capaces de determinar si existe alguna característica del paciente o del estrabismo que pueda determinar una alta probabilidad del fallo.

En cuanto a las diferencias menores a las 5 DP o mayores a 20 DP con respecto a cover test, ninguno de los dos videoculógrafos parece mejor o peor que el otro, ya que el porcentaje de medidas con diferencias muy pequeñas o grandes parece similar en ambos. En cuanto a aquellos con diferencias menores a las 10 DP, tampoco hay diferencias ($p=0,8745$). Analizado por subgrupos tampoco encontramos grandes diferencias. Es decir, que VOG Perea no es diferente a GazeLab en el análisis de endotropias o exotropias ni tampoco cada videoculógrafo es mejor o peor analizando un tipo de desviación en concreto. Aunque a priori pueda parecer observando los datos expuestos en las tablas 14 y 15, que GazeLab presenta más pacientes con diferencias pequeñas ($<10DP$) en el grupo de endotropias (69%) que en el de exotropias (56%), no existen diferencias significativas entre estos dos grupos ($D=13\%$, IC 95% [-11,5 -36,1%] ($p=0,317$)). El análisis es similar si tenemos en cuenta el porcentaje de pacientes con diferencias superiores a las 20 DP, 12% en el grupo de endotropias y 32% en el grupo de exotropias ($D= 20\%$ IC95% [-1,4 - 40%] ($p=0,067$)). Tal y como se mostró en resultados, no existieron diferencias significativas al comparar las proporciones de pacientes con diferencias menores a las 10 DP con cover test en ninguno de los dos videoculógrafos, tanto en análisis de endotropias como exotropias. Además, el porcentaje no difiere especialmente de los datos globales. Entre un 50-66% aproximadamente de los pacientes presentan diferencias menores a 10 DP con respecto a cover test, entre un 10-30% pueden presentar diferencias superiores a 20 DP, y alrededor de un 20% se obtienen medidas con diferencias entre 10 y 20 DP, independientemente del tipo de estrabismo y del videoculógrafo.

Resulta llamativo que, en el componente de desviación vertical, los porcentajes, tanto en el grupo global como en subgrupos, es llamativamente alto. Es lógico si pensamos que se tratan de desviaciones pequeñas y como habíamos comprobado, cuando más cerca de la ortotropía está el paciente, mejor lo caracterizan los videoculógrafos. Sin embargo, cuando hablamos de desviaciones verticales, 5 DP parece un punto de corte clínicamente más relevante que 10 DP, ya que la vergencia fusional vertical es mucho más pequeña y una diferencia de 5 DP puede tener grandes impactos a nivel clínico. En el caso de VOG Perea, el porcentaje de pacientes con diferencias menores a 5 DP con respecto a CT fue del 52% en el grupo global, 50% en el subgrupo endotropía y 52% en el subgrupo exotropía; mientras que en GazeLab, diferencias menores a 5 DP se encontraron en el 82% de los pacientes en el grupo global, 84% en subgrupo endotropía y

80% en subgrupo exotropias. Esta diferencia (30% IC95% [12,8 -44,9%]) sí es significativa ($p=0,0007$), por lo que parece que podemos concluir que GazeLab parece mostrar acuerdo en un porcentaje mayor de pacientes con el cover test, en cuanto a desviación vertical se refiere, en pacientes con estrabismo horizontal. Queda por comprobar, si esto es así en pacientes con estrabismo eminentemente vertical, donde esta medida cobra especial valor.

Las diferencias tan altas observadas entre cover y cada videoculógrafo se ponen de manifiesto en los diagramas de Bland-Altman, en los que se observa una gran dispersión de los datos y provoca que el intervalo de confianza tenga medidas tan amplias. Destacamos que globalmente, la diferencia se sitúa muy próxima a cero tanto en el caso de VOG Perea como en el de GazeLab. En el caso de los subgrupos ET y XT, la dispersión y los intervalos fueron muy similares, aunque siempre con medias muy próximas a las 0 DP de diferencia.

En general podemos decir que tanto VOG Perea ® como GazeLab ® son eficaces a la hora de valorar la desviación horizontal en posición primaria de pacientes con estrabismo horizontal y no presentan diferencias significativas con cover test en un alto porcentaje de pacientes. Sin embargo, se trata de una exploración que requiere de tiempo, personal entrenado y cierta colaboración del paciente. El cover test se trata de un método diagnóstico menos laborioso y más rápido, una vez la técnica está dominada. Sin embargo, hemos de recalcar, que, estos dispositivos analizan en un corto periodo de tiempo la desviación horizontal y vertical (GazeLab ® también ofrece la posibilidad del análisis torsional, pero no ha sido analizado) en las nueve posiciones de mirada y con fijación monocular de cada uno de los ojos. Es decir, aportan mucha cantidad de información, que realizada con cover test resultaría muy laboriosa de obtener. Más adelante, analizamos los resultados a este respecto.

Correlación y concordancia entre dispositivos

En cuanto a la comparación directa entre dispositivos, los resultados del análisis en posición primaria ofrecen resultados esperables tras enfrentar los videoculógrafos a cover test y también muy similares. Las diferencias entre ambos dispositivos son, en general, pequeñas y presentan un rango de diferencias entre ellos muy similar a la que presentan por separado frente al gold standard, lo que les convierte en dispositivos sustituibles.

Otro análisis interesante radica en el estudio de las versiones de mirada y en las fijaciones monoculares. Dado que obtener los datos de desviación ocular en las distintas posiciones de mirada y en fijaciones monoculares aumenta mucho el tiempo de exploración mediante cover test, y salvo que sean muy evidentes las disparidades no son fáciles de detectar, este podría ser una de las ventajas principales de VOG Perea y GazeLab frente al gold estándar. Suponemos, que al igual que ha pasado con el análisis de la posición primaria, si ambos no presentan grandes

diferencias entre ellos, no tienen por qué presentarlas frente al cover test en todas las posiciones de mirada.

En el análisis de las versiones de mirada, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque por lo general, la cuantía de la diferencia entre las medias tiende a ser mayor, sobre todo en la levoversión y la infraversión, que en posición primaria de mirada. Como dijimos previamente, el análisis de la infraversión se ve dificultado en ambos dispositivos, por el error de reconocimiento entre las pestañas y la pupila, al descender el párpado superior en mirada hacia abajo, lo que podría explicar la mayor diferencia encontrada en esta posición. Además, en todas las versiones de mirada, la pupila toma una forma elipsoide y disminuye su área, con lo que la determinación del centro de la pupila podría dificultarse y por tanto, podría explicar las mayores diferencias en las versiones de mirada con respecto a la posición primaria. Los coeficientes de correlación entre VP y GL pueden ser considerados buenos en todas las versiones de mirada analizadas. Estos resultados nos llevan a deducir, que al igual que pasaba en posición primaria, estos dispositivos serían intercambiables al analizar la desviación horizontal en las distintas versiones de mirada en pacientes con estrabismo.

Sin embargo, en el análisis más detallado que se hicieron en los casos de patrones alfabéticos y en los casos de incomitancias laterales ponen de manifiesto algunos datos interesantes. En el caso de los patrones alfabéticos, cuando son detectados o medidos como tal por uno de los videoculógrafos, no son siempre igualmente clasificados por el otro dispositivo. El 73,33% de los pacientes que tuvieron patrón alfabético en VP, lo tuvieron en el GL también; mientras que si la referencia era GL, el porcentaje que coinciden en VP disminuye al 40,85%. Pero, si atendemos a la definición clínica de patrón A (diferencia de al menos 10 DP entre la desviación en supravversión y en la infraversión) y de patrón V (diferencia de al menos 15 DP entre supravversión e infraversión)⁶⁶, el porcentaje disminuye aún más. Si el patrón era encontrado en VOG Perea, solo se cumplía el mismo patrón en el 13,33% en el análisis de GazeLab y de la otra forma, solo el 28,57% de los patrones encontrados por GazeLab se repetía en el VOG Perea. Como se expuso en el apartado de resultados, solo dos pacientes que tenían patrón alfabético clínicamente relevante fueron detectados por ambos videoculógrafos con similares medidas. Dos endotropías, una con patrón V y otra con patrón A. Además, los videoculógrafos detectaron patrones contrarios en un 19,29% de los casos cuando al menos uno de los dos dispositivos señalaba un patrón clínicamente relevante. Es decir, que de todos los pacientes que tuvieron un análisis con patrón alfabético (20), casi una quinta parte eran contrarios en los dos videoculógrafos. De aquellos detectados por cover test (14), GazeLab coincidió en 4 pacientes (28,57%) y VOG Perea en otros 4 pacientes (28,57%). Y de ellos, solo dos mostraron el mismo patrón en los tres métodos.

En cuanto a las incomitancias laterales, VOG Perea las detecto en el 54,38% (31) de los pacientes y GazeLab en el 42,10% (24). En total, el 64,91% (37) de los pacientes obtuvo un análisis con alguna incomitancia: 26 obtuvieron alguna incomitancia en el componente horizontal, 27 en el componente vertical y 17 tenían alteraciones en ambos componentes. Al igual que sucede con los patrones alfabéticos, no siempre coinciden los dos videoculógrafos. Recordemos que la amplitud lateral a la que mide cada dispositivo es distinta. GL está configurado para medir las versiones laterales y verticales a 17°, mientras que VP mide a 30° las horizontales y a 20° las verticales. Esto puede ser una de las causas de que el acuerdo aquí sea menor que en posición primaria de mirada. Pensamos que, de nuevo, la colaboración del paciente puede haber sido otra de las fuentes de variabilidad.

Si hablamos de desviaciones horizontales, el 80,76% de los pacientes en los que los videoculógrafos tuvieron acuerdo en cuanto a la incomitancia, aunque solo el 15,38% el acuerdo fue con diferencias menores a las 10 DP. En cinco pacientes se encontraron incomitancias laterales opuestas en la desviación horizontal (19,23%) (3 endotropias y 2 exotropias). En el caso de la desviación vertical 13 pacientes (9 endotropias y 4 exotropias) (48,14%) mostraron incomitancias opuestas del componente vertical y en el 51,85% de los casos al menos hubo acuerdo en la dirección de la incomitancia vertical (OD/OI versus OI/OD), aunque solo un 11,11% alcanzó un acuerdo menor a las 10 DP entre los dos dispositivos.

Llama la atención, si observamos la tabla 18, que la diferencia de medias en la medida horizontal entre los dispositivos en la infraversión es muy amplia ($2,985 \pm 3,121$ DP), mientras que la diferencia en la supravversión es mínima ($0,101 \pm 0,203$ DP). Esto sin duda, puede explicar el hecho de que encontremos poco acuerdo en cuanto a los patrones alfabéticos. Sin embargo, aunque la diferencia entre ambos dispositivos en la levoversión también es grande ($3,448 \pm 6,896$ DP), también es relativamente grande en la dextroversión ($1,826 \pm 3,652$ DP). Aunque haya más diferencia en la levoversión que en la dextroversión, no es tanta la diferencia entre ambas como la existente entre la supravversión y la infraversión. Para la aparición de un patrón alfabético (incomitancias en las versiones verticales) es fundamental que haya una diferencia notable en el componente horizontal en la supravversión con respecto a la infraversión, mientras que en las incomitancias laterales, no es tanto una medida cuantitativa sino cualitativa. Por ello, el análisis de las incomitancias laterales habría obtenido mejores resultados que las de los patrones alfabéticos.

En general, tanto en el análisis de los patrones alfabéticos como en el de las incomitancias laterales, son pocos pacientes, por lo que estudios con más pacientes pudieran demostrar mayor grado de acuerdo, tanto con el cover test como entre ellos. Es decir, aunque la comparación de medias y los coeficientes de correlación globalmente eran buenos, se comprueba que la

concordancia en muchos casos no es tan alta como puedan sugerirlo las cifras de los coeficientes de correlación. Los datos obtenidos por este estudio no permiten afirmar que los dispositivos analicen con exactitud (la magnitud) los patrones alfabéticos y las incoincidencias laterales, aunque en el 73-80% de las veces en ambos dispositivos el análisis suele ser similar en cuanto a la dirección de la desviación. A este respecto, podrían ser útiles para poner en alerta al profesional de que pueda existir una anomalía de este tipo y que pudiera ser necesario comprobarlo mediante un cover test.

Otro de los puntos fuertes de estos dispositivos, como dijimos, el análisis en fijaciones monoculares. Esto es muy importante al caracterizar las desviaciones primarias y secundarias, por ejemplo, en estrabismos paralíticos, restrictivos o disociados (DVD, DHD). En general, las diferencias observadas entre ambos dispositivos en el análisis de fijaciones monoculares ofrecen los mismos resultados que el análisis en versiones de mirada. Las diferencias son pequeñas, no son estadísticamente significativas y los coeficientes de correlación son buenos tanto como para fijación de ojo derecho como para fijación de ojo izquierdo. Por tanto, podríamos afirmar algo similar al caso anterior.

Sin embargo, igual que sucedía con las incoincidencias, se quiso comprobar la concordancia. Es decir, que, si un videoculógrafo apuntaba en una dirección, el otro corroboraba esta información. En el cover test muchas veces si no hay una evidente asimetría, no es fácil diagnosticar diferencias de desviación fijando un ojo o el contrario. Se volvió a determinar las 10 DP como punto de corte, para considerar diferencias significativas entre una fijación y la otra. Como se detalló y se concluyó en el apartado de resultados, si un dispositivo detecta una diferencia importante entre FOD y FOI, entre un 57 – 63% de las veces el otro dispositivo también la detecta, aunque la magnitud de esa diferencia solo es similar en el 25 -57 % de ellos. Nos encontramos con un caso similar al previo. Aunque son pocos pacientes en los que se detectaron (11 pacientes VP y 7 GazeLab), y parece que los dos ofrezcan resultados muy similares, en general sí que apuntan a la misma dirección, en un porcentaje superior al 50% de las veces. Solo en el 28,57 % la diferencia entre FOD y FOI era contraria entre ambos y fueron casos con diferencias mínimas la mayoría. Solo en un 7,14% de los casos en los que un dispositivo decía lo contrario al otro eran diferencias superiores a las 10 DP. Tal y como se observa en el gráfico de Bland-Altman, existe mayor concordancia cuanto más pequeñas son las medidas y cuando las diferencias entre ambas fijaciones monoculares se sitúan entre las ± 10 DP. Es decir, que en ese rango de medidas es probable que, si hay diferencia entre FOD y FOI, ambos la detecten y la midan con precisión. Sin embargo, no se han comparado con medidas con cover test, por lo que no puede afirmarse, que, si los dos dispositivos muestran diferencias en las fijaciones monoculares, están existan de verdad en el paciente. Por tanto, sería necesario comprobar el grado de concordancia de estas medidas con las del cover test.

En general, hemos observado durante todo el análisis realizado, que las cifras, tanto en comparación de medias, coeficientes de correlación y estudio de concordancia son siempre algo peores para el análisis de la desviación vertical. Aunque en la comparación global frente a cover test ninguno de los dos obtuvo diferencias significativas en lo que a esta medición se refiere, sí que se encontraron en el subgrupo endotropias en el examen con GazeLab. Si bien esta diferencia es pequeña, de 1,53 DP y clínicamente no parece relevante, no está estudiada la variabilidad de la medida vertical mediante cover test, por lo que no podemos compararla con estudios previos. Sin embargo, esto parece chocar con que GazeLab obtiene diferencias con CT menores a 5 DP en medida vertical en el 80% de los pacientes, cifra significativamente superior a la de VOG Perea. A diferencia con lo que pasa con las desviaciones horizontales, medidas más pequeñas en la desviación vertical sí pueden suponer la aparición, por ejemplo, de una diplopía vertical, dado que las vergencias fusionales verticales son de menor amplitud. Por tanto, serían necesarios estudios para determinar la relevancia clínica de estos hallazgos. El análisis de medida vertical, que a priori no tiene tanta importancia en pacientes con desviaciones predominantemente horizontales, sí podría tenerla en el caso de estrabismos verticales y los videoculógrafos podrían no ser igual de reproducibles y fiables para este análisis. Sin embargo, como decimos, esto debe ser estudiado en profundidad.

Como conclusión, hemos encontrado, en general, buenas correlaciones y concordancias con cover test. Considerando las 10 DP de variabilidad test re-test del cover test, hemos encontrado que aproximadamente 60% de los pacientes medidos con videoculografía presentan variaciones menores a estas 10 DP (y, por tanto, clínicamente no relevantes) frente a las determinadas por el gold standard. Es decir, en una consulta de estrabismo, si todos los pacientes se examinan con videoculografía, una gran mayoría presentarían resultados similares al del cover test y con márgenes de variabilidad clínicamente poco relevantes. Sin embargo, hemos de puntualizar que un porcentaje, no desdeñable, presenta mediciones aberrantes con diferencias que alcanzan las 50 DP. No hemos logrado identificar ninguna característica intrínseca al paciente o su patología, que parezca relacionarse con la probabilidad de obtener malos resultados en un examen de videoculografía. Probablemente, en estos casos, un segundo examen con videoculografía, obtendría buenos resultados. Pero esto, es, a nuestro juicio, signo de que estos dispositivos no son infalibles y que no pueden sustituir, en ningún caso, a la valoración por un experto.

Rendimiento diagnóstico de los videoculógrafos

La sensibilidad se puede definir como la capacidad de un test diagnóstico para detectar enfermos. En este caso, dado que todos los enfermos fueron detectados como tal y ninguno de ellos fue clasificado como sano, los falsos negativos eran 0 en ambos grupos y como resultado, la

sensibilidad fue de un 100%. Esto quiere decir que los videoculógrafos siempre detectarían un estrabismo en caso de que la persona lo tuviese. Nuestra experiencia nos dice que, en efecto, esto probablemente sea así. Pero no solo hemos querido calcular la proporción de verdaderos positivos, si no que hemos querido calcular, de todos los positivos, cuáles son los que el dispositivo clasifica bien. Esta cifra es distinta de la ofrecida anteriormente, ya que previamente se calculó, sobre el total de los 100 pacientes examinados, cuantos presentaban esta diferencia menor a 10 DP. Las cifras 52,54% y 54,23% corresponden solo a la proporción de pacientes estrábicos clasificados correctamente. No existe diferencia significativa entre las dos sensibilidades ($p=0,8751$). Estas cifras son cercanas a la sensibilidad del cover test como prueba de screening en población pediátrica, que es el 60%. Es decir, que resultan pruebas muy similares para la detección de estrabismo, aunque recordemos que nuestras cifras se refieren a población adulta y con varios examinadores no expertos, mientras que las cifras obtenidas por el VIP Study group son en población pediátrica y con examinadores expertos. No existen datos publicados de la sensibilidad del cover test en adultos, ni tampoco si lo lleva a cabo un examinador novel o inexperto. Probablemente, dado que los adultos colaboran mejor que los niños, este test tenga una mayor capacidad de detección de estrabismo en niños mayores y adultos colaboradores y más aún si lo llevan a cabo examinadores expertos.

En cuanto a la especificidad, es la capacidad para detectar sanos; recordemos que, para el cálculo de este parámetro, hemos incluido como falsos positivos a aquellos pacientes estrábicos con diferencias superiores a las 10 DP. Es decir, no solo estamos teniendo en cuenta los pacientes sanos sino aquellos estrábicos mal “clasificados”. La especificidad de VOG Perea es del 50,72% y la de GazeLab es del 58,82%. Entre estos dos porcentajes, no hay diferencia significativa ($p=0,3427$). Si solo considerásemos los pacientes sanos clasificados como estrábicos como los falsos positivos, las cifras de especificidad serían 81,29% y 93,02% para VOG Perea y GazeLab respectivamente, por lo que vemos, gran parte de los falsos positivos son los pacientes estrábicos mal clasificados y no los pacientes sanos clasificados como enfermos. Estas cifras de especificidad son más similares a las del cover test, del 98% según el VIP study group. Es decir, tanto la videoculografía como el cover test, detectan muy bien a los pacientes sanos. Pero como en el caso anterior, la especificidad del cover test está calculada en población infantil y probablemente varíe en función del grado de colaboración y de la experiencia del examinador.

Los valores predictivos en este caso están calculando, la probabilidad dado un resultado de examen mediante videoculografía, de que el paciente realmente presente una desviación similar a los resultados. Recordemos, que estos valores vienen muy influidos por la prevalencia de la enfermedad y que en el estrabismo es de un 4% aproximadamente según los estudios. En este caso, destacamos, que ante un examen de videoculografía que determina el paciente como

sano, teniendo en cuenta los márgenes de normalidad adoptados, la probabilidad de ser no estrábico es del 100%.

Las razones de verosimilitud no se ven influidas por la prevalencia de la enfermedad. Sirven para calcular la probabilidad de un determinado resultado teniendo o no la enfermedad. Observando la razón de verosimilitud positiva, el examen con videoculografía tendría una relevancia clínica regular; es decir, que, siendo un paciente estrábico, la probabilidad de que el test sea correcto es media. Mientras que, siendo un paciente sano, la probabilidad de tener un examen de videoculografía que así lo demuestre (razón de verosimilitud negativa) es muy alta. Esto viene en consonancia con los resultados, que nos dicen que cuanto más cerca de la ortotropía está un paciente, mejor lo clasifican ambos dispositivos.

Recordemos, sin embargo, que estos parámetros se utilizan sobre todo para evaluar la rentabilidad de un test diagnóstico utilizado como screening. Pero para que un test sea idóneo para un screening no solo necesita tener unos valores adecuados de sensibilidad, especificidad, valores predictivos, etc. Sino que, además, debe presentar una buena rentabilidad económica y de tiempo. El examen con videoculografía requiere de un personal bien entrenado y un paciente colaborador. Un examen sencillo, lleva al menos, unos 3-4 minutos de exploración. El cover test se realiza en mucho menos tiempo, aunque para una correcta interpretación se requiere algo de conocimiento y entrenamiento. Económicamente, el precio de los videoculógrafos, superan con creces a los del cover test, que no requiere ningún dispositivo especial más allá de un oclisor y unos prismas. Por tanto, a pesar de tener unas cifras similares al cover test en cuanto a rendimiento diagnóstico, su rentabilidad económica y de tiempo son inferiores.

En general se puede concluir que tanto VOG Perea® como GazeLab® son dos videoculógrafos fiables, cuyos resultados son la mayoría de las veces comparables a los de un cover test e intercambiables entre ellos. Sin embargo, presentan en un porcentaje de fallos, sobre todo en la determinación del ángulo de desviación, que muchas veces es superior a la variación clínicamente aceptable y relevante. Por tanto, un examen aislado de videoculografía puede mostrar resultados muy alejados de la verdadera desviación del paciente y no debería tomarse como única referencia en la valoración de dicho paciente. Si bien en este sentido no pueden sustituir nunca a la valoración de un profesional del estrabismo, aportan muchos resultados complementarios de forma rápida. Con un personal entrenado y un paciente colaborador, pueden aportar información de utilidad, pero que debe ser siempre contrastada por un estrabólogo.

3. SESGOS

El muestreo, como se ha mencionado con anterioridad, es un muestreo no probabilístico por conveniencia. El problema con este tipo de muestreo es que, al no ser seleccionada mediante criterio estadístico, restringe que los resultados puedan ser generalizados. Por tanto, aunque a pesar de los resultados que tuviera el estudio, no podemos afirmar que estos sean aplicables a la población. En el caso del estudio de validación, por ejemplo, no podríamos asegurar que los márgenes de normalidad definidos pudieran aplicarse a la población general, sino que solo podrían aplicarse a nuestra muestra. Sin embargo, la mayoría de estos estudios de validación, utilizan el mismo sistema de elección de la muestra. El hecho de que el estrabismo tenga una prevalencia relativamente baja complica la elección de un método estadístico probabilístico. Por tanto, a pesar de que es deseable utilizar otro tipo de muestreo, este método es el más factible. La frecuencia de las distintas patologías que componen el grupo de estudio, son similares a las de los distintos tipos de estrabismo en la población y, por otro lado, no se han encontrado diferencias entre sexos y otras variables demográficas, por lo que podemos aplicar nuestros resultados a la población de pacientes estrábitos con una seguridad relativamente alta.

Los cálculos de todas las medidas en este estudio de fiabilidad y validez se han basado en las medidas ofrecidas por los videoculógrafos en posición binocular; sin embargo, quizá lo más adecuado habría sido utilizar un valor medio de la desviación con fijación monocular ojo derecho y fijación monocular ojo izquierdo, ya que la correcta determinación de la foria exige una correcta disociación. Por tanto, se habría cometido aquí un sesgo por medición.

Creemos que el factor distancia podría suponer un análisis interesante en aquellas desviaciones relacionadas con la acomodación y la convergencia tónica, ya que sabemos que, en este tipo de patología, la distancia de examen, el tamaño del objeto de fijación o la refracción pueden variar en gran cuantía la medición.⁶⁷ Consideramos en este sentido que este puede haber sido un sesgo en nuestras mediciones, ya que las desviaciones han sido medidas desde distintas distancias (1,5 m VP, 1 m GL, 33 cm y 5 m en CT). Sin embargo, por otro lado, esto podría suponer una ventaja de los videoculógrafos frente a CT, ya que es frecuente que este test no se realice de manera reglada en la consulta, mientras que los dispositivos se pueden montar a una distancia fija y determinada. Sería conveniente en futuros estudios estudiar la influencia de la distancia en las medidas tomadas mediante videoculografía y compararla con la variabilidad medida en cover test.

Igual que comentamos en el estudio de reproducibilidad, el método de oclusión y disociación entre ambos ojos es diferente entre las tres técnicas. Conocemos la influencia que la tiene una disociación correcta y completa para la medición de la desviación. Por lo tanto, pensamos que este factor puede haber supuesto otro sesgo en nuestro estudio. En el caso de GL, otra limitación

podría ser la ausencia de un objeto de fijación morfoscópio, ya que sabemos que estos elementos son más eficaces para fijar la mirada. En general, nuestra experiencia nos dice que, si eliminásemos los sesgos de distancia, disociación y puntos de fijación, los resultados de ambos dispositivos podrían mejorar.

4. TRABAJOS FUTUROS

En primer lugar, este trabajo se ha centrado en estudiar la fiabilidad y la validez de dos videoculógrafos concretos y unas actualizaciones de software concretas. Las versiones de software analizadas no son las primeras realizadas en cada videoculógrafo y probablemente, ambos sufrirán actualizaciones en un futuro para paliar los déficits que las versiones actuales puedan tener. Quizá uno de los puntos a mejorar sería la detección de calibraciones o medidas anómalas, que pudiera detectar el propio software y poner en alerta al examinador de que las medidas tomadas tienen alta probabilidad de fallo. Por ejemplo, podría incorporarse en la base de datos del paciente los datos de la exploración previa del cover test y que fueran los mismos dispositivos los que alertasen en caso de encontrarse medidas muy dispares o de incluso re-analizar los datos en caso de encontrarse. Seguramente, el avance de la tecnología sea capaz en algún momento de emular o incluso mejorar al gold estándar actual, reducir los tiempos de exploración y ofrecer más información que la actual. Un ejemplo sería el análisis de la torsión ocular. Hasta donde sabemos, VOG Perea no ofrece la posibilidad de determinar la torsión ocular, mientras que sí dispone de esta función la versión de GazeLab con la que se ha realizado este estudio. En un futuro podrían plantearse estudios que comparasen la medida de la torsión ocular en videoculografía con los métodos tradicionales, tanto de torsión subjetiva como objetiva. Además, sabemos que actualmente los videoculógrafos ofrecen no solo análisis de la posición de mirada, sino también de las variaciones del nistagmo en distintas posiciones de mirada, del rango de movilidad ocular, de las vergencias fusionales, test de acomodación y cálculo del cociente acomodación/convergencia acomodativa, pupilometría, reflejo optocinético, etc. Como veníamos apuntando, en este trabajo se ha analizado la concordancia entre los videoculógrafos en el análisis de versiones de mirada y en fijaciones monoculares, pero no se han analizado estas medidas frente a las tomadas mediante cover test. También se podrían realizar estudios para comparar estrabismos de naturaleza principalmente vertical, así como mejorar o incorporar software que permitiese en análisis de estrabismos sensoriales, que no pueden ser evaluados mediante sistemas de fijación. Sin duda, todas estas funciones podrían compararse frente a los métodos clásicos de exploración de la motilidad ocular. Además, el propio sistema podría incorporar nuevas aplicaciones de exploración estrabológica, como la exploración del área sensorial (AV, sensibilidad de contraste, campo visual). La creciente tecnología en la oftalmología haría deseable la creación de dispositivos que integrasen todas las modalidades exploratorias posibles, para aumentar la comodidad y la rapidez de las exploraciones. Además, no podemos obviar la creciente importancia de la historia clínica electrónica; se podría plantear en un futuro la incorporación de los datos de videoculografía en la historia clínica del paciente de forma automática.

Las mejoras del software van unidas a las potenciales mejoras en el hardware. Los videoculógrafos analizados son dos unidades completamente distintas, tal y como se detalló en la introducción. El videoculógrafo Perea consta de una mentonera y una pantalla con un sistema de proyección. Cabría la posibilidad, de integrarlo en una lámpara de hendidura o con algún otro dispositivo de exploración, como un campímetro, una cámara funduscópica o una tomografía de coherencia óptica. En el caso de GazeLab es un casco que incorpora tanto el sistema de grabación como el de proyección. Las mejoras podrían ir destinadas a construir un dispositivo más pequeño y portátil, como unas gafas similares a las utilizadas en videojuegos o sistemas de realidad virtual. Otra posibilidad sería incorporar el software de exploración a dispositivos portátiles de uso habitual, como pantallas de ordenador o pantallas de teléfono móvil. Esto facilitaría las exploraciones en áreas donde la tecnología más desarrollada no está al alcance de todos y en segundo lugar, abriría una puerta a la autoexploración de los pacientes y la telemedicina. Sería interesante analizar si aplicaciones de este tipo son lo suficientemente reproducibles y fiables, lo que permitiría que parte de las exploraciones se realizaran de forma telemática.

De hecho, estos no son los únicos dispositivos de videoculografía comercializados en el mundo. Hemos mencionado el Video Frenzel Goggle utilizado en el estudio del grupo coreano, que se asemejan a gafas de realidad virtual. La compañía Apple Inc. ha desarrollado varias aplicaciones para telefonía móvil que realizan función de videoculografía (VOG96da, iTorsion, VOGTarget). Muchas compañías (Micromedical Technologies, Natus Medical, Interacoustics, Neuro Kinetics, Balanceback, Cambridge Research Systems, Medi-care Solutions...) disponen de videoculógrafos, aunque en realidad están diseñados como videonistagmógrafos de uso en otoneurología, pero que podrían adaptar su software o su uso para la medición de la desviación ocular. Sin duda, es probable que se desarrollen más dispositivos de este tipo en el futuro. En futuros estudios podrían valorarse las correlaciones y concordancias de estos dispositivos con los videoculógrafos tradicionales.

Pero probablemente la mejora más interesante de estos dispositivos pasa por la inteligencia artificial y manejo de big data. Sin duda, la medicina debe caminar en el desarrollo de sistemas que no solo generen información útil para el clínico, sino también una forma de recogida y almacenamiento de datos que permitan en investigación la fácil explotación de toda la información generada. La generación de grandes cantidades de datos, así como su análisis y procesamiento con el finde encontrar información oculta, patrones recurrentes o correlaciones no evidentes es lo que se conoce como Big Data.⁶⁸ Muchas de las incógnitas que aún rodean al estrabismo son las causas que lo producen y sus asociaciones con alteraciones genéticas concretas. El conocimiento generado por la videoculografía, cruzada con las grandes bases de datos de genética, los avances en pruebas de imagen médica

como la tractografía y las historias clínicas electrónicas, permitiría a gran escala, esclarecer muchas de estas dudas, así como cuales son las verdaderas incidencias de cada tipo de estrabismo, las mejores alternativas de tratamiento para cada caso analizando resultados postquirúrgicos, sus relaciones con otras enfermedades del sistema nervioso, cual es la cantidad más precisa de cirugía que necesita un paciente en función de nuestros datos previos y en función de las características de la exploración del paciente, etc. En el futuro, los procesos de aprendizaje automático permitirían que los sistemas sugiriesen las mejores alternativas o los pronósticos más probables en función del análisis con videoculógrafos. Por tanto, el desarrollo próximo de esta tecnología, debería ir encaminado a mejorar la adquisición de datos, para afinar cada vez más los instrumentos e integrar los exámenes en grandes redes neuronales destinadas a ofrecer un análisis riguroso y completo a cada paciente.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta tesis doctoral son las siguientes:

1. VOG Perea y GazeLab son dispositivos con una buena fiabilidad y validez.
2. Ambos videoculógrafos detectan con alta precisión los pacientes ortotrópicos.
3. Los márgenes de variabilidad en pacientes ortotrópicos son de $\pm 5,22$ DP en VOG Perea y ± 2 DP en GazeLab para una medida horizontal.
4. En pacientes con estrabismo horizontal, VOG Perea y GazeLab miden desviaciones con menos de 10 DP de diferencia con respecto a cover test en aproximadamente el 60% de los casos.
5. En una quinta parte de los casos, los videoculógrafos ofrecen datos de desviación aberrantes que no parece tener relación con el tipo de estrabismo o cualquier variante inherente al paciente.
6. En los pacientes que presentan patrones alfabéticos, los videoculógrafos tienen un nivel de acuerdo medio entre ellos y bajo con el cover test.
7. En pacientes con incontinancias laterales los videoculógrafos muestran acuerdo en muy alta proporción de los pacientes, aunque las medidas son semejantes en una proporción baja.
8. En el análisis de las fijaciones monoculares, ambos dispositivos muestran acuerdo en un porcentaje medio-alto de los casos. Si ofrecen datos contrarios, suelen ser en diferencias despreciables entre FOD y FOI.
9. En general, utilizado como test de screening, la videoculografía tiene una buena especificidad y aunque tiene una sensibilidad del 100% solo un porcentaje en torno al 50% es correctamente medido. Además, en términos de costo y tiempo, no resultan atractivos como test de screening.
10. Se precisan de más estudios para evaluarlos en distintas condiciones de medida y evaluar sus otras múltiples funciones.

REFERENCIAS

- ¹ Tsoucalas, G., & Sgantzos, M. (2016). Paul of Aegina (c. 625–690 AD), the Origins of the Early Correction of Pediatric Strabismus in Byzantine Empire. *Strabismus*, 24(3), 136–137. <https://doi.org/10.1080/09273972.2016.1215334>
- ² Von Noorden, G. K. (2002). *The History of Strabismology*. (J. P. Wayenborgh, Ed.). Oostende, Bélgica
- ³ Friedman, D.S., Repka, M.X., Katz, J., et al. (2009). Prevalence of amblyopia and strabismus in white and African-American children aged 6 through 71 months: the Baltimore Pediatric Eye Disease Study. *Ophthalmology*, 116, 2128-34.
- ⁴ Giordano, L., Friedman, D.S., Repka, M.X., et al. (2009). Prevalence of refractive error among preschool children in an urban population: the Baltimore Pediatric Eye Disease Study. *Ophthalmology*, 116, 739-46.
- ⁵ Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease Study Group. (2010). Prevalence of myopia and hyperopia in 6- to 72-month-old African American and Hispanic children: The Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease Study. *Ophthalmology*, 117, 140-7.
- ⁶ McKean-Cowdin R., Cotter, S.A., Tarczy-Hornoch, K., et al. (2013). Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease Study Group. Prevalence of amblyopia or strabismus in Asian and non-Hispanic white preschool children. *Ophthalmology*, 120, 2117-24.
- ⁷ Vision in Preschoolers (VIP) Study Group. (2005). Comparison of preschool vision screening tests as administered by licensed eye care professionals in the Vision In Preschoolers (VIP) Study. *Ophthalmology*, 111, 637-50
- ⁸ Vision in Preschoolers (VIP) Study Group. (2005). Preschool vision screening tests administered by nurse screeners compared to lay screeners in the Vision in Preschoolers Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46, 2639-40
- ⁹ Dirani, M., Chan, Y.H., Gazzard, G., et al. (2010). Prevalence of refractive error in Singaporean Chinese children: the Strabismus, Amblyopia, and Refractive Error un Young Singaporean Children (STARS) Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51, 1348-55.
- ¹⁰ Chia, A., Dirane, M., Chan, Y.H., et al. (2010). Prevalence of amblyopia and strabismus in young Singaporean Chinese children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51, 3411-7.
- ¹¹ Schuster, A.K., Elfein, H.M., Pokora, R., Urschitz, M.S. (2007). Kindlicher Strabismus in Deutschland: Prävalenz und Risikogruppen. Ergebnisse der KiGGS-Studie. *Bundesgesundheitsblatt*, 60, 849-55.
- ¹² Mohny, B.G. (2007). Commons Forms of Childhood Strabismus in an Incidence Cohort. *American Journal of Ophthalmology*, 144, 465-467.
- ¹³ Martinez-Thompson, J.M., Diehl, N.N., Holmes, J.M., Mohny, B.G. (2014). Incidence, Types, and Lifetime Risk of Adult-onset Strabismus. *Ophthalmology*, 121 (4), 877-882.
- ¹⁴ Donnelly, U.M. (2012). Horizontal Strabismus Worldwide- What are the risk factors? *Ophthalmic Epidemiology*, 19 (3), 117-19.
- ¹⁵ Yu, C.B., Fan, D.S., Wong, V.W., et al. (2002). Changing patterns of strabismus: a decade of experience in Hong Kong. *British Journal of Ophthalmology*, 86, 854– 856
- ¹⁶ Multi-Ethnic Pediatric Eye Study (MPEDS) Study Group, Baltimore Pediatric Eye Disease (BPEDS) Study Group. (2011). Risk Factors Associated with Childhood Strabismus: The Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease and Baltimore Pediatric Eye Disease Studies. *Ophthalmology*, 118 (11); 2251-2261.
- ¹⁷ Pedersen, T.T., Boyd, H.A., Poulsen, G., Haargaard, B., Wohlfahrt, J., Holmes, J.M., Melbye, M.

-
- (2010). Perinatal risk factors for strabismus. *International Journal of Epidemiology*, 39, 1229-39.
- ¹⁸ Fieß, A., Kölb-Keerl, R., Schuster, A.K., Knuf, M., Kirchhof, B., Muether, P.S., Bauer, J. (2017). Prevalence and associated factor of strabismus in former preterm and full-term infants between 4 and 10 years of age. *BMC Ophthalmology*, 17, 228.
- ¹⁹ Bui Quoc, E., & Milleret, C. (2014). Origins of strabismus and loss of binocular vision. *Frontiers in integrative neuroscience*, 8, 71. <https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00071>
- ²⁰ Donaldson, I.M.L. (2000). The functions of the proprioceptors of the eye muscles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 355, 1685–1754.
- ²¹ Berlit P. (1991). Isolated and combined pareses of cranial nerves III, IV and VI. *Journal of the Neurological Sciences*, 103, 10-15.
- ²² Von Noorden, G. K., & Campos, E. C. (2001). Special forms of strabismus. In *Binocular Vision and Ocular Motility* (6th ed., pp. 473–474). St. Louis: Mosby.
- ²³ Carlton J., Kaltenthaler E. (2011). Amblyopia and quality of life: a systematic review. *Eye*, 25, 403-13.
- ²⁴ Kelly, K.R., Jost, R.M., De La Crus, A., et al. (2015). Amblyopic children read more slowly than controls under natural, binocular reading conditions. *Journal of American Academy for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 19, 515-20.
- ²⁵ Van Leeuwen, R., Eijkemans, M.J., VIngerling, J.R., et al. (2007). Risk of bilateral visual impairment in individuals with amblyopia: the Rotterdam study. *British Journal of Ophthalmology*, 91, 1450-1.
- ²⁶ Alpak, G., Coskun, E., Erbagci, I., et al. (2014). Effects of corrective surgery on social phobia, psychological distress, disease-related disability and quality of life in adult strabismus patients. *British Journal of Ophthalmology*, 98, 876–879.
- ²⁷ McBain, H.B., Au, C.K., Hancox, J., MacKenzie, K., Ezra, D.G., Adams, G.G.W., Newman, S.P. (2014). The impact of strabismus on quality of life in adults with and without diplopia: a systematic review. *Survey of Ophthalmology*, 59, 185-191.
- ²⁸ Romero y Apis, D. A. (2010). *Estrabismo. Aspectos Clínicos y Tratamiento*, México: Editorial DALA.
- ²⁹ Montero, M.A. (2017). *Pre-Cirugía Refractiva: Protocolo De Exploración Visión Binocular y Acomodación*, Madrid: Bausch & Lomb.
- ³⁰ Lorenz, B., and Michael, C. B. (2013). *Pediatric Ophthalmology, Neuro-Ophthalmology, Genetics Strabismus - New Concepts in Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment*, Alemania: Springer Berlin.
- ³¹ Porter, J.D., Baker, R.S., Ragusa, R.J., Brückner, J.K. (1995). Extraocular muscles: basic and clinical aspects of structure and function. *Survey of Ophthalmology*, 39 (6), 451-484.
- ³² Spence, F.R., Porter, J.D. (1988). Structural organization of the extraocular muscles. En Bürtner-Ennever JA, ed. *Neuroanatomy of the Oculomotor System; vol 2*. (pp. 33-79). Amsterdam: Elsevier.
- ³³ Demer, J.L. (2015). Compartmentalization of extraocular muscle function. *Eye*, 29, 157-162.
- ³⁴ Perea, J. (2006). *Estrabismos* (Primera ed). Toledo: Artes Gráficas de Toledo, S.A.U.
- ³⁵ Martín Herranz, R., Vecilla Antolínez, G. (2011). *Manual de Optometría* (3ª edición). Madrid: Panamericana.
- ³⁶ Mayer, D. L., Beiser, A. S., Warner, A. F., Pratt, E. M., Raye, K. N., & Lang, J. M. (1995). Monocular acuity norms for the Teller Acuity Cards Between Ages One Month and Four Years. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 36, 671–685.

-
- ³⁷ Paik, H.J. (2017). Pediatric visual acuity examinations and vision care. *Journal of the Korean Medical Association*, 60(1), 49-56.
- ³⁸ Iwata, Y., Fujimura, F., Handa, T., Shoji, N., & Ishikawa, H. (2016). Effects of Target Size and Test Distance on Stereoacuity. *Journal of Ophthalmology*, 2016, 7950690. <https://doi.org/10.1155/2016/7950690>
- ³⁹ Adams, W. E., Leske, D. A., Hatt, S. R., & Holmes, J. M. (2009). Defining real change in measures of stereoacuity. *Ophthalmology*, 116(2), 281-285. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2008.09.012>
- ⁴⁰ Wang, J., Hatt, S. R., O'Connor, A. R., Drover, J. R., Adams, R., Birch, E. E., & Holmes, J. M. (2010). Final version of the Distance Randot Stereotest: normative data, reliability, and validity. *Journal of AAPOS: the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 14(2), 142-146. <https://doi.org/10.1016/j.jaaapos.2009.12.159>
- ⁴¹ Jeon, H.S., Park, J.Y., Choi, H.Y. (2019). Ocular Alignment and Movement Exam. In: Lee JS. (eds) *Primary Eye Examination*, Singapore: Springer.
- ⁴² Lang, J. (1983). Microtropia. *International Ophthalmology*, 6(1), 33-36.
- ⁴³ Perea, J. (2008). Test de las 4 dioptrías ¿realidad o quimera? *Acta Estrabológica*, 83-88
- ⁴⁴ Biarnés Pérez, M. (2008) Estudio comparativo entre la exploración optométrica y la pantalla de Hess-Lancaster en pacientes con diplopía y patología asociada. *Gaceta óptica*, 427, 18-25.
- ⁴⁵ Young, L.R, Sheena, D., (1975). Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7, 397-429.
- ⁴⁶ McCaslin, D.L., (2013). *Electronystagmography and videonystagmography*, Estados Unidos: Plural Publishing Inc.
- ⁴⁷ Buquet, C., Charlier, J., Toucas, S., Quéré, M.A. (1990). Une nouvelle technique d'enregistrement des mouvements oculaires par traitement d'image. Principe et méthode. *Bulletin de la Societe Belge d'Ophthalmologie*, 90(4), 395-8, 400.
- ⁴⁸ Martín Sanz, E., Esteban Sánchez, J., Zschaecck Luzardo, C., Menal Rodríguez, R., Ramos González, O., Portero de la Plaza, A. (2013). Pruebas vestibulares, interpretación. En G. Plaza Mayor (Presidencia). *VIII Congreso de la Asociación Madrileña de Otorrinolaringología*. AMORL, Madrid.
- ⁴⁹ Synapsis S.A. (2010). *Manual del usuario. MSP_VOG PEREA - V1.0 rev.E. Videoculógrafo PEREA. VOG PEREA*. Marsella: Synapsis S.A.
- ⁵⁰ BcnInnova (2019). BcnInnova: BcnInnova. Recuperado de http://www.bcninnova.com/BCN_innova
- ⁵¹ Park, N., Park, B., Oh, M., Moon, S., & Kim, M. (2018). A quantitative analysis method for comitant exotropia using video- oculography with alternate cover, *BMC Ophthalmology*, 18, 80-88.
- ⁵² Carrasco, J. L. (1995). *El método estadístico en la investigación médica* (Sexta edic). Madrid: Editorial Ciencia 3.
- ⁵³ Martínez Curbelo, G., Cortés Cortés, M. E., & Pérez Fernández, A. C. (2016). Metodología para el análisis de correlación y concordancia en equipos de mediciones similares. *Universidad y Sociedad [seriada en línea]*, 8 (4). pp. 65-70.
- ⁵⁴ Mukaka, M. M. (2012). Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal: the journal of Medical Association of Malawi*, 24(3), 69-71.
- ⁵⁵ Silva Fuente-Alba, C., Molina Villagra, M. (2017). *Likelihood ratio* (razón de verosimilitud): definición y aplicación en Radiología. *Revista Argentina de Radiología*, 81(3), 204-208.

-
- ⁵⁶ The Vision Preschoolers Study Group. (2004). Comparison of Preschool Vision Screening Tests as Administered by Licensed Eye Care Professionals in the Vision in Preschoolers Study, *Ophthalmology*, *111*(4), 637-650.
- ⁵⁷ Caum Aregay, J. (2001). *Tecnología óptica: Lentes oftálmicas, diseño y adaptación*. Barcelona: Edicions UPC.
- ⁵⁸ Leone, J.F., Cornell, E., Morgan, I.G. et al. (2009). Prevalence of heterophoria and associations with refractive error, heterotropia and ethnicity in Australian school children. *The British Journal of Ophthalmology*, *94*(5),542-6.
- ⁵⁹ Prieto, L., Lamarca, R., Casado, A. (1998). La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intraclase. *Medicina Clínica*, *110*,142-5.
- ⁶⁰ Johns, A.H., Manny, R.E. et al. (2004). The intraexaminer and iterexaminer repeatability of the alternate cover test using different prism neutralization endpoints. *Optometry and Vision Science*, *81*(12), 939-945.
- ⁶¹ Hrynychak, P.K., Herriot, C., Irving, E.L. (2010). Comparison of alternate cover test reliability at near in non-strabismus between experienced and novice examiners. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *30*, 304-309.
- ⁶² Holmes, J.M., Leske, D.A., Hohberger, G.G. (2008). Defining real change in prism-cover test measurements. *American Journal of Ophthalmology*, *145*, 381-385.
- ⁶³ Jongh, E., Leach, C., Tjon-Fo-Sang, M.J., Bjerre, M. (2014). Inter-examiner variability and agreement of the alternate prism cover test (APCT) measurements of strabismus performed by 4 examiners. *Strabismus*, *22*(4), 158–166.
- ⁶⁴ Pediatric Eye Disease Investigator Group (2009). Inter-observer Reliability of the Prism and Alternate Cover Test in Children with Esotropia. *Archives of Ophthalmology*, *127*(1), 59–65.
- ⁶⁵ Van der Geest, J.N., Frens, M.A. (2002). Recording eye movements with videooculography and scleral search coils: a direct comparison of two methods. *Journal of Neuroscience Methods*, *114*, 185–95.
- ⁶⁶ Straight, S.M., Bahl, R.S. (2016) A- and V-Pattern Strabismus. In: Traboulsi E., Utz V. (eds) *Practical Management of Pediatric Ocular Disorders and Strabismus*. Springer, New York, NY.
- ⁶⁷ Yang, H.K., Hwang, J.M. (2011). The effect of target size and accommodation on the distant angle of deviation in intermittent exotropia. *American Journal Ophthalmology*, *151*, 907–13. e901
- ⁶⁸ Martínez de la Casa, J.M., Aritz Urcola, J. (2019). Big Data en oftalmología. En J.L. Encinas (Presidencia), 95 Congreso de la Sociedad Española de Oftalmología. Mesa redonda llevada a cabo en el congreso en Madrid, España.